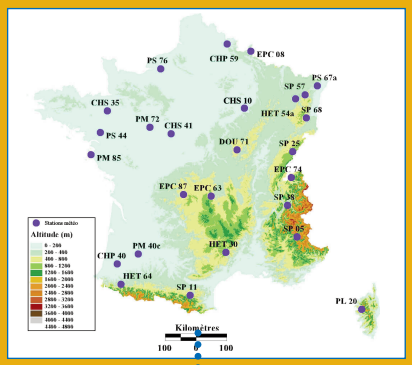
RENECOFOR

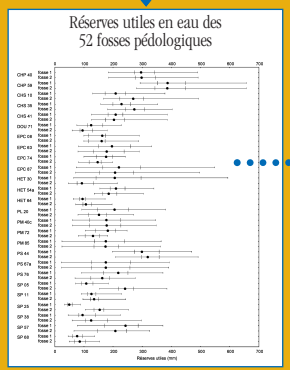
Étude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT

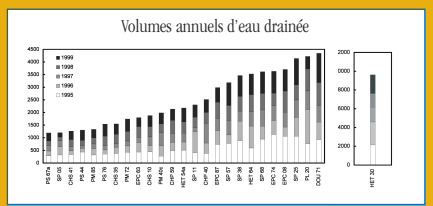
Septembre 2008











Office National des Forêts

INRA

Étude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT - Septembre 2008

Ce document est à citer sous la forme suivante :
V. BADEAU, E. ULRICH, 2008 : RENECOFOR - Etude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 – 2 – 84207 – 323 – 7, 108 p. et 166 pages annexes.

RENECOFOR

ETUDE CRITIQUE DE FAISABILITÉ SUR :

LA COMPARABILITÉ DES DONNEES METEOROLOGIQUES « RENECOFOR » AVEC CELLES DE METEO FRANCE,

L'ESTIMATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU DU SOL ET

LE CALCUL DES VOLUMES D'EAU DRAINEE

EN VUE DU CALCUL DE BILANS MINERAUX SUR LES PLACETTES DU SOUS-RESEAU CATAENAT

(Période d'application : 1995-1999)

Auteurs : Vincent BADEAU[1] et Erwin ULRICH[2]
[1]INRA, Equipe phytoécologie forestière, F-54280 Champenoux ; e-mail : badeau@nancy.inra.fr

Programme soutenu financièrement par :

Union Européenne, DGVI, projet n°99.60.FR.002.0
Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction de l'Espace Rural et de la Forêt,
convention DERF/ONF n°61.21.07/99 du 14/12/1999, rapport final
Office National des Forêts

[2]Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois,
Département Recherche, Boulevard de Constance,
77300 Fontainebleau ; Tél. : +33 (0) 1 60 74 92 25, Fax : +33 (0) 1 64 22 49 73,
e-mail : erwin.ulrich@onf.fr

Septembre 2008

REMERCIEMENTS

Ce travail sur les bilans hydriques et les flux d'eau drainés a pu être réalisé grâce à la masse d'information considérable récoltée sur les placettes RENECOFOR depuis 1992, tant à propos des sols qu'à propos des paramètres météorologiques.

La récolte, le stockage et le traitement de cette information a mobilisé un grand nombre de personnes. Les agents techniques de l'ONF ont réalisé la majeure partie des observations de terrain. Marc Lanier a mis en place une base de données informatisée opérationnelle. De multiples auteurs et collaborateurs ont synthétisé ces observations dans les différents volumes de la désormais célèbre « *collection jaune* ».

Bien qu'il ne soit pas possible de remercier individuellement toutes les personnes qui sont à l'amont de ce travail, qu'elles sachent que nous respectons profondément leurs efforts.

Nos remerciements s'adressent également, et plus particulièrement, pour toute la partie « sol » de cette étude à messieurs Yves Lefèvre, Alain Brêthes et Etienne Dambrine ; et pour toute la partie « bilan hydrique » à mesdames Nathalie Bréda et Marianne Peiffer ainsi qu'à monsieur André Granier.

SOMMAIRE

RESUME ix
SUMMARY xiii
INTRODUCTION 1

Première partie :

PARAMETRES CLIMATIQUES ENREGISTRES SUR LES PLACETTES DU RESEAU ET SUR LES POSTES METEO-FRANCE

1. SELECTION DES STATIONS METEOROLOGIQUES DE METEO-FRANCE 5
2. PRECIPITATIONS 7
2.1. Données journalières 7
2.1.1 Analyse générale 7
2.1.2. Analyse par placette 9
2.1.2.1. Régressions 9
2.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 11
2.2. Cumuls mensuels 13
2.2.1. Régressions 13
2.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 13
2.3. Cumuls annuels 15
3. TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES 17
3.1. Données journalières 17
3.1.1. Analyse générale 17
3.1.2. Analyse par placette 17
3.1.2.1. Régressions 17
3.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 18
3.2. Moyennes mensuelles des températures 21
3.2.1. Régressions 21
3.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 23
4. RAYONNEMENT GLOBAL 25
4.1. Données journalières 25
4.1.1 Analyse générale 25
4.1.2. Analyse par placette 25
4.1.2.1. Régressions 25
4.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 27
4.2. Cumuls mensuels 29
4.2.1. Régressions 29
4.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 30
5. HUMIDITE RELATIVE 31
5.1. Données journalières 31
5.1.1 Analyse générale 31
5.1.2. Analyse par placette 33
5.1.2.1. Régressions 33
5.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 34
5.2. Moyennes mensuelles 35
5.2.1. Régressions 35
5.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 37
6. VITESSE DU VENT 39
6.1. Données journalières 39
6.1.1 Analyse générale 39
6.1.2. Analyse par placette 39
6.1.2.1. Régressions 39

6.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 40
6.2. Moyennes mensuelles 41
7. EVAPORATION POTENTIELLE 43
7.1. Données journalières 43
7.1.1 Analyse générale 43
7.1.2. Analyse par placette 43
7.1.2.1. Régressions 43
7.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 44
7.2. Cumuls mensuels 45
7.2.1. Régressions 45
7.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts 46
7.3. Cumuls annuels 47
7.4. Influence des paramètres climatiques 49

Deuxième partie :

ESTIMATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU DES SOLS

1. CHARGE EN ELEMENTS GROSSIERS 51
2. ESTIMATION DES PROFONDEURS MAXIMALES D'ENRACINEMENT 52
2.1. Généralités 52
2.2. Cas des placettes RENECOFOR 53
3. ESTIMATION DES TENEURS VOLUMIQUES EN EAU 55
3.1. Méthode des coefficients de texture 56
3.1.1. Estimations de Jamagne *et al.*, 1977 56
3.1.2. Estimations de Hall *et al.*, 1977 57
3.1.3. Estimations de Chapelier *et al.*, 1999 58
3.2. Fonctions de pédotransfert 61
3.2.1. Estimations ponctuelles de la teneur en eau 62
3.2.1.1. Modèle de Bruand *et al.*, 1996 62
3.2.1.2. Modèle de Renger, 1971 62
3.2.1.3. Modèle de Hall *et al.*, 1977 63
3.2.1.4. Modèle de Gupta et Larson, 1979 64
3.2.1.5. Modèle de Rawls *et al.*, 1982 64
3.2.2. Estimations continues de la teneur en eau 64
3.2.2.1. FPT de Saxton *et al.*, 1986 64
3.2.2.2. Modèle de Vereecken *et al.*, 1989 65
3.2.2.3. Modèle de Mayr et Jarvis, 1999 65
3.2.2.4. Modèles de Wösten *et al.*, 1999 66
4. CALCUL DES VOLUMES D'EAU UTILISABLE SUR LES PLACETTES RENECOFOR 67
4.1. Données disponibles 67
4.1.1. Données granulométriques et texture des horizons 67
4.1.2. Epaisseur des horizons 69
4.2. Réserves utiles estimées 70
4.2.1. Influence de la méthode d'estimation des teneurs volumiques en eau 70
4.2.2. Influence de la charge en éléments grossiers 75

Troisième partie :

CALCUL DES VOLUMES D'EAU DRAINEE

1. MODELE DE BILAN HYDRIQUE 77
1.1. Composantes du bilan hydrique 77
1.2. Paramétrage du modèle 79
1.2.1. Données concernant le sol 79
1.2.2. Données concernant le peuplement 83

1.2.3. Données climatiques ... 84
1.2.3.1. Séries climatiques utilisées dans les calculs ... 84
1.2.3.2. Traitement des données manquantes ... 84
2. RESULTATS ... 87
2.1. Volumes annuels d'eau drainée ... 87
2.1.1. Drainages mixtes ... 87
2.1.2. Drainages mixtes et drainages Météo-France ... 89
2.1.3. Drainages mixtes, drainages Météo-France et drainages RENECOFOR ... 91
2.2. Influence des paramètres pédologiques ... 93

CONCLUSIONS ... 99

Quatrième partie :

ANNEXES

Légende générale des régressions présentées en annexe ... 1
Annexe météo 1 – Sélection des stations Météo-France ... 3
Annexe météo 2 – Précipitations journalières ... 5
Annexe météo 3 – Précipitations mensuelles ... 9
Annexe météo 4 – Précipitations annuelles ... 17
Annexe météo 5 – Températures journalières minimales et maximales ... 19
Annexe météo 6 – Moyennes mensuelles des écarts journaliers de températures ... 27
Annexe météo 7 – Moyennes mensuelles des températures ... 31
Annexe météo 8 – Calcul du rayonnement global ... 39
Annexe météo 9 – Rayonnement global journalier ... 41
Annexe météo 10 – Moyennes mensuelles des écarts journaliers de rayonnement global ... 43
Annexe météo 11 – Rayonnement global mensuel ... 45
Annexe météo 12 – Humidité relative journalière ... 47
Annexe météo 13 – Moyennes mensuelles des écarts journaliers d'humidité relative ... 51
Annexe météo 14 – Humidité relative mensuelle ... 53
Annexe météo 15 – Vitesses de vent journalières ... 57
Annexe météo 16 – Vitesses de vent mensuelles ... 59
Annexe météo 17 – Calcul de l'évapotranspiration potentielle ... 61
Annexe météo 18 – Evapotranspiration potentielle journalière ... 63
Annexe météo 19 – Moyennes mensuelles des écarts journaliers d'évapotranspiration potentielle ... 65
Annexe météo 20 – Evapotranspiration potentielle mensuelle ... 67
Annexe météo 21 – Evapotranspiration potentielle annuelle ... 69
Annexe météo 22 – Evapotranspiration potentielle annuelle ... 71

Annexe sol 1 – Profondeurs d'enracinement ... 75
Annexe sol 2 – Granulométrie et texture ... 81
Annexe sol 3 – Classes de texture ... 87
Annexe sol 4 – Classes de texture ... 91

Annexe bilan hydrique 1 – Estimation des proportions d'enracinement ... 95
Annexe bilan hydrique 2 – Bilan des séries climatiques disponibles ... 97
Annexe bilan hydrique 3 – Volumes annuels d'eau drainée (Tableaux) ... 103
Annexe bilan hydrique 4 – Volumes annuels d'eau drainée (Figures) ... 109
Annexe bilan hydrique 5 – Volumes annuels d'eau drainée par tranches de profondeur ... 137
Annexe bilan hydrique 6 – Influence des paramètres météorologiques sur les drainages (partie 1/2) ... 143
Annexe bilan hydrique 7 – Influence des paramètres météorologiques sur les drainages (partie 2/2) ... 153
Annexe bilan hydrique 8 – Influence des paramètres pédologiques sur les drainages (partie 1/2) ... 155
Annexe bilan hydrique 9 – Influence des paramètres pédologiques sur les drainages (partie 2/2) ... 161

RESUME

Titre : Etude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo-France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée, en vue du calcul de bilan minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT (Période d'application : 1995-1999)

Dans le réseau RENECOFOR, un sous-réseau météorologique forestier a progressivement été mis en place de décembre 1994 à janvier 1996. Il comprend 26 stations automatisées implantées à proximité immédiate de 26 placettes. Un premier bilan du fonctionnement de ce réseau a été publié en 1996 par Ponette *et al*. et nous renvoyons le lecteur à ce document pour toute information pratique sur le fonctionnement du sous-réseau météorologique.

La première partie de ce rapport présente les comparaisons effectuées entre les données mesurées sur les placettes du sous-réseaux météorologique avec des données Météo-France provenant de stations de mesures choisies comme étant les plus proches des sites RENECOFOR. Sept paramètres sont étudiés (précipitations, températures minimales, températures maximales, rayonnement global, humidité relative de l'air, vitesse du vent, évaporation potentielle). Pour chaque paramètre une analyse générale et une analyse par placette est réalisée. Ces analyses sont effectuées aux pas de temps journaliers, mensuels, voire annuels. Elles regroupent des calculs de corrélations entre les jeux de données et une quantification des écarts.

Les données météorologiques n'ont été étudiées que sur une courte période (1995-1999) et l'on sait par ailleurs que ces paramètres sont soumis à une très forte variabilité dans le temps comme dans l'espace. Les relations observées entre les mesures du sous-réseau météorologique et les mesures Météo-France devraient donc être confirmées voire approfondies avant que des conclusions définitives ne soient tirées.

Les corrélations entre les **hauteurs de pluies** journalières mesurées sur les placettes RENECOFOR et les hauteurs de pluies journalières mesurées par Météo-France sont assez médiocres avec des coefficients de détermination variant de 0,53 à 0,85 (moyenne de 0,74). Si les écarts de pluviométrie tendent à augmenter avec l'éloignement des postes ou leurs différences d'altitudes, cette dérive n'est cependant ni systématique ni proportionnelle. Les écarts observés entre les deux réseaux de mesures ne sont pas indépendants de la saison mais là encore de façon non systématique : pour certaines placettes les écarts minimum peuvent être observés en été ; pour d'autres, en hiver. Au pas de temps annuel, la majorité des placettes RENECOFOR présente un bilan de précipitations positif par rapport aux stations Météo-France : pour CHP 59, CHS 10, CHS 35, DOU 71, EPC 63, PM 72, PS 44, SP 05, SP 11, SP 38 et SP 57 ce bilan est toujours positif ; pour CHS 41, EPC 87, HET 30, PM 40c et PS 76 la pluviométrie d'une seule année est inférieure à celle enregistrée par Météo-France ; pour EPC 08 et PS67a la pluviométrie de deux années est inférieure à celle enregistrée par Météo-France. Seules les placettes CHP 40, EPC 74, HET 54a, HET 64, PM 85, SP 25 et SP 68 présentent des cumuls globalement inférieurs à ceux de Météo-France. Ce bilan global sur l'ensemble de 5 années de mesures n'est cependant pas obligatoirement valide pour chacune des années prise séparément : pour CHP 40 par exemple on mesure en 1997 un *excès* de pluviosité de 103 mm par rapport aux données Météo-France mais un *déficit* de 206 mm en 1999.

Au pas de temps journalier, les corrélations entre les **températures** mesurées dans les deux réseaux sont nettement plus fortes que celles observées pour les pluies, malgré une plus grande distance entre les postes. Les données manquantes de températures sur les placettes RENECOFOR peuvent donc être estimées à partir des séries Météo-France avec un degré de confiance supérieur à ce qui peut être fait pour les pluies. Pour les températures minimales, les coefficients de détermination varient de 0,71 à 0,97 (moyenne de 0,92) et de 0,83 à 0,99 (moyenne de 0,96) pour les températures maximales. Pour 15 placettes, la moyenne des écarts sur les températures minimales est comprise dans l'intervalle –1 / +1°C et pour 6 d'entre elles dans l'intervalle –0,5 / +0,5°C. Pour les températures maximales, les écarts sont compris entre –1 / +1°C pour 17 placettes et pour 11 placettes entre –0,5 / +0,5°C. Au pas de temps mensuel, les écarts de moins de 1°C (en valeur absolue) sont majoritaires pour 13 placettes dans le cas des températures minimales et pour 17 placettes dans le cas des températures maximales. A l'opposé, les écarts de plus de 2°C ne sont majoritaires que pour les placettes EPC 63 et SP 11 dans le cas des températures minimales et pour les placettes EPC 74, SP 11, EPC 08, SP 38, EPC 63, HET 30 et SP 05 dans le cas des températures maximales.

Le **rayonnement global** est mesuré sur 7 placettes du sous réseau météorologique forestier. Ces données sont comparées à des valeurs de rayonnement directement mesurées par Météo-France (EPC 08, PM 85, SP 11 et SP 25 à partir de 1998) ou à des valeurs de rayonnement calculées à partir de mesures de durées d'insolation (PM 72, PS 76, SP 38 et SP 25 jusqu'en 1997). Au pas de temps journalier, les coefficients de détermination varient de 0,75 à 0,95. La qualité des corrélations est nettement dépendante de la différence d'altitude et de la distance séparant les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. A l'inverse des écarts journaliers, les écarts mensuels ne représentent qu'une fraction limitée du rayonnement global ; une large majorité des écarts correspondant à des variations de moins de 10% du rayonnement global mesuré sur les stations Météo-France.

Les corrélations entre les **humidités relatives** mesurées dans les deux réseaux sont très médiocres avec des r^2 variant de 0,14 à 0,85 (moyenne 0,61). La qualité des corrélations n'est pas dépendante de la distance entre les postes de mesure mais elle est par contre fortement dépendante de la différence d'altitude. La mauvaise qualité des corrélations entre les deux séries de mesures s'explique d'une façon générale par les différences dans les distributions en fréquence des humidités mesurées. On observe d'une part que les humidités les plus fréquentes sur les placettes RENECOFOR sont de 80 à 90% alors qu'elles sont de 70 à 80% dans les stations Météo-France (probablement en raison du microclimat forestier mais cette hypothèse reste à confirmer). D'autre part, la gamme des humidités est plus étendue sur les placettes RENECOFOR que dans les stations Météo-France : pour Météo-France, 82% des humidités mesurées sont comprises dans les bornes [60-90%[alors que ces limites ne correspondent qu'à 64% des données RENECOFOR. Les humidités relatives de 90% et plus représentent 28% des mesures réalisées sur les placettes du réseau RENECOFOR et seulement 9% des données Météo-France. Ces effets sont particulièrement nets pour les placettes DOU 71, EPC 08, EPC 63 EPC 74, EPC 87, HET 30, HET 64, PL 20, SP 11, SP 25 ou SP 38.

Les corrélations entre les **vitesses de vent** sont les plus mauvaises (r^2 de 0,5 à 0,6). La qualité des corrélations est peu marquée par la distance entre les postes de mesure ou la différence d'altitude.

Au pas de temps journalier, les corrélations entre **ETP** sont concordantes à celles observées pour le rayonnement global, et les coefficients de détermination varient de 0,83 à 0,95, sauf pour la placette SP 11 qui présente un r^2 de 0,67. Au pas de temps annuel, toutes les placettes RENECOFOR présentent un bilan d'ETP inférieur à celui calculé à partir des données Météo-France. Sur l'ensemble des cinq années de mesures, les écarts les plus faibles entre les ETP sont de –68 et –69 mm pour les placettes PM 85 et SP 25 (soit des différences relatives de –6 et –8% par rapport aux ETP Météo-France) et les écarts les plus forts sont de –240 et –270 mm pour les placettes EPC 08 et SP 11 (soit des différences de –27 et –24% par rapport aux ETP Météo-France).

La deuxième partie de ce rapport présente en détail les différentes étapes nécessaires à l'obtention des réserves en eau utile par placette et par horizon. La réserve utile d'un sol dépend de trois grands facteurs : i) de la charge en éléments grossiers ; ii) de la profondeur maximale d'enracinement ; et iii) de la teneur en eau volumique correspondant à la différence entre le volume d'eau retenu à la capacité au champ (saturation de la microporosité) et le volume d'eau retenu au point de flétrissement permanent ; ces volumes étant eux-mêmes dépendant de la composition granulométrique (texture), de la densité apparente (qui traduit la structure), de la charge en matière organique, etc.

Les charges en éléments grossiers ont été estimées sur le terrain, dans les deux fosses décrites sur chacune des placettes, au moyen de six classes d'abondance (Brêthes et Ulrich, 1997). Lors de la description des fosses pédologiques une estimation de la densité des systèmes racinaires a été donnée, pour chaque horizon, en utilisant 5 classes. En complément de cette description, la profondeur et la nature d'éventuelles contraintes à l'enracinement ont été notées ainsi qu'une profondeur *théoriquement* prospectable par les systèmes racinaires. Cependant, les descriptions sur les fosses nous ont semblé insuffisantes pour déterminer avec précision les volumes de sol réellement prospectés sur les placettes du réseau. En conséquence, nous avons choisi de fixer *a priori,* et pour toutes les placettes, une profondeur maximale d'enracinement de 200 cm pour le calcul des réserves utiles et de vérifier, au cas par cas, si cette "profondeur estimée" est cohérente ou non, avec les descriptions pédologiques.

Les estimations des teneurs volumiques en eau ont été réalisées à partir d'une étude bibliographique. Deux familles de méthodes ont été utilisées : i) les méthodes dites des *coefficients de texture* et ii) les *fonctions de pédotransfert*. A partir de ces éléments, 20 à 28 hypothèses de réserves utiles ont été calculées pour chacune des 2 fosses pédologiques ouvertes sur chaque placette.

Les différentes méthodes de calcul conduisent, sauf quelques cas exceptionnels, à des estimations très fortement dispersées des réserves utiles. Les différences entre les valeurs minimales et maximales obtenues pour chacune des fosses varient de 54 mm (SP 25 fosse 1) à 529 mm (HET 30 fosse 1), la moyenne des écarts sur l'ensemble des 52 fosses étant de 234 mm.

Les charges en éléments grossiers estimées sur le terrain sont relativement imprécises puisque évaluées en classes d'abondance recouvrant chacune une large gamme de pierrosité. Si on essaye de prendre en compte cette incertitude dans le calcul des réserves utiles on constate que pour 11 fosses, l'écart relatif sur la réserve en eau est inférieur ou égal à 10% ; pour 17 fosses, elle est comprise entre 10 et 20% ; pour 12 fosses, entre 20 et 50% et enfin supérieure à 50% pour la placette SP 38.

La troisième partie de ce rapport présente les calculs de bilans hydriques et de volumes d'eau drainée. Les quantités d'eau drainée sont, sans surprise, fortement liées aux volumes des précipitations, mais on note une forte variabilité interannuelle et interplacettes. Pour l'ensemble des placettes et toutes les années de mesures, les quantités d'eau drainées correspondent en moyenne à 42% du volume des pluies incidentes. Les volumes d'eau drainée s'échelonnent de 20% pour la placette SP 05 à 55% pour la placette DOU 71. Pour la hêtraie de l'Aigoual (HET 30) les drainages représentent plus de 80% des pluies incidentes qui sont en moyenne de 2 000 mm par an. A l'échelle de la placette, les drainages, toujours exprimés par rapport aux volumes des pluies, peuvent être très variables d'une année sur l'autre. Les plus grosses variations sont observées pour SP 11 (drainages variant entre 18% et 52%) et PS 44 (13 à 42%) ; les plus faibles pour HET 30 (78 à 86%), PS 67a (25 à 35%), SP 25 (49 à 59%).

L'influence des données météorologiques n'est pas négligeable puisqu'une seule placette (HET 64) montre des écarts annuels de drainage compris dans une fourchette de ±10%. Pour toutes les autres placettes les écarts relatifs sont très élevés et très variables dans le temps. Il semble donc difficile d'estimer correctement des valeurs annuelles de drainage à partir des seules données Météo-France. Une part importante de ces différences de drainage est due aux différences entre les volumes de pluies incidentes : les écarts de drainages sont proportionnels aux écarts de précipitation (r^2=0,83). Mais il existe une forte variabilité dans le nuage de points : pour un écart de pluies donné, les écarts de drainages peuvent être très variables d'une placette à l'autre et d'une année à l'autre. Cette variabilité est due essentiellement à la répartition des pluies tout au long de l'année et à l'état hydrique du sol à l'instant t. A ce facteur s'ajoute la variabilité des températures et des humidités relatives, deux paramètres utilisés dans le calcul des ETP.

Comme pour les données météorologiques, les incertitudes liées aux valeurs des réserves utiles conduisent à des variations non négligeables des estimations des volumes d'eau drainée. Pour HET 30, les écarts extrêmes sont de l'ordre de ±10% par rapport aux drainages obtenus avec la RU médiane. Pour cette placette, étant donné les hauteurs annuelles des précipitations, les volumes d'eau drainée sont très peu sensibles à la réserve utile des sols. Pour les placettes CHP 40, CHP 59, DOU 71, EPC 08, EPC 74, HET 54a, HET 64, PL 20, SP 25 et SP 68 les écarts extrêmes sont de l'ordre de ±20%. Dans le cas des placettes CHS 35, CHS 41, PM 85, PS 44, PS 67a, PS 76 et SP 05, les écarts dépassent le seuil de ±50%. D'une façon générale, si l'on prend en compte l'ensemble des placettes et des années disponibles, on constate qu'à une diminution de la réserve utile (par rapport à la médiane) correspond une augmentation des volumes d'eau drainée et inversement. Cependant, cette loi générale n'est pas vérifiée pour chacune des placettes considérées en particulier. Pour la placette CHP 40 par exemple : en 1995 et 1998 (années les moins pluvieuses) on observe que les drainages sont augmentés pour les hypothèses de RU inférieures à la médiane et diminués pour les RU plus fortes ; en 1996, le bilan de ces dernières s'inverse et les drainages sont augmentés pour toutes les hypothèses de réserve ; en 1997, les très fortes pluies gomment toutes différences et les drainages sont identiques quelle que soit la réserve utile ; enfin, en 1999, seules les plus faibles réserves engendrent des différences significatives de drainage. Cet exemple montre qu'il n'y a pas proportionnalité entre les volumes d'eau drainée lorsque l'on fait varier la réserve utile. Ceci s'explique par le fait que les variations des quantités d'eau dans le sol au cours de l'année dépendent du volume d'eau arrivant au sol (précipitations diminuées des interceptions) ainsi que du moment de son arrivée au sol (répartition des pluies tout au long de l'année) et de la quantité d'eau quittant le sol (évaporation et transpiration). La transpiration est déterminée par la demande atmosphérique et la surface du feuillage mais également par la réserve hydrique du sol, Les rétroactions permanentes entre disponibilité en eau, demande atmosphérique et transpiration rendent donc difficile l'étude temporelle des variations du volume d'eau dans le sol. La modification de la seule réserve utile entraîne donc un ensemble de réactions complexes impossibles à prévoir sans l'utilisation du modèle de bilan hydrique.

SUMMARY

TITLE: Critical feasibility study on i) the comparability of meteorological data from the RENECOFOR Network and the French National Weather Service, and ii) estimating available soil water content and calculating drained water values in order to assess the nutrient budget on plots in the CATAENAT sub-network (Study period: 1995 - 1999)

Within the RENECOFOR Network, a forest meteorology sub-network was set up progressively from December, 1994 to January, 1996. The sub-network is composed of 26 automatic weather stations installed next to 26 level II plots. In 1996, Ponette *et al.* published an initial report on the meteorological sub-network, which readers may consult for detailed information on how the sub-network functions.

The **first part of this report** focuses on comparative studies carried out on data from the forest meteorological sub-network and from the National Weather Service weather stations located the closest to the RENECOFOR sites. Seven different parameters were studied: precipitation, minimum temperatures, maximum temperatures, global solar radiation, relative air humidity, wind velocity and potential evapotranspiration (PET). Global analyses as well as plot-specific analyses were made for each parameter using daily, monthly and sometimes annual time scales. Correlations between the two data sets were calculated, and deviations were specified.

The meteorological data used in the study concern only a short period of time (1995-1999). What is more, we know that these parameters vary widely depending on site location and time of measurement. The observed correlations between the two data sets (RENECOFOR forest meteorological sub-network and National Weather Service) must therefore be verified in further, more detailed studies before results are considered conclusive.

Correlations between daily **precipitation levels** measured at the RENECOFOR plots and at the National Weather Service weather stations were rather mediocre with R^2 varying from 0.53 to 0.85 (mean = 0.74). Even though relative differences in precipitation increase with the distance between the RENECOFOR sites and the weather stations or with differences in altitude, the degree of difference is not systematic or proportionate. The differences between the two meteorological networks are not independent of season, yet there is no systematic trend: for some plots, the minimum deviations occur during summer; for others, during winter. Considered annually, the majority of the RENECOFOR plots show higher cumulative precipitation than the National Weather Service stations: for plots CHP 59, CHS 10, CHS 35, DOU 71, EPC 63, PM 72, PS 44, SP 05, SP 11, SP 38 and SP57, global annual rainfall is always higher; for CHS 41, EPC 87, HET 30, PM40c and PS 76, only one year had a precipitation level lower than for the National Weather Service stations; for EPC 08 and PS 67a, two years show precipitation levels that are lower than the National Weather Service stations. Only plots CHP 40, EPC 74, HET 54a, HET 64, PM 85, SP 25 and SP 68 had total annual precipitation levels that were lower than the National Weather Service stations. However, when the total precipitation over the 5-year measurement period is considered, the trend is not necessarily the same as for each year taken separately: for CHP 40, for example, rainfall in 1997 was *higher* by 103 mm than that shown for the National Weather Service data while in 1999, precipitation at the same plot was 206 mm less shown for the Weather Service station data.

Considered on a daily basis, **temperatures** measured in the two networks correlated much more strongly than rainfall, even though the distance was greater between measuring stations. Temperature values missing for certain RENECOFOR plots can thus be extrapolated from National Weather Service data with greater predictive validity than for precipitation. For minimum temperatures, R^2 ranges from 0.71 to 0.97 (mean = 0.92) and for maximum temperatures, from 0.83 to 0.99 (mean + 0.96). For 15 plots, the mean deviation for minimum temperatures falls within -1 / +1°C and for six of those plots, within –0.5 / +0.5° C. For maximum temperatures, 17 plots show a mean deviation within -1 / +1°C and eleven plots, within –0.5 / +0.5° C. For monthly values, at 13 plots most deviations were of less than 1°C (absolute value) for minimum temperatures; for maximum temperatures, this was the case at 17 plots. Only plots EPC 63 and SP11 had a majority of deviations greater than 2°C for minimum temperatures while plots EPC 74, SP 11, EPC 08, SP 38, EPC 63, HET 30 and SP 05 showed similar deviations for maximum temperatures.

Global **solar radiation** was measured on seven plots in the forest meteorological sub-network. The data was compared either to solar radiation measured directly by the National Weather Service (EPC 08, PM 85, SP 11 and SP 25 from 1998 onward) or to radiation values calculated from the number of daylight hours (PM 72, PS 76, SP 38 and SP 25 until 1997). For daily values, the R^2 varies from 0.75 to 0.95. The degree of correlation closely depends on differences in altitude and distance between the RENECOFOR plots and the National Weather Service weather stations. Compared to the daily values, monthly differences are only small and correspond in the majority of cases to variations of less than 10% of the solar radiation measured by the National Weather Service weather stations.

Correlations between **relative humidity** measured in the two networks were quite mediocre with R^2 ranging from 0.14 to 0.85 (mean = 0.61). The degree of correlation does not depend on the distance between measuring stations but is

strongly influenced by differences in altitude. The lack of satisfactory correlation between the two data sets can generally be explained by differences in humidity classes. First of all, the most frequent humidity values found on the RENECOFOR plots were between 80 and 90% while for the National Weather Service weather stations, the most common values were between 70 and 80% (this is probably caused by the forest microclimate but confirmation of this hypothesis is needed). In addition, the range of humidity values is greater for the RENECOFOR plots than at the national weather stations: for National Weather Service data, 82% of the measurements indicate humidity levels from 60 to 90%, whereas only 64% of the RENECOFOR values lie within this range. Relative humidity levels of 90% and above account for 28% of the RENECOFOR data and only for 9% of the National Weather Service data. This is particularly true for plots DOU 71, EPC 08, EPC 63, EPC 74, EPC 87, HET 30, HET 64, PL 20, SP 11, SP 25 and SP 38.

Wind velocity correlated the least (R^2 from 0.5 to 0.6) between the two data sets. The degree of correlation was little affected either by distance between the measuring stations or difference in altitude.

Correlations between daily **PET (Potential Evapotranspiration)** values were coherent with correlations found for global solar radiation with R^2 varying from 0.83 to 0.95, except for plot SP 11 where R^2 was 0.67. Taken annually, all the RENECOFOR plots show lower PET values than those calculated from National Weather Service data. Over the entire 5-year period, the smallest differences in PET values were –68 and –69 mm for plots PM 85 and SP 25 respectively (a relative difference of –6 and –8% compared to National Weather Service PET values) and the greatest differences were –240 and –270 mm for plots EPC 08 and SP 11 respectively (a difference of –27 and –24% compared to National Weather Service PET values).

The **second part of this report** gives detailed information on the steps taken to obtain estimates for available water reserve for each plot and each soil horizon. Available water depends on three major factors: i) the amount of coarse fragments in the soil; ii) maximum rooting depths; and iii) volumetric soil water content, which corresponds to the difference between water content at field capacity (saturation of soil micropores) and water content at permanent wilting point, both of which depend on soil texture, soil bulk density (indicative of structure), amount of organic matter, etc.

Two soil pits were dug on each plot and the amount of coarse fragments in the soil was estimated using six abundance classes (Brêthes and Ulrich, 1997). At the same time, a root system density class (1 to 5) was assigned to each horizon. In addition, rooting depth and the nature of any possible obstacles to rooting were noted along with a *theoretical* maximum rooting extent. Even so, these descriptions did not seem precise enough to accurately determine the real rooting depth on the network plots. That is why, for the purposes of calculating available water reserve, a maximum rooting depth of 200 cm was chosen *a priori* for all the plots and site by site, this "estimated depth" was confronted with real conditions to verify whether it was coherent or not.

Estimates of volumetric soil water content were made based on a review of the literature. Two main types of methodology were followed: i) the so-called *texture coefficient* methods and ii) *pedo-transfer functions*. Using these methods, 20 to 28 hypothetical values for available water reserve were calculated for each of the two soil pits on each plot. Other than a few rare exceptions, these different calculations resulted in extremely disparate estimates for available water reserve. Differences between minimum and maximum values for each soil pit vary from 54 mm (SP 25, trench 1) to 529 mm (HET 30, trench 1), with a mean general difference of 234 mm for the 52 soil pits.

The amount of coarse fragments estimated on site remains relatively imprecise because each of the six abundance classes covered a wide range of stone content. When we tried to include this approximate parameter in the calculation of available water reserve, we obtained a relative difference of less than or equal to 10% for 11 soil pits, between 10 and 20% for 17 soil pits, between 20 and 50% for 12 soil pits, and finally, more than 50% for plot SP 38, as compared to the calculation without this parameter.

The **third part of this report** concerns calculations of daily water balance and drained water. Unsurprisingly, the amount of drained water is closely related to precipitation; however, there are strong variations from year to year and from plot to plot. For all plots over the 5-year period, the average amount of drained water corresponded to 42% of the annual precipitation. Drained water volumes ranged from 20% for plot SP 05 to 55% for plot DOU 17. In the Aigoual beech forest (HET 30) where mean annual precipitation is 2,000 mm per year, drained water values corresponded to more than 80% of the annual precipitation. Drained water, always expressed as a percentage of precipitation volumes, can vary considerably from one year to the next at the plot level. The widest variations were observed for plot SP 11 (drained water volumes between 18% and 52%) and PS 44 (13% to 42%); the smallest variations were on HET 30 (78 to 86%), PS 67a (25 to 35%) and SP 25 (49 to 59%).

Meteorological data had a non negligible influence on the calculations since only one plot (HET 64) showed relative differences for annual drained water within a ±10% range. For all the other plots, relative differences were very high and fluctuated widely over time. Therefore, calculating annual drained water values based only on National Weather Service data does not appear to be a valid option. A large part of the variance can be explained by differences in precipitation volumes: drained water differences and precipitation differences are proportionate ($R^2 = 0.83$). However, the scatter plot matrices show considerable variability: for a given precipitation difference, corresponding drained water differences can vary widely from one plot to the next and from one year to the other. This variance is mainly due to the distribution of precipitation throughout the year and to soil water content at a given moment *t*. Variations in temperature and relative humidity, two parameters used to calculate PET, further complicate the issue.

As is the case for weather data, the incertitude linked to available water values leads to non negligible variations in drained water estimates. For plot HET 30, the range of deviation is around ± 10% compared to drained water estimates obtained with median values for available water. For this particular plot, given the levels of annual precipitation, drained water volumes are only very slightly influencing available soil water reserves. For plots CHP 40, CHP 59, DOU 71, EPC 08, EPC 74, HET 54a, HET 64, PL 20, SP 25 and SP 68, the range of variation is around ± 20%. For plots CHS 35, CHS 41, PM 85, PS 44, PS 67a, PS 76 and SP 05, the range of variation is greater than ± 50%. Generally speaking, if all the plots and measurement years are taken into account, a decrease in available water reserve (in relation to the median value) corresponds to an increase in drained water volume; the reverse is also true. However, this general rule cannot be verified for each of the plots taken individually. For plot CHP 40, for example, in 1995 and 1998 (years with the least precipitation) drained water increased when estimated available water reserve was below the median value, and decreased for higher available water values. However, in 1996, annual water balance was reversed yet drained water values increased for all estimated values of water reserve. Then in 1997, very heavy rainfall cancelled any differences and drained water values were identical for all values of available water. Finally, in 1999, only the lowest values for available water reserve induced any significant differences in drained water values. This example shows that drained water volumes are not proportionate to variations in available water reserve. This is due to the fact that the amount of water in the soil varies with the volume of water reaching the ground (precipitation minus canopy interception) as well as with the moment the water reaches the ground (rainfall distribution over the year); on the other hand, soil water content also depends on the amount of water leaving the soil (evapotranspiration). Transpiration is determined not only by atmospheric demand and leaf surface area but also by soil water content. These constant two-way exchanges between water availability, atmospheric demand and transpiration make it difficult to study variations in available soil water volume over time. Simply modifying the available water brings on a series of complex reactions that are impossible to predict without using a water balance model.

INTRODUCTION

Cadre général

Depuis 1993, les dépôts atmosphériques et les concentrations dans les solutions du sol prélevées à différentes profondeurs sont mesurés de façon hebdomadaire, en respectant un protocole très strict, sur un sous-ensemble de placettes du réseau RENECOFOR : le sous-réseau CATAENAT (Ulrich *et al* , 1998).

La mise en place du réseau CATAENAT a été motivée par plusieurs objectifs et parmi ceux-ci, la volonté de suivre dans un nombre d'écosystèmes restreint l'évolution de la qualité des solutions de sols afin d'alimenter des modèles sur la perte en éléments minéraux via le lessivage.

Le cycle biogéochimique des éléments nutritifs peut être décrit par des modèles simples à compartiments et à flux. Ces modèles permettent d'évaluer les variations de stock d'un élément donné en écrivant que cette variation est égale à la somme des flux entrant (apports atmosphériques + flux d'altération) et des flux sortant (exportation par les récoltes + pertes par drainage) de l'écosystème.

Les pertes par drainage sont un élément important du bilan, cependant s'il est possible de mesurer des concentrations en éléments minéraux dans les eaux gravitaires il n'est pas possible de mesurer expérimentalement les volumes d'eau drainée à différentes profondeurs dans le sol. Le recours à un calcul de bilan hydrique est donc nécessaire. C'est une application du principe de conservation de l'eau contenue dans un certain volume de sol. Un bilan hydrique consiste à solutionner l'équation : variation de la réserve en eau = précipitations au sol – transpiration de la végétation – drainage vertical.

L'objectif de cette étude était donc de calculer des bilans hydriques sur les placettes du sous-réseau CATAENAT en utilisant le modèle de Granier *et al*. (1995) ; modèle à pas de temps journalier développé spécialement pour les couverts forestiers.

L'utilisation d'un tel modèle requiert plusieurs variables : des données météorologiques d'une part et des paramètres décrivant le sol et le couvert d'autre part.

Données météorologiques

Dans le réseau RENECOFOR, un sous-réseau météorologique forestier a progressivement été mis en place de décembre 1994 à janvier 1996. Il comprend 26 stations automatisées implantées à proximité immédiate de 25 placettes de niveau 2 et 3, et d'une placette de niveau 1 (niveaux 3 et 2 selon la terminologie européenne). Un premier bilan du fonctionnement de ce réseau a été publié en 1996 par Ponette *et al*. et nous renvoyons le lecteur à ce document pour toute information pratique sur le fonctionnement du sous-réseau météorologique.

Données pédologiques

L'ensemble des données nécessaires au paramétrage du modèle de bilan hydrique ont été recueillies, ou dérivées, des informations compilées par Brêthes et Ulrich (1997 – Caractéristiques pédologiques des 102 peuplements du réseau RENECOFOR) et Ponette *et al*. (1997 – Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau RENECOFOR).

Traitement des données

Les concentrations de divers éléments (apports et solutions de sol) étant mesurées sur les placettes CATAENAT à des pas de temps et une précision très fine, il est important de quantifier la marge des erreurs introduites dans les calculs de bilan hydrique pour estimer les erreurs potentielles sur les pertes d'éléments minéraux des différents écosystèmes. Pour apporter quelques premiers éléments de réponse à ce problème nous avons souhaité comparer des calculs de bilan hydrique réalisés : i) à partir des mesures du sous-réseau météorologique ; ii) à partir des données Météo-France ; et iii) en faisant varier les estimations de réserves en eau utile de chacune des placettes.

Cette étude est divisée en trois parties :

La **première partie** concerne uniquement les données météorologiques. Elle a été entreprise pour évaluer la pertinence des données mesurées sur le sous-réseau météorologique pendant une courte période (1995-1999), l'objectif étant de vérifier la cohérence (ou l'absence de cohérence) entre les paramètres climatiques enregistrés sur les 26 sites du sous-réseau météorologique avec les paramètres relevés dans les stations Météo-France les plus proches de ces sites.

- Dans cette première partie nous voulions vérifier tout d'abord l'absence de biais grossiers (de fortes incohérences) entre les deux réseaux de mesure.

- Nous souhaitions ensuite évaluer les possibilités d'estimation des données climatiques pour les placettes RENECOFOR à partir de paramètres enregistrés par Météo-France, la question sous-jacente étant : peut-on remplacer les données manquantes dans les séries de mesures RENECOFOR à partir des séries temporelles Météo-France ?

    - Le modèle de bilan hydrique fonctionne à un pas de temps journalier à partir de données météorologiques continues. Si les fichiers météo comportent des données manquantes, ces dernières doivent absolument être remplacées par des estimations, ce qui pose problème si le manque de données couvre plusieurs journées.

    - La notion de *donnée manquante* peut être étendue aux périodes précédant l'installation du sous-réseau météorologique pour permettre la valorisation des mesures sur le sous-réseau CATAENAT depuis 1993, ou effectuer des études à long terme (de croissance radiale par exemple).

- Nous souhaitions enfin quantifier les écarts observés entre les mesures RENECOFOR et les mesures Météo-France afin d'estimer si le recours aux seules données Météo-France est satisfaisant (ou non) pour les placettes RENECOFOR ne faisant pas partie du sous-réseau météorologique.

L'objectif de la **seconde partie** de cette étude était d'estimer les flux d'eau drainée à différentes profondeurs à partir d'un modèle de bilan hydrique journalier (Granier et al., 1995). Cependant, l'utilisation de ce modèle, si elle requiert bien évidemment des données météorologique, nécessite également des paramètres propres à chacun des sols et des peuplements étudiés (interception, réserve en eau utile, etc.). L'acquisition de ces paramètres n'est pas triviale et la seule évaluation des réserves en eau utile fait l'objet d'un chapitre entier constituant la seconde partie de ce rapport.

Dans la **troisième partie**, nous présentons les résultats de la modélisation des bilans hydriques et des volumes d'eau drainée. Afin de quantifier la marge des erreurs introduites dans les calculs de bilan hydrique pour estimer les erreurs potentielles sur les pertes d'éléments minéraux, divers calculs sont réalisés : i) à partir des mesures du sous-réseau météorologique ; ii) à partir des mesures Météo-France ; et iii) en faisant varier les estimations de réserves en eau utile de chacune des placettes. Cette comparaison devait permettre de donner une première estimation des erreurs introduites dans les calculs de bilan hydrique en fonction des différents jeux de données utilisés et d'identifier les éléments devant être décrits plus précisément sur les placettes (description des sols ou des couverts par exemple).

Ce rapport est volontairement présenté comme un document de travail pour plusieurs raisons.

Il n'apporte aucune conclusion, ni résultat définitif à l'un ou l'autre des sujets abordés :

- les données météorologiques n'ont été étudiées que sur une courte période (1995-1999) et il serait souhaitable de vérifier si les relations observées entre les mesures du sous-réseau météorologique et les mesures Météo-France se confirment ou non dans le temps ;

- les calculs concernant les réserves en eau utile ont été réalisés sur la base d'une étude bibliographique qu'il sera sans doute nécessaire de compléter ;

- enfin, un seul modèle de bilan hydrique a été utilisé ici et d'autres modèles pourraient être testés. Le modèle utilisé est par ailleurs en améliorations constantes d'année en année.

Présenté comme un document de travail, ce rapport présente un grand nombre de tableaux, de figures et d'annexes, qui, s'ils ne facilitent pas la lecture, permettront de retrouver *a posteriori* tous les éléments permettant de mieux comprendre et réitérer les calculs réalisés.

PREMIERE PARTIE :
PARAMETRES CLIMATIQUES ENREGISTRES SUR LES PLACETTES DU RESEAU ET SUR LES POSTES METEO-FRANCE

L'acquisition de données météorologiques «locales», avec une résolution temporelle suffisamment fine, doit permettre une évaluation plus précise de certaines composantes du bilan hydrique, telles que l'interception des précipitations par le feuillage, le calcul de l'ETP ou l'évaporation par le couvert, le tout à un pas de temps journalier.

Cette première partie de notre étude a pour objet la vérification de la cohérence entre les paramètres climatiques enregistrés d'une part, sur les 26 placettes constituant le sous-réseau météorologique de RENECOFOR et d'autre part, dans les stations Météo-France les plus proches de ces 26 placettes sur la période 1995-1999.

Cette étude a pour but :

- de vérifier l'absence de biais grossiers entre les deux réseaux de mesure ;
- de vérifier s'il est possible d'estimer de façon satisfaisante des données climatiques pour les placettes RENECOFOR à partir de paramètres enregistrés par Météo-France (estimation de données manquantes par exemple) ;
- de quantifier la marge des erreurs introduites dans les calculs de bilan hydrique lors de l'utilisation de l'un ou de l'autre des jeux de données météorologiques ;
- et enfin d'estimer si le recours aux données Météo-France est satisfaisant, ou non, pour estimer les bilans hydriques et minéraux des placettes RENECOFOR ne faisant pas partie du sous-réseau météorologique.

1. SELECTION DES STATIONS METEOROLOGIQUES DE METEO-FRANCE

Les données météorologiques utilisées dans cette étude proviennent des stations du réseau national de Météo-France. Les stations ont été sélectionnées avec l'aide du Service Central d'Exploitation de la Météorologie (SCEM de Toulouse) et correspondent :

- aux stations les plus proches géographiquement des 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier ;
- aux stations pouvant fournir des séries journalières homogènes sur la période 1995 / 1999 ;
- aux stations pour lesquelles tout ou partie de l'ensemble des données journalières nécessaires au calcul des bilans hydriques est disponible.

Tous les paramètres climatiques nécessaires au calcul des bilans hydriques n'étant pas enregistrés dans chaque station Météo-France un ensemble de 65 postes a été sélectionné : 19 postes «précipitations» ; 16 postes «températures» ; 7 postes «températures + précipitations» et 23 postes «ETP»[1]. La liste de ces postes est présentée dans le **tableau 1** et l'**annexe météo 1**.

La distance entre les placettes RENECOFOR et les stations de référence est très variable. Pour les précipitations, 22 stations de référence sur 26 sont distantes de moins de 10 km des placettes RENECOFOR et 8 se situent à moins de 5 km. Pour les températures, la situation est moins satisfaisante avec seulement 8 stations distantes de moins de 10 km et 3 seulement à moins de 5 km. Enfin, pour les stations «ETP», une seule est située à moins de 10 km (**tableau 2**).

Les altitudes des stations de référence sont également assez différentes de celles des placettes RENECOFOR. Une différence de plus de 100 m d'altitude est observée pour 11 stations «pluie» et «températures» et pour 16 stations «ETP» ; les placettes RENECOFOR étant très majoritairement situées à des altitudes plus élevées que les postes Météo-France (**tableau 2**).

1 – Postes enregistrant les paramètres nécessaires au calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la formule de Penman (températures minimale et maximale, durée d'insolation ou rayonnement global, vitesse du vent et tension de vapeur d'eau ou humidité relative) ainsi que les précipitations.

N°	Poste	P	T	ETP	Placette
5098001	Les Orres	x			SP 05
8302003	Monthermé	x			EPC 08
10401001	Vendeuvre sur Barse	x			CHS 10
11177001	Joucou	x			SP 11
25411004	Morteau	x			SP 25
35238003	Rennes-Gallet	x			CHS 35
40201001	Mugron	x			CHP 40
44015001	Blain	x			PS 44
54039001	Baccarat	x			HET 54a
57509001	Nitting	x			SP 57
58125002	Gien sur Cure	x			DOU 71
63257001	Olby	x			EPC 63
67005001	Alteckendorf	x			PS 67a
68188002	Linthal-Epurat	x			SP 68
72124001	Ecommoy	x			PM 72
73215001	La Rochette	x			SP 38
74211001	Pers-Jussy	x			EPC 74
76378001	Jumièges	x			PS 76
85018001	Beauvoir sur mer	x			PM 85
20108002	Evisa-Aïtone	x	x		PL 20
30339001	Valleraugue-Mt-Aigoual	x	x		HET 30
40218002	Parleboscq-Trey	x	x		PM 40c
41018001	Blois	x	x		CHS 41
59384001	Maroilles	x	x		CHP 59
64422004	Oloron-St-Marie	x	x		HET 64
87117001	Peyrat le Mazet	x	x		EPC 87
8105003	Montcy-St-Pierre		x		EPC 08
10060001	Breviandes		x		CHS 10
11352001	St-Louis et Parahou		x		SP 11
25462001	Pontarlier		x		SP 25
27116001	Brionne		x		PS 76
35236002	Redon		x		PS 44
37213001	St-Christophe sur le Nais		x		PM 72
40031001	Begaar		x		CHP 40
54040001	Badonviller		x		HET 54a
58062001	Château-Chinon		x		DOU 71
67414001	Rothau		x		SP 57
67476001	Stattmatten		x		PS 67a
68102001	Geishouse		x		SP 68
73220001	St-Alban des Hurtières		x		SP 38
74024001	Ayze		x		EPC 74
85234001	St-Jean de Mont		x		PM 85
5046001	Embrun		x	x	SP 05
35281001	Rennes-St-Jacques		x	x	CHS 35
63113001	Clermont-Ferrand		x	x	EPC 63
2320001	St-Quentin			x	CHP 59
10030001	Troyes-Barberey			x	CHS 10
11069001	Carcassonne			x	SP 11
12145001	Millau			x	HET 30
20050001	Calvi			x	PL 20
25056001	Besançon			x	SP 25
37179001	Tours-Parcay-Meslay			x	CHS 41
40088001	Dax			x	CHP 40
40192001	Mont-de-Marsan			x	PM 40c
44020001	Nantes-Bouguenais			x	PM 85 et PS 44
51183001	Reims-Courcy			x	EPC 08
54526001	Nancy-Essey			x	HET 54a
58160001	Nevers-Marzy			x	DOU 71
64549001	Pau-Uzein			x	HET 64
67124001	Strasbourg-Entzheim			x	PS 67a et SP 57
68205001	Colmar-Meyenheim			x	SP 68
72181001	Le Mans			x	PM 72
73329001	Chambery-Aix-Voglans			x	EPC 74 et SP 38
76116001	Rouen-Boos			x	PS 76
87085006	Limoges-Bellegarde			x	EPC 87

Tableau 1 : Postes Météo-France et paramètres climatiques correspondant aux 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier. P = précipitations ; T = températures minimale et maximale ; ETP = vitesse du vent + humidité relative + rayonnement global (ou durée d'insolation) + températures minimale et maximale + précipitations.

Table 1: *National weather stations (Météo-France) and climatic parameters associated to the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network. P = precipitation ; T = air temperature ; ETP = wind speed + relative humidity + global solar radiation (or solar illumination) + min. and max. air temperature + precipitation.*

	Distance (km)			Différence d'altitude (m)		
Placette	**T**	**P**	**ETP**	**T**	**P**	**ETP**
CHP 40	11,0	6,7	18,8	0	-59	-11
CHP 59	5,5	5,5	56,1	-11	-11	51
CHS 10	27,7	8,3	32,6	45	-20	48
CHS 35	18,7	9,9	18,7	44	13	44
CHS 41	5,6	5,6	42,2	17	17	19
DOU 71	11,6	5,0	75,6	52	15	475
EPC 08	19,8	4,6	91,4	329	19	389
EPC 63	15,4	6,3	15,4	621	135	621
EPC 74	17,7	15,0	75,3	750	620	965
EPC 87	0,9	0,9	49,7	200	200	248
HET 30	3,3	3,3	41,9	-167	-167	685
HET 54a	14,7	8,4	40,9	-7	17	113
HET 64	6,1	6,1	32,8	165	165	217
PL 20	1,1	1,1	29,1	100	100	1043
PM 40c	12,6	12,7	42,8	-2	-2	91
PM 72	16,8	9,8	24,4	89	64	102
PM 85	11,4	8,6	50,4	-2	-3	-21
PS 44	23,4	7,6	45,7	28	24	12
PS 67a	22,3	10,8	34,0	55	1	25
PS 76	28,7	5,7	32,5	11	40	-81
SP 05	9,2	7,7	9,2	489	-85	489
SP 11	19,8	4,7	42,2	270	350	824
SP 25	12,9	13,8	47,0	170	190	693
SP 38	12,1	3,8	30,4	480	750	865
SP 57	18,8	9,7	38,0	20	130	250
SP 68	7,7	1,0	21,2	20	208	471
Minimum	0,9	0,9	9,2	-167,0	-167,0	-81,0
Maximum	28,7	15,0	91,4	750,0	750,0	1043,0
Moyenne	13,6	7,0	39,9	144,8	104,3	331,8

Tableau 2 : Distance et différence d'altitude entre les placettes du sous-réseau météorologique forestier et les stations de référence Météo-France.

Table 2: *Distance and difference in height between the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network and the reference weather stations (Météo-France).*

2. PRECIPITATIONS

Les précipitations mesurées sur la placette PL 20 du réseau RENECOFOR ayant été transmises gracieusement à Météo-France Evisa jusqu'en 1998, la comparaison des données n'est effectuée qu'à partir des mesures des 25 autres sites.

2.1. Données journalières

2.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles (n=39 283) la corrélation entre les précipitations mesurées sur les placettes du réseau RENECOFOR et les stations Météo-France est de 0,88 (r^2=0,77), mais passe à 0,86 (r^2=0,74) si l'on ne prend pas en compte les jours sans pluie synchrones dans les deux réseaux de mesures ($n_{(0,0)}$=16 236 soit 41% des données journalières). Dans la suite du texte, tous les résultats sont exprimés sans ces jours sans pluie.

Le niveau de corrélation entre les deux séries de données est relativement stable dans le temps, sauf en 1996 où l'on note une baisse significative de la corrélation (r^2) par rapport aux autres années (**tableau 3**).

La qualité des corrélations est par contre fortement dépendante de la saison. Pour les mois de juillet et août, les corrélations sont nettement moins fortes qu'au printemps ou qu'en automne, ceci pouvant s'expliquer par une plus forte fréquence d'averses orageuses très localisées. La faible corrélation obtenue en février peut s'expliquer par ailleurs par une limitation intrinsèque des instruments de mesure : les pluviomètres à augets basculant utilisés sur le réseau RENECOFOR ne convenant pas à la mesure des précipitations solides (**tableau 4**).

Année	Effectifs	R^2	C.V.
1995	2720	0,77	91,3%
1996	5029	0,65	102,0%
1997	5065	0,76	84,9%
1998	4973	0,76	81,9%
1999	5260	0,77	85,2%

Tableau 3 : Régressions linéaires entre les précipitations journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction de l'année de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination (R^2) et coefficient de variation[1].

Table 3 : *Linear regressions between daily precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France weather stations according to year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Mois	Effectifs	R^2	C.V.
Janvier	2000	0,67	106,5%
Février	1962	0,53	109,4%
Mars	1611	0,70	93,6%
Avril	1702	0,80	59,8%
Mai	1637	0,82	71,2%
Juin	1577	0,69	80,2%
Juillet	1534	0,60	105,1%
Août	1656	0,60	106,4%
Septembre	1899	0,85	62,0%
Octobre	2312	0,84	84,2%
Novembre	2547	0,80	85,9%
Décembre	2610	0,76	93,2%

Tableau 4 : Régressions linéaires entre les précipitations journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction du mois. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 4 : *Linear regressions between daily precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to the month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

	Modèle 1			Modèle 2			
Placette	Effectif	R^2	C.V.	Effectif	N cov ratio	R^2	C.V.
CHP 40	885	0,72	76,4%	821	7,2%	0,92	42,2%
CHP 59	613	0,60	94,8%	546	10,9%	0,80	60,7%
CHS 10	887	0,80	65,8%	808	8,9%	0,94	37,7%
CHS 35	1114	0,81	64,3%	1015	8,9%	0,94	37,5%
CHS 41	934	0,82	61,8%	876	6,2%	0,95	32,1%
DOU 71	1340	0,85	65,1%	1245	7,1%	0,96	34,0%
EPC 08	1167	0,83	63,1%	1088	6,8%	0,96	31,1%
EPC 63	881	0,68	87,1%	793	10,0%	0,88	55,0%
EPC 74	484	0,60	91,8%	427	11,8%	0,84	62,7%
EPC 87	886	0,83	50,8%	794	10,4%	0,95	28,0%
HET 30	772	0,70	122,2%	721	6,6%	0,91	67,6%
HET 54a	933	0,77	73,1%	846	9,3%	0,94	39,8%
HET 64	1255	0,81	73,8%	1160	7,6%	0,94	43,5%
PM 40c	972	0,67	87,7%	902	7,2%	0,86	55,2%
PM 72	966	0,80	64,7%	893	7,6%	0,93	39,2%
PM 85	926	0,82	59,2%	834	9,9%	0,93	38,1%
PS 44	999	0,74	77,2%	911	8,8%	0,91	45,4%
PS 67a	881	0,72	77,5%	791	10,2%	0,90	49,6%
PS 76	1226	0,74	84,7%	1143	6,8%	0,93	44,5%
SP 05	577	0,53	103,1%	545	5,5%	0,85	51,9%
SP 11	796	0,73	79,2%	714	10,3%	0,89	49,7%
SP 25	862	0,72	67,7%	768	10,9%	0,89	43,9%
SP 38	758	0,75	66,6%	676	10,8%	0,92	39,4%
SP 57	1045	0,78	72,4%	931	10,9%	0,92	46,7%
SP 68	888	0,80	68,3%	800	9,9%	0,94	39,5%

Tableau 5 : Régressions linéaires par placette entre les précipitations journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Modèle 1 – ensemble des données. Modèle 2 – «outliers» exclus (*cf. texte*). Nombre d'observations, coefficient de détermination, coefficient de variation et nombre «d'outliers» exprimé en pourcentage de l'effectif initial (N cov ratio).

Table 5 : *Linear regressions for each site between daily precipitations recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Modèle 1 - whole dataset. Modèle 2 - without outliers. Number of observations, coefficient of determination, coefficient of variation and number of outliers (in % of the number of observations).*

1 - Coefficient de variation «résiduel» = mesure des variations relatives par rapport à la droite de régression = écart type des résidus rapporté à la moyenne générale de la population. La valeur est exprimée en pourcentage. C'est une mesure de l'ampleur relative de l'erreur aléatoire.

Pour l'ensemble des données, la moyenne des écarts entre la pluviométrie enregistrée sur les placettes RENECOFOR et les sites Météo-France est égale à 0,26 mm et la médiane est égale à 0,20 mm. Les écarts minimum et maximum sont de –133,8 et +98,3 mm et 90% des écarts sont compris entre les bornes –4,60 et +5,60 mm, soit des valeurs raisonnables.

2.1.2. Analyses par placette

2.1.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 2)

Les corrélations entre les précipitations journalières mesurées dans les deux réseaux sont toujours significatives au seuil de 0,1‰, mais la qualité des régressions est assez médiocre : 53 à 85% (moyenne 74%) de la variabilité des pluies sur les placettes RENECOFOR peut être expliquée par les hauteurs des pluies enregistrées par Météo-France et on observe une très forte dispersion des nuages de points (**tableau 5**, **annexe météo 2**).

Cette forte dispersion entraîne une forte imprécision dans l'estimation des pentes et des ordonnées à l'origine des droites de régressions. Celles-ci sont rendues «instables» par des observations dont les valeurs sont atypiques par rapport à l'ensemble des données de chaque placette, le critère des moindres carrés étant très sensible à des observations présentant des valeurs trop singulières (*outliers*). L'identification, puis l'exclusion, des observations influentes (option covratio, SAS/REG, 1991) permet d'augmenter la précision sur les paramètres des équations (figure 1, tableau 5).

Les estimations des ordonnées à l'origine sont non significativement différentes de zéro pour 7 placettes et significativement supérieures à zéro pour 18 placettes. Pour les très faibles précipitations, les hauteurs de pluie enregistrées sur les placettes RENECOFOR sont donc, en moyenne, plus fortes que celles enregistrées par Météo-France. Les ordonnées à l'origine significativement différentes de zéro (au seuil de 0,1‰) restent toutefois majoritairement inférieures ou égales à 1 mm, variant de 0,22 ± 0,17 mm pour CHS 41 à 0,80 ± 0,48 pour SP 11. Seules les placettes HET 30 et EPC 74 présentent des ordonnées à l'origine supérieures à 1 mm.

Les estimations des pentes obtenues sans les points singuliers sont globalement plus proches de la valeur 1 que celles obtenues à partir de l'ensemble des points mais les pentes restent significativement différentes de l'unité (au seuil de 0,1‰) pour 15 placettes, ce qui indique que les écarts journaliers entre les deux réseaux de mesure ne sont pas indépendants de la hauteur des pluies journalières.

Seules les placettes EPC 08 et PS 44 présentent à la fois une ordonnée à l'origine non significativement différente de 0 et une pente non significativement différente de 1.

Pour les placettes CHS 10, CHS 41, EPC 63, EPC 87, HET 30, SP 05, SP 11 et SP 57, seule l'ordonnée à l'origine est différente de zéro ce qui se traduit par des écarts constants et assez faibles par rapport aux pluies enregistrées par Météo-France (+de 0,22 mm dans le cas de CHS 41 à +1,05 mm dans le cas de HET 30).

Pour les 15 autres placettes, les ordonnées à l'origine et les pentes sont respectivement significativement différentes de 0 et 1, seules les pentes de DOU 71 et SP 38 étant supérieures à 1.

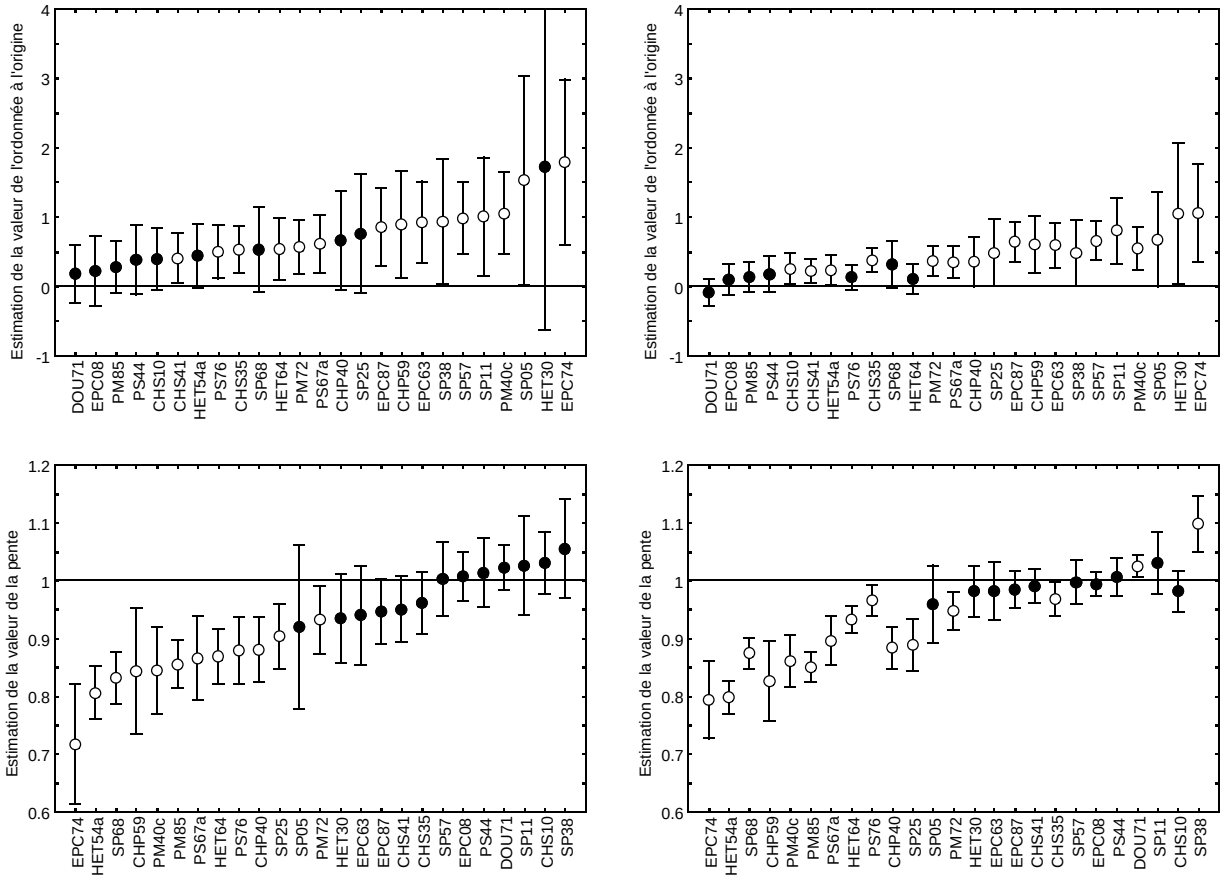


Figure 1 : Régressions linéaires entre les précipitations journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine (en haut) et des pentes (en bas) et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. A gauche, ensemble des données disponibles ; à droite, «*outliers*» exclus (*cf.* texte). Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes).

Figure 1: *Linear regressions between daily precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept (top) and slope (bottom); whole dataset (left) and without outliers (right). Empty circles correspond to the values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

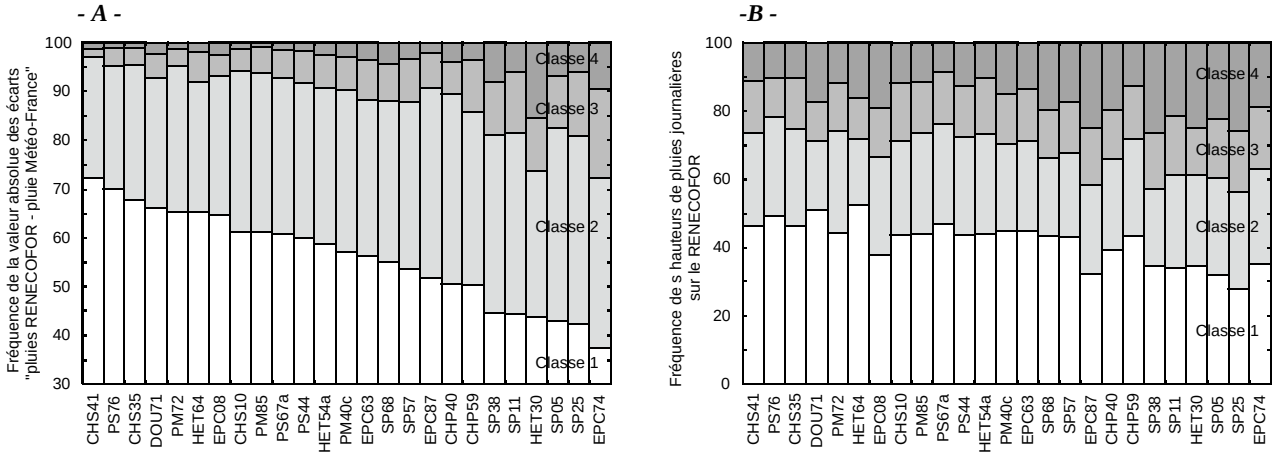


Figure 2 : **A** - fréquence de la valeur absolue des écarts entre les hauteurs de pluie journalières mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. **B** - fréquence des hauteurs de pluie journalières enregistrées sur les placettes de RENECOFOR. Classe 1 = [0, 1 mm] ; classe 2 =]1, 5 mm] ; classe 3 =]5, 10 mm] ; classe 4 = > 10 mm.

Figure 2: **A** - f*requency of the absolute value of the differences between the daily precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France).* **B** - *Frequency of daily rainfall recorded in the RENECOFOR network. Classe 1 = [0-1 mm] ; classe 2 =]1-5 mm] ; classe 3 =]5-10 mm] ; classe 4 = > 10 mm.*

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
CHP 40	885	-0,28	-38,30	46,10	0,20	-5,96	-3,60	-1,20	0,80	3,00	4,56	21,2
CHP 59	613	0,27	-26,80	23,60	0,20	-5,88	-3,50	-0,80	1,20	4,10	6,24	16,9
CHS 10	887	0,38	-16,80	28,40	0,20	-2,87	-1,80	-0,50	0,90	2,80	4,47	7,7
CHS 35	1114	0,40	-15,80	21,10	0,20	-2,70	-1,20	-0,20	0,90	2,50	3,73	5,8
CHS 41	934	0,23	-22,60	28,00	0,10	-2,17	-1,00	-0,20	0,60	1,80	2,73	5,5
DOU 71	1340	0,24	-49,40	42,00	-0,10	-3,00	-1,80	-0,40	0,50	2,80	4,81	11,2
EPC 08	1167	0,19	-29,20	44,80	0,00	-3,40	-2,00	-0,60	0,60	2,40	4,34	13,1
EPC 63	881	0,71	-25,40	29,10	0,20	-4,00	-1,70	-0,20	1,40	4,30	6,30	14,4
EPC 74	484	0,06	-41,40	27,20	0,40	-10,66	-6,54	-1,23	2,33	6,20	8,79	39,6
EPC 87	886	0,53	-28,20	14,50	0,40	-4,05	-1,90	-0,20	1,60	3,70	5,30	11,6
HET 30	772	0,64	-133,80	89,40	0,30	-15,94	-4,78	-0,60	2,60	8,98	15,80	236,6
HET 54a	933	-0,59	-36,40	20,50	-0,10	-5,74	-3,60	-1,40	0,30	1,60	3,50	11,1
HET 64	1255	-0,09	-51,60	22,50	-0,10	-4,53	-2,40	-0,30	0,50	2,46	4,40	13,5
PM 40c	972	0,40	-64,40	29,20	0,20	-4,00	-2,30	-0,60	1,00	3,60	6,09	17,2
PM 72	966	0,32	-20,60	19,40	0,20	-2,68	-1,60	-0,30	0,80	2,35	3,60	6,9
PM 85	926	-0,46	-19,00	14,30	-0,20	-4,50	-2,90	-1,10	0,30	1,50	2,40	6,4
PS 44	999	0,31	-11,50	35,30	0,20	-4,11	-2,42	-0,60	0,80	2,80	4,91	10,9
PS 67a	881	0,18	-16,40	14,80	0,10	-3,50	-2,00	-0,40	0,40	2,70	4,30	7,4
PS 76	1226	0,09	-53,00	36,20	0,00	-2,98	-1,50	-0,30	0,50	2,00	3,60	9,1
SP 05	577	1,03	-24,00	98,30	0,20	-6,10	-3,70	-1,00	1,70	5,80	9,60	56,7
SP 11	796	1,15	-37,00	50,80	0,40	-5,00	-2,50	-0,50	2,60	6,40	9,10	26,6
SP 25	862	-0,28	-31,30	29,50	0,00	-9,00	-5,29	-1,60	1,40	4,70	6,49	26,1
SP 38	758	1,28	-23,00	28,60	0,40	-5,12	-3,00	-0,30	2,68	6,40	11,12	25,7
SP 57	1045	1,00	-29,80	25,10	0,20	-3,18	-1,70	-0,10	1,80	4,70	7,48	13,7
SP 68	888	-0,71	-42,60	16,20	-0,10	-8,00	-4,30	-1,00	0,60	2,40	3,90	18,6

Tableau 6 : Statistiques par placette des écarts journaliers «pluies RENECOFOR – pluies Météo-France». Moyenne des écarts, valeurs minimum et maximum ; médiane des écarts, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95% ; variance des écarts (mm).

Table 6: *Summary statistics for the daily differences « RENECOFOR precipitation – Météo-France precipitation». Means, minimum and maximum values, medians, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variances (mm).*

2.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Le **tableau 6** présente quelques statistiques descriptives des écarts journaliers entre la pluviométrie enregistrée sur les placettes RENECOFOR d'une part et les sites Météo-France d'autre part.

La distribution des écarts est très variable d'une placette à l'autre. Pour les placettes CHS 41, DOU 71, HET 64, PS 67a et PS 76, l'amplitude des écarts est minimale avec une distance centile 75% - centile 25% inférieure à 1 mm. A l'opposé, cette distance est supérieure à 3 mm pour les placettes EPC 74, HET 30, SP 11 et SP 25.

Considérés en valeurs absolues, les écarts inférieurs ou égaux à 1 mm sont le plus souvent majoritaires. Ils représentent plus de 50% des écarts pour 19 placettes ; plus de 60% pour 10 placettes et plus de 70% pour 2 placettes. La fréquence des écarts de plus de 5 mm peut cependant être importante : plus de 10% pour les placettes CHP 40, CHP 59, EPC 63, SP 05, SP 11, SP 25, SP 38, SP 57, SP 68 ; plus de 20% pour les placettes EPC 74 et HET 30 (**figure 2**).

Pour la majorité des placettes, la moyenne mensuelle de la valeur absolue des écarts journaliers est dépendante du mois de mesure. Cet «effet mois» est significatif au seuil de 1% pour les placettes CHP 40, CHP 59, CHS 10, CHS 35, CHS 41, EPC 63, HET 30, HET 54a, PM 40c, PM 72, PM 85, PS 44, PS 67a, PS 76, SP 25 et SP 68. Pour toutes les placettes, «l'effet mois» correspond à un effet saisonnier. Pour les placettes HET 30 et SP 68, les plus grands écarts sont observés en hivers et en automne, pour les autres placettes les écarts les plus forts sont observés pendant la période de végétation (avril à septembre) - (**figure 3**). Cet effet saisonnier est également significatif sur les différences journalières : au seuil de 1% pour EPC 74, EPC 87, SP 25 et SP 68 ; au seuil de 5% pour DOU 71, EPC 63, HET 30, SP 05, SP 11 et SP 38. Pour ces placettes, la moyenne des écarts journaliers n'est donc pas constante tout au long de l'année (**tableau 7**).

Il faut noter que si les écarts de pluviosité tendent à augmenter avec l'éloignement des postes ou leurs différences d'altitudes, cette dérive n'est pas systématique et non proportionnelle (exemple des placettes HET 64 et CHP 59 – **figure 2** et **tableau 2**). La variabilité spatiale et temporelle de la pluie est un phénomène complexe encore difficile à modéliser (Benichou et Le Breton, 1987).

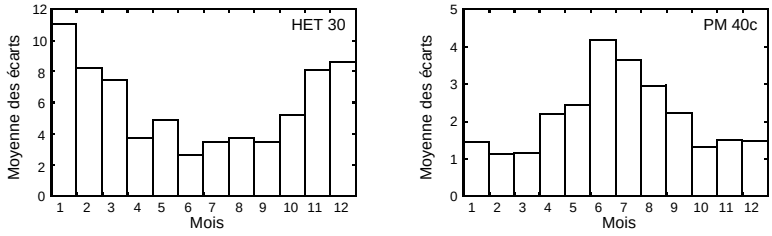


Figure 3 : Moyennes mensuelles de la valeur absolue des écarts journaliers (mm) entre les pluies enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Exemple de «l'effet mois» sur la valeur des écarts pour les placettes HET 30 et PM 40c.

Figure 3: *Monthly average (mm) of the absolute value of the differences between the daily precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Example of the "month effect" on the differences for HET 30 and PM 40c.*

Placette	Hiver	Printemps	Ete	Automne	Signif.
CHP 40	0,17	-0,75	-0,55	-0,10	*ns*
CHP 59	0,46	-0,19	0,27	0,44	*ns*
CHS 10	0,19	0,04	0,77	0,48	*ns*
CHS 35	0,57	0,64	0,13	0,29	*ns*
CHS 41	0,33	0,33	0,20	0,12	*ns*
DOU 71	0,59	0,21	-0,17	0,37	5%
EPC 08	0,51	0,32	0,20	-0,23	*ns*
EPC 63	0,43	1,36	0,27	0,75	5%
EPC 74	-1,13	1,48	1,74	-0,74	1%
EPC 87	-0,20	0,59	0,82	0,77	1%
HET 30	-2,10	3,00	0,92	1,18	5%
HET 54a	-0,68	-0,69	-0,36	-0,60	*ns*
HET 64	-0,12	0,14	-0,12	-0,21	*ns*
PM 40c	0,31	0,40	0,55	0,37	*ns*
PM 72	0,37	0,24	0,46	0,23	*ns*
PM 85	-0,33	-0,66	-0,68	-0,31	*ns*
PS 44	0,29	-0,04	0,48	0,45	*ns*
PS 67a	0,42	0,10	-0,09	0,24	*ns*
PS 76	0,18	0,23	0,00	0,00	*ns*
SP 05	0,42	0,61	2,84	0,37	5%
SP 11	0,18	1,51	1,38	1,48	5%
SP 25	-1,70	0,31	0,62	-0,63	1%
SP 38	0,79	1,98	1,74	0,72	5%
SP 57	0,96	1,15	0,69	1,14	*ns*
SP 68	-1,73	-0,10	0,06	-0,90	1%

Tableau 7 : Moyennes saisonnières (mm) des différences journalières «pluies RENECOFOR – pluies Météo-France». Hiver = janvier, février, mars ; printemps = avril, mai, juin ; été = juillet, août, septembre ; automne = octobre, novembre, décembre. Signif. = seuil de signification de «l'effet saisonnier».

Table 7: *Seasonal average (mm) of the differences between the daily precipitations recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Winter = January, February, March; spring = April, May, June; summer = July, August, September; autumn = October, November, December. Signif. = significance level for the "seasonal effect".*

2.2. Cumuls mensuels

2.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 3)

Les corrélations entre les cumuls mensuels des précipitations journalières sont toujours significatives au seuil de 0,1‰ et la qualité des régressions est meilleure qu'au pas de temps journalier (**tableau 8**). Pour les placettes CHP 59, HET 54a, PM 40c, PM 72, PS 44, PS 76, SP 05 et SP 38 les r^2 progressent de 0,2 point et de 0,1 point pour les placettes CHP 40, CHS 10, CHS 35, CHS 41, DOU 71, EPC 08, EPC 63, HET 64, PM 85, PS 67a, SP 11 et SP 57. Pour les placettes EPC 74, EPC 87, HET 30, SP 25 et SP 68 les corrélations sont peu améliorées.

Au pas de temps mensuel, toutes les estimations des ordonnées à l'origine sont non significativement différentes de 0 (au seuil de 0,1‰) et les pentes ne sont significativement différentes de 1 que pour 8 placettes : inférieures à 1 pour HET 54a, PM 85 et SP 68 et supérieures à 1 pour CHS 35, PM 72, SP 11, SP 38 et SP 57. Les estimations des pentes significativement différentes de l'unité, variant de 0,86 ± 0,06 mm (HET 54a) à 1,22 ± 0,10 mm (SP 57).

2.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Les écarts mensuels entre les deux réseaux de mesures s'échelonnent de –400 à +202 mm (-139 à +132 mm sans la placette HET 30). Sur l'ensemble des données disponibles, l'écart moyen est de 4,5 mm et 90% des écarts sont compris entre –29 et +39 mm (**tableau 9**). Pour les placettes CHP 40, HET 54a, HET 64, PM 85, SP 25 et SP 68 la moyenne des écarts mensuels est inférieure à zéro. L'amplitude des écarts est la plus faible pour les placettes CHS 10, CHS 35, CHS 41, HET 54a, PM 72 et PM 85 avec une distance centile 95% - centile 5% inférieure à 40 mm. Cette distance est supérieure à 60 mm pour les placettes EPC 74, EPC 87, HET 30, SP 05, SP 11, SP 25 et SP 68.

Sur l'ensemble des données mensuelles (n=1 381), 32% des valeurs absolues des écarts sont inférieures ou égales à 5 mm et 53% sont inférieures ou égales à 10 mm. Pour 17 placettes, les écarts de ±10 mm sont majoritaires (**figure 4**), mais pour les placettes SP 11, SP 38, HET 30, SP 25 et SP 57 les écarts de pluviométrie de plus de 50 mm (classes 3 et 4) représentent plus de 50% des données mensuelles.

Placette	Effectif	R^2	C.V.
CHP 40	55	0,87	24,1%
CHP 59	35	0,87	25,5%
CHS 10	51	0,94	16,5%
CHS 35	60	0,95	13,5%
CHS 41	58	0,96	13,0%
DOU 71	58	0,95	15,1%
EPC 08	60	0,93	18,5%
EPC 63	47	0,77	25,8%
EPC 74	31	0,66	35,1%
EPC 87	55	0,90	18,7%
HET 30	52	0,73	51,2%
HET 54a	51	0,95	12,8%
HET 64	55	0,93	11,9%
PM 40c	55	0,89	20,3%
PM 72	60	0,96	12,7%
PM 85	59	0,96	14,3%
PS 44	59	0,93	19,2%
PS 67a	51	0,82	23,7%
PS 76	60	0,93	20,1%
SP 05	52	0,69	36,9%
SP 11	52	0,87	22,3%
SP 25	53	0,72	26,2%
SP 38	52	0,91	16,0%
SP 57	51	0,93	16,9%
SP 68	50	0,85	26,7%

Tableau 8 : Régressions linéaires entre les précipitations mensuelles enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 8: *Linear regressions between monthly precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

		Ecarts en mm						Ecarts en % des pluies Météo-France					
Placette	**N**	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**C 5%**	**C 95%**	**Médiane**	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**C 5%**	**C 95%**	**Médiane**
CHP 40	55	-99,9	66,9	-4,6	-37,8	18,2	-2,4	-100,0	56,6	-6,1	-49,1	20,2	-2,0
CHP 59	35	-36,7	72,8	4,8	-23,0	30,6	5,0	-36,2	433,3	23,7	-34,1	69,5	8,8
CHS 10	51	-19,3	50,4	6,7	-9,0	28,1	4,1	-53,8	68,2	10,5	-17,1	45,1	7,8
CHS 35	60	-18,1	44,6	7,4	-4,7	23,8	6,5	-46,8	134,8	19,1	-9,0	73,9	12,0
CHS 41	58	-15,0	29,2	3,7	-7,1	18,0	3,4	-36,2	42,9	6,9	-20,5	33,1	6,7
DOU 71	58	-64,1	86,5	5,6	-15,5	28,9	4,1	-70,7	81,4	5,3	-26,1	34,2	5,9
EPC 08	60	-46,6	101,0	3,6	-22,0	35,3	1,6	-40,3	68,2	3,3	-24,3	33,0	2,2
EPC 63	46	-74,7	62,0	13,0	-16,6	35,4	15,6	-75,1	107,1	26,4	-17,6	67,9	26,5
EPC 74	31	-116,2	66,1	1,0	-59,6	33,8	6,6	-53,6	54,0	7,8	-49,2	46,6	16,8
EPC 87	55	-55,1	42,0	8,6	-32,5	40,7	9,0	-53,7	131,3	12,4	-31,0	46,3	12,1
HET 30	51	-399,5	201,8	9,4	-153,7	157,7	12,9	-100,0	139,4	18,6	-65,5	96,8	24,6
HET 54a	51	-37,5	18,0	-10,9	-33,8	6,0	-7,4	-38,2	173,1	-7,8	-31,4	14,6	-12,7
HET 64	55	-38,3	23,6	-2,1	-23,9	21,3	-3,4	-44,1	55,9	0,1	-23,5	29,1	-1,8
PM 40c	55	-48,5	56,6	7,1	-10,2	38,9	4,5	-35,8	250,0	18,4	-20,9	104,8	6,5
PM 72	60	-17,7	25,7	5,1	-11,8	19,8	4,3	-43,3	792,3	22,8	-25,3	44,9	9,4
PM 85	59	-35,0	8,0	-7,2	-26,5	6,4	-3,8	-42,0	100,0	-10,3	-35,6	13,4	-9,9
PS 44	58	-42,4	46,1	5,3	-12,3	31,2	3,4	-37,7	1700,0	39,8	-30,7	67,3	8,8
PS 67a	51	-48,2	31,3	3,1	-18,9	22,6	2,6	-53,2	79,1	7,0	-34,2	41,0	6,2
PS 76	60	-42,5	43,6	1,9	-20,3	29,2	2,1	-58,2	56,9	3,2	-34,8	38,7	4,7
SP 05	51	-21,9	131,7	11,4	-15,8	59,1	1,2	-47,6	469,3	27,1	-21,9	89,2	1,4
SP 11	52	-38,0	81,3	17,6	-25,1	48,4	19,3	-48,3	110,4	29,5	-26,1	82,7	30,9
SP 25	53	-103,4	76,4	-4,4	-67,0	43,1	0,0	-47,8	85,4	0,0	-37,8	39,2	-0,1
SP 38	52	-30,0	61,9	18,6	-6,6	50,7	16,2	-35,7	62,1	22,1	-7,6	52,0	21,9
SP 57	51	-47,3	71,4	20,4	-7,1	51,0	17,9	-82,3	123,8	29,0	-12,5	65,6	29,4
SP 68	50	-139,2	25,9	-12,6	-72,2	16,5	-3,2	-100,0	51,8	-9,3	-59,5	17,4	-5,3

Tableau 9 : Statistiques par placette des écarts mensuels entre les pluies mesurées sur le réseau RENECOFOR et par Météo-France. Ecarts minimum et maximum, moyenne, centiles 5 et 95%, médiane des écarts. A gauche, valeurs des écarts «RENECOFOR – Météo-France» (mm) ; à droite valeurs des écarts relatifs «(RENECOFOR – Météo-France) / MétéoFrance» (pourcentage).

Table 9: *Summary statistics for the differences between the monthly precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Minimum and maximum values, means, percentiles 5 and 95%, median. Left = differences between RENECOFOR and Météo-France (in mm). Right = relative differences between "(RENECOFOR – Météo-France) / MétéoFrance" (percentage).*

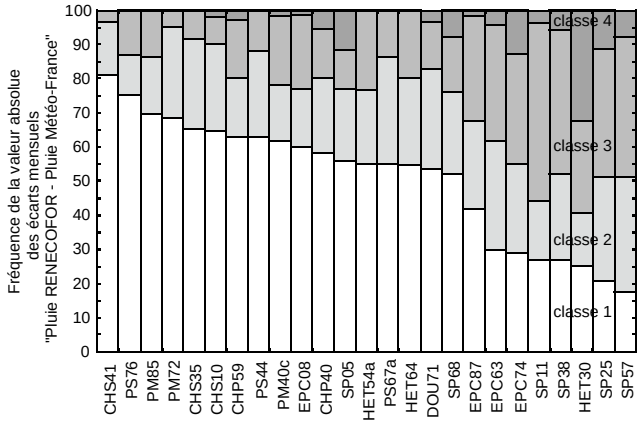


Figure 4 : Fréquence de la valeur absolue des écarts entre les hauteurs de pluies mensuelles mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 10 mm[; classe 2 = [10, 20 mm[; classe 3 = [20, 50 mm[; classe 4 = 50 mm.

Figure 4: *Frequency of the absolute value of the differences between the monthly precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Classe 1 = [0-10 mm[; classe 2 = [10-20 mm[; classe 3 = [20-50 mm[;classe 4 = =50 mm.*

Au pas de temps mensuel, les écarts entre les hauteurs de pluies peuvent donc sembler assez faibles en majorité. Cependant, ces écarts peuvent représenter une fraction importante de la pluviosité mensuelle. Si l'on compare la valeur absolue des écarts (en mm) à leur valeur relative (en % des pluies mesurées par Météo-France)[2], on constate qu'il existe une relation positive entre ces deux grandeurs, mais également une très forte dispersion des valeurs : de faibles écarts en valeur absolue peuvent représenter une forte proportion des pluies incidentes mensuelles de référence. Pour PS 44 par exemple, la moyenne des écarts mensuels entre les pluies enregistrées sur le réseau RENECOFOR et par Météo-France est de 5,3 mm, soit une valeur assez faible, mais la moyenne des écarts relatifs correspond à une valeur d'environ 40% (**tableau 9**).

2.3. Cumuls annuels (*cf.* annexe météo 4)

Au pas de temps annuel, la majorité des placettes RENECOFOR présentent un bilan de précipitations positif par rapport aux stations Météo-France : pour CHP 59, CHS 10, CHS 35, DOU 71, EPC 63, PM 72, PS 44, SP 05, SP 11, SP 38 et SP 57 ce bilan est toujours positif ; pour CHS 41, EPC 87, HET 30, PM 40c et PS 76 la pluviométrie d'une seule année est inférieure à celle enregistrée par Météo-France ; pour EPC 08 et PS 67a la pluviométrie de deux années est inférieure à celle enregistrée par Météo-France. Seules les placettes CHP 40, EPC 74, HET 54a, HET 64, PM 85, SP 25 et SP 68 présentent des cumuls globalement inférieurs à ceux de Météo-France (**tableau 10**).

Les écarts entre les pluies enregistrées sur le RENECOFOR et par Météo-France s'échelonnent de –718 à +698 mm, 90% des écarts étant compris dans les bornes –147 / +246 mm. En valeurs relatives par rapport aux pluies enregistrées par Météo-France, les écarts varient de –33 à +43% des précipitations annuelles ; 90% d'entre eux sont compris dans les bornes –15% / +30% et 50% des écarts entre les bornes –2% / +15%.

	Pluie RENECOFOR (mm)					Ecart relatif (%)					Données manquantes (nb de jours)				
Placette	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**
CHP 40	508	960	1450	1043	1148	-4,0	-2,1	+7,6	-9,2	-15,3	166	20	0	0	0
CHP 59	991	824	778	–	–	+4,5	+14,2	+3,1	–	–	0	0	31	–	–
CHS 10	192	772	952	930	895	+25,3	+0,2	+13,5	+16,2	+6,9	299	0	0	0	26
CHS 35	846	699	691	987	947	+13,2	+16,3	+16,5	+9,6	+7,1	13	0	8	0	0
CHS 41	554	594	703	794	880	-1,9	+11,3	+17,0	+5,5	+2,7	62	25	0	0	0
DOU 71	995	1213	1329	1522	1818	+0,9	+2,9	+1,4	+6,9	+9,9	68	2	4	1	0
EPC 08	1587	931	1318	1469	1393	+9,4	-11,0	+12,8	-2,2	+6,1	14	1	0	4	13
EPC 08	1587	931	1318	1469	1393	+9,4	-11,0	+12,8	-2,2	+6,1	14	1	0	4	13
EPC 63	–	955	960	1032	880	–	+12,0	+26,1	+21,0	19,4	–	32	0	9	58
EPC 74	296	1216	1332	143	–	-4,4	-1,4	+11,0	-33,1	–	256	0	0	275	–
EPC 87	730	1261	1338	1347	1235	+20,7	+17,3	+14,9	+7,5	-8,0	172	7	2	10	3
HET 30	1790	2029	2023	1402	2365	+8,5	-26,1	+3,5	+28,3	+41,9	222	48	0	84	0
HET 54a	149	803	904	919	987	+1,2	-9,8	-8,5	-10,7	-21,8	299	10	0	0	11
HET 64	503	1456	1255	1300	1453	-4,4	+1,5	-5,8	-1,6	-1,0	165	11	0	0	6
PM 40c	425	991	1111	921	1003	+15,3	20,5	+13,1	+6,6	-1,9	164	0	0	1	5
PM 72	899	630	689	823	847	+18,1	+11,2	+4,5	+6,4	+2,9	1	0	0	0	34
PM 85	595	757	679	716	899	-6,0	-2,7	-13,9	-13,3	-13,8	34	0	0	9	8
PS 44	761	725	775	937	1079	+17,2	+4,9	+7,9	+7,4	+4,5	43	0	0	0	3
PS 67a	133	643	727	738	766	-0,5	+12,5	+13,1	-1,1	+1,6	298	16	34	0	26
PS 76	752	650	731	1010	1121	+0,5	+11,7	-10,0	+13,4	0,3	11	0	0	11	0
SP 05	268	1073	1002	969	889	+7,0	+3,5	+19,9	+42,5	+10,4	259	4	0	0	0
SP 11	341	1598	865	1116	1262	+31,7	+16,3	+26,8	+27,0	+17,4	256	0	0	37	0
SP 25	803	1419	1127	1210	1746	-9,6	+11,0	-1,5	-9,7	-7,8	181	17	49	0	14
SP 38	310	1468	1118	1298	1548	+32,4	+20,9	+30,0	+19,0	+12,5	257	0	0	0	4
SP 57	221	1003	1254	1224	1631	+32,4	+14,0	+33,8	+21,5	+25,4	298	0	7	10	0
SP 68	258	1118	1337	1033	1327	-8,4	+2,4	-5,1	-21,6	-17,3	304	2	0	34	39

Tableau 10 : Précipitations annuelles (mm) enregistrées sur les placettes RENECOFOR et écarts relatifs (%) entre ces précipitations et celles enregistrées par Météo-France. L'année 1995 a été l'année d'installation de la plupart des stations

Table 10: *Annual precipitation (mm) recorded in the RENECOFOR network and relative differences (%) between annual precipitation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. 1995 was the year most of the meteorological stations were installed.*

2 - La valeur relative des écarts est calculée au pas de temps mensuel par la relation :

Ecart (%) = |pluie RENECOFOR – pluie Météo-France| x 100 / pluie MétéoFrance.

	Températures minimales			Températures maximales		
Année	Effectifs	R^2	C.V.	Effectifs	R^2	C.V.
1995	4806	0,88	31,5%	4815	0,95	11,3%
1996	9009	0,88	42,9%	9018	0,93	16,0%
1997	8945	0,88	36,0%	8943	0,92	13,8%
1998	8588	0,88	39,1%	8596	0,92	15,2%
1999	8602	0,89	33,1%	8613	0,93	14,5%

Tableau 11 : Régressions linéaires entre les températures journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction de l'année de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 11: *Linear regressions between daily temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

	Températures minimales			Températures maximales		
Mois	Effectifs	R^2	C.V.%	Effectifs	R^2	C.V.%
janvier	3156	0,75	1526,9%	3155	0,84	31,9%
février	2930	0,78	1595,6%	2932	0,87	25,8%
mars	3249	0,73	107,5%	3251	0,81	20,0%
avril	3197	0,74	54,5%	3198	0,79	16,5%
mai	3156	0,68	25,1%	3158	0,83	11,5%
juin	3219	0,66	18,9%	3225	0,81	9,9%
juillet	3369	0,65	14,6%	3367	0,78	8,9%
août	3442	0,62	15,7%	3451	0,79	8,9%
septembre	3423	0,68	21,5%	3428	0,78	11,1%
octobre	3627	0,72	21,3%	3628	0,81	13,2%
novembre	3549	0,82	103,0%	3554	0,84	23,1%
décembre	3633	0,82	855,6%	3639	0,85	32,8%

Tableau 12 : Régressions linéaires entre les températures journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction du mois. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation des résidus.

Table 12: *Linear regressions between daily temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

	Températures Minimales			Températures Maximales		
Placette	Effectifs	R^2	C.V.	Effectifs	R^2	C.V.
CHP 40	1660	0,96	18,1%	1660	0,98	4,9%
CHP 59	1010	0,97	19,7%	1010	0,99	6,5%
CHS 10	1524	0,96	22,1%	1525	0,98	7,2%
CHS 35	1801	0,97	12,3%	1808	0,99	3,9%
CHS 41	1763	0,97	13,6%	1764	1,00	3,3%
DOU 71	1745	0,93	26,5%	1751	0,97	8,7%
EPC 08	1806	0,88	41,9%	1807	0,97	10,9%
EPC 63	1380	0,93	57,2%	1380	0,94	15,8%
EPC 74	1539	0,76	81,3%	1539	0,83	28,9%
EPC 87	1629	0,71	49,2%	1630	0,97	9,2%
HET 30	1505	0,97	28,9%	1505	0,94	15,8%
HET 54a	1506	0,97	24,4%	1506	0,99	7,0%
HET 64	1633	0,92	16,2%	1634	0,98	4,6%
PM 40c	1657	0,94	21,8%	1656	0,98	5,3%
PM 72	1785	0,88	27,9%	1787	0,98	6,1%
PM 85	1736	0,93	15,7%	1741	0,96	7,1%
PS 44	1780	0,94	17,3%	1780	0,98	5,8%
PS 67a	1478	0,94	39,6%	1478	0,99	6,3%
PS 76	1772	0,81	47,4%	1773	0,97	8,2%
SP 05	1557	0,95	40,9%	1561	0,98	8,8%
SP 11	1531	0,90	33,0%	1533	0,86	19,4%
SP 25	1618	0,90	46,3%	1620	0,98	8,5%
SP 38	1565	0,93	33,6%	1565	0,95	14,4%
SP 57	1451	0,96	28,3%	1454	0,97	10,5%
SP 68	1519	0,97	23,8%	1520	0,96	14,0%

Tableau 13 : Régressions linéaires par placette entre les températures journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation des résidus.

Table 13: *Linear regressions for each site between daily temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

3. TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES

Les températures mesurées sur la placette PL 20 du réseau RENECOFOR ayant été transmises gracieusement à Météo-France Evisa jusqu'en 1998, la comparaison des données n'est effectuée qu'à partir des mesures des 25 autres sites.

3.1. Données journalières

3.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles la corrélation entre les températures mesurées sur les placettes du réseau RENECOFOR et les stations Météo-France de référence est de 0,94 (r^2=0,88 avec n = 39 950) pour les températures minimales et de 0,96 (r^2=0,93 avec n=39 987) pour les températures maximales ; soit des valeurs nettement plus fortes que celles obtenues avec les hauteurs de pluies journalières (r^2=0,77).

Les niveaux de corrélation entre les deux séries de données sont stables dans le temps avec des r^2 variant, selon les années, de 0,88 à 0,89 pour les températures minimales et de 0,92 à 0,95 pour les températures maximales (**tableau 11**).

Comme pour les pluies, la qualité des corrélations est dépendante de la saison. Cet effet est le plus marqué pour les températures minimales avec des r^2 variant de 0,62 à 0,82. Les plus faibles corrélations sont observées en juin, juillet et août et les plus fortes en novembre, décembre, janvier et février. Cet effet saisonnier est également significatif pour les températures maximales, mais il est moins marqué. Les plus forts niveaux de corrélation correspondent également aux mois de novembre, décembre, janvier et février et les plus faibles aux mois de juillet, août, septembre et avril (**tableau 12**). Il est possible qu'en hiver les différences locales entre sites soient gommées par une météo généralement très pluvieuse et des sols humides alors qu'en été, les différences de couverture végétale et de type de sol (capacité à retenir l'eau) conditionnent plus les températures.

3.1.2. Analyses par placette

3.1.2.1 Régressions (*cf.* **annexe météo 5**)

Les corrélations entre les températures mesurées dans les deux réseaux sont toujours significatives au seuil de 0,1‰ : r^2 de 0,71 à 0,97 (moyenne de 0,92) pour les températures minimales et r^2 de 0,83 à 0,99 (moyenne de 0,96) pour les températures maximales. La qualité des régressions est nettement plus forte que celle observée pour les pluies malgré une plus grande distance entre les postes. Alors que le r^2 moyen de l'ensemble des placettes était de 0,74 pour les pluies journalières avec des postes situés à 7 km en moyenne, on observe ici des r^2 de 0,92 et 0,96 (respectivement, pour les T_{min} et T_{max}) avec une distance moyenne entre les postes de 14 km. Les coefficients de variation sont également moins élevés : de 12,3% à 81,3% pour les températures minimales et de 3,3% à 28,9% pour les températures maximales, contre 50,8 à 122,2% pour les pluies journalières (**tableau 13**).

D'une manière générale, les corrélations entre températures maximales sont toujours meilleures qu'entre températures minimales : les coefficients de variation sont toujours plus faibles et les coefficients de détermination plus élevés sauf dans le cas des placettes HET 30, SP 11 et SP 68.

Les régressions sont stables, les observations dont les valeurs sont atypiques par rapport à l'ensemble des données de chaque placette étant peu nombreuses et peu influentes sur les paramètres des ajustements. Les ordonnées à l'origine des droites de régression sont significativement différentes de 0 pour 20 placettes et les pentes sont significativement différentes de 1 pour 21 placettes dans le cas des températures minimales et 17 placettes dans le cas des températures maximales (**figure 5**). Toutes les estimations des pentes sont inférieures à 1 (sauf dans le cas des températures maximales pour la placette HET 30), ce qui indique que l'erreur entre les deux réseaux de mesure n'est pas indépendante de la température et que les températures mesurées en forêt sont plus tamponnées que celles mesurées dans les stations de Météo-France.

Les décalages les plus nets entre les températures mesurées sont observés dans le cas où une grande différence d'altitude sépare les stations. C'est le cas par exemple des placettes EPC 08, EPC 63, EPC 74, HET 30, SP 05, SP 11, SP 38 (*cf.* **annexe météo 5**).

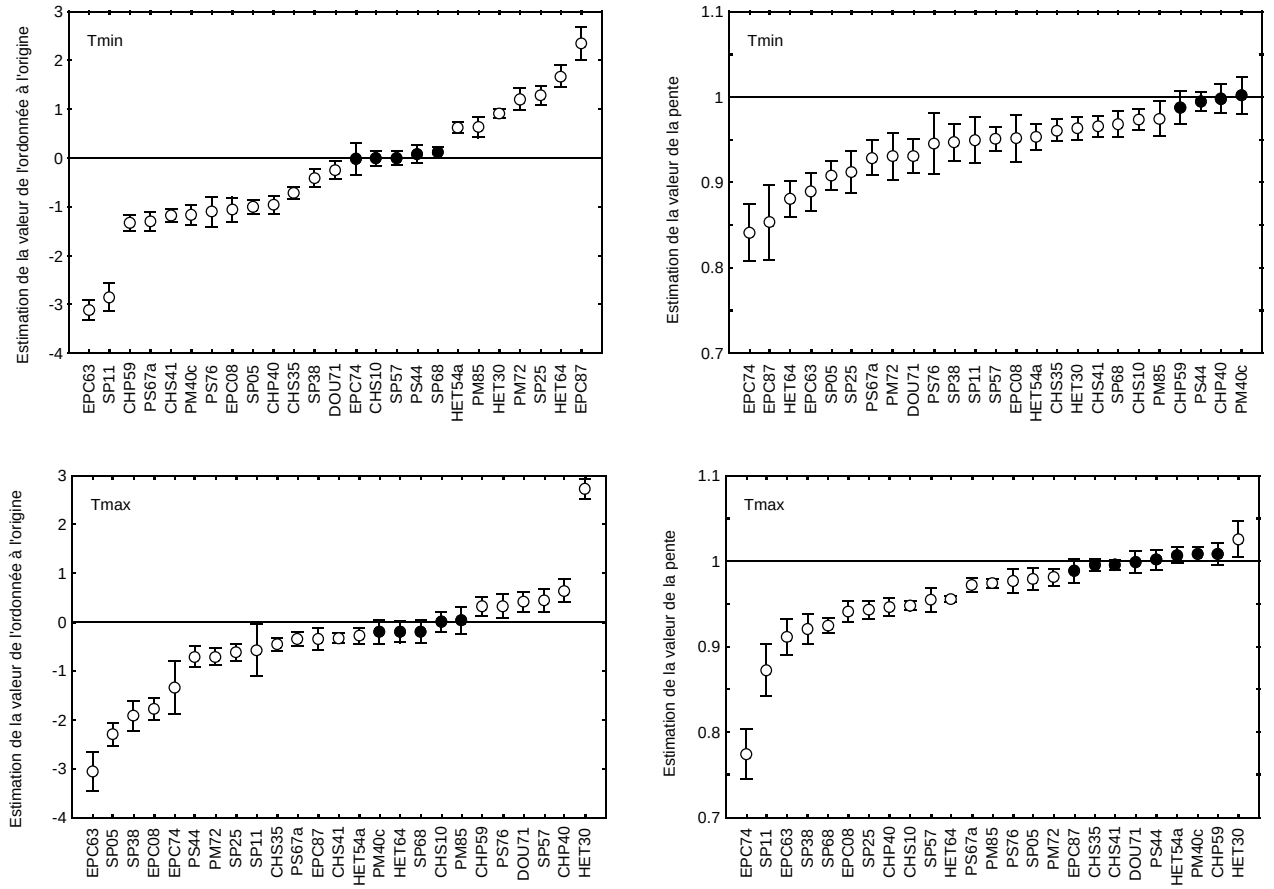


Figure 5 : Régressions linéaires entre les températures journalières minimales (en haut) et maximales (en bas) enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine (à gauche), des pentes (à droite) et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes).

Figure 5: *Linear regressions between daily minimum (top) and maximum (bottom) temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept (left) and slope (right). Empty circles correspond to the values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

La comparaison, par analyse de covariance et pour chaque placette, des droites de régression obtenues pour les températures minimales et maximales montre que les relations sont toujours significativement différentes, sauf dans le cas de la placette EPC 63. Pour les placettes CHS 10, CHS 35 et SP 68 les ordonnées à l'origine ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,1‰ mais les pentes sont différentes ; pour les placettes CHP 59, EPC 08, PM 40c, PM 85, PS 44, PS 76, SP 38 et SP 57 les pentes ne sont pas significativement différentes mais les ordonnées à l'origine le sont. Enfin, pour les placettes CHP 40, CHS 41, DOU 71, EPC 74, EPC 87, HET 30, HET 54a, HET 64, PM 72, PS 67a, SP 05, SP 11 et SP 25 les pentes et les ordonnées à l'origine obtenues pour les températures minimales et maximales sont significativement différentes. Pour toutes les placettes, sauf EPC 63, il est donc nécessaire d'utiliser des relations différentes pour estimer des températures minimales ou maximales sur les placettes RENECOFOR à partir des données enregistrées par Météo-France.

3.1.2.2 Ecarts et valeurs absolues des écarts

Le **tableau 14** présente pour chaque placette quelques statistiques descriptives des écarts entre les températures minimales et maximales enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les sites Météo-France.

TEMPERATURES MINIMALES												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
CHP 40	1660	-0,98	-6,90	4,70	-0,90	-3,30	-2,50	-1,60	-0,20	0,40	0,90	1,7
CHP 59	1010	-1,42	-5,20	3,60	-1,30	-3,30	-2,90	-2,00	-0,70	-0,20	0,10	1,2
CHS 10	1524	-0,16	-4,00	6,20	-0,30	-2,00	-1,60	-1,00	0,50	1,40	2,10	1,6
CHS 35	1801	-1,04	-7,20	5,40	-1,00	-2,50	-2,10	-1,50	-0,60	0,00	0,40	0,8
CHS 41	1763	-1,48	-6,10	2,90	-1,40	-3,20	-2,80	-2,10	-0,80	-0,50	-0,20	1,0
DOU 71	1745	-0,70	-8,50	2,70	-0,40	-3,60	-3,00	-1,80	0,70	1,10	1,20	2,6
EPC 08	1806	-1,38	-8,70	9,00	-1,80	-4,20	-3,80	-2,90	0,00	1,70	2,50	4,7
EPC 63	1380	-3,87	-9,80	3,80	-4,10	-6,30	-5,80	-5,00	-2,90	-1,50	-0,70	3,1
EPC 74	1539	-0,75	-8,20	11,80	-0,90	-5,30	-4,70	-3,50	1,40	3,70	5,11	11,1
EPC 87	1629	1,62	-5,20	14,00	0,90	-2,60	-2,10	-1,00	3,90	6,40	7,60	11,1
HET 30	1505	0,82	-4,40	2,80	1,10	-1,10	-0,50	0,30	1,50	1,80	2,10	1,0
HET 54a	1506	0,41	-6,20	14,60	0,30	-1,20	-0,90	-0,30	1,00	1,80	2,30	1,5
HET 64	1633	0,62	-7,70	7,20	0,30	-1,30	-1,10	-0,70	1,60	2,90	3,80	2,8
PM 40c	1657	-1,16	-6,60	5,10	-1,20	-3,60	-3,10	-2,30	-0,10	0,70	1,40	2,4
PM 72	1785	0,76	-6,40	8,80	0,50	-1,90	-1,40	-0,60	1,90	3,50	4,50	4,0
PM 85	1736	0,41	-10,80	8,00	0,30	-1,70	-1,10	-0,30	1,20	2,10	2,70	2,1
PS 44	1780	-0,01	-5,90	4,80	-0,10	-2,10	-1,60	-0,80	0,70	1,70	2,20	1,7
PS 67a	1478	-1,73	-9,70	9,70	-1,70	-4,50	-3,80	-2,90	-0,50	0,30	0,80	3,0
PS 76	1772	-1,47	-10,20	8,50	-1,50	-5,60	-4,50	-3,10	0,20	1,50	2,50	6,2
SP 05	1557	-1,43	-6,60	4,10	-1,40	-3,82	-3,20	-2,30	-0,50	0,40	0,90	2,1
SP 11	1531	-3,30	-12,80	5,00	-3,50	-5,90	-5,30	-4,40	-2,40	-1,10	-0,10	3,2
SP 25	1618	0,98	-3,60	11,00	0,40	-1,30	-1,00	-0,60	2,10	3,90	4,90	4,4
SP 38	1565	-0,71	-6,90	5,10	-0,70	-3,60	-2,80	-1,90	0,50	1,46	2,10	3,0
SP 57	1451	-0,23	-11,60	3,80	-0,20	-2,20	-1,70	-0,90	0,50	1,30	1,80	1,7
SP 68	1519	-0,04	-4,20	8,40	-0,20	-1,70	-1,30	-0,80	0,60	1,40	1,90	1,3

TEMPERATURES MAXIMALES												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
CHP 40	1660	-0,45	-4,10	3,60	-0,40	-2,20	-1,80	-1,10	0,20	0,80	1,20	1,1
CHP 59	1010	0,43	-3,50	11,40	0,40	-1,00	-0,60	-0,10	0,90	1,40	1,70	0,9
CHS 10	1525	-0,86	-4,90	3,70	-0,80	-2,80	-2,40	-1,70	-0,10	0,66	1,20	1,5
CHS 35	1808	-0,54	-7,83	2,30	-0,60	-1,50	-1,30	-0,90	-0,20	0,20	0,50	0,4
CHS 41	1764	-0,41	-3,50	2,40	-0,40	-1,30	-1,07	-0,70	-0,10	0,20	0,50	0,3
DOU 71	1751	0,39	-9,00	5,50	0,60	-1,60	-1,00	-0,20	1,10	1,60	1,95	1,6
EPC 08	1807	-2,67	-7,40	6,90	-2,80	-4,50	-4,10	-3,50	-2,10	-1,10	-0,20	2,0
EPC 63	1380	-4,57	-9,00	10,60	-4,90	-6,90	-6,50	-5,70	-4,00	-2,29	-0,80	4,4
EPC 74	1539	-4,95	-12,00	15,10	-6,00	-9,00	-8,30	-7,20	-3,70	-0,18	2,61	14,1
EPC 87	1630	-0,52	-6,10	8,00	-0,60	-2,46	-2,10	-1,40	0,30	1,00	1,56	1,7
HET 30	1505	2,91	-5,60	7,50	2,60	0,80	1,10	1,50	4,30	5,30	5,70	2,9
HET 54a	1506	-0,19	-8,70	3,50	-0,10	-2,00	-1,40	-0,70	0,40	0,90	1,20	1,0
HET 64	1634	-0,89	-5,30	11,10	-1,00	-2,00	-1,80	-1,40	-0,50	0,00	0,40	0,8
PM 40c	1656	0,12	-6,10	6,10	0,10	-1,50	-1,10	-0,50	0,70	1,30	1,70	1,1
PM 72	1787	-1,03	-9,00	5,10	-1,00	-2,40	-2,10	-1,50	-0,50	0,00	0,40	0,9
PM 85	1741	-0,45	-6,40	8,20	-0,40	-2,50	-1,80	-1,00	0,20	0,70	1,10	1,5
PS 44	1780	-0,69	-5,50	8,80	-0,70	-2,10	-1,80	-1,30	-0,18	0,40	0,80	1,0
PS 67a	1478	-0,77	-4,30	5,40	-0,80	-2,20	-1,90	-1,30	-0,20	0,40	0,70	0,9
PS 76	1773	-0,05	-5,80	9,30	0,00	-2,30	-1,60	-0,80	0,70	1,40	1,90	1,7
SP 05	1561	-2,65	-7,80	3,10	-2,70	-4,70	-4,10	-3,30	-2,00	-1,30	-0,70	1,5
SP 11	1533	-2,65	-13,10	12,20	-3,20	-6,10	-5,40	-4,40	-1,40	1,10	2,50	7,8
SP 25	1620	-1,41	-5,10	5,70	-1,50	-3,00	-2,70	-2,20	-0,80	-0,10	0,60	1,3
SP 38	1565	-3,14	-10,10	6,60	-3,40	-5,80	-5,20	-4,30	-2,20	-0,80	0,28	3,5
SP 57	1454	-0,20	-6,50	10,30	-0,30	-2,34	-1,70	-1,00	0,40	1,40	2,20	2,3
SP 68	1520	-0,98	-7,00	8,50	-1,05	-3,50	-2,90	-2,00	0,00	1,00	1,70	2,7

Tableau 14 : Statistiques par placette des écarts journaliers «températures RENECOFOR – températures Météo-France». Moyennes des écarts, valeurs minimum et maximum ; médiane des écarts, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95% ; variance des écarts.

Table 14: *Summary statistics for the daily differences « RENECOFOR temperatures – Météo-France temperatures». Means, minimum and maximum values, medians, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variances.*

La variabilité des écarts est en générale plus forte entre températures minimales qu'entre températures maximales, sauf pour les placettes EPC 63, EPC 74, HET 30, SP 11, SP 38, SP 57 et SP 68. Sur l'ensemble des placettes, les moyennes des écarts journaliers concernant les températures minimales varient de –3,9 à +1,6°C et de -4,9 à +2,9°C pour les températures maximales.

Pour 15 placettes, la moyenne des écarts sur les températures minimales est comprise dans l'intervalle –1 / +1°C et pour 6 d'entre elles dans l'intervalle –0,5 / +0,5°C. Pour les températures maximales, les écarts sont compris entre –1 / +1°C

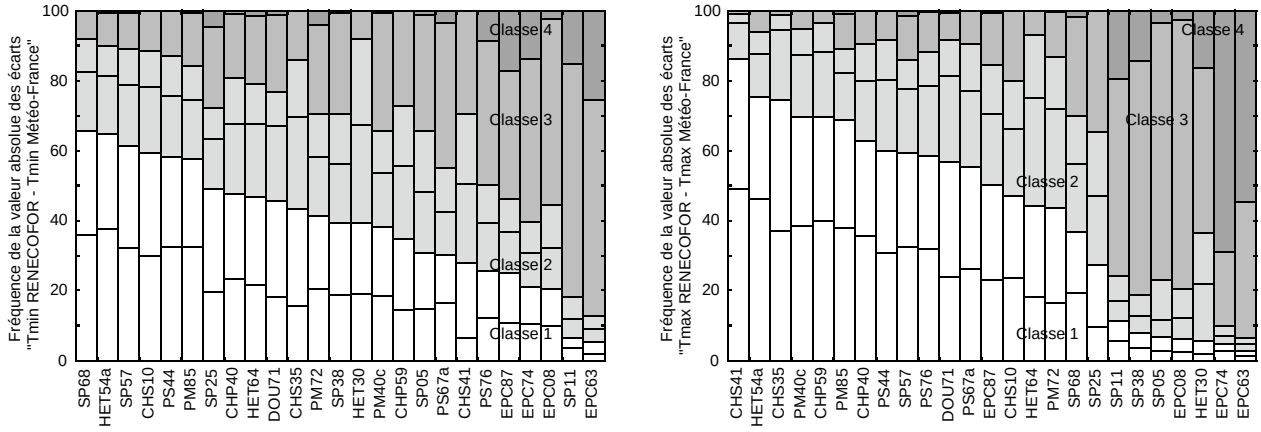


Figure 6 : Fréquence de la valeur absolue des écarts entre les températures journalières mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. A gauche, cas des températures minimales ; à droite, cas des températures maximales. Classe 1 = [0-0,5°C[et [0,5-1°C[(même couleur), classe 2 = [1-1,5°C[et [1,5-2°C[(même couleur) ; classe 3 = [2-5°C[; classe 4 = 5°C.

Figure 6: *Frequency of the absolute value of the differences between the daily temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Left, minimal temperatures; right, maximal temperatures. Class 1 = [0-0,5°C[and [0,5-1°C[(same color), class 2 = [1-1,5°C[and [1,5-2°C[(same color) ; class 3 = [2-5°C[; class 4 = 5°C.*

	Températures minimales					Températures maximales				
Placette	**Hiver**	**Printemps**	**Ete**	**Automne**	**Signif.**	**Hiver**	**Printemps**	**Ete**	**Automne**	**Signif.**
CHP 40	**-1,24**	-0,97	-0,78	**-0,99**	*0,1‰*	-0,26	**-0,57**	**-0,64**	-0,31	*0,1‰*
CHP 59	-1,15	**-1,56**	**-1,53**	-1,46	*0,1‰*	0,38	**0,63**	**0,43**	0,26	*1%*
CHS 10	-0,05	**-0,27**	**-0,40**	0,04	*0,1‰*	-0,46	**-1,20**	**-1,38**	-0,47	*0,1‰*
CHS 35	-0,86	**-1,13**	**-1,14**	-1,02	*0,1‰*	-0,50	-0,39	-0,53	**-0,73**	*0,1‰*
CHS 41	-1,55	-1,46	**-1,69**	-1,24	*0,1‰*	-0,45	**-0,47**	-0,33	-0,38	*1%*
DOU 71	-0,77	-0,56	-0,82	-0,67	*ns*	0,15	**0,41**	**0,61**	0,36	*0,1‰*
EPC 08	**-1,71**	-1,46	-0,67	**-1,68**	*0,1‰*	-2,22	**-3,11**	**-3,07**	-2,28	*0,1‰*
EPC 63	-3,64	**-4,24**	**-4,27**	-3,36	*0,1‰*	-3,88	**-5,07**	**-5,32**	-4,05	*0,1‰*
EPC 74	0,15	**-1,54**	**-1,17**	-0,45	*0,1‰*	-3,64	**-7,00**	**-6,26**	-3,14	*0,1‰*
EPC 87	1,75	1,15	**2,16**	1,35	*0,1‰*	**-0,66**	-0,57	-0,61	-0,27	*0,1‰*
HET 30	0,75	0,85	0,75	0,90	*ns*	2,80	**3,24**	**3,37**	2,39	*0,1‰*
HET 54a	0,49	0,39	0,48	0,29	*ns*	**-0,43**	-0,21	0,18	**-0,28**	*0,1‰*
HET 64	**1,34**	0,11	0,08	**1,00**	*0,1‰*	-0,66	**-0,98**	**-1,16**	-0,75	*0,1‰*
PM 40c	-1,02	**-1,10**	**-1,47**	-0,99	*0,1‰*	0,25	**0,43**	0,12	-0,23	*0,1‰*
PM 72	0,77	**0,79**	**1,03**	0,45	*0,1‰*	-1,00	**-1,15**	-0,99	-1,00	*5%*
PM 85	0,13	**0,49**	**0,81**	0,17	*0,1‰*	-0,48	-0,27	**-0,62**	-0,42	*1%*
PS 44	**-0,29**	0,21	0,26	-0,26	*0,1‰*	**-0,72**	-0,58	-0,63	**-0,83**	*1%*
PS 67a	-1,20	**-2,26**	**-2,13**	-1,33	*0,1‰*	-0,62	**-0,94**	**-0,84**	-0,69	*0,1‰*
PS 76	-0,98	**-2,28**	**-1,75**	-0,86	*0,1‰*	0,07	**-0,09**	**-0,18**	-0,01	*5%*
SP 05	-1,31	**-1,74**	**-1,73**	-1,05	*0,1‰*	-2,64	-2,43	-2,64	-2,82	*0,1‰*
SP 11	-3,34	-3,10	-3,42	-3,32	*ns*	-1,84	**-3,01**	**-3,77**	-2,10	*0,1‰*
SP 25	**1,53**	0,65	0,80	1,00	*0,1‰*	-1,17	**-1,70**	**-1,79**	-0,99	*0,1‰*
SP 38	-0,32	**-1,11**	**-0,94**	-0,51	*0,1‰*	-2,75	**-3,53**	**-3,68**	-2,68	*0,1‰*
SP 57	-0,05	-0,18	-0,22	**-0,47**	*0,1‰*	0,12	**-0,42**	**-0,49**	0,00	*0,1‰*
SP 68	0,08	**-0,25**	0,00	0,00	*1%*	-0,80	**-1,03**	**-1,32**	-0,80	*0,1‰*

Tableau 15 : Moyennes saisonnières (°C) des différences journalières «température RENECOFOR – température Météo-France». Hiver = janvier, février, mars ; printemps = avril, mai, juin ; été = juillet, août, septembre ; automne = octobre, novembre, décembre. Signif. = seuil de signification de «l'effet saisonnier».

Table 15: *Seasonal average (°C) of the differences between the daily temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Winter = January, February, March; spring = April, May, June; summer = July, August, September; autumn = October, November, December. Signif = significance level for the "seasonal effect".*

pour 17 placettes et pour 11 placettes entre –0,5 / +0,5°C. Comme pour les pluies, les écarts peuvent être plus importants, et le biais entre les séries de mesures n'est pas indépendant de la température.

Pour les températures minimales, la plus petite distance entre les centiles 95% et 25% est de 3°C (CHS 35et CHS 41) et elle est de 2°C pour les températures maximales (CHS 35 et CHS 41 également). Les distances les plus importantes sont observées pour EPC 74 avec des valeurs de 11 et 12°C pour, respectivement, les températures minimales et maximales (une différence d'altitude de 750 m existant entre cette station RENECOFOR et le poste Météo-France le plus proche).

Pour les températures minimales, les écarts quotidiens de moins de 1°C (en valeur absolue) sont majoritaires pour 6 placettes (SP 68, HET 54a, SP 57, CHS 10, PS 44 et PM 25) – (**figure 6**). L'altitude de ces placettes varie de 5 à 680 m mais les différences d'altitudes entre les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France sont toujours inférieures à 45 m. Pour les placettes PS 67a, PS 76, EPC 87, EPC 74, EPC 08, SP 11 et EPC 63 la majorité des écarts est comprise dans l'intervalle [2 - 5°C[, et pour les placettes PS 76, EPC 87, EPC 74, SP 11 et EPC 63 les écarts supérieurs à 5°C représentent au moins 10% de l'ensemble des écarts quotidiens observés. On constate que ces placettes sont fortement éloignées des postes Météo-France (PS 67a, 22 km ; PS 76, 28 km) ou qu'il existe une grande différence d'altitude entre les postes (EPC 87, 200 m ; SP 11, 270 m, EPC 08, 329 m ; EPC 63, 621 m ; EPC 74, 750 m).

Pour les températures maximales, les écarts quotidiens de moins de 1°C sont plus fréquents, et sont majoritaires pour 13 placettes (CHS 41, HET 54a, CHS 35, PM 40c, CHP 59, PM 85, CHP 40, PS 44, SP 57, PS 76, DOU 71, PS 67a, EPC 87). Les écarts de plus de 2°C en valeur absolue sont majoritaires pour 7 placettes : SP 11, SP 38, SP 05, EPC 08, HET 30, EPC 74, EPC 63 ; les placettes SP 11, EPC 08, EPC 74 et EPC 63 étant déjà citées comme présentant de forts écarts entre les températures minimales mesurées.

Contrairement à ce qui a été observé pour les pluies, «l'effet mois» ou «l'effet saison» sur les moyennes des écarts journaliers et les moyennes des valeurs absolues des écarts journaliers entre températures est très hautement significatif, et ceci, pour l'ensemble des placettes, sauf DOU 71, HET 30, HET 54a et SP 11 dans le cas des températures minimales (**tableau 15** – **annexe météo 6**).

Pour CHP 59, CHS 10, CHS 35, EPC 63, EPC 74, PM 40c, PM 72, PM 85, PS 67a, PS 76, SP 05 et SP 38 le biais le plus important sur les températures minimales est observé pendant la période de végétation (printemps et été) ; en été pour CHS 41 et EPC 87 et au printemps pour SP 68. Pour CHP 40, EPC 08, HET 64, PS 44 et SP 25 le biais le plus important est au contraire observé en automne et en hiver, en hiver pour PS 44 et en automne pour SP 57.

Le biais le plus important sur les températures maximales est observé pendant la période de végétation pour les placettes CHP 40, CHP 59, CHS 10, DOU 71, EPC 08, EPC 63, EPC 74, HET 30, HET 64, PS 67a, PS 76, SP 11, SP 25, SP 38, SP 57 et SP 68 ; au printemps pour CHS 41, PM 40c et PM 72 et en été pour PM 85. A l'opposé, le biais le plus important sur les températures maximales est observé en automne ou en hiver pour les placettes CHS 35, EPC 87, HET 54a, PS 44 et SP 05.

3.2. Moyennes mensuelles des températures

3.2.1. Régressions (*cf*. **annexe météo 7**)

Comme pour les pluies, la qualité des corrélations entre températures s'améliore au pas de temps mensuel avec des r^2 variant de 0,92 à 0,99 (moyenne de 0,98) pour les moyennes des températures minimales et maximales. Les corrélations entre températures maximales restent plus fortes qu'entre températures minimales sauf pour les placettes EPC 63, EPC 74 et HET 30.

Dans le cas des températures minimales, les ordonnées à l'origine des droites de régression restent significativement différentes de 0 pour 17 placettes et les pentes sont significativement différentes de 1 pour 7 placettes. Dans le cas des températures maximales, les ordonnées à l'origine des droites de régression restent significativement différentes de 0 pour 11 placettes et les pentes sont significativement différentes de 1 pour 13 placettes. Les pentes des placettes EPC 87, CHP 59 et DOU 71, non significativement différentes de 1 au pas de temps journalier, deviennent significativement différentes au pas de temps mensuel (**tableau 16**, **figure 7**).

	Températures Minimales			Températures Maximales		
Placette	**Effectif**	**R^2**	**C.V.**	**Effectif**	**R^2**	**C.V.**
CHP 40	56	0,994	5,7%	56	0,997	1,7%
CHP 59	35	0,996	5,8%	35	0,999	1,9%
CHS 10	52	0,993	7,1%	52	0,995	3,3%
CHS 35	61	0,997	3,5%	61	0,999	1,3%
CHS 41	59	0,994	5,5%	59	0,999	1,4%
DOU 71	59	0,992	7,6%	59	0,994	3,8%
EPC 08	61	0,973	17,1%	61	0,987	6,5%
EPC 63	49	0,987	20,6%	49	0,942	12,4%
EPC 74	53	0,956	30,8%	53	0,923	16,4%
EPC 87	56	0,922	21,3%	56	0,987	5,1%
HET 30	54	0,998	6,7%	54	0,990	5,8%
HET 54a	52	0,996	7,2%	52	0,998	2,7%
HET 64	55	0,980	6,8%	55	0,998	1,2%
PM 40c	56	0,993	5,7%	56	0,996	2,2%
PM 72	60	0,975	10,5%	60	0,999	1,7%
PM 85	59	0,984	6,3%	59	0,994	2,7%
PS 44	60	0,987	6,3%	60	0,995	2,5%
PS 67a	52	0,992	11,8%	52	0,998	2,3%
PS 76	60	0,925	21,3%	60	0,995	2,7%
SP 05	53	0,993	14,2%	53	0,997	2,7%
SP 11	53	0,977	13,6%	53	0,981	5,5%
SP 25	56	0,979	18,2%	56	0,996	3,6%
SP 38	53	0,978	16,1%	53	0,985	6,8%
SP 57	50	0,990	11,4%	50	0,994	4,2%
SP 68	52	0,989	12,0%	52	0,991	5,8%

Tableau 16 : Régressions linéaires entre les moyennes mensuelles des températures enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 16: *Linear regressions for each site between monthly averaged temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

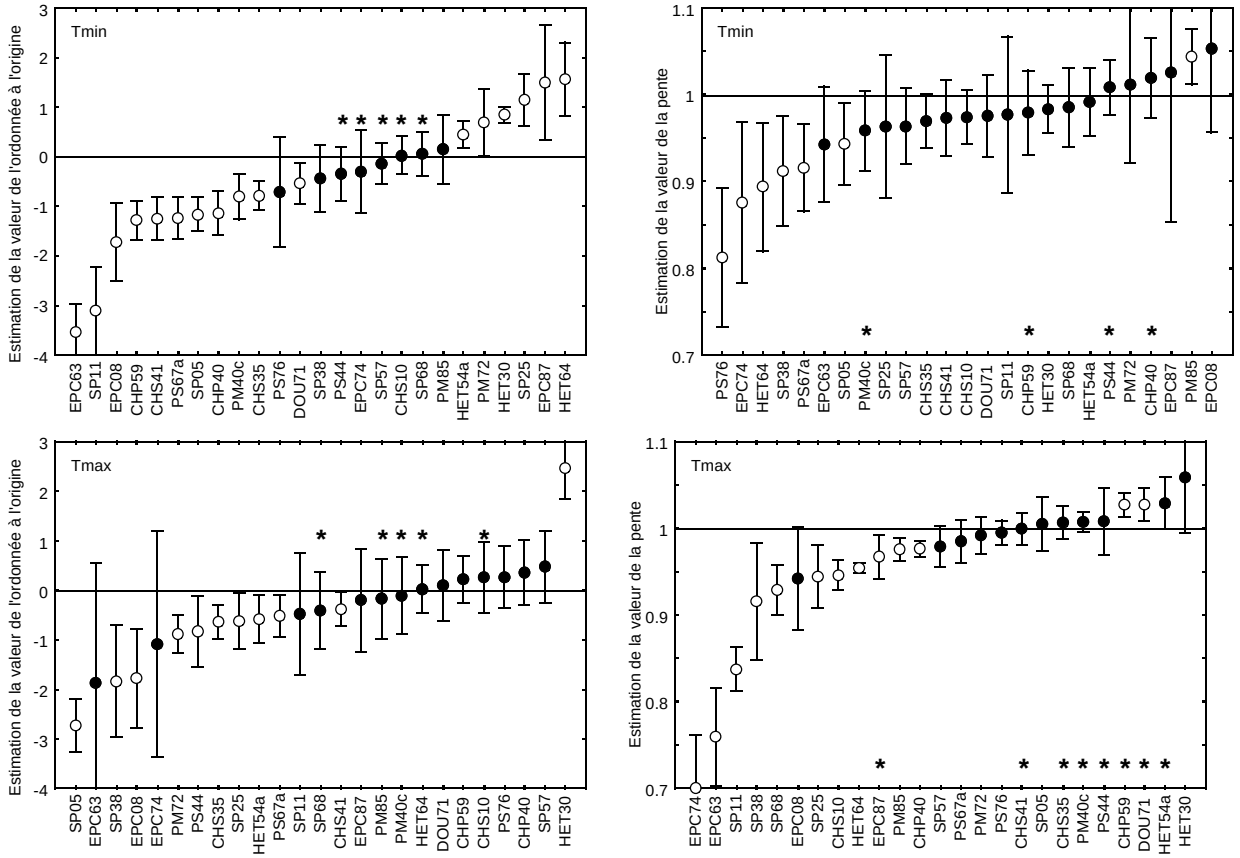


Figure 7 : Régressions linéaires entre les moyennes mensuelles des températures enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes). Les étoiles correspondent aux valeurs non significatives au pas de temps journalier.

Figure 7: *Linear regressions between monthly averaged temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept (left) and slope (right). Empty circles correspond to the values significantly different from 0 or 1. Stars correspond to the non significant values on a daily scale.*

3.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Les moyennes des écarts mensuels restent très proches des moyennes des écarts journaliers, mais la dispersion des valeurs est beaucoup moins forte (**tableau 17**).

Les écarts mensuels de moins de 1°C (en valeur absolue) sont majoritaires pour 13 placettes dans le cas des températures minimales et pour 17 placettes dans le cas des températures maximales (**figure 8**). A l'opposé, les écarts de plus de 2°C ne sont majoritaires que pour les placettes EPC 63 et SP 11 dans le cas des températures minimales et pour les placettes EPC 74, SP 11, EPC 08, SP 38, EPC 63, HET 30 et SP 05 dans le cas des températures maximales.

Même si les écarts tendent à augmenter avec la distance entre les postes de mesure et la différence d'altitude, ces deux paramètres ne sont pas suffisants pour expliquer les différences observées entre les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France.

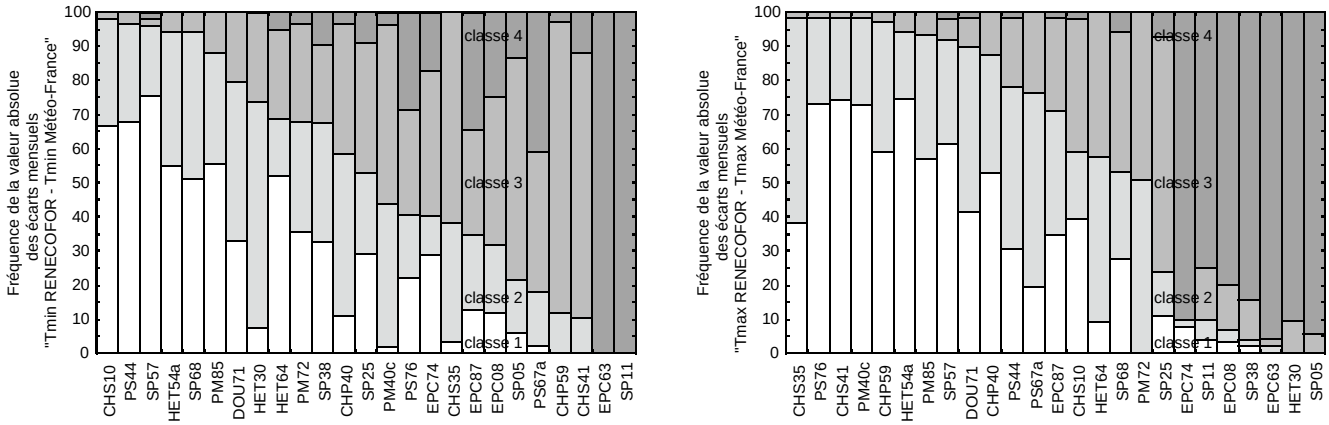


Figure 8 : Fréquence de la valeur absolue des écarts entre les moyennes mensuelles des températures mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. A gauche, cas des températures minimales ; à droite, cas des températures maximales. Classe 1 = [0-0,5°C[; classe 2 = [0,5-1°C[; classe 3 = [1-2°C[; classe 4 = 2°C.

Figure 8: *Frequency of the absolute value of the differences between the monthly averaged temperatures recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Left, minimum temperatures; right, maximum temperatures. Class 1 = [0-0,5°C[; class 2 = [0,5-1°C[; class 3 = [1-2°C[; class 4 = 2°C.*

TEMPERATURES MINIMALES												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
CHP 40	55	-0,99	-2,06	-0,24	-0,94	-1,76	-1,50	-1,25	-0,72	-0,49	-0,40	0,17
CHP 59	34	-1,43	-2,17	-0,77	-1,42	-1,82	-1,77	-1,67	-1,24	-0,96	-0,88	0,10
CHS 10	51	-0,15	-1,15	0,87	-0,12	-0,79	-0,68	-0,51	0,15	0,36	0,56	0,19
CHS 35	60	-1,04	-1,65	-0,19	-1,03	-1,46	-1,37	-1,23	-0,88	-0,72	-0,55	0,08
CHS 41	58	-1,49	-2,91	-0,84	-1,45	-2,16	-2,02	-1,69	-1,23	-0,99	-0,91	0,16
DOU 71	58	-0,70	-1,96	0,32	-0,68	-1,56	-1,32	-0,96	-0,46	-0,13	0,05	0,21
EPC 08	60	-1,38	-3,10	1,21	-1,35	-2,92	-2,56	-1,90	-0,65	-0,32	-0,21	0,82
EPC 63	48	-3,92	-5,70	-2,48	-3,96	-4,73	-4,69	-4,36	-3,48	-3,07	-2,99	0,41
EPC 74	52	-0,75	-2,69	3,53	-0,84	-2,41	-2,24	-1,68	-0,16	1,22	1,45	1,63
EPC 87	55	1,62	-1,43	5,45	1,61	-0,44	0,13	0,76	2,19	3,58	4,07	1,93
HET 30	53	0,80	-0,08	1,26	0,78	0,41	0,51	0,65	1,00	1,11	1,16	0,07
HET 54a	51	0,40	-0,57	1,21	0,41	-0,14	0,00	0,12	0,65	0,77	0,95	0,12
HET 64	54	0,63	-0,63	3,34	0,41	-0,42	-0,28	0,01	1,23	1,64	1,88	0,68
PM 40c	55	-1,16	-2,47	-0,37	-1,14	-1,84	-1,74	-1,45	-0,84	-0,56	-0,53	0,20
PM 72	59	0,76	-0,49	2,99	0,66	-0,28	-0,16	0,28	1,21	1,73	1,91	0,54
PM 85	58	0,40	-0,73	1,94	0,37	-0,39	-0,32	0,00	0,77	1,03	1,43	0,33
PS 44	59	-0,01	-1,11	1,07	-0,06	-0,77	-0,65	-0,36	0,26	0,75	0,84	0,25
PS 67a	51	-1,73	-3,18	-0,03	-1,80	-2,76	-2,61	-2,19	-1,23	-0,93	-0,63	0,48
PS 76	59	-1,46	-5,07	0,42	-1,41	-3,75	-2,87	-2,13	-0,55	-0,06	0,07	1,45
SP 05	52	-1,43	-2,29	-0,17	-1,52	-2,25	-2,04	-1,86	-1,03	-0,59	-0,46	0,31
SP 11	52	-3,31	-4,96	-2,00	-3,25	-4,46	-4,30	-3,92	-2,84	-2,35	-2,14	0,53
SP 25	55	1,02	-0,09	4,45	0,78	0,11	0,22	0,49	1,42	1,92	2,27	0,67
SP 38	52	-0,72	-2,69	0,83	-0,67	-2,35	-1,80	-1,21	-0,19	0,36	0,63	0,70
SP 57	49	-0,25	-2,82	0,62	-0,19	-0,70	-0,62	-0,45	0,03	0,23	0,33	0,27
SP 68	51	-0,04	-0,99	1,37	-0,24	-0,68	-0,59	-0,48	0,31	0,89	1,00	0,33

TEMPERATURES MAXIMALES												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
CHP 40	55	-0,46	-1,38	0,27	-0,46	-1,08	-1,03	-0,74	-0,11	0,04	0,16	0,17
CHP 59	34	0,41	-0,24	1,11	0,37	-0,12	0,11	0,27	0,63	0,72	0,80	0,08
CHS 10	51	-0,85	-2,66	0,45	-0,68	-1,83	-1,79	-1,43	-0,25	-0,16	0,26	0,52
CHS 35	60	-0,54	-1,04	-0,02	-0,56	-0,86	-0,78	-0,68	-0,40	-0,24	-0,21	0,05
CHS 41	58	-0,41	-1,49	-0,01	-0,37	-0,71	-0,65	-0,51	-0,30	-0,18	-0,07	0,05
DOU 71	58	0,40	-2,01	1,10	0,52	-0,71	-0,05	0,20	0,72	0,95	0,99	0,32
EPC 08	60	-2,66	-3,92	-0,35	-2,69	-3,82	-3,56	-3,38	-2,23	-1,41	-0,62	0,81
EPC 63	48	-4,36	-5,74	6,40	-4,83	-5,60	-5,45	-5,26	-4,42	-3,14	-2,06	3,50
EPC 74	52	-4,92	-8,33	2,86	-6,02	-7,96	-7,27	-6,58	-4,07	-0,35	-0,03	6,86
EPC 87	55	-0,52	-2,13	1,23	-0,64	-1,57	-1,35	-1,06	0,12	0,46	0,62	0,55
HET 30	53	2,94	1,77	4,75	2,95	1,80	2,04	2,42	3,40	3,85	4,14	0,51
HET 54a	51	-0,18	-1,17	0,64	-0,18	-0,96	-0,76	-0,41	0,10	0,36	0,45	0,18
HET 64	54	-0,90	-1,53	-0,16	-0,91	-1,42	-1,26	-1,11	-0,67	-0,52	-0,26	0,11
PM 40c	55	0,12	-0,77	1,11	0,07	-0,48	-0,38	-0,20	0,31	0,74	0,90	0,18
PM 72	59	-1,03	-1,68	-0,57	-0,99	-1,53	-1,37	-1,21	-0,81	-0,73	-0,64	0,07
PM 85	58	-0,45	-1,96	0,71	-0,43	-1,07	-0,91	-0,71	-0,19	0,13	0,25	0,21
PS 44	59	-0,69	-2,07	0,17	-0,65	-1,43	-1,22	-0,91	-0,45	-0,20	-0,04	0,18
PS 67a	51	-0,75	-1,64	-0,10	-0,61	-1,38	-1,28	-0,99	-0,55	-0,45	-0,29	0,13
PS 76	59	-0,05	-1,29	0,82	-0,01	-0,79	-0,61	-0,35	0,24	0,52	0,61	0,20
SP 05	52	-2,65	-3,61	-1,94	-2,68	-3,19	-3,06	-2,90	-2,37	-2,13	-2,01	0,14
SP 11	52	-2,70	-4,91	0,26	-2,85	-4,25	-4,01	-3,57	-2,11	-1,31	-0,69	1,26
SP 25	55	-1,41	-2,31	0,17	-1,60	-2,02	-1,98	-1,82	-1,15	-0,49	-0,26	0,36
SP 38	52	-3,14	-5,20	-0,48	-3,33	-4,85	-4,06	-3,71	-2,74	-1,83	-1,31	1,03
SP 57	49	-0,19	-1,03	2,96	-0,33	-0,89	-0,85	-0,58	0,02	0,38	0,88	0,47
SP 68	51	-0,97	-2,81	0,94	-0,96	-1,91	-1,72	-1,52	-0,40	-0,22	0,02	0,52

Tableau 17 : Statistiques par placette des écarts mensuels (°C) «températures RENECOFOR – températures Météo-France». Moyennes des écarts, valeurs minimum et maximum ; médiane des écarts, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95% ; variance.

Table 17: *Summary statistics for the monthly differences (°C) «RENECOFOR temperatures – Météo-France temperatures». Means, minimum and maximum values, medians, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variances.*

4. RAYONNEMENT GLOBAL

Le rayonnement global est mesuré sur 7 placettes du sous réseau météorologique forestier. Ces données sont comparées à des valeurs de rayonnement directement mesurées par Météo-France (EPC 08, PM 85, SP 11 et SP 25 à partir de 1998) ou à des valeurs de rayonnement calculées à partir de mesures de durées d'insolation (PM 72, PS 76, SP 38 et SP 25 jusqu'en 1997). Le calcul du rayonnement à partir de l'insolation est présenté dans l'**annexe météo 8**.

4.1. Données journalières

4.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles (n = 11 848) la corrélation entre les rayonnements mesurés sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France est égale à 0,94 (r^2 = 0,88) soit des valeurs intermédiaires à celles observées pour les pluies et les températures.

Les rayonnements calculés à partir des durées d'insolation sont plus fortement corrélés aux mesures RENECOFOR que les rayonnements mesurés (r^2=0,92 avec n=6 053 contre r^2=0,85 avec n=5 795) mais les postes où sont mesurées les durées d'insolation sont plus proches des placettes RENECOFOR que les postes où sont mesurés les rayonnements (34 km en moyenne contre plus de 61 km). L'analyse de covariance effectuée sur les données de la placette SP 25 montre que les régressions obtenues sur la période 1995-1997 d'une part et sur la période 1998-1999 d'autre part, ne sont pas significativement différentes. La séparation des données de rayonnement n'est donc pas nécessaire et dans la suite du texte aucune distinction ne sera faite entre les rayonnements mesurés et les rayonnements calculés à partir de mesures d'insolation.

Le niveau des corrélations entre les séries de données est stable dans le temps, sauf en 1999 où l'on note une légère baisse du pourcentage de variabilité expliquée par rapport aux autres années (**tableau 18**).

La qualité des corrélations semble, une fois encore, dépendante de la saison ; les coefficients les plus faibles étant observés en décembre et en janvier et d'une façon plus générale d'octobre à janvier si on exclut la mauvaise corrélation du mois de juin (**tableau 19**). Cette chute des corrélations pendant l'hiver est probablement due à une mauvaise prise en compte du rayonnement diffus par les mesures de durées d'insolation (*cf.* **annexe météo 8**).

4.1.2. Analyses par placette

4.1.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 9)

Les corrélations entre les mesures de rayonnement sont toujours significatives au seuil de 0,1‰ et les coefficients de détermination varient de 0,89 à 0,95 sauf pour la placette SP 11 où il est égal à 0,75 (**tableau 20**). La qualité des corrélations est nettement dépendante de la différence d'altitude et de la distance séparant les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Pour PM 72, PS 76 et PM 85 les stations sont distantes de 25 à 50 km avec un dénivelé inférieur à 100 m ; le poste météo correspondant à la placette EPC 08 est distant de 91 km avec une différence d'altitude de 400 m ; enfin, pour SP 11, SP 25 et SP 38 les postes sont distants d'une quarantaine de km mais avec un dénivelé de 700 à 860 m.

Les estimations des ordonnées à l'origine des droites de régression sont significativement différentes de zéro (au seuil de 0,1‰) pour les placettes EPC 08, SP 38, SP 25 PM 85 et SP 11 et les estimations des pentes sont toutes significativement différentes de 1 sauf pour la placette PM 85 (**figure 9**). Les observations dont les valeurs sont atypiques par rapport à l'ensemble des données sont peu influentes et ne modifient pas la précision des paramètres des ajustements, même pour la placette SP 11.

Année	Effectifs	R^2	C.V.
1995	1785	0,91	22,6%
1996	2560	0,88	24,8%
1997	2543	0,89	22,4%
1998	2484	0,88	24,4%
1999	2476	0,86	26,0%

Tableau 18 : Régressions linéaires entre les mesures de rayonnement global journalier enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction de l'année de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 18: *Linear regressions between daily solar radiation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to the year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Mois	Effectifs	R^2	C.V.
janvier	957	0,62	43,3%
février	889	0,72	34,0%
mars	992	0,76	25,5%
avril	951	0,77	22,0%
mai	953	0,76	20,0%
juin	941	0,68	21,1%
juillet	1009	0,73	17,9%
août	995	0,75	17,0%
septembre	1014	0,79	20,4%
octobre	1077	0,71	27,5%
novembre	1030	0,69	36,9%
décembre	1040	0,56	49,7%

Tableau 19 : Régressions linéaires entre les mesures de rayonnement global journalier enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction du mois de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 19: *Linear regressions between daily solar radiation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to the month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Placette	Effectifs	R^2	C.V.
EPC 08	1789	0,89	27,2%
PM 72	1811	0,95	15,5%
PM 85	1764	0,92	18,1%
PS 76	1771	0,93	20,3%
SP 11	1531	0,75	30,3%
SP 25	1618	0,89	22,6%
SP 38	1564	0,91	21,8%

Tableau 20 : Régressions linéaires par placette entre les mesures de rayonnement global journalier enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 20: *Linear regressions for each site between daily solar radiation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

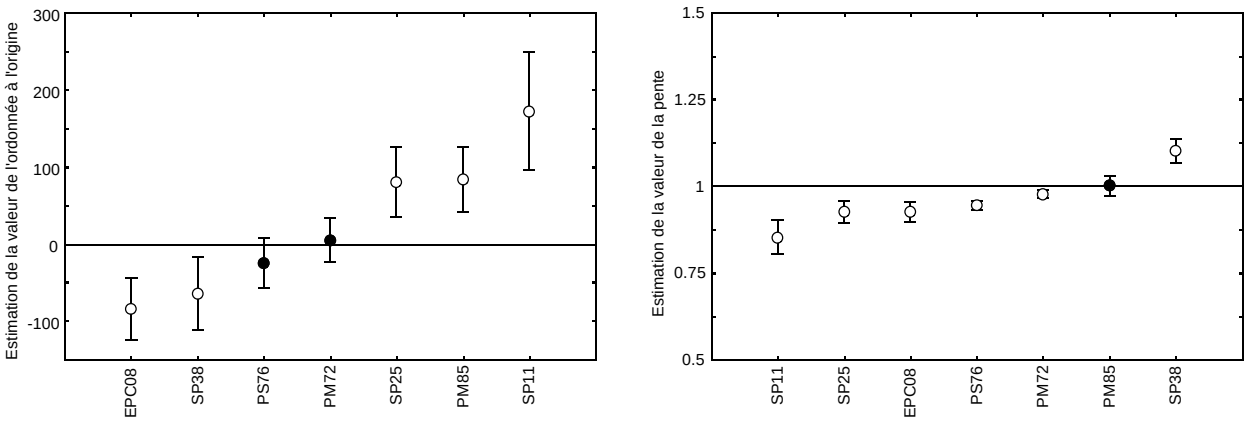


Figure 9 : Régressions linéaires entre les mesures journalières de rayonnement global effectuées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 ou 1.

Figure 9: *Linear regressions between daily solar radiation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept (left) and slope (right). Empty circles correspond to the values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

4.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts journaliers varient de –2076 à +2062 J/cm^2 ; 90% des écarts sont compris entre les valeurs –800 et +554 J/cm^2 et 50% entre –292 et +229 J/cm^2. Pour toutes les placettes, sauf (EPC 08), les moyennes et les médianes des écarts journaliers sont comprises dans l'intervalle –100 / +100 J/cm^2 (**tableau 21**).

ECARTS JOURNALIERS												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC08	1789	-165	-1367	1409	-120	-642	-513	-292	-18	88	189	68845
PM72	1811	-24	-701	877	-37	-301	-218	-121	60	186	291	30553
PM85	1764	87	-1277	1311	29	-205	-128	-49	186	404	554	60205
PS76	1771	-64	-869	1800	-70	-354	-282	-181	35	164	272	40058
SP11	1531	-25	-2076	2062	41	-801	-529	-207	191	363	538	170917
SP25	1618	-6	-1245	1118	30	-516	-373	-126	146	281	401	72875
SP38	1564	54	-941	1163	69	-412	-283	-123	229	368	496	75362

ECARTS RELATIFS JOURNALIERS												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC08	1789	-18,36	-94,23	331,36	-16,55	-72,68	-61,48	-40,84	-1,99	12,26	34,11	1370,79
PM72	1811	-3,89	-82,07	127,03	-3,64	-48,67	-34,65	-13,39	7,20	22,74	35,53	577,64
PM85	1764	9,46	-63,25	190,55	2,94	-23,94	-15,14	-4,66	19,16	41,16	58,50	709,22
PS76	1771	-8,91	-85,55	202,05	-8,82	-52,10	-39,72	-23,08	4,51	21,49	31,29	628,26
SP11	1531	10,67	-88,29	762,30	3,47	-58,88	-45,50	-19,20	17,56	58,10	108,56	4657,47
SP25	1618	9,22	-82,33	637,50	2,31	-50,32	-36,60	-15,51	18,42	51,76	99,63	2744,24
SP38	1564	0,26	-94,41	221,06	5,78	-70,01	-55,54	-20,13	17,92	38,51	56,49	1498,44

Tableau 21 : En haut = statistiques par placette des écarts journaliers (J/cm^2) «Rg RENECOFOR – Rg Météo-France». Moyenne, écart minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance. En bas = statistiques par placette des écarts relatifs (%) «(Rg RENECOFOR – Rg Météo-France)x100/Rg Météo-France».

Table 21: *Top = summary statistics for each site for the differences (J/cm^2) « RENECOFOR solar radiation– Météo-France solar radiation ». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance. Bottom = summary statistics for each site for the relative differences (%) "(RENECOFOR S.R.–Météo-France S.R.) / Météo-France G.R. " (percentage).*

L'amplitude des écarts est la plus faible pour PM 72 avec une distance centile 75% - centile 25% inférieure à 200 J/cm^2. Pour PM 76, PM 85, SP 25 et EPC 08 cette distance est comprise entre 200 et 300 J/cm^2 et elle est supérieure à 350 J/cm2 pour SP 38 et SP 11.

Considérés en valeurs absolues, les écarts quotidiens de moins de 100 J/cm^2 sont majoritaires pour les placettes PM 72 et PM 85 et les écarts de plus de 200 J/cm2 représentent moins d'un tiers des effectifs. A l'opposé, pour les placettes SP 11 et SP 38, la fréquence des écarts de moins de 100 J/cm^2 est inférieure à 30% et les écarts les plus fréquents sont supérieurs à 200 J/cm^2 et plus. Ces écarts représentent une fraction importante du rayonnement global puisque pour toutes les placettes plus de la moitié des écarts correspondent à des variations de plus de 10% du rayonnement global mesuré par Météo-France (**tableau 21** et **figure 10**).

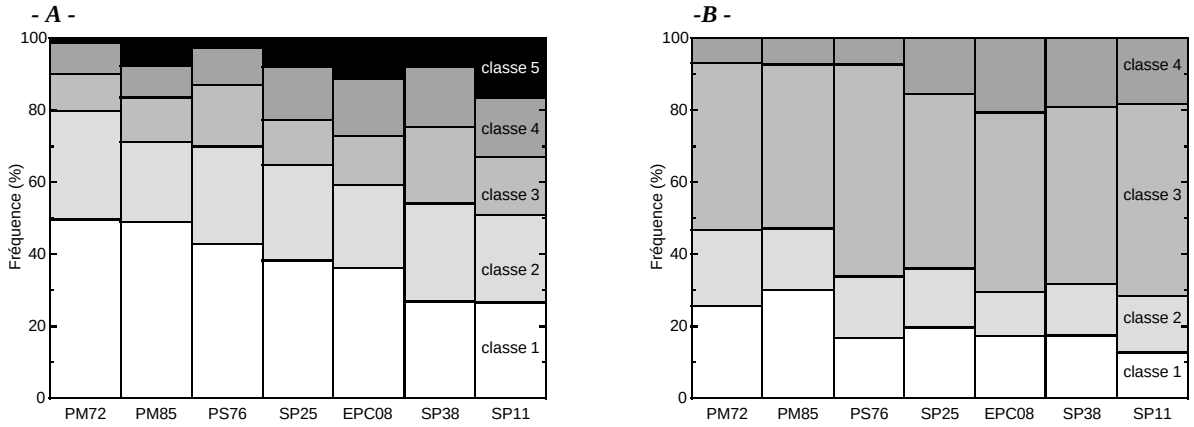


Figure 10 : A - fréquence de la valeur absolue des écarts entre les rayonnements journaliers mesurés sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 100 J/cm^2[, classe 2 = [100, 200 J/cm^2[, classe 3 = [200, 300 J/cm^2[, classe 4 = [300, 500 J/cm^2[,classe 5 = 500 J/cm^2. **B** – fréquence de la valeur absolue des écarts relatifs. Classe 1 = [0, 5%[, classe 2 = [5, 10%[, classe 3 = [10, 50%[, classe 4 = 50%.

***Figure 10: A** - frequency of the absolute value of the differences between daily solar radiations recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Class 1 = [0, 100 J/cm^2[, class 2 = [100, 200 J/cm^2[, class 3 = [200, 300 J/cm^2[, class 4 = [300, 500 J/cm^2[,class 5 = 500 J/cm^2. **B** – frequency of the absolute value of the relative differences. Class 1 = [0, 5%[, class 2 = [5, 10%[, class 3 = [10, 50%[, class 4 = 50%.*

Placette	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Signif.
EPC 08	-140.0	-252.4	-169.3	-99.5	*0,1‰*
PM 72	-14.4	-19.4	-37.2	-26.0	*ns*
PM 85	71.9	141.9	108.4	23.0	*0,1‰*
PS 76	-63.1	-28.3	-90.2	-77.3	*0,1‰*
SP 11	111.3	-182.5	-122.9	62.1	*0,1‰*
SP 25	111.1	-73.6	-85.6	38.4	*0,1‰*
SP 38	70.5	95.9	63.8	-0.7	*0,1‰*

Tableau 22 : Moyennes saisonnières des différences journalières «Rg RENECOFOR – Rg Météo-France». Hiver = janvier, février, mars ; printemps = avril, mai, juin ; été = juillet, août, septembre ; automne = octobre, novembre, décembre. Signif. = seuil de signification de «l'effet saisonnier».

Table 22: *Seasonal average of the differences between the daily solar radiations recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Winter = January, February, March; spring = April, May, June; summer = July, August, September; autumn = October, November, December. Signif = significance level for the "seasonal effect".*

Comme pour les températures, la variabilité des écarts journaliers augmente avec la valeur du rayonnement. Pour toutes les placettes la moyenne mensuelle de la valeur absolue des écarts journaliers est la plus forte en juin et la plus faible en décembre. Cet «effet mois» est significatif au seuil de 0,1‰ pour toutes les placettes.

Pour toutes les placettes (sauf PM 72), les moyennes des écarts journaliers entre les mesures de rayonnement sont également significativement dépendantes du mois de mesure (au seuil de 0,1‰) : le biais entre les deux réseaux étant généralement plus fort pendant la période de végétation (**annexe météo 10** – **tableau 22**). Pour les placettes SP 11 et SP 25 on note également que le rayonnement journalier mesuré sur les placettes RENECOFOR est en moyenne sous-estimé par rapport aux stations Météo-France pendant la période de végétation et surestimé pendant l'hiver. Considérées en pourcentage du rayonnement mesuré sur les postes de Météo-France, les moyennes des écarts journaliers sont à l'inverse plus faibles pendant la période de végétation (**annexe météo 10**).

4.2. Cumuls mensuels

4.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 11)

La qualité des corrélations entre les rayonnements mesurés s'améliore nettement au pas de temps mensuel avec des r^2 variant de 0,96 à 0,99 (moyenne de 0,98) – (**tableau 23**).

Les ordonnées à l'origine des droites de régression sont non significativement différentes de 0 (au seuil de 0,1‰) pour les placettes EPC 08, PM 72, SP 38 et PM 85. Les pentes des droites de régression sont non significativement différentes de 1 pour les placettes PS 76 et PM 72 (**figure 11** – **annexe météo 11**).

Placette	Effectif	R^2	C.V.
EPC08	60	0,99	7,9%
PM72	60	0,99	4,3%
PM85	59	0,98	7,1%
PS76	60	0,99	5,1%
SP11	52	0,96	9,7%
SP25	55	0,98	7,0%
SP38	52	0,99	5,8%

Tableau 23 : Régressions linéaires par placette entre les rayonnements mensuels enregistrés sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 23: *Linear regressions for each site between monthly solar radiations recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

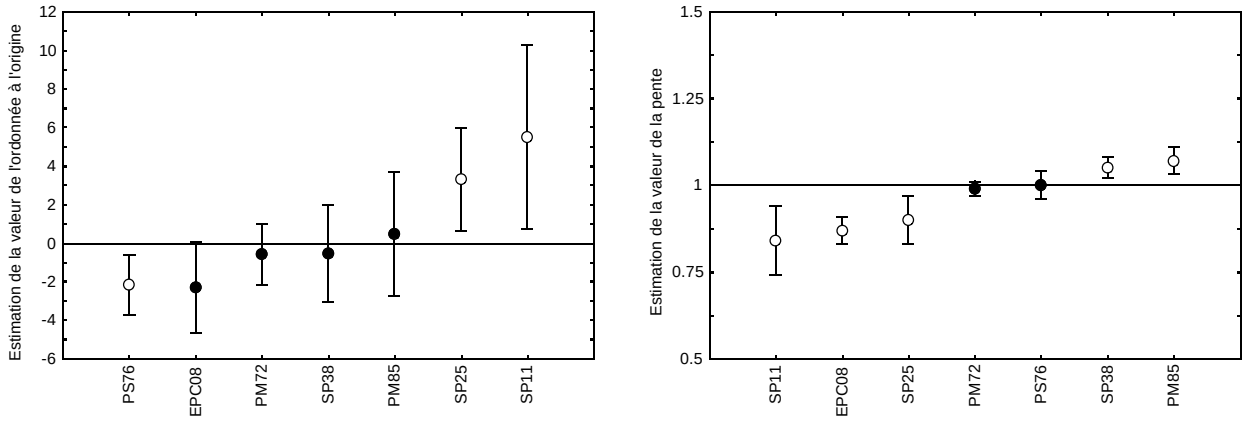


Figure 11 : Régressions linéaires entre les cumuls mensuels de rayonnement enregistrés sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 ou 1.

Figure 11: *Linear regressions between monthly solar radiation recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept (left) and slope (right). Empty circles correspond to values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

4.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts mensuels varient de –14 à +14 kJ/cm^2 ; 90% des écarts sont compris entre –7,2 et +4,9 kJ/cm^2 et 50% entre –2,6 et +1,6 kJ/cm^2. Pour toutes les placettes, sauf (EPC 08), les moyennes et les médianes des écarts mensuels sont comprises dans l'intervalle –2 / +2 kJ/cm^2 (**tableau 24**). Pour les placettes PM 72 et PS 76 l'amplitude des écarts est minimale avec une distance centile 75% - centile 25% inférieure à 2 kJ/cm^2 et une distance centile 95% - centile 5% inférieure à 4 kJ/cm^2. Ces distances sont à l'opposé maximales pour SP 11 et SP 25 avec une distance centile 75% - centile 25% supérieure à 5 kJ/cm^2.

Les écarts de moins de 2 kJ/cm^2 (valeur absolue) sont majoritaires pour les placettes PM 72, PM 85, PS 76 et SP 38 et la fréquence des écarts de plus de 4 kJ/cm² n'est importante que pour les placettes SP 11 et EPC 08 (**figure 12**). A l'inverse des écarts journaliers, les écarts mensuels ne représentent qu'une fraction limitée du rayonnement global ; une large majorité des écarts correspondant à des variations de moins de 10% du rayonnement global mesuré sur les stations Météo-France (**tableau 24**, **figure 12**).

ECARTS MENSUELS												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC08	60	-4912	-13118	-273	-4344	-9327	-8501	-6783	-2844	-1633	-1253	7366917
PM72	60	-734	-5255	2592	-726	-3292	-2142	-1370	-99	1076	1442	2118004
PM85	59	2603	-1619	14062	1976	-464	-234	116	4246	6006	6430	9441652
PS76	60	-1897	-5100	1829	-2015	-4107	-3560	-2680	-1067	-12	157	2130423
SP11	52	-729	-13681	6581	504	-10523	-8603	-3298	2340	4466	5754	24178543
SP25	55	-174	-8414	6296	598	-4919	-4517	-2879	2176	3161	3988	10157973
SP38	52	1624	-2423	7992	1813	-2065	-1601	-162	3437	4428	5133	5801984

ECARTS RELATIFS MENSUELS												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC08	60	-18,9	-47,9	-2,9	-16,5	-40,5	-38,1	-24,1	-10,9	-6,1	-4,5	131,1
PM72	60	-3,5	-18,3	6,4	-2,6	-14,1	-10,5	-7,0	-0,2	2,9	5,5	32,3
PM85	59	7,1	-4,4	40,8	4,6	-3,2	-1,3	0,6	9,4	17,5	32,2	101,5
PS76	60	-10,0	-35,4	3,7	-9,2	-26,6	-24,2	-13,3	-3,7	0,0	1,0	79,9
SP11	52	2,6	-25,3	55,3	1,0	-16,9	-15,4	-7,6	8,3	18,1	29,3	233,3
SP25	55	4,8	-14,6	33,6	2,6	-10,0	-7,3	-5,2	12,8	22,1	28,1	151,0
SP38	52	3,0	-26,4	43,2	3,8	-17,3	-12,0	-0,8	8,6	14,5	16,1	127,0

Tableau 24 : En haut = statistiques par placette des écarts mensuels «Rg RENECOFOR – Rg Météo-France». Moyenne, écart minimum et maximum, médianes, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance (données en J/cm^2). En bas = statistiques par placette des écarts relatifs «(Rg RENECOFOR – Rg Météo-France)x100/Rg Météo-France» (données en pourcentages).

Table 24: *Top = summary statistics for each site for the monthly differences « RENECOFOR Global radiation– Météo-France solar radiation ». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance (in J/cm^2). Bottom = summary statistics for each site for the relative differences "(RENECOFOR S.R.– Météo-France S.R.) / Météo-France S.I" (percentage).*

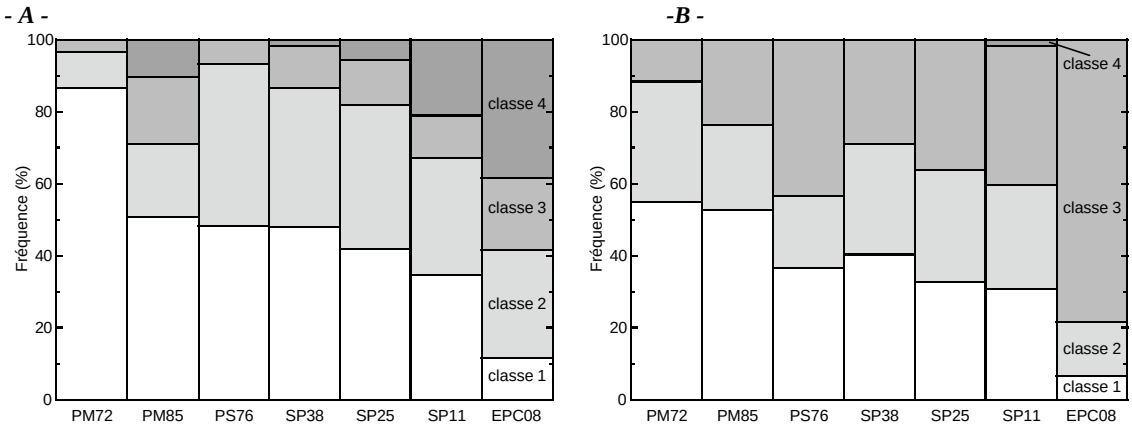


Figure 12 : A - fréquence de la valeur absolue des écarts entre les cumuls mensuels de rayonnement global journalier mesuré sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 2 kJ/cm^2[, classe 2 = [2, 4 kJ/cm^2[, classe 3 = [4, 6 kJ/cm^2[, classe 4 = 6 kJ/cm^2. **B**– fréquence de la valeur absolue des écarts relatifs. Classe 1 = [0, 5%[, classe 2 = [5, 10%[, classe 3 = [10, 50%[, classe 4 = 50%.

***Figure 12: A** - frequency of the absolute value of the differences between monthly solar radiations recorded in the RENECOFOR network and the reference stations (Météo-France). Class 1 = [0, 2 kJ/cm^2[, class 2 = [2, 4 kJ/cm^2[, class 3 = [4, 6 kJ/cm^2[, class 4 = 6 kJ/cm^2. **B** – frequency of the absolute value of the relative differences. Class 1 = [0, 5%[, class 2 = [5, 10%[, class 3 = [10, 50%[, class 4 = 50%.*

5. HUMIDITES RELATIVES

5.1. Données journalières

5.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles (n=32 914) la corrélation entre les humidités relatives mesurées sur les placettes du réseau et les stations Météo-France est de 0,73 (r^2=0,54), soit un résultat inférieur à celui obtenu pour les précipitations.

Le niveau de corrélation entre les deux séries de données est relativement stable pendant les 5 années de mesures (**tableau 25**). La qualité des corrélations semble dépendante de la saison ; les meilleures corrélations étant observées du mois de mars au mois de septembre (r^2 supérieurs à 0,5) – (**tableau 26**).

Année	Effectifs	R^2	C.V.%
1995	3407	0,55	10,4%
1996	5466	0,59	10,8%
1997	5462	0,56	12,1%
1998	9281	0,54	12,7%
1999	9298	0,51	11,5%

Tableau 25 : Régressions linéaires entre les mesures d'humidité relative journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction de l'année de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 25: *Linear regressions between daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to the year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Mois	Effectifs	R^2	C.V.%
janvier	2632	0,34	13,4%
février	2423	0,48	12,9%
mars	2719	0,58	12,6%
avril	2641	0,61	11,4%
mai	2662	0,61	10,9%
juin	2658	0,53	10,7%
juillet	2782	0,58	10,5%
août	2817	0,56	11,1%
septembre	2812	0,53	9,7%
octobre	2970	0,33	10,6%
novembre	2851	0,41	11,3%
décembre	2946	0,34	12,9%

Tableau 26 : Régressions linéaires entre les mesures d'humidité relative journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction du mois de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 26: *Linear regressions between daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to the month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Placette	Effectif	R^2	C.V.%
CHP 40	1660	0,70	5,6%
CHP 59	730	0,69	5,9%
CHS 10	1501	0,69	7,5%
CHS 35	1818	0,76	6,3%
CHS 41	1762	0,71	9,0%
DOU 71	729	0,63	10,4%
EPC 08	1789	0,60	11,0%
EPC 63	672	0,65	10,2%
EPC 74	1537	0,14	18,6%
EPC 87	1624	0,75	11,2%
HET 30	1500	0,71	12,8%
HET 54a	719	0,73	6,9%
HET 64	730	0,55	12,9%
PL 20	1705	0,20	18,4%
PM 40c	1657	0,77	6,2%
PM 72	724	0,81	6,2%
PM 85	1770	0,75	7,5%
PS 44	1780	0,85	5,5%
PS 67a	730	0,72	7,0%
PS 76	1802	0,65	6,3%
SP 05	730	0,79	10,4%
SP 11	1524	0,17	18,9%
SP 25	712	0,44	16,2%
SP 38	1561	0,26	16,5%
SP 57	718	0,63	7,2%
SP 68	730	0,53	10,8%

Tableau 27 : Régressions linéaires par placettes entre les mesures d'humidité relative journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 27: *Linear regressions for each site between daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

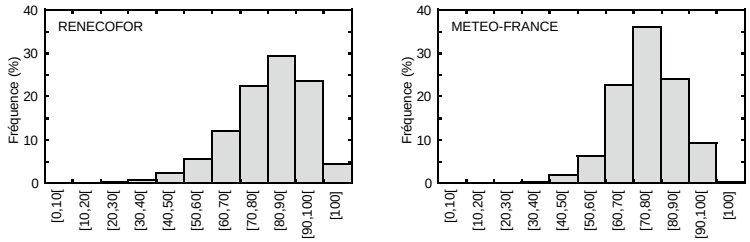


Figure 13 : Fréquence des humidités relatives journalières enregistrées sur les placettes de RENECOFOR et les stations Météo-France.

Figure 13: *Recorded frequency of the daily relative humidity in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations.*

5.1.2. Analyses par placette

5.1.2.1. Régressions (*cf.* **annexe météo 12**)

Les corrélations entre les humidités relatives mesurées dans les deux réseaux sont toujours significatives au seuil de 0,1‰, mais la qualité des régressions est assez médiocre : 14 à 85% (moyenne 61%) de la variabilité des humidités de RENECOFOR pouvant être expliquée par les humidités relatives enregistrées par Météo-France (**tableau 27**). La qualité des corrélations n'est pas dépendante de la distance entre les postes de mesure mais elle est par contre fortement dépendante de la différence d'altitude entre les postes : r^2 moyen de 0,74, 0,63 et 0,20 pour des différences d'altitudes respectives de moins de 100 m, de 200 à 700 m et de 800 m et plus.

La mauvaise qualité des corrélations entre les deux séries de mesures s'explique d'une façon générale par les différences dans les distributions en fréquence des humidités mesurées. On observe d'une part que les humidités les plus fréquentes sur les placettes RENECOFOR sont de 80 à 90% alors qu'elles sont de 70 à 80% dans les stations Météo-France (probablement en raison du microclimat forestier) et que, d'autre part, la gamme des humidités est plus étendue sur les placettes RENECOFOR que dans les stations Météo-France (**figure 13**). Pour Météo-France, 82% des humidités mesurées sont comprises dans les bornes [60-90%[alors que ces limites ne correspondent qu'à 64% des données RENECOFOR. Les humidités relatives de 90% et plus représentent 28% des mesures réalisées sur les placettes du réseau RENECOFOR et seulement 9% des données Météo-France. Ces effets sont particulièrement nets pour les placettes DOU 71, EPC 08, EPC 63 EPC 74, EPC 87, HET 30, HET 64, PL 20, SP 11, SP 25 ou SP 38 (*cf.* **annexe météo 12**).

Les ordonnées à l'origine des droites de régression sont non significativement différentes de 0 (au seuil de 0,1‰) pour les placettes SP 25, CHS 41, PM 72, SP 68 et EPC 63 et les pentes sont non significativement différentes de 1 pour les placettes PS 67a, CHS 35, PM 40c, PM 85, HET 54a et PS 44 (**figure 14**).

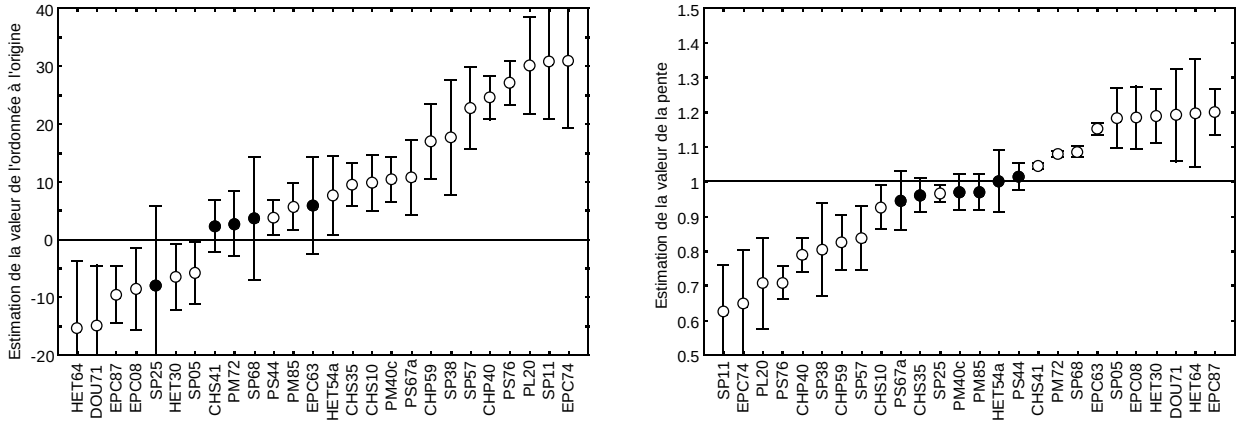


Figure 14 : Régressions linéaires entre les mesures journalières d'humidité relative effectuées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes).

Figure 14: *Linear regressions between daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept and slope. Empty circles correspond to the values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

5.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts journaliers varient de –70 à +49% ; 90% des écarts sont compris entre –10 et +19% et la moitié d'entre eux entre +1 et +11%. Les humidités relatives enregistrées sur les placettes RENECOFOR sont en grande majorité plus fortes que celles mesurées par Météo-France, 78% des écarts «RENECOFOR – Météo-France» étant supérieurs à 0. Les postes de mesure RENECOFOR étant situés dans un environnement forestier, il n'est pas étonnant d'observer des humidités relatives plus fortes que dans les stations Météo-France (**tableau 28**).

Pour 16 placettes, 50% des écarts journaliers ont des valeurs positives. Pour les placettes CHP 40 et SP 57, 90% des écarts journaliers sont supérieurs ou égaux à 0. De fait, pour toutes les placettes (sauf SP 25) les moyennes et les médianes des écarts journaliers sont positives (ou très faiblement négatives dans le cas de DOU 71 et HET 64) et varient de 0 à +13%.

Pour les placettes CHP 40, CHP 59, CHS 10, CHS 35, CHS 41, HET 54a, PM 40c, PM 72, PM 85, PS 44, PS 67a, PS 76 et SP 57, la distance centile 75% - centile 25% est inférieure à 10% et la distance centile 95% - centile 5% est comprise entre 15 et 20%. A l'opposé, pour les placettes EPC 74, PL 20, SP 11 et SP 38, les distances centile 75% - centile 25% sont comprises dans l'intervalle 15-20% et les distances centile 95% - centile 5% dans l'intervalle 40-50%.

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
CHP 40	1660	8,53	-6,00	28,54	8,15	0,29	2,00	5,00	12,00	15,01	17,00	25,94
CHP 59	730	2,81	-15,85	20,56	2,67	-5,02	-3,58	-0,70	6,08	9,17	11,32	26,48
CHS 10	1501	4,00	-30,37	19,00	4,00	-6,00	-4,00	0,00	8,00	12,00	14,00	38,22
CHS 35	1818	6,46	-14,94	19,65	6,73	-2,73	0,00	3,44	10,06	13,00	14,50	27,55
CHS 41	1762	3,36	-24,87	27,73	3,74	-8,96	-5,92	-1,00	7,98	12,10	14,50	49,39
DOU 71	729	-0,19	-26,23	26,00	0,06	-13,40	-10,43	-5,65	4,75	9,80	13,51	65,30
EPC 08	1789	5,74	-31,81	32,46	6,65	-11,53	-7,01	0,27	12,40	17,00	19,27	87,02
EPC 63	672	10,72	-21,77	33,13	11,06	-3,05	0,68	5,60	16,46	20,47	23,43	67,62
EPC 74	1537	4,93	-64,00	38,63	6,88	-24,42	-13,54	-2,00	15,00	21,08	25,00	224,80
EPC 87	1624	5,22	-40,21	28,65	6,10	-12,32	-6,67	0,15	11,78	15,94	18,06	85,45
HET 30	1500	7,33	-53,71	33,92	8,93	-13,48	-5,84	2,88	14,00	18,54	21,48	112,29
HET 54a	719	7,63	-14,00	25,75	7,67	-1,07	1,00	4,00	11,00	14,72	17,04	32,51
HET 64	730	-0,73	-37,79	20,00	0,00	-18,87	-13,08	-6,00	6,00	10,64	13,82	92,86
PL 20	1705	11,56	-41,21	48,71	12,56	-13,31	-7,79	2,96	21,23	29,42	32,91	198,03
PM 40c	1657	8,11	-8,00	32,00	8,00	-0,73	1,44	4,71	11,67	14,74	16,01	27,07
PM 72	724	6,03	-13,44	20,15	6,27	-2,59	-0,51	2,54	9,33	12,38	14,22	26,09
PM 85	1770	3,30	-15,29	27,98	3,20	-6,23	-4,35	-0,84	7,08	11,06	13,54	36,36
PS 44	1780	4,89	-12,92	20,00	4,71	-2,40	-0,60	1,98	7,76	10,73	12,51	20,63
PS 67a	730	6,59	-16,00	20,17	7,00	-3,24	-1,00	3,00	10,25	14,00	15,18	32,52
PS 76	1802	4,10	-13,62	32,00	3,88	-5,65	-3,27	0,06	8,23	11,58	14,42	36,36
SP 05	730	5,11	-21,00	25,85	4,63	-5,44	-3,44	-0,03	10,20	14,73	17,09	49,77
SP 11	1524	3,60	-61,62	31,29	6,08	-25,00	-16,00	-4,00	14,00	19,95	23,00	222,29
SP 25	712	-2,80	-58,62	25,13	-1,67	-25,82	-16,99	-8,07	5,29	10,14	12,71	145,46
SP 38	1561	3,07	-69,65	34,88	4,77	-21,90	-12,73	-3,02	11,69	17,29	19,92	164,02
SP 57	718	10,52	-17,00	27,00	10,94	0,00	2,00	6,57	15,00	18,36	20,00	40,16
SP 68	730	6,39	-42,04	25,42	7,33	-9,35	-4,73	1,70	11,96	16,40	18,47	75,87

Tableau 28 : Statistiques par placette des écarts journaliers «Humidité RENECOFOR – Humidité Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance.

Table 28: *Summary statistics for each site for the differences « RENECOFOR Relative humidity– Météo-France relative humidity». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance.*

Considérés en valeurs absolues, les écarts de moins de 5% d'humidité sont majoritaires sur seulement 4 placettes (CHP 59, PM 85, PS 44 et PS 76) et les écarts de plus de 10% sont majoritaires sur 6 placettes (EPC 63, EPC 74, HET 30, PL 20, SP 11 et SP 57) – **figure 15**.

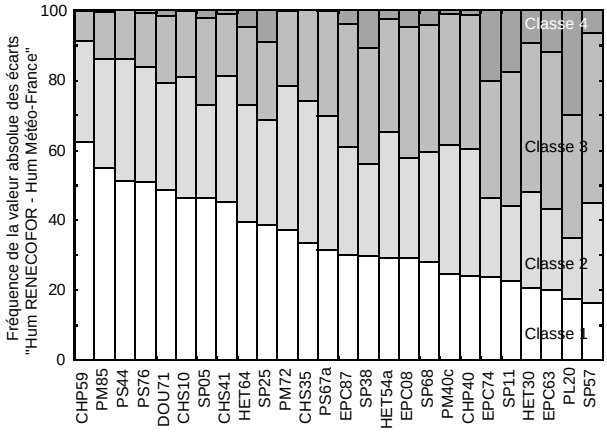


Figure 15 : Fréquence de la valeur absolue des écarts journaliers entre les humidités relatives mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 5%[, classe 2 = [5, 10%[, classe 3 = [10, 20%[, classe 4 = 20%.

Figure 15: *Frequency of the absolute value of the differences between the daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations (Météo-France). Class 1 = [0, 5%[, class 2 = [5, 10%[, class 3 = [10, 20%[, class 4 = 20%.*

L'«effet mois» sur les écarts entre les humidités relatives journalières est significatif pour toutes les placettes : au seuil de 1% pour EPC 63 et PS 67a et au seuil de 0,1‰ pour toutes les autres placettes. Cet effet est également significatif sur les valeurs absolues des écarts : au seuil de 5% pour HET 30, au seuil de 1% pour EPC 87, HET 64, PS 67a et SP 11 et au seuil de 0,1‰ pour toutes les autres placettes (*cf*. **annexe météo 13**).

Pour les placettes EPC 74, HET 30, PS 67a, PS 76, SP 11, SP 38 et SP 68 le biais le plus important entre les humidités relatives est observé pendant la période de végétation (printemps et été). Pour les placettes EPC 08, EPC 63, PM 40c PS 44, SP 05 et SP 25 il est au contraire le plus important pendant les mois d'automne et d'hiver. Pour les placettes CHS 10, CHS 35, CHS 41, EPC 87, PL 20 et PM 72 le biais le plus important est observé en été et en automne ; en hiver et au printemps pour CHP 59, HET 54a et SP 57 (**tableau 29**).

5.2. Moyennes mensuelles

5.2.1. Régressions (*cf*. **annexe météo 14**)

Au pas de temps mensuel, la qualité des corrélations entre les humidités relatives n'est que faiblement améliorée pour une vingtaine de placettes (**tableau 30**). Le niveau de corrélation reste identique à celui observé au pas de temps journalier pour CHS 35 et est diminué pour les placettes CHS 10, CHS 41, HET 64, SP 11 et SP 25.

Du fait de la forte dispersion des points, il existe une très forte incertitude sur les paramètres des droites de régression. Les ordonnées à l'origine apparaissent toutes non significativement différentes de 0 en raison de la grandeur des intervalles de confiance au seuil de 0,1‰ (de ±13 à ±160, moyenne de ±38, contre ±3 à ±14, moyenne de ±7 au pas de temps journalier). Les pentes des droites de régression sont non significativement différentes de 1 pour les placettes DOU 71, HET 64, SP 11 et SP 25, mais avec une incertitude comparable (*cf*. **annexe météo 14**).

Placette	Hiver	Printemps	Ete	Automne	Signif.
CHP 40	**8,4**	6,9	8,1	**10,5**	*0,1‰*
CHP 59	**3,4**	**4,4**	3,2	0,2	*0,1‰*
CHS 10	0,6	3,1	**8,2**	**4,2**	*0,1‰*
CHS 35	5,3	5,5	**7,8**	**7,2**	*0,1‰*
CHS 41	1,4	1,8	**4,4**	**5,5**	*0,1‰*
DOU 71	-1,8	**-2,0**	0,8	**2,2**	*0,1‰*
EPC 08	**6,3**	4,5	5,9	**6,2**	*5%*
EPC 63	**10,6**	9,9	10,3	**11,8**	*ns*
EPC 74	0,7	**9,4**	**6,6**	3,0	*0,1‰*
EPC 87	3,1	4,5	**7,1**	**5,7**	*0,1‰*
HET 30	5,4	**8,9**	**9,3**	6,2	*0,1‰*
HET 54a	**8,5**	**8,4**	6,5	7,1	*1%*
HET 64	**-4,9**	1,0	**4,7**	-3,7	*0,1‰*
PL 20	8,4	8,2	**12,6**	**16,2**	*0,1‰*
PM 40c	**9,1**	6,7	6,9	**9,7**	*0,1‰*
PM 72	4,2	6,2	**6,8**	**6,9**	*0,1‰*
PM 85	**5,0**	1,2	**4,0**	3,1	*0,1‰*
PS 44	**4,8**	3,5	4,3	**6,9**	*0,1‰*
PS 67a	6,5	**7,3**	**6,9**	5,7	*5%*
PS 76	1,9	**4,5**	**6,4**	3,7	*0,1‰*
SP 05	**4,7**	4,0	4,1	**7,6**	*0,1‰*
SP 11	-1,4	**8,3**	**8,9**	-0,2	*0,1‰*
SP 25	**-4,8**	-0,5	-0,2	**-5,9**	*0,1‰*
SP 38	-0,9	**4,5**	**5,4**	3,1	*0,1‰*
SP 57	**11,6**	**12,0**	10,7	7,7	*0,1‰*
SP 68	4,4	**8,3**	**7,1**	5,7	*0,1‰*

Tableau 29 : Moyennes saisonnières des différences journalières «Humidité relative RENECOFOR – Humidité relative Météo-France». Hiver = janvier, février, mars ; printemps = avril, mai, juin ; été = juillet, août, septembre ; automne = octobre, novembre, décembre. Signif. = seuil de signification de "l'effet saisonnier".

Table 29: *Seasonal average of the differences between the daily relative humidity recorded in the RENECOFOR network and the reference stations (Météo-France). Winter = January, February, March; spring = April, May, June; summer = July, August, September; autumn = October, November, December. Signif = significance level for the "seasonal effect".*

Placette	Effectif	R^2	C.V.
CHP 40	55	0,77	3,7%
CHP 59	24	0,80	2,8%
CHS 10	51	0,66	5,3%
CHS 35	60	0,76	4,0%
CHS 41	58	0,69	6,9%
DOU 71	24	0,66	6,2%
EPC 08	60	0,73	5,3%
EPC 63	24	0,83	4,4%
EPC 74	52	0,21	7,5%
EPC 87	55	0,80	5,3%
HET 30	53	0,78	5,7%
HET 54a	24	0,85	3,5%
HET 64	24	0,04	7,7%
PL 20	58	0,33	11,6%
PM 40c	55	0,88	3,2%
PM 72	24	0,89	3,1%
PM 85	59	0,84	4,0%
PS 44	59	0,93	2,6%
PS 67a	24	0,93	2,1%
PS 76	60	0,69	3,6%
SP 05	24	0,88	4,1%
SP 11	52	0,10	8,2%
SP 25	24	0,34	6,8%
SP 38	52	0,51	6,5%
SP 57	24	0,80	3,1%
SP 68	24	0,62	4,8%

Tableau 30 : Régressions linéaires par placette entre les moyennes mensuelles des humidités relatives journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 30: *Linear regressions for each site between the monthly averaged relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

5.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Les moyennes des écarts entre les humidités relatives mensuelles mesurées sur les placettes RENECOFOR et par Météo-France restent supérieures à 0 pour toutes les placettes (sauf DOU 71, HET 64 et SP 25) et varient de +3 à +12% (**tableau 31**). Pour 21 placettes, 50% des écarts ont des valeurs strictement positives et pour 9 placettes, 90% des écarts journaliers sont supérieurs ou égaux à 0.

Pour les placettes CHP 59, EPC 63, HET 54a, PM 40c, PM 72, PS 44, PS 67a et SP 57, la distance centile 75% - centile 25% est inférieure ou égale à 4%. Elle est inférieure ou égale à 5% pour les placettes CHP 40, CHS 10, CHS 35, HET 30, PM 85, PS 76, SP 05 et SP 38 et de l'ordre de 10% pour PL 20 et SP 11.

Pour 9 placettes (CHP 59, CHS 10, DOU 71, HET 64, PM 85, PS 44, PS 76, SP 25 et SP 38), la majorité de la valeur absolue des écarts mensuels est inférieure à 5% d'humidité relative et pour 14 placettes (CHP 40, CHS 35, CHS 41, EPC 08, EPC 74, EPC 87, HET 30, HET 54a, PM 40c, PM 72, PS 67a, SP 05, SP 11 et SP 68) les écarts de moins de 10% sont les plus fréquents. Enfin, pour les placettes EPC 63, PL 20 et SP 57, les écarts de plus de 10% en valeur absolue représentent plus de la moitié des écarts mensuels (**figure 16**).

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
CHP 40	55	8,5	1,6	14,2	8,0	3,9	4,5	6,3	11,3	12,4	13,2	10,4
CHP 59	24	2,8	-2,0	7,5	2,3	-0,4	0,3	1,1	4,6	6,9	7,3	6,5
CHS 10	51	4,0	-6,8	13,3	3,6	-2,3	-1,6	1,3	6,2	10,8	11,6	19,8
CHS 35	60	6,5	-1,9	13,7	6,6	-0,1	2,1	4,7	8,9	10,2	11,0	11,5
CHS 41	58	3,3	-11,5	12,9	4,7	-4,5	-3,3	-0,9	6,9	9,3	11,8	28,2
DOU 71	24	-0,2	-6,9	13,3	-2,2	-6,2	-5,2	-3,0	2,6	5,9	7,4	22,3
EPC 08	60	5,8	-3,7	15,5	5,9	-1,2	-0,3	2,4	8,5	12,5	12,9	19,9
EPC 63	24	10,4	2,2	17,1	10,9	3,2	6,0	8,3	12,2	15,5	16,4	17,4
EPC 74	52	5,0	-11,8	18,5	6,5	-7,9	-3,9	1,3	9,0	11,4	13,8	42,5
EPC 87	55	5,1	-5,7	13,4	5,3	-0,5	0,3	1,9	8,3	10,7	11,3	18,2
HET 30	53	7,2	-4,7	16,2	7,7	-1,5	1,6	4,9	9,5	13,1	14,1	20,9
HET 54a	24	7,6	2,9	14,5	7,4	3,5	4,3	5,9	8,6	11,8	12,5	9,5
HET 64	24	-0,8	-10,8	10,0	-2,2	-10,0	-6,5	-4,0	3,0	7,4	9,5	32,3
PL 20	58	11,6	-5,1	31,9	11,1	-0,9	0,5	6,2	15,9	21,8	29,5	74,6
PM 40c	55	8,1	0,5	13,6	8,2	2,3	3,8	6,9	10,0	11,5	12,2	9,2
PM 72	24	6,1	2,8	10,3	5,8	3,0	3,2	3,8	7,8	9,8	10,1	6,9
PM 85	59	3,3	-3,2	9,3	3,1	-1,9	-0,4	1,2	5,8	7,8	8,7	10,0
PS 44	59	4,9	0,0	11,7	4,8	1,6	2,1	3,2	6,2	7,5	8,6	5,6
PS 67a	24	6,6	3,6	9,5	6,9	4,0	4,1	5,1	7,8	8,4	9,2	4,1
PS 76	60	4,1	-3,8	13,7	4,0	-2,3	-0,2	1,5	6,5	8,8	10,4	13,3
SP 05	24	5,1	-1,6	11,8	5,5	-0,4	1,9	2,6	6,8	8,6	10,9	11,3
SP 11	52	4,0	-11,6	23,1	3,6	-8,8	-5,7	-0,9	10,5	12,6	14,4	58,3
SP 25	24	-2,8	-15,6	6,9	-2,3	-12,4	-10,9	-5,4	0,7	2,5	4,5	29,9
SP 38	52	3,1	-10,7	11,0	3,6	-6,2	-3,9	1,4	6,4	9,2	10,3	24,9
SP 57	24	10,6	3,7	14,3	10,8	6,2	6,6	9,1	13,0	14,1	14,1	11,8
SP 68	24	6,4	-1,3	13,4	7,3	0,7	2,4	3,4	9,0	10,5	12,2	15,1

Tableau 31 : Statistiques par placette des écarts mensuels «Humidité RENECOFOR – Humidité Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance.

Table 31: *Summary statistics for each site for the differences « RENECOFOR Relative humidity – Météo-France Relative humidity». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance.*

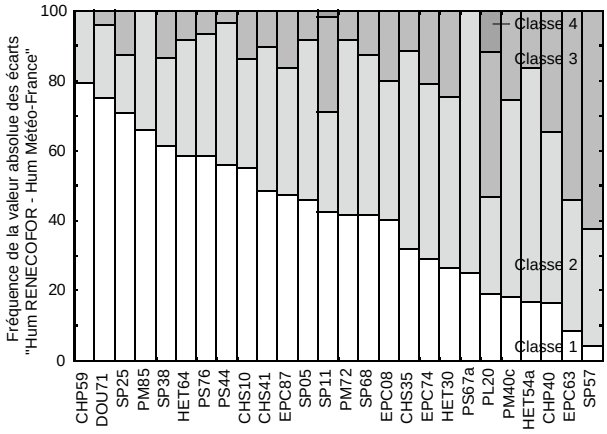


Figure 16 : Fréquence de la valeur absolue des écarts mensuels entre les humidités relatives mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 5%[, classe 2 = [5, 10%[, classe 3 = [10, 20%[, classe 4 = 20%.

Figure 16: *Frequency of the absolute value of the differences between the monthly relative humidity recorded in the RENECOFOR network and at the reference stations. Class 1 = [0, 5%[, class 2 = [5, 10%[, class 3 = [10, 20%[, class 4 = 20%.*

Placette	Effectif	R^2	C.V.%
1995	1790	0,43	42,2%
1996	2551	0,42	43,9%
1997	2548	0,48	43,5%
1998	2488	0,47	42,8%
1999	2501	0,47	43,4%

Tableau 32 : Régressions linéaires entre les vitesses journalières de vent enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction de l'année. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 32: *Linear regressions between daily wind speeds recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Mois	Effectifs	R^2	C.V.%
janvier	956	0,48	45,6%
février	886	0,57	42,0%
mars	971	0,53	37,1%
avril	960	0,49	37,2%
mai	952	0,38	38,9%
juin	952	0,42	36,9%
juillet	1012	0,42	35,1%
août	1020	0,33	38,9%
septembre	1021	0,34	46,1%
octobre	1077	0,44	48,4%
novembre	1032	0,40	51,3%
décembre	1039	0,42	51,6%

Tableau 33 : Régressions linéaires entre les vitesses de vent journalières enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France en fonction du mois de mesure. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 33: *Linear regressions between daily wind speeds recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations according to month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

6. VITESSE DU VENT

Pour les placettes EPC 08, PM 85, PS 76, SP 11 et SP 38, Météo-France nous a fourni des valeurs entières de vitesses de vent. Une fraction des écarts observés entre les mesures Météo-France et les mesures RENECOFOR est donc due à cette simplification.

Sur les placettes RENECOFOR, les capteurs sont installés à une hauteur relative de 10 m par rapport au sol environnant. Pour les postes Météo-France, les capteurs sont installés à : 10 m (stations n°72181001 Le Mans et n°73329001 Chambéry-Aix) ; 11,2 m (station n°11069001 Carcassonne) ; 11,5 m (station n°51183001 Reims-Courcy) ; 12 m (stations n°44020001 Nantes-Bouguenais et n°76116001 Rouen-Boos) et 12,2 m (station n°25056001 Besançon). L'influence des différences de hauteurs des mesures ne peut pas être appréciée.

6.1. Données journalières

6.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles (n=11 878) la corrélation entre les vitesses de vent mesurées sur les placettes du réseau et les stations Météo-France est de 0,67 (r^2=0,45), soit un résultat inférieur à celui obtenu pour les humidités relatives. Ce faible niveau de corrélation est stable sur l'ensemble des années de mesure (**tableau 32**) et tout au long de l'année (**tableau 33**).

6.1.2. Analyses par placette

6.1.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 15)

Les corrélations entre les vitesses de vent sont toutes significatives au seuil de 0,1‰ mais la qualité des régressions est médiocre, 50 à 60% de la variabilité des données RENECOFOR pouvant être expliquée par les données Météo-France. Les placettes PS 76 et SP 38 font exception avec des r^2 respectifs de 0,75 et 0,20 (**tableau 34**). La qualité des corrélations est par ailleurs peu marquée par la distance entre les postes de mesure ou la différence d'altitude.

Les ordonnées à l'origine des droites de régression sont toutes significativement différentes de 0 (au seuil de 0,1‰) et les pentes sont toutes significativement inférieures à 1 (**figure 17**).

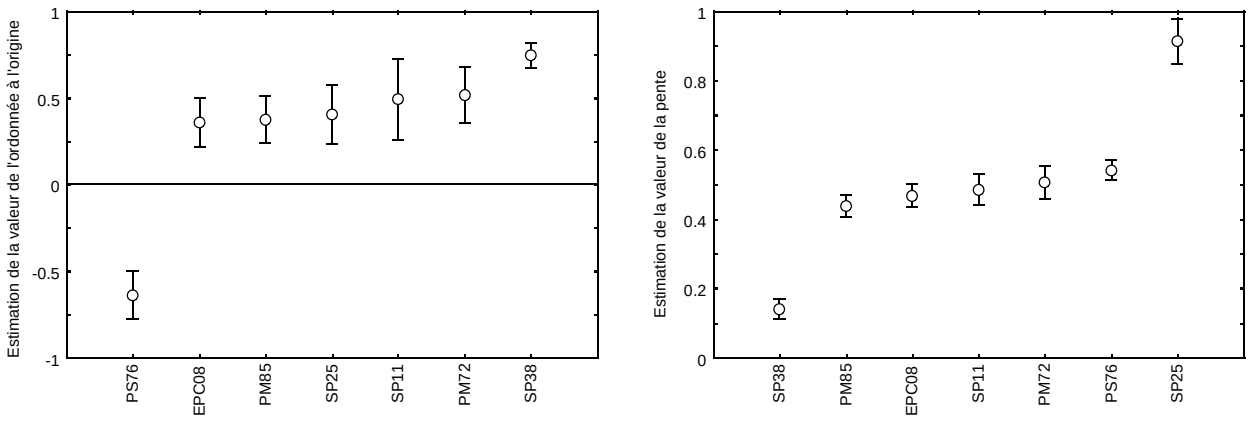


Figure 17 : Régressions linéaires entre les mesures journalières des vitesses de vent effectuées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰.

Figure 17: *Linear regressions between daily wind speeds recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept and slope.*

Placette	Effectif	R^2	C.V.%
EPC 08	1796	0,62	31,8%
PM 72	1818	0,50	33,5%
PM 85	1767	0,62	26,3%
PS 76	1788	0,75	32,2%
SP 11	1527	0,56	31,2%
SP 25	1620	0,64	37,9%
SP 38	1562	0,20	36,1%

Tableau 34 : Régressions linéaires entre les vitesses de vent enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 34: *Linear regressions between wind speeds recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

6.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts journaliers varient de –9,14 à +4,40 m/s ; 90% de ces écarts sont compris entre-3,87 et +0,54 m/s et 50% entre –2,35 et –0,50 (**tableau 35**).

Considérés en valeurs absolues, les écarts de moins de 0,5 m/s ne sont jamais majoritaires. Ils représentent, au plus, 48% des écarts journaliers pour SP 25, 31% pour SP 38 et 28% pour PM72. Pour les placettes EPC 08, PM 85 et SP 11 plus de 70% des écarts journaliers sont supérieurs à 1 m/s et pour la placette PS 76 75% des écarts journaliers sont supérieurs à 2 m/s (**figure 18**).

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
EPC 08	1796	-1,68	-6,33	1,44	-1,60	-3,92	-3,26	-2,38	-0,79	-0,23	0,06	1,45
PM 72	1818	-1,04	-5,98	1,52	-0,91	-2,89	-2,32	-1,56	-0,36	0,08	0,29	0,96
PM 85	1767	-1,82	-7,19	0,90	-1,71	-3,72	-3,23	-2,45	-1,04	-0,58	-0,31	1,11
PS 76	1788	-2,67	-6,94	-0,33	-2,56	-4,46	-3,98	-3,29	-1,98	-1,46	-1,19	0,99
SP 11	1527	-2,05	-9,14	1,93	-1,88	-4,70	-3,70	-2,79	-1,10	-0,47	-0,11	1,95
SP 25	1620	0,21	-3,12	4,40	0,13	-1,16	-0,82	-0,35	0,70	1,40	1,94	0,87
SP 38	1562	-1,22	-6,92	2,92	-0,94	-3,69	-2,92	-1,83	-0,31	0,02	0,19	1,55

Tableau 35 : Statistiques par placette des écarts journaliers «Vent RENECOFOR – Vent Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance.

Table 35: *Summary statistics for each site for the differences « RENECOFOR Wind – Météo-France Wind». Daily mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance.*

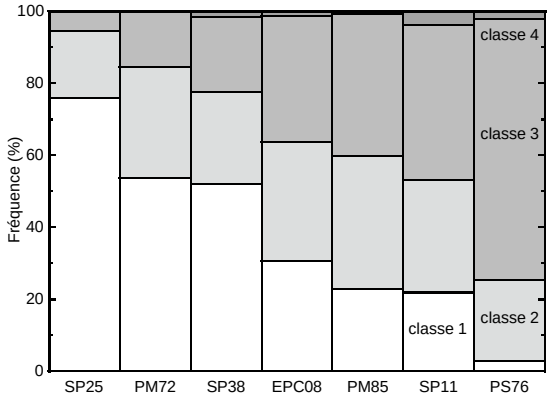


Figure 18 : Fréquence de la valeur absolue des écarts entre les vitesses de vent mesurées sur les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. A gauche, cas des températures minimales ; à droite, cas des températures maximales. Classe 1 = [0, 1 m/s[, classe 2 = [1, 2 m/s[, classe 3 = [2, 5 m/s[, classe 4 = 5 m/s.

Figure 18: *Frequency of the absolute value of the differences between wind speeds recorded in the RENECOFOR network and the reference stations (Météo-France). Left, minimal temperatures; right, maximal temperatures. Class 1 = [0, 1 m/s[, class 2 = [1, 2 m/s[, class 3 = [2, 5 m/s[, class 4 = 5 m/s.*

6.2. Moyennes mensuelles (*cf.* **annexe météo 16**)

Au pas de temps mensuel, les corrélations sont améliorées pour les placettes EPC 08, PM 85, SP 11, SP 25 et SP 38 mais elles sont dégradées pour les placettes PM 72 et PS 76 (**tableau 36**).

Les ordonnées à l'origine des droites de régressions deviennent toutes non significativement différentes de 0 mais les pentes restent significativement différentes de 1 au seuil de 0,1‰.

Les écarts mensuels restent très importants. Ils varient entre –3,70 et 0,80 m/s, 90% d'entre eux sont compris entre –3,00 et 0,30 m/s et 50% d'entre eux entre –2,10 et –1,00 m/s (**tableau 37**). Considérés en valeurs absolues, les écarts mensuels sont : i) pour la placette SP 25, toujours inférieurs à 1 m/s et dans 78% des cas inférieurs à 0,5 m/s ; ii) pour la placette PM 72, les écarts restent faibles, 48% sont inférieurs à 1 m/s ; iii) pour toutes les autres placettes, des écarts supérieurs à 1 m/s apparaissent majoritairement (73% pour SP 38, 93% pour EPC 08, 98% pour SP 11 et 100% pour PM 85 et PS 76). Dans le cas de PS 76, 98% des valeurs absolues des écarts sont supérieures à 2 m/s.

Placette	Effectif	R^2	C.V.%
EPC 08	60	0,72	13,4%
PM 72	60	0,33	15,9%
PM 85	59	0,67	8,6%
PS 76	60	0,73	14,8%
SP 11	52	0,60	12,2%
SP 25	55	0,81	11,8%
SP 38	52	0,38	14,2%

Tableau 36 : Régressions linéaires entre les moyennes mensuelles des vitesses de vent enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 36: *Linear regressions between monthly averages wind speeds recorded in the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
EPC 08	60	-1,7	-2,9	-0,7	-1,6	-2,8	-2,4	-2,0	-1,3	-1,1	-0,9	0,3
PM 72	60	-1,0	-2,0	-0,1	-1,0	-1,8	-1,7	-1,3	-0,8	-0,4	-0,4	0,2
PM 85	59	-1,8	-3,0	-1,1	-1,7	-2,6	-2,5	-2,0	-1,5	-1,3	-1,2	0,2
PS 76	60	-2,7	-3,7	-2,0	-2,6	-3,3	-3,2	-3,1	-2,3	-2,1	-2,1	0,2
SP 11	52	-2,0	-3,0	0,2	-2,0	-2,9	-2,7	-2,4	-1,7	-1,3	-1,1	0,3
SP 25	55	0,2	-0,4	0,8	0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,4	0,6	0,7	0,1
SP 38	52	-1,2	-2,3	-0,6	-1,1	-1,7	-1,7	-1,4	-1,0	-0,9	-0,7	0,1

Tableau 37 : Statistiques par placette des écarts mensuels «Vent RENECOFOR – Vent Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance.

Table 37: *Summary monthly statistics for each site for the differences « RENECOFOR Wind speed – Météo-France Wind speed». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance.*

Année	Effectifs	R^2	C.V.
1995	1773	0,88	27,3%
1996	2548	0,86	29,1%
1997	2543	0,83	28,8%
1998	2483	0,82	31,8%
1999	2440	0,80	32,6%

Tableau 38 : Régressions linéaires entre les ETP journalières calculées à partir des données enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les données enregistrées sur les postes Météo-France en fonction de l'année. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 38: *Linear regressions between daily PET computed with the RENECOFOR and at the Météo-France climatic data according to year. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Mois	Effectifs	R^2	C.V.
janvier	956	0,35	60,0%
février	886	0,49	48,4%
mars	970	0,62	32,6%
avril	951	0,69	27,9%
mai	949	0,75	23,1%
juin	921	0,64	25,0%
juillet	1007	0,67	21,6%
août	995	0,69	21,1%
septembre	1014	0,72	25,3%
octobre	1075	0,54	36,0%
novembre	1027	0,49	51,6%
décembre	1036	0,25	74,4%

Tableau 39 : Régressions linéaires entre les ETP journalières calculées à partir des données enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les données enregistrées sur les postes Météo-France en fonction du mois. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 39: *Linear regressions between daily PET computed with the RENECOFOR and at the Météo-France climatic data according to month. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

Placette	Effectifs	R^2	C.V.
EPC 08	1764	0,83	37,9%
PM 72	1811	0,95	16,5%
PM 85	1758	0,91	19,3%
PS 76	1757	0,92	20,6%
SP 11	1520	0,67	36,6%
SP 25	1617	0,85	27,9%
SP 38	1560	0,83	31,4%

Tableau 40 : Régressions linéaires pour chaque placette entre les ETP journalières calculées à partir des données enregistrées sur les placettes RENECOFOR et les données enregistrées sur les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 40: *Linear regressions for each site between daily PET computed with the RENECOFOR and at the Météo-France climatic data. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

7. EVAPORATION POTENTIELLE

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est calculée au pas de temps journalier selon la formulation de Penman (1948) – (**annexe météo 17**) pour les 7 placettes RENECOFOR équipées pour la mesure de la vitesse du vent, du rayonnement global, de la température et de l'humidité relative ainsi que pour les 7 stations Météo-France les plus proches de ces placettes.

7.1. Données journalières

7.1.1. Analyse générale

Pour l'ensemble des données disponibles (n = 11 787) la corrélation entre les ETP calculées à partir des données RENECOFOR et les ETP calculées à partir des données Météo-France est égale à 0,91 (r^2 = 0,84), soit des valeurs comparables à celles obtenues pour le rayonnement global. On note toutefois que les corrélations diminuent régulièrement dans le temps, avec des r^2 passant de 0,88 en 1995 à 0,80 en 1999 (**tableau 38**).

La qualité des corrélations est fortement dépendante de la saison, les coefficients de détermination les plus faibles étant observés d'octobre à février (**tableau 39**).

7.1.2. Analyses par placette

7.1.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 18)

Les corrélations entre ETP sont toujours significatives au seuil de 0,1‰ et les coefficients de détermination varient de 0,83 à 0,95, sauf pour la placette SP 11 qui présente un r^2 de 0,67 (**tableau 40**). Pour chaque placette, la qualité des corrélations est concordante à celle observée pour le rayonnement global.

Les observations dont les valeurs sont atypiques par rapport à l'ensemble des données sont peu nombreuses et peu influentes et ne modifient donc pas la précision des paramètres des ajustements. Les estimations des ordonnées à l'origine des droites de régression sont significativement différentes de 0 pour les placettes EPC 08, PM 72, SP 25 et SP 11 et les estimations des pentes sont toutes significativement inférieures à 1 (**figure 19**).

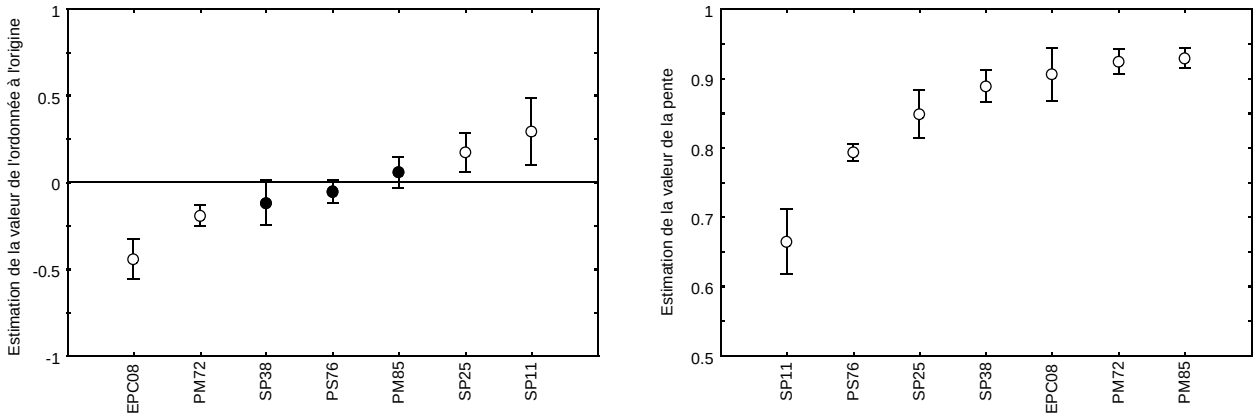


Figure 19 : Régressions linéaires entre les calculs d'ETP journalière pour les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes).

Figure 19: *Linear regressions between daily PET computed for the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept and slope. Empty circles correspond to values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

7.1.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts journaliers varient de –6,4 à 3,5 mm (l'ETP variant de 0 à 10 mm/jour) avec 90% des écarts compris entre les valeurs –1,8 et +0,6 mm et 50% entre les valeurs –0,8 et 0,0 mm.

L'amplitude des écarts est la plus forte pour la placette SP 11 avec une distance centile 75% - centile 25% de 1,4 mm et une distance centile 95% - centile 5% de 3,8 mm. Les amplitudes sont les plus faibles pour les placettes PM 72, PS 76 et PM 85 avec des distances centile 75% - centile 25% de 0,52 à 0,63 mm et des distances centile 95% - centile 5% inférieures à 2 mm (**tableau 41**). Considérés en valeurs absolues, les écarts de moins de 0,5 mm représentent plus de 60% des écarts pour les placettes PM 85 et PM 72 et plus de 50% pour les placettes SP 25, PS 76 et SP 38. Les écarts de plus de 1 mm représentent plus de 25% des écarts sur EPC 08 et plus de 45% des écarts pour SP 11 (**figure 20**).

Comme pour les températures ou le rayonnement global, la variabilité des écarts journaliers augmente avec la valeur de l'ETP. Pour les sept placettes, la moyenne mensuelle des écarts journaliers ou la moyenne mensuelle de la valeur absolue des écarts journaliers est dépendante du mois. Cet «effet mois» est significatif au seuil de 0,1‰ pour toutes les placettes. Les écarts les plus forts entre les ETP sont observés, selon les placettes, de juin à août (PM 72, SP 11, SP 25, EPC 08, SP 38) ou de juillet à septembre (PM 85, PS 76) – (*cf.* **annexe météo 19**).

Pour toutes les placettes, le biais entre les deux réseaux est significativement plus important pendant la période de végétation (**tableau 42**). Considérés en pourcentage de l'ETP Météo-France, les moyennes des écarts journaliers sont, à l'inverse, plus faibles pendant la période de végétation, l'ETP étant alors maximale.

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
EPC 08	1764	-0,68	-3,70	2,00	-0,59	-2,01	-1,62	-1,12	-0,20	0,10	0,34	0,52
PM 72	1811	-0,40	-1,82	1,34	-0,35	-1,12	-0,95	-0,65	-0,13	0,06	0,21	0,17
PM 85	1758	-0,19	-2,51	2,40	-0,20	-1,05	-0,80	-0,49	0,07	0,44	0,77	0,31
PS 76	1757	-0,53	-3,13	1,95	-0,44	-1,56	-1,24	-0,80	-0,17	0,01	0,12	0,27
SP 11	1520	-0,89	-6,43	3,49	-0,79	-3,00	-2,41	-1,54	-0,14	0,40	0,80	1,40
SP 25	1617	-0,21	-2,57	2,92	-0,18	-1,45	-1,11	-0,62	0,21	0,64	0,90	0,50
SP 38	1560	-0,32	-4,40	2,17	-0,29	-1,65	-1,24	-0,74	0,17	0,52	0,69	0,53

Tableau 41 : Statistiques par placette des écarts journaliers «ETP RENECOFOR – ETP Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance (mm).

Table 41: *Summary statistics for each site for the differences « RENECOFOR PET– Météo-France PET ». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance (mm).*

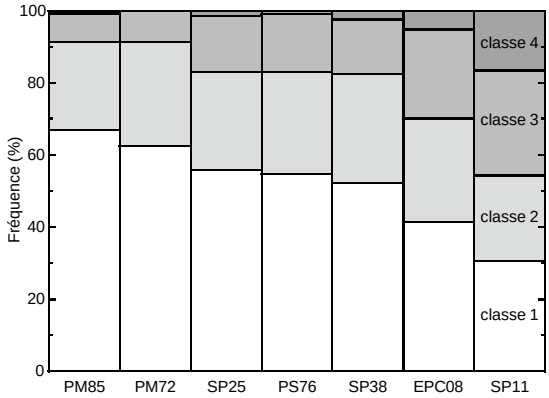


Figure 20 : Fréquence de la valeur absolue des écarts journaliers entre les ETP calculées pour les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 0,5 mm[, classe 2 = [0,5, 1 mm[, classe 3 = [1, 2 mm[, classe 4 = 2 mm.

Figure 20: *Frequency of the absolute value of the differences between PET computed for the RENECOFOR network and the reference stations (Météo-France). Class 1 = [0, 0,5 mm[, class 2 = [0,5, 1 mm[, class 3 = [1, 2 mm[, class 4 = 2 mm.*

	A			B			C		
Placette	**Hiver**	**Eté**	**Signif.**	**Hiver**	**Eté**	**Signif.**	**Hiver**	**Eté**	**Signif.**
EPC 08	-0.55	-0.82	*0,1‰*	0.60	0.95	*0,1‰*	-43	-25	*0,1‰*
PM 72	-0.28	-0.52	*0,1‰*	0.33	0.59	*0,1‰*	-25	-14	*0,1‰*
PM 85	-0.20	-0.19	*NS*	0.32	0.56	*0,1‰*	-13	-2	*0,1‰*
PS 76	-0.36	-0.69	*0,1‰*	0.38	0.76	*0,1‰*	-28	-19	*0,1‰*
SP 11	-0.36	-1.50	*0,1‰*	0.71	1.62	*0,1‰*	-10	-29	*0,1‰*
SP 25	0.10	-0.51	*0,1‰*	0.43	0.69	*0,1‰*	23	-14	*0,1‰*
SP 38	-0.19	-0.47	*0,1‰*	0.53	0.68	*0,1‰*	-12	-14	*ns*

Tableau 42 : Moyennes saisonnières : **A** - des différences journalières «ETP RENECOFOR – ETP Météo-France» ; **B** - des valeurs absolues de ces différences et **C** - des valeurs relatives «(ETP RENECOFOR – ETP Météo-France)*100/ETP Météo-France». Hiver = octobre à mars, été = avril à septembre, signif. = seuil de signification de «l'effet saisonnier».

Table 42: *Seasonal average: **A** – of the differences « RENECOFOR PET– Météo-France PET »; **B** – of the absolute value of these differences; **C** – of the relative values «(RENECOFOR PET– Météo-France PET)*100/ Météo-France PET ». Winter = from October to March, summer = from April to September, signif = significance level for the "seasonal effect".*

7.2. Cumuls mensuels

7.2.1. Régressions (*cf.* annexe météo 20)

Au pas de temps mensuel, les corrélations entre ETP s'améliorent nettement avec des r^2 compris entre 0,94 (SP 11) et 0,99 (PM 72) – (**tableau 43**). Les ordonnées à l'origine des droites de régression restent significativement différentes de 0 pour les placettes EPC 08, PM 72 et SP 25 et toutes les pentes restent significativement inférieures à 1 (**figure 21**).

Placette	Effectifs	R^2	C.V.%
EPC 08	60	0,97	13,7%
PM 72	60	0,99	5,4%
PM 85	59	0,98	7,9%
PS 76	60	0,98	9,1%
SP 11	52	0,94	11,3%
SP 25	55	0,97	9,1%
SP 38	52	0,98	8,1%

Tableau 43 : Régressions linéaires pour chaque placette entre les cumuls mensuels d'ETP journalières calculées pour les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Nombre d'observations, coefficient de détermination et coefficient de variation.

Table 43: *Linear regressions for each site between monthly PET computed for the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Number of observations, coefficient of determination and coefficient of variation.*

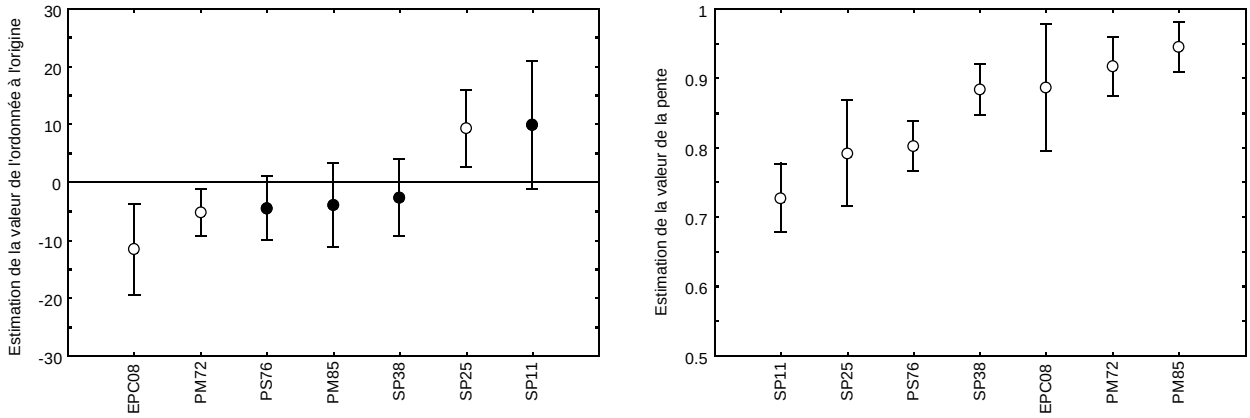


Figure 21 : Régressions linéaires entre les cumuls mensuels d'ETP journalières calculées pour les placettes RENECOFOR et les postes Météo-France. Estimations des ordonnées à l'origine, des pentes et de leurs intervalles de confiance au seuil de 0,1‰. Les points blancs correspondent aux valeurs significativement différentes des valeurs 0 (ordonnées à l'origine) ou 1 (pentes).

Figure 21: *Linear regressions between monthly PET computed for the RENECOFOR network and at the Météo-France stations. Parameter estimates and 0.1‰ confidence limits: intercept and slope. Empty circles correspond to values significantly different from 0 (intercepts) or 1 (slopes).*

7.2.2. Ecarts et valeurs absolues des écarts

Sur l'ensemble des données, les écarts mensuels varient de –77 à +15 mm ; 90% des écarts sont compris entre les bornes –36 et +4 mm et 50% entre les bornes –19 et –6 mm. Pour les placettes PM 72, PM 85 et SP 38, l'amplitude des écarts est minimale avec une distance centile 75% - centile 25% inférieure à 10 mm ; elle est à l'inverse maximale pour SP 11 avec une distance inter-centiles de 32 mm. Pour les placettes SP 25, EPC 08 et PS 76, la distance centile 75% - centile 25% est comprise entre 10 et 20 mm (**tableau 44**).

Pour PM 85, SP 38, PM 72 et SP 25, plus de 90% des écarts (considérés en valeurs absolues) sont inférieurs à 20 mm ; les écarts de moins de 10 mm étant majoritaires pour les placettes PM 85 et SP 25. A l'opposé, les écarts de plus de 20 mm représentent de l'ordre de 30% pour PS 76, 45% pour EPC 08 et 60% pour SP 11 (**figure 22**).

Placette	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	C5%	C10%	C25%	C75%	C90%	C95%	Variance
EPC 08	60	-20,0	-46,4	-0,8	-18,2	-33,2	-32,4	-26,2	-14,4	-10,9	-5,6	78,6
PM 72	60	-12,1	-25,9	-1,7	-11,2	-22,5	-20,0	-15,3	-7,2	-6,0	-5,7	31,1
PM 85	59	-5,7	-19,0	13,2	-5,9	-14,9	-13,1	-9,7	-3,6	2,7	5,3	42,3
PS 76	60	-15,4	-39,0	-2,8	-13,5	-27,6	-25,4	-22,6	-8,6	-6,4	-5,7	66,5
SP 11	52	-26,0	-76,8	3,2	-22,9	-57,4	-51,6	-41,3	-8,9	-1,4	0,4	420,9
SP 25	55	-6,3	-30,2	15,4	-7,7	-25,4	-20,6	-14,3	2,0	7,3	11,7	132,3
SP 38	52	-9,7	-22,4	7,8	-11,4	-19,1	-17,9	-13,6	-5,7	-1,3	2,0	46,8

Tableau 44 : Statistiques par placette des écarts mensuels «ETP RENECOFOR – ETP Météo-France». Moyenne des écarts, valeur minimum et maximum, médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95%, variance (mm).

Table 44 : *Summary statistics for each site for the differences « RENECOFOR PET–Météo-France PET ». Mean, minimum and maximum differences, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance (mm).*

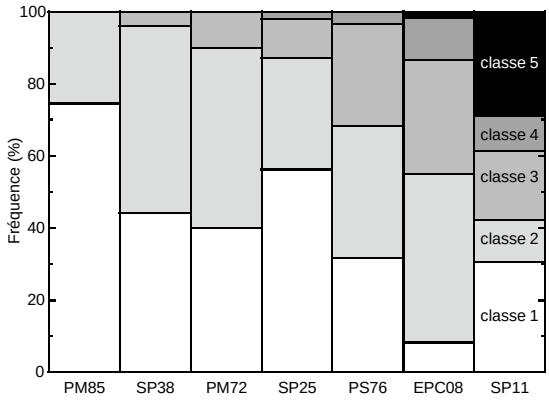


Figure 22 : Fréquence de la valeur absolue des écarts mensuels entre les ETP calculées pour les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. Classe 1 = [0, 10 mm[, classe 2 = [10, 20 mm[, classe 3 = [20, 30 mm[, classe 4 = [30, 40 mm[, classe 5 = 40 mm.

Figure 22: *Frequency of the absolute value of the differences between PET computed for the RENECOFOR network and the reference stations (Météo-France). Class 1 = [0, 10 mm[, class 2 = [10, 20 mm[, class 3 = [20, 30 mm[, class 4 = [30, 40 mm[, class 5 = 40 mm.*

7.3. Cumuls annuels (*cf.* annexe météo 21)

Au pas de temps annuel, toutes les placettes RENECOFOR présentent un bilan d'ETP inférieur à celui calculé à partir des données Météo-France.

Sur l'ensemble des cinq années de mesures, les écarts les plus faibles entre les ETP sont de –68 et –69 mm pour les placettes PM 85 et SP 25 (soit des différences relatives de –6 et –8% par rapport aux ETP Météo-France) et les écarts les plus forts sont de –240 et –270 mm pour les placettes EPC 08 et SP 11 (soit des différences de –27 et –24% par rapport aux ETP Météo-France) – (**tableau 45**).

Sur les cinq périodes de végétation, les écarts moyens varient de –35 à –211 mm (PM 85 et SP 11) soit des écarts relatifs moyens de –4 à –31%.

		Cumul annuel							Cumul période de végétation						
	Année	**EPC 08**	**PM 72**	**PM 85**	**PS 76**	**SP 11**	**SP 25**	**SP 38**	**EPC 08**	**PM 72**	**PM 85**	**PS 76**	**SP 11**	**SP 25**	**SP 38**
Météo-France (mm)	1995	865	987	1006	910	247	470	155	647	736	761	663	55	361	39
	1996	899	1036	1078	906	1293	911	902	692	801	810	683	935	705	673
	1997	930	1032	1116	923	1406	954	1015	701	786	833	701	976	726	745
	1998	887	955	999	833	1145	921	1017	660	719	733	622	753	685	753
	1999	873	946	984	755	1265	870	963	629	718	733	551	890	677	714
RENECOFOR (mm)	1995	638	835	906	690	205	423	143	520	638	708	516	34	300	30
	1996	692	885	962	684	959	781	773	557	708	746	541	667	572	585
	1997	694	916	1035	718	1033	852	905	562	717	799	560	674	617	667
	1998	603	787	965	689	877	878	894	486	594	722	530	553	620	662
	1999	628	809	976	624	930	847	833	490	633	723	467	623	624	632
Différence (mm)	1995	-227	-152	-101	-220	-42	-47	-13	-127	-98	-53	-147	-21	-61	-9
	1996	-207	-151	-116	-222	-334	-130	-129	-135	-94	-64	-142	-268	-133	-88
	1997	-236	-116	-81	-205	-372	-102	-110	-139	-69	-34	-141	-302	-109	-78
	1998	-284	-168	-34	-144	-269	-43	-124	-174	-124	-10	-92	-200	-65	-91
	1999	-246	-137	-8	-131	-335	-23	-130	-139	-85	-11	-84	-266	-53	-81
Différence relative (%)	1995	-26	-15	-10	-24	-17	-10	-8	-20	-13	-7	-22	-39	-17	-23
	1996	-23	-15	-11	-24	-26	-14	-14	-20	-12	-8	-21	-29	-19	-13
	1997	-25	-11	-7	-22	-26	-11	-11	-20	-9	-4	-20	-31	-15	-10
	1998	-32	-18	-3	-17	-23	-5	-12	-26	-17	-1	-15	-27	-10	-12
	1999	-28	-15	-1	-17	-27	-3	-14	-22	-12	-1	-15	-30	-8	-11
Effectifs	1995	340	356	323	354	108	184	108	172	174	178	176	16	92	16
	1996	365	366	363	366	361	366	361	182	183	180	183	183	183	181
	1997	361	365	365	365	365	357	365	180	183	183	183	183	183	183
	1998	357	365	353	352	326	365	365	180	183	183	183	144	183	183
	1999	341	359	354	320	360	345	361	160	183	183	152	178	182	183

Météo-France (mm)	891	991	1037	866	1071	825	811	666	752	774	644	722	631	585
RENECOFOR (mm)	651	846	969	681	801	756	710	523	658	739	523	510	547	515
Différence (mm)	-240	-145	-68	-185	-270	-69	-101	-143	-94	-35	-121	-211	-84	-69
Différence (%)	-27	-15	-6	-21	-24	-8	-12	-21	-13	-4	-19	-31	-14	-14

Tableau 45 : Cumuls annuels (janvier à décembre) et pendant la période de végétation (avril à septembre) des ETP journalières (mm) calculées à partir des données Météo-France et des données RENECOFOR. Différences annuelles entre les ETP RENECOFOR et les ETP Météo-France ; différences relatives exprimées en pourcentage par rapport aux ETP Météo-France ; nombre de jours de mesures. Moyenne de ces quatre paramètres sur les cinq années de mesure.

***Table 45**: Annual (from January to December) and vegetation period (April to September) PET computed with the Météo-France data and the RENECOFOR data. Differences between the RENECOFOR PET and the Météo-France PET. Relative differences with regard to Météo-France PET. Sample size (Number of days). Average of the parameters for the 5 observation years.*

ETP Vent – ETP RENECOFOR												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC 08	1764	0,12	-0,61	1,65	0,08	0,00	0,00	0,02	0,18	0,31	0,41	0,02
PM 72	1811	0,11	-0,38	0,83	0,08	-0,03	0,00	0,01	0,18	0,30	0,36	0,02
PM 85	1758	0,22	-0,12	1,97	0,16	0,01	0,03	0,08	0,28	0,47	0,65	0,05
PS 76	1757	0,27	0,00	1,47	0,23	0,03	0,06	0,13	0,37	0,55	0,65	0,04
SP 11	1520	0,29	-0,35	3,26	0,19	0,00	0,01	0,07	0,40	0,68	0,90	0,11
SP 25	1617	-0,04	-1,44	0,50	-0,01	-0,30	-0,21	-0,07	0,03	0,09	0,14	0,02
SP 38	1560	0,12	-1,01	1,35	0,08	-0,03	0,00	0,02	0,17	0,31	0,42	0,03

ETP Rayonnement – ETP RENECOFOR												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC 08	1764	0,23	-2,27	2,23	0,15	-0,29	-0,12	0,02	0,41	0,73	0,95	0,15
PM 72	1811	0,04	-1,20	1,05	0,05	-0,46	-0,28	-0,09	0,17	0,34	0,49	0,07
PM 85	1758	-0,14	-2,26	2,18	-0,04	-0,89	-0,63	-0,29	0,07	0,20	0,33	0,15
PS 76	1757	0,09	-3,29	1,54	0,09	-0,42	-0,26	-0,05	0,26	0,44	0,53	0,10
SP 11	1520	0,04	-3,22	3,21	-0,06	-0,73	-0,52	-0,26	0,28	0,74	1,18	0,36
SP 25	1617	0,02	-1,64	2,09	-0,04	-0,53	-0,39	-0,18	0,17	0,54	0,76	0,15
SP 38	1560	-0,09	-1,67	1,35	-0,10	-0,74	-0,53	-0,32	0,15	0,35	0,55	0,15

ETP Vent + Rayonnement – ETP RENECOFOR												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC 08	1764	0,35	-1,86	2,24	0,27	-0,18	-0,02	0,09	0,56	0,90	1,16	0,18
PM 72	1811	0,15	-1,20	1,37	0,13	-0,33	-0,17	-0,01	0,31	0,54	0,68	0,09
PM 85	1758	0,08	-2,01	2,43	0,10	-0,75	-0,44	-0,11	0,29	0,59	0,86	0,22
PS 76	1757	0,36	-2,54	2,03	0,33	-0,17	-0,02	0,13	0,58	0,83	1,05	0,14
SP 11	1520	0,32	-2,56	3,49	0,22	-0,45	-0,24	-0,03	0,59	1,09	1,49	0,37
SP 25	1617	-0,02	-1,62	2,02	-0,05	-0,68	-0,51	-0,26	0,17	0,55	0,77	0,19
SP 38	1560	0,03	-1,68	2,16	0,02	-0,66	-0,43	-0,21	0,25	0,55	0,75	0,17

ETP Météo-France – ETP RENECOFOR												
Placette	**N**	**Moyenne**	**Minimum**	**Maximum**	**Médiane**	**C5%**	**C10%**	**C25%**	**C75%**	**C90%**	**C95%**	**Variance**
EPC 08	1764	0,68	-2,00	3,70	0,59	-0,34	-0,10	0,20	1,12	1,62	2,01	0,52
PM 72	1811	0,40	-1,34	1,82	0,35	-0,21	-0,06	0,13	0,65	0,95	1,12	0,17
PM 85	1758	0,19	-2,40	2,51	0,20	-0,77	-0,44	-0,07	0,49	0,80	1,05	0,31
PS 76	1757	0,53	-1,95	3,13	0,44	-0,12	-0,01	0,17	0,80	1,24	1,56	0,27
SP 11	1520	0,89	-3,49	6,43	0,79	-0,80	-0,40	0,14	1,54	2,41	3,00	1,40
SP 25	1617	0,21	-2,92	2,57	0,18	-0,90	-0,64	-0,21	0,62	1,11	1,45	0,50
SP 38	1560	0,32	-2,17	4,40	0,29	-0,69	-0,52	-0,17	0,74	1,24	1,65	0,53

Tableau 47 : Statistiques par placette des écarts journaliers «ETP Mixtes - ETP RENECOFOR» et «ETP Météo-France – ETP RENECOFOR». Moyenne des écarts, valeurs minimum et maximum ; médiane, centiles 5, 10, 25, 75, 90 et 95% ; variance des écarts (mm).

Table 47: *Summary statistics for the daily differences "Mixed PET – RENECOFOR PET" and "Météo-France PET – RENECOFOR PET". Means, minimum and maximum values, median, percentiles 5, 10, 25, 75, 90 and 95%, variance (%).*

7.4. Influence des paramètres climatiques

Les analyses précédentes ont été réalisées à partir de valeurs d'ETP calculées soit uniquement avec des paramètres climatiques mesurés sur les stations RENECOFOR (ETP RENECOFOR), soit uniquement avec des paramètres climatiques mesurés dans les stations Météo-France (ETP Météo-France). La température de l'air et l'humidité relative étant mesurées sur toutes les placettes du sous-réseau météorologique forestier, il est possible de calculer l'ETP journalière de ces dernières en utilisant les paramètres climatiques locaux et en les complétant par les valeurs de rayonnement et de vitesse de vent mesurés par Météo-France. Ces ETP peuvent alors être comparées aux deux autres.

Dans la suite du texte, et en complément des termes ETP RENECOFOR et ETP Météo-France, nous utiliserons les termes d'ETP-Vent (les vitesses de vent enregistrées par Météo-France et utilisées à la place des données RENECOFOR), d'ETP-Rayonnement (le rayonnement global mesuré par Météo-France et utilisés à la place des données RENECOFOR), et d'ETP-Vent+Rg (vent et rayonnement étant des paramètres Météo-France).

Au pas de temps journalier, les corrélations entre les ETP RENECOFOR et les ETP Mixtes sont significativement plus fortes qu'entre les ETP RENECOFOR et les ETP Météo-France (**tableau 46**). Pour toutes les placettes, les meilleures relations sont obtenues, dans l'ordre, avec les ETP Vent, les ETP Rayonnement et les ETP Vent+Rg.

Placette	Effectifs	R^2 – cas 1	R^2 – cas 2	R^2 – cas 3	R^2 – cas 4
EPC 08	1764	0,994	0,947	0,944	0,829
PM 72	1811	0,996	0,978	0,976	0,955
PM 85	1758	0,991	0,955	0,939	0,915
PS 76	1757	0,989	0,954	0,947	0,922
SP 11	1520	0,977	0,871	0,886	0,666
SP 25	1617	0,991	0,947	0,933	0,846
SP 38	1560	0,992	0,956	0,948	0,845

Tableau 46 : Effectifs et coefficients de détermination entre les ETP calculées à partir des données enregistrées sur les placettes RENECOFOR et :
- cas 1 : les ETP calculées à partir des données RENECOFOR et les vitesses de vent Météo-France ;
- cas 2 : les ETP calculées à partir des données RENECOFOR et les rayonnements Météo-France ;
- cas 3 : les ETP calculées à partir des données RENECOFOR, les vents et les rayonnements Météo-France ;
- cas 4 : les ETP calculées à partir des seules données Météo-France.

Table 46: *Number of observations and coefficient of determination between the daily PET computed with the climatic data recorded in the RENECOFOR network and:*
- case 1: PET computed with RENECOFOR data and Météo-France wind speed;
- case 2: PET computed with RENECOFOR data and Météo-France global irradiation;
- case 3: PET computed with RENECOFOR data, Météo-France wind speed and Météo-France global irradiation;
- case 2: PET computed only with Météo-France data.

	Année				Période de végétation			
Placette	V	Rg	V + Rg	MF	V	Rg	V + Rg	MF
EPC 08	6,6%	12,4%	19,0%	37,2%	5,5%	10,5%	16,0%	27,5%
PM 72	4,9%	1,6%	6,5%	17,3%	4,9%	1,4%	6,3%	14,5%
PM 85	7,9%	-5,0%	3,0%	7,0%	7,1%	-5,0%	2,1%	4,7%
PS 76	14,2%	4,7%	18,9%	27,0%	11,3%	3,1%	14,4%	23,1%
SP 11	11,5%	0,8%	12,3%	31,6%	9,3%	7,4%	16,7%	45,5%
SP 25	-1,8%	1,4%	-0,3%	9,5%	-0,7%	4,3%	3,5%	16,0%
SP 38	5,2%	-4,0%	1,3%	13,4%	4,6%	-3,1%	1,5%	16,8%

Tableau 48 : Moyennes des écarts relatifs entre les cumuls annuels ou sur la période de végétation des ETP RENECOFOR et des ETP Mixtes : V = ETP vent ; Rg = ETP rayonnement ; V+Rg = ETP vent+rayonnement ; MF = ETP Météo-France.

Table 48: *Averaged differences between annual PET or vegetation period PET computed with the RENECOFOR data and computed : V – with the Météo-France wind speed ; Rg – with the Météo-France global radiation ; V + RG – with the Météo-France wind speed and global radiation ; MF – with only Météo-France data.*

Sur l'ensemble des données, les écarts journaliers «ETP Mixte – ETP RENECOFOR» sont plus restreints que précédemment. Entre les ETP Vent et les ETP RENECOFOR, les écarts journaliers varient de –1,44 à +3,26 mm (moyenne de 0,16 mm) ; entre les ETP Rayonnement et les ETP RENECOFOR, les écarts varient de –3,29 à +3,21 mm (moyenne de 0,03 mm) ; avec les ETP Vent+Rg les écarts vont de –2,56 à+3,49 mm (moyenne de 0,18) ; enfin, avec les ETP Météo-France, les écarts varient de –3,49 à +6,43 mm (moyenne de 0,46) (**tableau 47**).

Considérés en valeurs absolues, les écarts journaliers de moins de 0,5 mm représentent 93% des écarts entre les ETP Vent et les ETP RENECOFOR (de 82% pour SP 11 à 99% pour PM 72), 83% des écarts entre les ETP Rayonnement et les ETP RENECOFOR (de 73% pour SP 11 à 91% pour PM 72), 75% des écarts avec les ETP Vent+Rg (de 67% pour SP 11 à 80% pour PM 72) et enfin 52% des écarts avec les ETP Météo-France (de 31% pour SP 11 à 67% pour PM 85).

Au pas de temps annuel (*cf.* **annexe météo 22**) et en référence aux ETP calculées à partir des seules données RENECOFOR, l'introduction des vitesses de vent mesurées par Météo-France entraîne une augmentation des ETP pour toutes les placettes sauf pour SP 25. Sur les cinq années de mesures, l'augmentation moyenne de l'ETP va de +4,9% pour PM 72 à +14,2% pour PS 76 (**tableau 48**) ; pour SP 25 on note une diminution moyenne de –1,8%. Pour les seules périodes de végétation la surestimation des ETP est moins marquée avec des valeurs comprises entre +4,6% pour SP 38 et +11,3% pour PS 76, la part du terme convectif dans le calcul de l'ETP étant moins importante pendant l'été[1]. Pour SP 25 la diminution est alors de –0,7%. Pour PM 72, SP 25 et SP 38 le biais introduit dans le calcul de l'ETP est inférieur à 5%.

Avec le rayonnement global mesuré par Météo-France, les ETP sont augmentées pour 5 placettes (de +0,8% SP 11 à 12,4% EPC 08) et diminuées pour PM 85 et SP 38. Pour les placettes EPC 08, PM 72, PS 76 et SP 38 le biais sur l'ETP est moins marqué pendant la période de végétation en conséquence des plus faibles différences entre les mesures de rayonnement pendant cette saison. Il est au contraire augmenté pour les placettes SP 11 et SP 25, l'erreur sur le rayonnement étant plus forte pendant la période de végétation. Le biais dû au rayonnement dans le calcul de l'ETP est toujours inférieur ou égal à 5% sauf pour EPC 08 et pour la placette SP 11 pendant la période de végétation. Pour l'ensemble des placettes, sauf EPC 08, l'erreur moyenne due à l'introduction des données rayonnements de Météo-France est inférieure à celle due aux vitesses de vent.

Pour les placettes PM 85, SP 25 et SP 38 les écarts observés d'une part, avec les ETP vent et d'autre part avec les ETP rayonnement, tendent à se compenser : le biais entre les ETP RENECOFOR et les ETP vent+Rg est diminué. A l'inverse, pour les placettes EPC 08, PM 72, PS 76 et SP 11 les biais s'additionnent. On constate cependant que l'addition des biais dus au vent et au rayonnement reste toujours inférieure au biais existant entre les ETP RENECOFOR et les ETP Météo-France, le rapport entre ces deux grandeurs étant en moyenne de 2. Nous confirmons donc que l'acquisition des températures et des humidités relatives sur les placettes RENECOFOR permet de réduire de façon importante les biais introduits dans les calculs d'ETP journalières.

1 – D'avril à septembre le terme convectif représente en moyenne et selon les placettes, de 18% à 22% de l'ETP journalière et de 26% à 36% d'octobre à mars.

DEUXIEME PARTIE :
ESTIMATION DE LA RESERVE UTILE EN EAU DES SOLS

La capacité de stockage d'un sol correspond au volume d'eau maximal pouvant être retenu par les différents horizons contre la seule force de gravité. De cette réserve totale en eau, seule une partie peut être utilisée par la végétation : elle correspond à la *réserve utile en eau* du sol.

La réserve utile en eau d'un sol peut être calculée par la relation suivante :

$$RU = e \times q \times (1 - Cx)$$

où : RU = la réserve volumique en eau du sol
e = l'épaisseur du sol
q = la teneur en eau volumique
Cx = la charge en éléments grossiers, la réserve utile de ces éléments étant considérée égale à 0

En pratique, la réserve utile en eau d'un sol correspond à la somme des réserves de chaque horizon jusqu'à une profondeur limite correspondant à la profondeur maximale de prospection racinaire.

La réserve utile d'un sol dépend donc de trois grands facteurs :

- de la charge en éléments grossiers ;
- de la profondeur maximale d'enracinement ;
- de la teneur en eau volumique correspondant à la différence entre le volume d'eau retenu à la capacité au champ (saturation de la microporosité) et le volume d'eau retenu au point de flétrissement permanent ; ces volumes étant eux-mêmes dépendant de la composition granulométrique (texture), de la densité apparente (qui traduit la structure), de la charge en matière organique, etc.

1. CHARGE EN ELEMENTS GROSSIERS

Les charges en éléments grossiers ont été estimées sur le terrain, dans les deux fosses décrites sur chacune des placettes, au moyen de six classes d'abondance.

Pour les calculs de réserve, ces classes sont recodées en «*valeurs de charge*» en utilisant la médiane de chaque classe :

- classe 0 - charge nulle ..... 0%..... 0
- classe 1 - très faible charge ..... 0% à 5% de cailloux 0,025
- classe 2 - faible charge ..... 5% à 25% de cailloux 0,150
- classe 3 - charge moyenne ..... 25% à 50% de cailloux 0,375
- classe 4 - forte charge ..... 50% à 75% de cailloux 0,625
- classe 5 - très forte charge ..... 75% à 100% de cailloux 0,875

Lorsque la charge en cailloux est non nulle, la RU de chaque horizon peut être calculée :

- avec la charge minimum en éléments grossiers ;
- avec la charge maximum ;
- avec la charge médiane.

2. ESTIMATION DES PROFONDEURS MAXIMALES D'ENRACINEMENT

2.1. Généralités

Le volume de sol prospectable par les racines conditionne l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Le volume effectivement prospecté dépend du développement du système racinaire. En l'absence de contrainte, la plupart des essences forestières peut développer des systèmes racinaires profonds (2 mètres et plus) et ceci, quelle que soit l'architecture générale des systèmes (pivotant, traçant ou en cœur) – (Köstler *et al.*, 1968 ; Stone et Kalisz, 1991 ; Van Rees et Comerford, 1986 ; Canadell *et al.*, 1996 ; Jackson *et al.*, 1996 ; Polomski et Kuhn, 1998).

Sur des sols bruns lessivés colluviaux couvrant une roche calcaire karstifiée, Lucot et Bruckert (1992) et Lucot (1994) ont décrit des enracinements jusqu'à 420 cm pour des chênes pédonculés de 145 à 150 ans et jusqu'à 150 cm pour des sapins de 90 à 150 ans. Pour le chêne, 24% des fines racines étaient contenues dans la tranche d'épaisseur 120-400 cm ; pour le sapin, 34% des fines racines étaient localisées en dessous de 70 cm. Dans les deux cas l'extension verticale des racines était limitée par l'apparition de la dalle calcaire.

Bréda (1994) a décrit la distribution verticale des racines d'un peuplement mélangé de chênes sessiles et pédonculés (30-40 ans) dans des tranchées profondes de 160 cm sur un sol lessivé sur limon. Elle a également montré que des prélèvements d'eau avaient lieu jusqu'à une profondeur de 200 cm lors du suivi de trois périodes de végétation successives.

Dans une jeune frênaie, sur sol brun marmorisé, Peiffer (1995) a montré qu'en fin d'été toute l'alimentation hydrique est assurée par les horizons profonds (entre 100 et 160 cm voire plus) bien que ceux-ci soient peu colonisés par les systèmes racinaires (environ 8% des racines fines en dessous de 80 cm).

L'architecture du système racinaire est cependant très sensible aux conditions pédologiques comme la texture, la densité apparente, la stabilité structurale, la perméabilité et l'aération (Köstler *et al.*, 1968 ; Levy, 1968 ; Berben, 1973 ; Belgrand, 1983 ; Fitter, 1987 ; Lucot, 1994). De ce fait, l'enracinement peut être entravé par différentes contraintes comme un facteur chimique (acidité, excès de $CaCO_3$ «actif», excès d'aluminium sous forme ionique ($Al(OH)_2^+$, $Al(OH)^{2+}$, Al^{3+})), un facteur hydrique (horizon engorgé, asphyxiant), ou un facteur physique (tassement, déstructuration, encroûtement calcaire, horizon cimenté, charge en éléments grossiers).

Certaines contraintes sont un obstacle absolu (présence d'une roche massive, d'un horizon induré (alios) ou d'une nappe d'eau permanente). Dans ces conditions, la profondeur maximale d'enracinement correspond à la profondeur d'apparition de l'obstacle. Dans de nombreux cas cependant, les contraintes ne sont que relatives.

Une très forte charge en éléments grossiers est souvent considérée comme une très forte contrainte à l'enracinement. L'abondance de ceux-ci, leurs tailles, leurs formes, ont un impact très fort sur la morphologie des systèmes racinaires (Lucot, 1994), mais une forte pierrosité ne se traduit pas obligatoirement par un enracinement superficiel. Brêthes et Demarq (1992) ont observé des enracinements de cèdre jusqu'à 90 cm dans un sol développé sur calcaire en plaquette avec une charge volumique en éléments grossiers égale à 43% en surface et 79% à partir de 20 cm de profondeur. Dans le cas particulier des sols de la forêt domaniale de la Harth (Bréda et Peiffer, 1999), des profondeurs maximales d'enracinement de 210 / 240 cm ont été observées pour des chênes sessiles et pédonculés dans des sols où la teneur en éléments grossiers est de l'ordre de 25% en surface est supérieure à 75% à partir d'une profondeur moyenne de 1 mètre. En complément de ces observations, et sur les mêmes placettes, des profils d'humidité volumique enregistrés en 1997 ont permis de mettre en évidence des prélèvements d'eau dans les horizons profonds (200 cm), au plus fort du dessèchement estival. Il est donc apparu que ces chênes peuvent accéder à des ressources hydriques situées au-delà de 100 cm de profondeur, malgré une très forte charge en éléments grossiers et malgré des indurations calcaires massives mais locales.

La compacité des horizons peut également être considérée comme une contrainte relative. Si à un accroissement de la compacité du sol correspond une diminution marquée du développement et de la ramification des racines (Berben, 1973 ; Thomas, 1999), l'augmentation progressive de la densité apparente avec la profondeur n'a pas la même influence sur l'enracinement qu'un changement brutal. Pour Lucot (1994), des densités apparentes de 1,41 à 1,56[1] n'entravent pas

1 - Toutes les densités apparentes sont exprimées en g/cm³.

la prospection racinaire des chênes, ce qui est conforme au seuil de 1,55 proposé par Bowen (1981). Les travaux de Bréda (1994) en forêt de Champenoux (54) tendraient à montrer que ce seuil peut être dépassé puisque des prélèvements d'eau ont été mis en évidence jusqu'à une profondeur de 200 cm alors que la densité apparente croit régulièrement de 1,00 à 1,55 depuis la surface jusqu'à 120 cm de profondeur. Cette hypothèse est en accord avec les travaux de Lévy (1968) qui observe des enracinements d'épicéa commun et de pin sylvestre jusqu'à des densités apparentes de 1,70. Berben (1973) confirme expérimentalement cette valeur dans des matériaux sableux et observe qu'une compacité de 1,80 est imperméable aux racines en conditions naturelles (Berben, 1968). Enfin, la profondeur maximale des prélèvements d'eau mesurée dans une hêtraie de 30 ans sur sol lessivé par Granier *et al.* (2000) concorde avec l'évolution de la densité apparente des horizons : l'intensité de l'enracinement décroît très fortement avec la profondeur et aucun prélèvement d'eau n'est mis en évidence au-delà d'un seuil de densité de 1,70 – 1,80 ; seuil atteint à différentes profondeurs sur la parcelle expérimentale (70 cm à 160 cm).

L'influence des nappes d'eau temporaire sur l'enracinement est probablement la contrainte la plus difficile à quantifier surtout dans le cas des sols à nappe perchée temporaire (nappe d'origine pluviale). Les différentes essences ont un comportement très variable en présence d'une telle nappe, s'adaptant plus ou moins bien - voire pas du tout - aux conditions d'hypoxie ou d'anoxie. Outre cette plus ou moins grande adaptation à l'ennoyage, les propriétés défavorables des sols à hydromorphie temporaire sont, elles aussi, très variables puisque dépendant : (i) de la profondeur et du caractère plus ou moins perméable du plancher de la nappe ; (ii) du climat (précipitation et évapotranspiration potentielle) ; (iii) de la topographie qui peut accentuer l'intensité de l'ennoyage (bas de pente, fond de vallon, replat) ; (iv) de la texture qui peut limiter ou non les mouvements latéraux de l'eau excédentaire et la charge en oxygène dissous ; etc. (Belgrand, 1983 ; Lévy, 1986 ; Wagner, 1996). La prise en compte de l'horizon Bg comme plancher de la nappe temporaire n'est en général pas suffisante pour déterminer une profondeur maximale d'enracinement, d'une part parce que ce plancher théorique peut ne pas être en relation avec les niveaux de fluctuation de la nappe (Becker, 1972) et parce que ce plancher peut être traversé par des pivots racinaires se ramifiant dans des couches sous-jacentes moins argileuses, permettant ainsi à la plante d'accéder à des ressources en eau supplémentaires en période de stress hydrique (Wagner, 1996).

2.2. Cas des placettes RENECOFOR

Lors de la description des fosses pédologiques une estimation de la densité des systèmes racinaires a été donnée, pour chaque horizon, en utilisant 5 classes :

- classe 0 – densité nulle ..... pas de racine
- classe 1 – densité très faible ..... moins de 1 racine/dm^2
- classe 2 – densité faible ..... 1 à 3 racines/dm^2
- classe 3 – densité charge ..... 3 à 10 racines/dm^2
- classe 4 – densité forte ..... 10 à 50 racines/dm^2
- classe 5 – densité très forte ..... plus de 50 racines/dm^2

En complément de cette description, la profondeur et la nature d'éventuelles contraintes à l'enracinement ont été notées ainsi qu'une profondeur *théoriquement* prospectable par les systèmes racinaires.

Ces informations sont toutefois insuffisantes pour déterminer avec précision les profondeurs maximales d'enracinement car on constate que :

- la présence de racines est toujours mentionnée jusqu'au fond des fosses quelle que soit la profondeur de ces dernières, la charge en éléments grossiers ou la hauteur de la nappe temporaire (sauf cas particuliers des sols terminés par une dalle peu ou pas fissurée, soit 4 placettes) ;
- que les profondeurs prospectables données par les observateurs correspondent en majorité aux profondeurs des fosses (64% des cas) ;
- qu'il existe peu de relations entre les profondeurs prospectables et les profondeurs d'apparition des différentes contraintes à l'enracinement ;

- que les fosses pédologiques des placettes RENECOFOR ont été ouvertes le plus souvent loin des arbres alors que l'étude des systèmes racinaires requiert des fosses à, au maximum, 1 mètre du fût.

Les descriptions sur les fosses nous semblent donc insuffisantes pour déterminer avec précision les volumes de sol réellement prospectés sur les placettes du réseau. En conséquence, nous avons choisi de fixer *a priori,* et pour toutes les placettes, une profondeur maximale d'enracinement de 200 cm pour le calcul des réserves utiles et de vérifier, au cas par cas, si cette «profondeur estimée» est cohérente ou non, avec les descriptions pédologiques (**tableau 49** – **Annexe sols 1**).

PLACETTES ET TYPES DE SOLS		PROFONDEURS	
		FOSSE 1	FOSSE 2
SOLS CALCAIRES			
PM 85	Arénosol calcaire	200 cm	200 cm
HET 64	Calcisol	110 cm	110 cm
SP 05	Calcisol / Rendisol colluvial	130 cm	200 cm
SP 11	Calcisol rédoxique	110 cm	110 cm
SP 25	Calcisol rédoxique	100 cm	100 cm
SOLS BRUNS			
PL 20	Brunisol mésosaturé	200 cm	150 cm
EPC 63	Brunisol mésosaturé	200 cm	200 cm
SP 68	Brunisol oligosaturé	200 cm	200 cm
SP 57	Alocrisol typique	200 cm	200 cm
SP 38	Alocrisol typique	200 cm	200 cm
SOLS PODZOLISES			
PS 76	Podzosol meuble	200 cm	200 cm
PM 72	Podzosol meuble rédoxique	150 cm	150 cm
PS 67a	Podzosol ocrique	200 cm	200 cm
HET 30	Podzosol ocrique	200 cm	200 cm
EPC 87	Podzosol ocrique	200 cm	200 cm
EPC 08	Podzosol ocrique	150 cm	150 cm
DOU 71	Podzosol ocrique	200 cm	200 cm
PM 40c	Podzosol humique	200 cm	200 cm
SOLS LESSIVES ET LESSIVES HYDROMORPHES			
HET 54a	Néoluvisol rédoxique / Brunisol oligosaturé rédoxique	150 cm	150 cm
CHS 35	Luvisol typique rédoxique à micropodzol	200 cm	200 cm
CHS 41	Luvisol rédoxique / Luvisol-Rédoxisol	150 cm	150 cm
EPC 74	Luvisol-Rédoxisol	150 cm	150 cm
CHS 10	Luvisol-Rédoxisol dégradé	150 cm	200 cm
CHP 59	Luvisol-Rédoxisol dégradé	200 cm	200 cm
PS 44	Luvisol-Rédoxisol dégradé	200 cm	200 cm
SOLS HYDROMORPHES			
CHP 40	Réductisol fluvique	200 cm	200 cm

Tableau 49 : Estimation des profondeurs maximales d'enracinement.

Table 49: *Estimated maximum rooting depths*

3. ESTIMATION DES TENEURS VOLUMIQUES EN EAU

La teneur en eau volumique correspond à la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ (saturation de la microporosité) et au point de flétrissement permanent (Veihmeyer et Hendrickson, 1927). Cette définition fait appel à deux états caractéristiques de l'eau dans le sol, définis par les agronomes par une approche essentiellement statique, sur la fraction terre fine du sol.

$$q = (H_{cc} - H_{PFP}) \times DA$$

Avec q , l'humidité volumique ; H_{CC} et H_{PFP}, les humidités pondérales à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent ; DA la densité apparente.

Les humidités pondérales caractéristiques n'ayant pas été mesurées sur les sols du réseau, il est nécessaire d'estimer les capacités en eau utile de chaque horizon à partir de leurs caractéristiques physico-chimiques pour accéder à la réserve utile de ces sols. Ces estimations ne sont pas triviales. Comme le constate Bastet (1999), nous n'avons encore qu'une connaissance très approximative des propriétés hydrauliques des sols à l'échelle du territoire national et notamment des propriétés de rétention en eau. A cette constatation, nous pouvons ajouter que les connaissances sur les sols forestiers sont encore plus fragmentaires, la majorité des études ne concernant que des sols agricoles ou ne prenant pas en compte l'effet du mode d'occupation du sol sur ses propriétés hydriques ; sauf rares exceptions (Droogers et Bouma, 1997 ; Bigorre, 2000). L'examen de la littérature montre qu'il n'existe pas de résultats probants comparant et quantifiant les propriétés physiques des sols cultivés et forestiers (Bigorre, 2000).

La réserve en eau des sols étant un paramètre important dans le calcul des bilans hydriques et minéraux, il nous a donc semblé nécessaire de rechercher plusieurs méthodes de calcul des teneurs en eau, non pas pour obtenir une valeur précise et absolue des réserves (celles-ci ne pouvant être connues que par l'application de méthodes lourdes), mais pour évaluer l'erreur potentielle introduite dans les calculs de bilans par les différentes méthodes d'estimation des réserves en eau. Ces méthodes sont classées en deux groupes :

- les méthodes dites des *coefficients de texture*
- les *fonctions de pédotransfert* (FPT).

Remarque :

Nous soulignerons ici l'absence de consensus sur les valeurs caractéristiques de potentiel hydrique.

La teneur en eau à la capacité au champ correspond à la teneur en eau du sol après ressuyage, lorsque tout écoulement gravitaire a cessé. Cette valeur ne peut théoriquement être déterminée qu'*in situ*. Les différents auteurs utilisent donc des valeurs d'humidité correspondant à une capacité au champ déterminée au laboratoire qui varie, selon les études, la nature des échantillons, etc. de –50 à –1000 hPa (pF 1,7 à 3).

Le point de flétrissement permanent correspond au potentiel hydrique à partir duquel les racines ne peuvent plus extraire l'eau du sol. La valeur de pF 4,2 (-15 000 hPa) est communément admise par les agronomes pour les plantes cultivées et les semis forestiers. Cependant, les arbres adultes tolèrent des dessèchements du sol plus marqués et sont souvent capables d'extraire de l'eau à des potentiels plus négatifs pendant des périodes prolongées et sans mortalité : -16 000 pour le douglas et le pin sylvestre, -17 000 pour le pin noir, -20 000 pour l'épicéa (Aussenac et Granier, 1978) ; -20 000 à –25 000 pour le chêne sessile (Bréda *et al*., 1995) ; inférieur à –15 000 pour *Acer opulus*, *Buxus sempervirens*, *Cedrus atlantica*, *Pinus nigra, Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* (Aussenac et Valette, 1982). Nous utilisons ici la valeur de pF 4,2 (-15 000 hPa) pour caractériser le point de flétrissement.

3.1. Méthode des coefficients de texture

La méthode des coefficients de texture consiste à utiliser des tables proposant des moyennes elles-mêmes établies par plusieurs mesures d'humidités pondérales (à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent) sur divers échantillons de sol.

3.1.1. Estimations de Jamagne *et al.*, 1977

Les résultats les plus souvent cités, et les plus couramment utilisés lorsqu'il est nécessaire de calculer une réserve utile en eau, sont ceux publiés par le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Jamagne *et al.*, 1977). Des estimations moyennes de réserve en eau ont été proposées pour 15 classes de texture après des mesures sur plusieurs centaines d'échantillons prélevés dans le département (**tableau 50** et **figure 23**). Cette méthode est intéressante pour classer hiérarchiquement les réserves potentielles de plusieurs solum mais elle reste assez grossière pour plusieurs raisons. En dehors des sols de l'Aisne (très argileux), l'utilisation de ce tableau devient problématique quand il s'agit d'autres régions et d'autres roches mères (Baize, 2000), *a fortiori* lorsque l'on s'intéresse à des sols forestiers. Les mesures des teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement ont été réalisées sur des échantillons remaniés (séchés et tamisés à 2 mm), or cette méthode détruit la structure du sol et ne reflète plus la porosité de celui-ci. Les coefficients proposés ne tiennent compte que de la texture des horizons ; la densité apparente, qui traduit la structure, n'est pas prise en compte, ni la charge en matière organique. Enfin, les valeurs de réserve en eau utile varient peu entre les différentes classes de texture (Bruand *et al.*, 1996).

Pour compléter les travaux de Jamagne *et al.*, deux séries de coefficients sont utilisées :
- les coefficients proposés par le *Soil Survey of England and Wales* (Hall *et al.*, 1977) ;
- les coefficients proposés dans l'étude de la recharge de la nappe de Beauce (Chapelier *et al.*, 1999).

Texture		W_{cc} (g/100g)	$W_{4,2}$ (g/100g)	W_{cc}- $W_{4,2}$	Da (g/cm^3)	W (mm/cm)
Sable	S	8	3	5	1,35	0,70
Sable limoneux	SL	12	5	7	1,40	1,00
Sable argileux	SA	19	10	9	1,50	1,35
Limon léger sableux	LLS	15	7	8	1,50	1,20
Limon sableux	LS	19	9	10	1,45	1,45
Limon moyen sableux	LMS	20	9	11	1,45	1,60
Limon sablo-argileux	LSA	22	11	11	1,50	1,65
Limon argilo-sableux	LAS	24	12	12	1,45	1,75
Limon léger	LL	17	8	9	1,45	1,30
Limon moyen	LM	23	10	13	1,35	1,75
Limon argileux	LA	27	13	14	1,40	1,95
Argile sableuse	AS	33	22	11	1,55	1,70
Argile	A	37	25	12	1,45	1,75
Argile limoneuse	AL	32	19	13	1,40	1,80
Argile lourde	Alo*	33,5	21,5	12	1,40	1,675

Tableau 50 : Tableau du Service de Cartographie des sols de l'Aisne (Jamagne *et al.*, 1977, *in* Baize, 2000) : W_{cc}, humidité pondérale à la capacité au champ (pF 2,5) ; $W_{4,2}$ humidité pondérale au point de flétrissement permanent (pF 4,2) ; W_{cc}- $W_{4,2,}$ eau utile ; Da, densité apparente ; W=Da x (W_{cc}- $W_{4,2}$) / 10, réservoir utilisable maximal en mm d'eau / cm de sol.

Table 50: *Moisture retention for 15 texture classes by the French Soil Cartography Service for the Aisne region (Jamagne et al., 1977, in Baize, 2000) . W_{cc}, water content at field capacity (pF 2,5) ; $W_{4,2}$ water content at the wilting point (pF 4,2) ; W_{cc}- $W_{4,2,}$ available water ; Da, bulk density ; W=Da x (W_{cc}- $W_{4,2}$) / 10, volumetric soil water content (mm water / cm soil).*

3.1.2. Estimations de Hall *et al.*, 1977

Les coefficients du *Soil Survey of England and Wales* ont été déterminés à partir de 261 profils de sols (825 horizons et 2 500 échantillons non remaniés). Les volumes d'eau retenue par les échantillons ont été déterminés pour des pressions de –50, -100, -400, -2 000 et –15 000 hPa. La quantité d'eau utile a été déterminée par différence entre les humidités mesurées à –50 et –15 000 hPa (pF 1,7 et 4,2) et les humidités aux différents potentiels ont été reliées à des caractéristiques physiques des sols (voir § *fonctions de pédotransfert*). Contrairement aux coefficients de Jamagne *et al.*, la texture n'est pas la seule clé d'entrée dans le tableau puisque les auteurs séparent les horizons de surface fortement chargés en matières organique (horizons A) et les horizons profonds (horizons E, B et C) – (**tableau 51**). Le triangle des textures utilisé est celui du *Soil Survey of England and Wales* (**figure 23**). La superposition des deux triangles de texture permet de comparer les coefficients de Jamagne *et al.* et ceux Hall *et al.* On constate que les coefficients *du Soil Survey of England and Wales* sont très majoritairement plus élevés que les coefficients de Jamagne *et al.*, probablement en raison de l'utilisation des teneurs en eau à pF 1,7 et non pas 2,5 (**figure 24**).

Texture			Horizons	W (mm/cm)
Clay	C	Argile	Organiques	1,90
			Minéraux	1,36
Silty clay	SiC	Argile limoneuse	Organiques	2,13
			Minéraux	1,49
Silty clay loam	SiCL	Limon argileux fin	Organiques	2,40
			Minéraux	1,72
Clay loam	CL	Limon argileux	Organiques	2,21
			Minéraux	1,47
Sandy clay loam	SaCL	Limon argilo-sableux	Organiques	1,99
			Minéraux	1,65
Silty loam	SiL	Limon fin	Organiques	2,52
			Minéraux	2,18
Sandy silt loam	SaSiL	Limon fin sableux	Organiques	2,20
			Minéraux	2,00
Sandy loam	SaL	Limon sableux	Organiques	1,84
			Minéraux	1,59
Loamy sand	LSa	Sable limoneux	Organiques	1,34
			Minéraux	1,41
Sand	Sa	Sable	Organiques	-
			Minéraux	1,11
Sandy clay	SaC	Argile sableuse	Organiques	-
			Minéraux	-

Tableau 51 : Evaluation de l'eau utile pour deux types d'horizons (organiques (A) et minéraux (E, B et C)) en fonction des classes texturales (Hall *et al.*, 1977). W, volume d'eau retenue entre des succions de 0,05 et 15 bars (pF 1,7 et pF 4,2).

Table 51: *Available water for soils in relation to particle-size class and horizon (organic layer (A) and mineral layers (E, B, C)) - (Hall et al., 1977). W, volume of water retained between suctions of 0.05 and 15 bars (pF 1.7 and pF 4.2).*

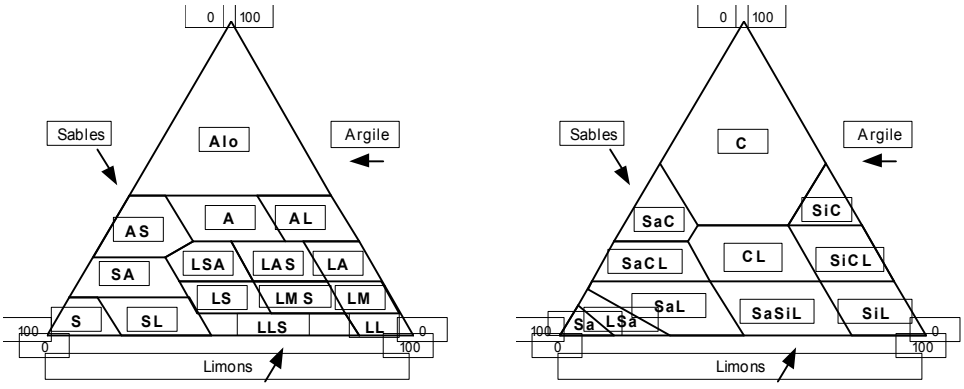


Figure 23 : Diagrammes de classification des textures : à gauche, Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Jamagne, 1967, *in* Baize, 2000) ; à droite, Soil Survey of England and Wales (Hall *et al.*, 1977) - (la limite limon / sable est ici à 60 µm et non pas à 50 µm comme dans le système international).

Figure 23: *Soil particle-size diagram : left – Soil Cartography Service for the Aisne region (Jamagne, 1967, in Baize, 2000) ; right - Soil Survey of England and Wales (Hall et al., 1977) - (sand particle-size begins at 60 µm and not at the international standard of 50 µm).*

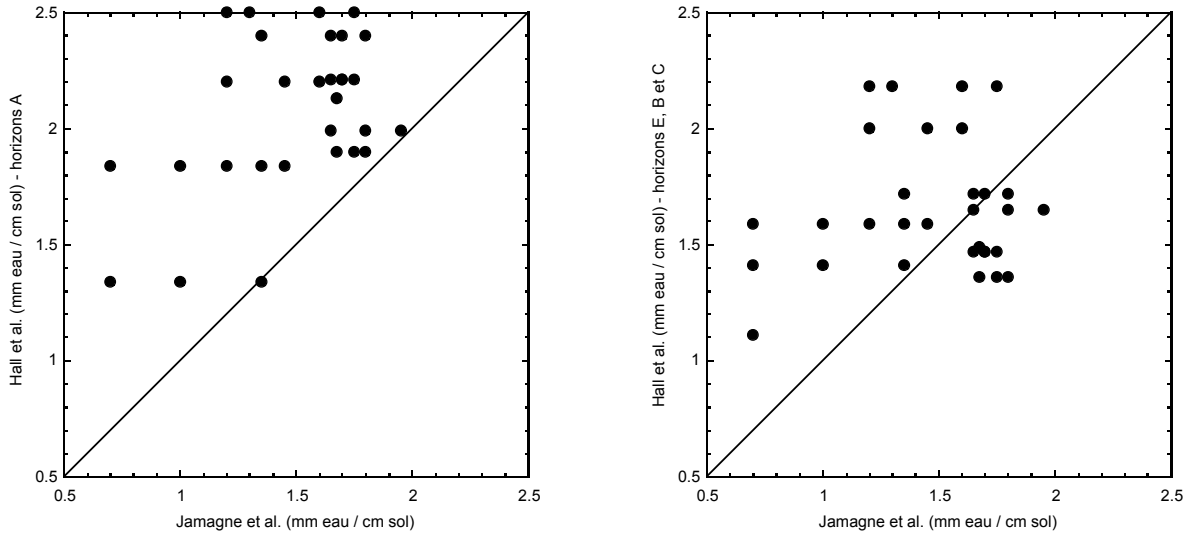


Figure 24 : Comparaison des quantités d'eau utile des études de Jamagne *et al.* (1977) et Hall *et al.* (1977).

***Figure 24**: Comparison between the volumetric soil water content given by Jamagne et al. (1977) and Hall et al. (1977).*

3.1.3. – Estimations de Chapelier *et al.*, 1999

La troisième série de coefficients est celle proposée par Chapelier *et al.* (1999) dans l'étude de la réserve utile en eau des sols du domaine de référence de la nappe de Beauce. Ils ont été calculés à partir de 450 horizons de sols, essentiellement agricoles, provenant en grande majorité du Bassin parisien et de la Beauce. Les mesures ont été réalisées sur des échantillons non perturbés.

Comme Hall *et al.*, les indices de réserve en eau sont classés en fonction de la texture et du type d'horizon, mais les auteurs ajoutent la densité apparente comme troisième critère de distinction des classes de réserve en eau. Les valeurs présentées dans le **tableau 52** sont des valeurs moyennes représentatives de l'effectif de chaque classe formée par la combinaison des trois critères cités précédemment. Les textures sont classées selon un diagramme simplifié à partir du triangle des textures du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (**figure 25**) :

- texture très argileuse = argile lourde
- texture argileuse = argile + argile limoneuse + argile sableuse
- texture limoneuse = limon argileux + limon moyen
- texture limon léger = limon léger + limon léger sableux
- texture limono-sableuse = limon sablo-argileux + limon sableux + limon argilo-sableux + limon moyen sableux
- texture sableuse = sable argileux + sable limoneux
- texture sable pur = sable

La comparaison des indices de Jamagne *et al.* et de Chapelier *et al*. montre, de façon globale, que les deux séries de coefficients ont des valeurs relativement proches (**tableau 53**). Une comparaison plus précise montre cependant que les réserves en eau pour toutes les textures argileuses (Alo, AS, A et AL) sont minorées dans l'étude de Chapelier *et al.* ainsi que pour la classe SA. Pour les textures LM, LA, LS, LMS, LSA et LAS les coefficients sont augmentés au niveau des horizons A et diminués au niveau des horizons B, voire C ; les coefficients des textures SL et S sont au contraire augmentés.

HORIZONS A			
Texture		**DA horizons**	**W (mm/cm)**
Très argileuse	TA	[0,8-1,4]	1,5
Argileuse	A	[1,2-1,4]	1,5
		]1,4-1,6]	1,6*
Limoneuse	L	[1,2-1,4]	2,1
		]1,4-1,6]	1,9
Limono sableuse	LS	[1,1-1,3]	2
		]1,3-1,5]	2,1*
Sableux	S	[1,3-1,5]	1,2
		]1,5-1,7]	1,4
Sable pur	SP	[1,3-1,7]	0,9*
Limon léger	LL	-	-

HORIZONS E et B			
Texture		**DA horizons**	**W (mm/cm)**
Très argileuse	TA	[1,1-1,3]	1,4
		]1,3-1,5]	1,2*
		]1,5-1,7]	0,8
Très argileuse (gonflant)	TA	[1,1-1,5]	1,6*
Argileuse	A	]1,3-1,5]	1,4*
		]1,5-1,7]	1,3*
Limoneuse	L	]1,3-1,5]	1,6
		]1,5-1,7]	1,4
Limono sableuse	LS	]1,4-1,6]	1,4
		]1,6-1,8]	1,4
Sableux	S	]1,4-1,8]	1,1
Sable pur	SP	]1,4-1,8]	0,8*
Limon léger	LL	-	-

HORIZONS C			
Texture		**DA horizons**	**W (mm/cm)**
Très argileuse	TA	[1,15-1,35]	1,6
		]1,35-1,55]	1,2*
		]1,55-1,75]	0,7
Argileuse	A	[1,45-1,65]	1
		]1,65-1,85]	0,8
Limoneuse		]1,35-1,55]	1,4*
		]1,55-1,75]	1,6
Limono sableuse	LS	]1,35-1,55]	1,7
		]1,55-1,75]	1,6
Sableux	S	]1,35-1,75]	1*
Sable pur	SP	]1,35-1,75]	0,7*
Limon léger	LL	-	-
Texture «calcaire» (Calc > 65%)		]1,35-1,55]	1,8*
		]1,55-1,75]	1,7

Tableau 52 : Evaluation de l'eau utile (W entre pF 2,5 et 4,2) d'horizons regroupés par classes de texture et de densité apparente (DA). * = valeurs données *à dire d'expert* (d'après Chapelier *et al.*, 1999).

Table 52: *Available water for soils in relation to particle-size class, horizon and bulk density (DA). Water retained between pF 2.5 and pF 4.2. * = estimated values (in Chapelier et al., 1999).*

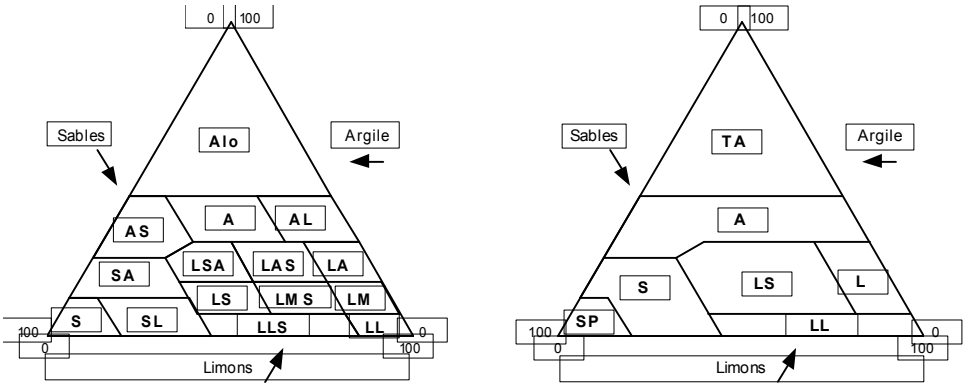


Figure 25 : Diagrammes de classification des textures : à gauche, Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Jamagne, 1967, *in* Baize, 2000) ; à droite, utilisé par Chapelier *et al.* (1999) – (cf.texte)

Figure 25: *Soil particle-size diagram : left – Soil Cartography Service for the Aisne region (Jamagne, 1967, in Baize, 2000) ; right – used by Chapelier et al. (1999).*

Jamagne *et al.* 1977		**Chapelier *et al.*, 1999**		
Texture	W	**Texture**	**W min**	**W max**
S	0,7	Sable pur	0,7	0,9
SL	1	Sableux	1	1,4
SA	1,35			
LL	1,3	Limon léger	-	-
LLS	1,2			
LS	1,45	Limono sableuse	1,4	2,1
LMS	1,6			
LSA	1,65			
LAS	1,75			
LM	1,75	Limoneuse	1,4	2,1
LA	1,95			
AS	1,7	Argileuse	0,8	1,6
A	1,75			
AL	1,8			
Alo	1,675	Très argileuse	0,7	1,6

Tableau 53 : Comparaison des quantités d'eau utile des études de Jamagne *et al.* (1977) et Chapelier *et al.* (1999). Seules les valeurs minimale et maximale des coefficients de Chapelier *et al.* sont présentées ici.

Table 53: *Comparison between the volumetric soil water content given by Jamagne et al. (1977) and Chapelier et al.. (1977). Only minimum and maximum coefficients from Chapelier et al are presented here.*

3.2. Fonctions de pédotransfert

Par le terme *fonction de pédotransfert* (FPT, Bouma, 1989), on entend toute fonction mathématique destinée à relier les propriétés de rétention en eau des sols à leurs caractéristiques physico-chimiques (texture, densité apparente, porosité, teneur en matière organique ou en carbone, capacité d'échange cationique, etc.). Un grand nombre de fonctions ont été publiées depuis les années 60, les unes permettant d'estimer des teneurs en eau à des valeurs ponctuelles de potentiel matriciel, d'autres permettant d'estimer de façon continue les quantités d'eau retenues en fonction du potentiel matriciel. Face à la profusion des références, le choix pratique de l'une ou l'autre de ces fonctions est délicat. Des travaux récents (Bruand et al., 1996 ; Bastet, 1999 ; Bigorre et al., 2000) ont permis de clarifier la situation, voire de proposer de nouvelles fonctions applicables aux sols français, cependant, aucun outil pratique n'est encore disponible pour l'ensemble des sols du territoire et encore moins pour les sols forestiers. Le choix d'une fonction de pédotransfert reste donc encore très empirique.

Le premier critère de sélection des fonctions de pédotransfert porte sur les variables d'entrée des modèles. Rawls et Brakensiek (1985) utilisent dans leurs équations un terme «porosité» non disponible dans le jeu de données RENECOFOR. Les modèles de courbe à fondement mathématique, ou modèles de type capillaire (Arya et Paris, 1981 ; Haverkamp et Parlange, 1986 ; Tyler et Wheatcraft, 1989 et 1992 ; Nakao *et al.*, 1995 ; Scheinost *et al.*, 1997 ; Assouline *et al.*, 1998 ; Comegna *et al.*, 1998) utilisent des critères comme la distribution de la taille des particules et des agrégats, la distribution et la taille des pores ou leur «tortuosité», etc., données non disponibles sur les placettes étudiées. Le modèle développé par Bigorre (Bigorre, 2000 ; Bigorre *et al.*, 2000) a également été écarté : bien que prenant en compte l'usage des sols (agriculture ou forêt) ce modèle utilise la capacité d'échange cationique (CEC) des sols mesurée à pH=7 ; or nous ne disposons que des CEC mesurées au pH du sol. Dans le cas des sols acides (largement majoritaires dans le réseau RENECOFOR) il est clairement établi que ces deux méthodes de mesure ne sont pas comparables.

Le second critère de sélection porte sur les domaines d'application des fonctions de pédotransfert, les différents travaux de validation de ces fonctions ayant clairement démontré que les FPT devenaient rapidement inefficaces hors du domaine où elles avaient été calibrées (Willians *et al.*, 1992 ; Tietje et Tapkenhinrichs, 1993 ; Kern, 1995, Bigorre, 1999). Les fonctions développées par Petersen *et al.* (1968b) sur une seule classe de texture, par De Jong *et al.* (1983), ou par Pucket *et al*. (1985) sur des luvisols développés à partir de sédiments de plaine côtière, n'ont donc pas été utilisées. Cependant, s'il est possible de sélectionner les FPT à partir des classes de texture (dans la mesure où ces précisions sont données par les auteurs), la sélection à partir d'autres critères comme la densité apparente ou le taux de carbone organique est plus délicate, la majeure partie des sols étudiés étant d'origine agricole.

Le **tableau 54** reprend les caractéristiques des échantillons utilisés pour établir les fonctions de pédotransfert retenues dans notre étude.

Auteurs	Effectif	Argile	Limon	Sable	Carbone organique	Matière organique	Densité Apparente
Jamagne *et al. (1977)*	-	15 classes de texture			-	-	1,35 à 1,55
Chapelier *et al. (1999)*	-	7 classes de texture			-	-	-
Bruand *et al. (1996)*	214	4 classes de texture (Alo, A, AL, AS)			-	-	1,0 à 1,9
Hall *et al. (1977)*	825	0 – 91%	-	-	-	-	0,6 à 1,8
Renger *et al. (1971)*	450	0 – 71%	-	-	-	0 – 14%	-
Gupta et Larson (1979)	43	0 – 65%	1 – 72%	5 – 98%	-	0 – 23%	0,74 à 1,74
Rawls et Brakensiek *(1982)*	2541	0,1 – 94%	0,1 – 93%	0,1 – 99%	-	0,1 – 12,5%	0,1 à 2,09
Saxton *et al. (1986)*	-	5 – 60%	-	-	-	-	-
Vereecken *et al. (1989)*	182	0 – 54,5%	0 – 81%	5,5 – 98%	0,01 – 6,6%	-	1,04 à 1,83
Mayr et Jarvis (1999)	306	0 – 70%	0 – 70%	0 – 100%	<5%	-	>0,9
Wösten *et al. (1999)*	4030	-	-	-	-	-	-

Tableau 54 : Caractéristiques des échantillons utilisés pour calibrer les fonctions de pédotransfert (données bibliographiques).

***Table 54**: Characteristics of data sets used for the prediction of soil hydraulic properties (literature data).*

3.2.1. Estimations ponctuelles de la teneur en eau

3.2.1.1. Modèle de Bruand *et al.*, 1996

Le modèle de Bruand *et al.* a été développé à partir d'un ensemble de 214 horizons de texture *argile lourde* (Alo) et *argileuse* (A, AS, AL) provenant en majeure partie du Bassin de Paris, et secondairement des marais de l'Ouest et du piémont pyrénéen. Ces horizons ont été subdivisés aléatoirement en deux sous-ensembles à des fins de calibration et de validation des modèles.

Des régressions linéaires ont été calculées, pour 8 valeurs de potentiel matriciel, entre la teneur en eau et l'inverse de la densité apparente. Une relation semblable a par ailleurs été établie à la capacité au champ (prélèvements effectués en hivers sous la forme de mottes d'un volume compris entre 0,1 et 1 litre). Les équations ont été calibrées pour des densités apparentes comprises entre 1 et 1,9 (**tableau 55**).

Potentiel matriciel (hPa)		Droite de régression	r^2	n
-10	pF = 1,0	$W_{1,0}$ = 0,949*(1/Da) – 0,339	0,87	43
-33	pF = 1,5	$W_{1,5}$ = 0,914*(1/Da) – 0,324	0,89	35
-100	pF = 2,0	$W_{2,0}$ = 0,871*(1/Da) – 0,312	0,89	24
-330	pF = 2,5	$W_{2,5}$ = 0,869*(1/Da) – 0,313	0,91	106
-1 000	pF = 3,0	$W_{3,0}$ = 0,763*(1/Da) – 0,261	0,88	50
-3 300	pF = 3,5	$W_{3,5}$ = 0,725*(1/Da) – 0,246	0,88	34
-10 000	pF = 4,0	$W_{4,0}$ = 0,629*(1/Da) – 0,201	0,89	26
-15 000	pF = 4,2	$W_{4,2}$ = 0,527*(1/Da) – 0,152	0,78	107
Capacité au champ		W_{cc} = 0,953*(1/Da) – 0,362	0,96	214

Tableau 55 : Droites de régression calculées pour l'ensemble des horizons argileux (Alo, A, AL, AS) à différentes valeurs de potentiel matriciel entre la teneur en eau massique (W, en g eau /g sol) et l'inverse de la densité apparente (1/Da) des horizons à la capacité au champ (*in* Bruand *et al.*, 1996).

Table 55: *Linear regressions established for clayey horizons at different matrix potential between the gravimetric water content (g/g) and the reciprocal of bulk density (1/DA) of the horizons near field capacity.*

A partir de ces résultats, il est possible de déduire une estimation de la réserve en eau utile en fonction de la densité apparente, entre pF 4,2 et la capacité au champ ou tout autre pF (pF 2,5 par exemple) :

$$RU_1(cm^3/cm^3) = W_{cc} - W_{4,2} = \left(0{,}426 \times \frac{1}{Da}\right) - 0{,}210$$

$$RU_2(cm^3/cm^3) = W_{2,5} - W_{4,2} = \left(0{,}342 \times \frac{1}{Da}\right) - 0{,}161$$

Comparant leurs résultats aux coefficients de Jamagne *et al*. (1977) pour les textures argileuses (DA de 1,65 à 1,80 g/cm^3), les auteurs montrent que les valeurs qu'ils proposent sont moins élevées dès que la densité apparente est supérieure à 1,3 g/cm^3.

3.2.1.2. Modèle de Renger, 1971

Renger (1971) a établi des FPT pour estimer le volume des pores occupé par l'eau à quatre niveaux de potentiels hydriques. A 0 hPa, tous les pores sont remplis d'eau et le sol est saturé ; à -65 hPa (pF 1,8), seuls les pores inférieurs à 50 µm sont saturés ; à -300 hPa (pF 2,5), seuls les pores de moins de 10 µm sont saturés ; enfin, à –15 000 hPa (pF 4,2) l'eau n'est présente que dans les pores de 0,2 µm et moins.

Renger (1971) stratifie au préalable les échantillons en fonction d'un indice de compacité calculé à partir de la densité apparente et de la teneur en argile (%) :

$$Compacité = Da + (0{,}009 \times Arg)$$

Le volume des différentes classes de porosités est ensuite estimé à partir des fractions limoneuses et argileuses :

- Pour Ψ = -65 hPa (pF 1,8 ; volume des pores (%) < 50 µm)

Si compacité = 1,75	$V_{65} = 18 + (0{,}40 \times Arg) + (0{,}12 \times Li)$
Si 1,40 = compacité < 1,75	$V_{65} = 19 + (0{,}50 \times Arg) + (0{,}12 \times Li)$
Si compacité < 1,40	$V_{65} = 27 + (0{,}48 \times Arg) + (0{,}08 \times Li)$

- Pour Ψ = -300 hPa (pF 2,5 ; volume des pores (%) < 10 µm)

Si compacité = 1,75	$V_{300} = 12 + (0{,}45 \times Arg) + (0{,}14 \times Li)$
Si 1,40 = compacité < 1,75	$V_{300} = 12{,}5 + (0{,}57 \times Arg) + (0{,}14 \times Li)$
Si compacité < 1,40	$V_{300} = 20 + (0{,}52 \times Arg) + (0{,}08 \times Li)$

- Pour Ψ = -15 000 hPa (pF 4,2 ; volume des pores (%) < 0,2 µm)

Toutes classes de compacité	$V_{15000} = 3 + (0{,}67 \times Arg) - (0{,}002 \times Arg^2) + (0{,}02 \times Li)$

Avec : Da, densité apparente (g/cm^3) ; Arg, fraction argileuse (%) ; Li, fraction limoneuse (%). Les volumes sont exprimés en %.

Selon le potentiel hydrique retenu pour caractériser la capacité au champ (-65 ou –300 hPa), la réserve utile en mm d'eau par cm de sol est calculée par :

$$RU = (V_{cc} - V_{15000}) \times 10 / 100$$

3.2.1.3. Modèle de Hall *et al.*, 1977

Les fonctions de pédotransfert proposées par Hall *et al.* ont été développées à partir d'un échantillon de 261 profils de sols anglais (825 horizons ; 2 500 échantillons) représentant 22 types de sols. Elles prennent en compte les fractions argileuse et limoneuse (la limite limon / sable étant à 60 µm et non pas à 50 µm comme dans le système international), le carbone organique et la densité apparente. Elles ont été développées pour deux types d'horizons (horizon A d'une part et horizons E, B et C d'autre part) et cinq potentiels matriciels (-50, -100, -400, -2 000, -15 000 hPa). Les fonctions correspondant à une succion de –2 000 hPa (pF 3,3) ne sont pas présentées ici. Les termes Arg, Li et CO sont exprimés en pourcentages ; les teneurs en eau (?) aux différents potentiels (?) sont exprimées en pourcentage volumique.

- Horizons de surface (A)

-50 hPa – pF 1,7	$q_{50} = 47{,}00 + (0{,}25 \times Arg) + (0{,}10 \times Li) + (1{,}12 \times CO) - (16{,}52 \times Da)$
-100 hPa – pF 2,0	$q_{100} = 37{,}47 + (0{,}32 \times Arg) + (0{,}12 \times Li) + (1{,}15 \times CO) - (12{,}5 \times Da)$
-400 hPa – pF 2,6	$q_{400} = 26{,}66 + (0{,}36 \times Arg) + (0{,}12 \times Li) + (1{,}00 \times CO) - (7{,}64 \times Da)$
-15 000 hPa – pF 4,2	$q_{15000} = 2{,}94 + (0{,}83 \times Arg) - (0{,}0054 \times Arg^2)$

- Horizon profonds (E, B, C)

-50 hPa – pF 1,7	$q_{50} = 37{,}20 + (0{,}35 \times Arg) + (0{,}12 \times Li) - (11{,}73 \times Da)$
-100 hPa – pF 2,0	$q_{100} = 27{,}87 + (0{,}41 \times Arg) + (0{,}15 \times Li) - (8{,}32 \times Da)$
-400 hPa – pF 2,6	$q_{400} = 20{,}81 + (0{,}45 \times Arg) + (0{,}13 \times Li) - (5{,}96 \times Da)$
-15 000 hPa – pF 4,2	$q_{15000} = 1{,}48 + (0{,}84 \times Arg) - (0{,}0054 \times Arg^2)$

Selon le potentiel hydrique retenu pour caractériser la capacité au champ, la réserve utile en mm d'eau par cm de sol est calculée par :

$$RU = (q_{cc} - q_{15000}) \times 10 / 100$$

3.2.1.4. Modèle de Gupta et Larson, 1979

Les fonctions de pédotransfert de Gupta et Larson ont été établies à la suite d'analyses par régressions multiples sur des mélanges de sédiments et de sols en proportions variables (n=43). Ces fonctions, utilisant les pourcentages d'argile, de limon et de sable (SA en %), le taux de matière organique (MO en %) et la densité apparente, ont été ajustées pour 12 valeurs de potentiel. Seules les fonctions correspondant aux potentiels -70, -100, -200, -330 et -15 000 hPa (pF 1,85, 2, 2,3, 2,5 et 4,2) sont présentées ici. Les teneurs en eau aux différents potentiels sont exprimées en cm^3/cm^3 de sol

$$q_{70} = (0{,}009135 \times Arg) + (0{,}009228 \times Li) + (0{,}005678 \times Sa) + (0{,}006103 \times MO) - (0{,}2696 \times Da)$$
$$q_{100} = (0{,}008833 \times Arg) + (0{,}008543 \times Li) + (0{,}005018 \times Sa) + (0{,}004966 \times MO) - (0{,}2423 \times Da)$$
$$q_{200} = (0{,}008403 \times Arg) + (0{,}007066 \times Li) + (0{,}003890 \times Sa) + (0{,}002817 \times MO) - (0{,}1878 \times Da)$$
$$q_{330} = (0{,}008039 \times Arg) + (0{,}005886 \times Li) + (0{,}003075 \times Sa) + (0{,}002208 \times MO) - (0{,}1434 \times Da)$$
$$q_{15000} = (0{,}005766 \times Arg) + (0{,}001142 \times Li) - (0{,}000059 \times Sa) + (0{,}002228 \times MO) - (0{,}02671 \times Da)$$

Selon le potentiel retenu pour caractériser la capacité au champ (de -70 à -330 hPa), la réserve utile en mm d'eau par cm de sol est égale à :

$$RU = (q_{cc} - q_{15000}) \times 10$$

3.2.1.5. Modèle de Rawls *et al.*, 1982

Les fonctions établies par Rawls *et al.* sont de la même forme que celles établies par Gupta et Larson, mais à la différence de ces dernières, elles présentent une ordonnée à l'origine non nulle. Les variables explicatives sont les mêmes ainsi que les valeurs de potentiel étudiées. Ces fonctions ont été ajustées sur 2541 échantillons de sol.

$$q_{70} = 0{,}7135 + (0{,}0017 \times Arg) - (0{,}003 \times Sa) - (0{,}1693 \times Da)$$
$$q_{100} = 0{,}4118 + (0{,}0023 \times Arg) - (0{,}003 \times Sa) - (0{,}03117 \times MO)$$
$$q_{200} = 0{,}3121 + (0{,}0032 \times Arg) - (0{,}0024 \times Sa) - (0{,}03140 \times MO)$$
$$q_{330} = 0{,}2576 + (0{,}0036 \times Arg) - (0{,}002 \times Sa) + (0{,}0299 \times MO)$$
$$q_{1500} = 0{,}026 + (0{,}005 \times Arg) + (0{,}0128 \times MO)$$

Les teneurs en eau aux différents potentiels étant exprimées en cm^3/cm^3 de sol, la réserve utile en mm d'eau par cm de sol est égale à :

$$RU = (q_{cc} - q_{15000}) \times 10$$

Remarque :
Calibrées sur des sols agricoles, les équations de Rawls *et al.* sont peu sensibles au taux de matière organique, celui-ci variant de 0 à 3%. Sur les placettes RENECOFOR, 90% des taux de matière organique sont compris entre 0,3 et 13% ; la valeur médiane est égale à 2,7% et la moyenne est de 4,3%.

3.2.2. Estimations continues de la teneur en eau

Plusieurs modèles mathématiques ont été proposés pour décrire de façon continue la distribution des teneurs en eau en fonction des valeurs de potentiel (Brooks et Corey, 1964 ; Campbell, 1974 ; Van Genuchten, 1980). Dans cet ensemble de modèles de courbes à fondement mathématique, les fonctions de pédotransfert permettent d'estimer les paramètres du modèle retenu.

3.2.2.1. FPT de Saxton *et al.*, 1986

Saxton *et al.* subdivisent le domaine de potentiel matriciel allant de la saturation au point de flétrissement permanent en trois parties pour calculer les teneurs en eau ? exprimées en cm^3/cm^3 :

- Pour les potentiels matriciels compris entre 0 et le potentiel matriciel de l'eau au point d'entrée d'air ($0 > \Psi \geq \Psi_a$) :

$$q = q_S$$

Avec : $q_S = 0{,}332 - \left(7{,}251.10^{-4} \times Sa\right) + \left(0{,}1276 \times \log(Arg)\right)$

- Du potentiel matriciel de l'eau au point d'entrée d'air à –100 hPa ($\Psi_a > \Psi \geq -100hPa$) :

$$q = \frac{(100 - \Psi) \times (q_S - q_{100})}{(100 - \Psi_a)} + q_{100}$$

Avec : $\Psi_a = 1000 \times \left[-0{,}108 + (0{,}341 \times q_S)\right]$

$q_S = 0{,}332 - \left(7{,}251.10^{-4} \times Sa\right) + \left(0{,}1276 \times \log(Arg)\right)$

$q_{100} = \exp\left(\frac{2{,}302 - \ln(A)}{B}\right)$

- De –100 à –15 000 hPa (inclus) :

$$q = \left(\frac{\Psi}{A}\right)^{1/B}$$

Avec : $A = 1000 \times \exp\left[-4{,}396 - (0{,}0715 \times Arg) - \left(4{,}88.10^{-4} \times Sa^2\right) - \left(4{,}285.10^{-5} \times Sa^2 \times Arg\right)\right]$

$B = -3.14 - \left(2{,}22.10^{-3} \times Arg^2\right) - \left(3{,}484.10^{-5} \times Sa^2 \times Arg\right)$

Remarque :
Les travaux de Saxton *et al.* ne portent pas sur un jeu de données particulier. Les auteurs ont repris les résultats de Rawls *et al.* (1982) pour simuler des teneurs en eau pour 10 valeurs de potentiels en fixant une teneur en matière organique égale à 0,66% et en utilisant 44 classes de texture couvrant l'ensemble du triangle de l'United States Department of Agriculture (USDA). L'objectif de ce travail était d'interpoler de façon non linéaire les valeurs «ponctuelles» des teneurs en eau sur l'ensemble du domaine des potentiels hydriques.

3.2.2.2. Modèle de Vereecken *et al.*, 1989

Vereecken *et al.* (1989) ont établi des FPT pour les paramètres d'une forme réduite de l'équation proposée par Van Genuchten (1980) :

$$q = \frac{q_s - q_r}{1 + (a\Psi)^n} + q_r$$

Les FPT ont été établies par régression multiple avec les pourcentages d'argile, de sable et de carbone organique ainsi que la densité apparente :

$$q_s = 0{,}81 + (0{,}001 \times Arg) - (0{,}283 \times Da)$$
$$q_r = 0{,}015 + (0{,}005 \times Arg) - (0{,}014 \times CO)$$
$$a = \exp\left(-2{,}486 - (0{,}023 \times Arg) + (0{,}025 \times Sa) - (0{,}351 \times CO) - (2{,}617 \times Da)\right)$$
$$n = \exp\left(0{,}053 - (0{,}013 \times Arg) - (0{,}009 \times Sa) - (0{,}00015 \times Sa^2)\right)$$

3.2.2.3. Modèle de Mayr et Jarvis, 1999

Mayr et Jarvis (1999) ont établi des FPT pour les paramètres de l'équation de Brooks et Corey (1964), elle même modifiée par Hutson et Cass (1987) :

$$q = q_S \left(\frac{\Psi}{a}\right)^{-1/b}$$

Les FPT ont été calculées par régression multiple pour a, b et $?_s$ à partir de la texture, de la densité apparente et de la teneur en carbone organique d'un échantillon de 286 horizons issus de la base de données des propriétés physiques des sols d'Angleterre et du Pays de Galles :

log(a)= -4,9840297533
+0,0509226283 x Sa
+0,1575152771 x Li
+0,1240901644 x Da
-0,1640033143 x CO
-0,0021767278 x Li^2
+1,438224.10^{-5} x Li^3
+8,040715.10^{-5} x Arg^3
+0,0044067117 x CO^2

log(1/b)= -0,8466880654
-0,0046806123 x Sa
+0,0092463819 x Li
-0,4542769707 x Da
-0,0497915563 x CO
+3,294687.10^{-4} x Sa^2
-1,689056.10^{-6} x Sa^3
+0,0011225373 x CO^2

$q_{s=}$ +0,2345971971
+0,0046614221 x Sa
+0,0088163314 x Li
+0,0064338641 x Arg
-0,3028160229 x Da
+1,79762.10^{-5} x Sa^2
-3,134631.10^{-5} x Li^2

3.2.2.4. Modèles de Wösten *et al.*, 1999

Le travail de Wösten *et al.*, s'inscrit dans le cadre d'un projet européen de fédération des connaissances sur les propriétés hydrauliques des sols. La base HYPRES (Hydraulic Properties of European Soils), créée en collaboration avec 20 institutions de 12 pays européens, regroupe des informations sur 5521 horizons de sols.

A partir de ces données, Wösten *et al*. ont calibré deux types de FPT pour ajuster les paramètres du modèle de Mualem-van Genuchten :

$$q = \frac{q_s - q_r}{\left[1 + (a\Psi)^n\right]^m} + q_r$$

La première est une fonction de pédotransfert «*en classes*», les estimations des paramètres étant calculées pour 5 classes de texture (coarse, medium, medium fine, fine et very fine) et deux types d'horizons (topsoil et subsoil). La seconde est une fonction de pédotransfert «*continue*» :

Fonction continue

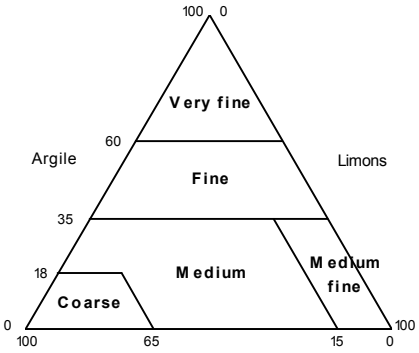
q_s = +0,7919
+0,001691 x Arg
-0,29619 x Da
-0,000001491 x Li^2
+0,0000821 x MO^2
+0,02427 / Arg
+0,01113 / Li
+0,01472 x Ln(Li)
-0,0000733 x MO x Arg
-0,000619 x Da x Arg
-0,001183 x Da x MO
-0,0001664 x Li x Horizon

Ln(a) = -14,96
+0,03135 x Arg
+0,0351 x Li
+0,646 x MO
+15,29 x Da
-0,192 x Horizon
-4,671 x Da^2
-0,000781 x Arg^2
-0,00687 x MO^2
+0,0449 / MO
+0,0663 x Ln(Li)
+0,1482 x Ln(MO)
-0,04546 x Da x Li
-0,4852 x Da x MO
+0,00673 x Arg x Horizon

Ln(n-1) = -25,23
-0,02195 x Arg
+0,0074 x Li
-0,1940 x MO
+45,5 x Da
-7,24 x Da^2
+0,0003658 x Arg^2
+0,002885 x MO^2
-12,81 / Da
-0,1524 / Li
-0,01958 / MO
-0,2876 x Ln(Li)
-0,0709 x Ln(MO)
-44,6 x Ln(Da)
-0,02264 x Da x Arg
+0,0896 x Da x MO
+0,00718 x Arg x Horizon

Avec : *Arg*, le pourcentage d'argile ; *Li*, le pourcentage de limon ; *Sa*, le pourcentage de sable ; *MO*, le pourcentage de matière organique ; *Da*, la densité apparente. La variable *Horizon* prend la valeur 1 dans le cas des horizons superficiels (topsoil) et 0 dans le cas contraire (subsoil).

Fonction par classes



		$?_r$	$?_s$	a	n	m
Sol	Grossier (Coarse)	0,025	0,403	0,0383	1,3774	0,2740
superficiel	Moyen (Medium)	0,010	0,439	0,0314	1,1804	0,1528
(Topsoil)	Moyen fin (Medium fine)	0,010	0,430	0,0083	1,2539	0,2025
	Fin (Fine)	0,010	0,52	0,0367	1,1012	0,0919
	Très fin (Very fine)	0,010	0,614	0,0265	1,1033	0,0936
Sol	Grossier (Coarse)	0,025	0,366	0,0430	1,5206	0,3424
profond	Moyen (Medium)	0,010	0,392	0,0249	1,1689	0,1445
Subsoil	Moyen fin (Medium fine)	0,010	0,412	0,0082	1,2179	0,1789
	Fin (Fine)	0,010	0,481	0,0198	1,0861	0,0793
	Très fin (Very fine)	0,010	0,538	0,0168	1,0730	0,0680

4. CALCUL DES VOLUMES D'EAU UTILISABLE SUR LES PLACETTES RENECOFOR

4.1. Données disponibles

4.1.1. Données granulométriques et texture des horizons

L'estimation des capacités en eau utile requiert l'utilisation, soit de classes de texture (méthodes des coefficients), soit des résultats des analyses granulométriques (FPT). Dans le cas des placettes RENECOFOR, les textures sont disponibles pour tous les horizons selon la classification du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Jamagne, 1967, in Baize, 2000). Ces données sont des estimations tactiles réalisées sur le terrain.

On dispose en complément des analyses granulométriques effectuées :

- sur trois horizons caractéristiques dans l'une des deux fosses (Brêthes et Ulrich., 1997) ;
- sur deux prélèvements systématiques à 40-80 et 80-100 cm de profondeur 1998 (deux prélèvements par couche et par fosse).

La comparaison de ces informations montre que les analyses granulométriques des prélèvements par horizon (réalisés en 1994 / 95 sur une seule fosse sans répétition) sont concordantes avec les analyses des prélèvements systématiques (réalisés en 1998 avec répétition sur les deux fosses). Sur 30 couples de prélèvements (mêmes profondeurs, mêmes horizons), 27 correspondent à des classes de texture identiques selon le triangle de Jamagne (soit 90% de coïncidence). Ce résultat tend à démontrer qu'un seul prélèvement par horizon est satisfaisant pour en déterminer la texture.

En revanche, les analyses granulométriques sont très peu concordantes avec les estimations tactiles des textures effectuées sur le terrain. Sur 142 couples testés, 61 seulement sont concordants (soit un peu moins de 43% - **tableau 56**) et l'analyse de la dispersion des valeurs montre que les erreurs de classement des textures peuvent être relativement fortes (**figure 26**).

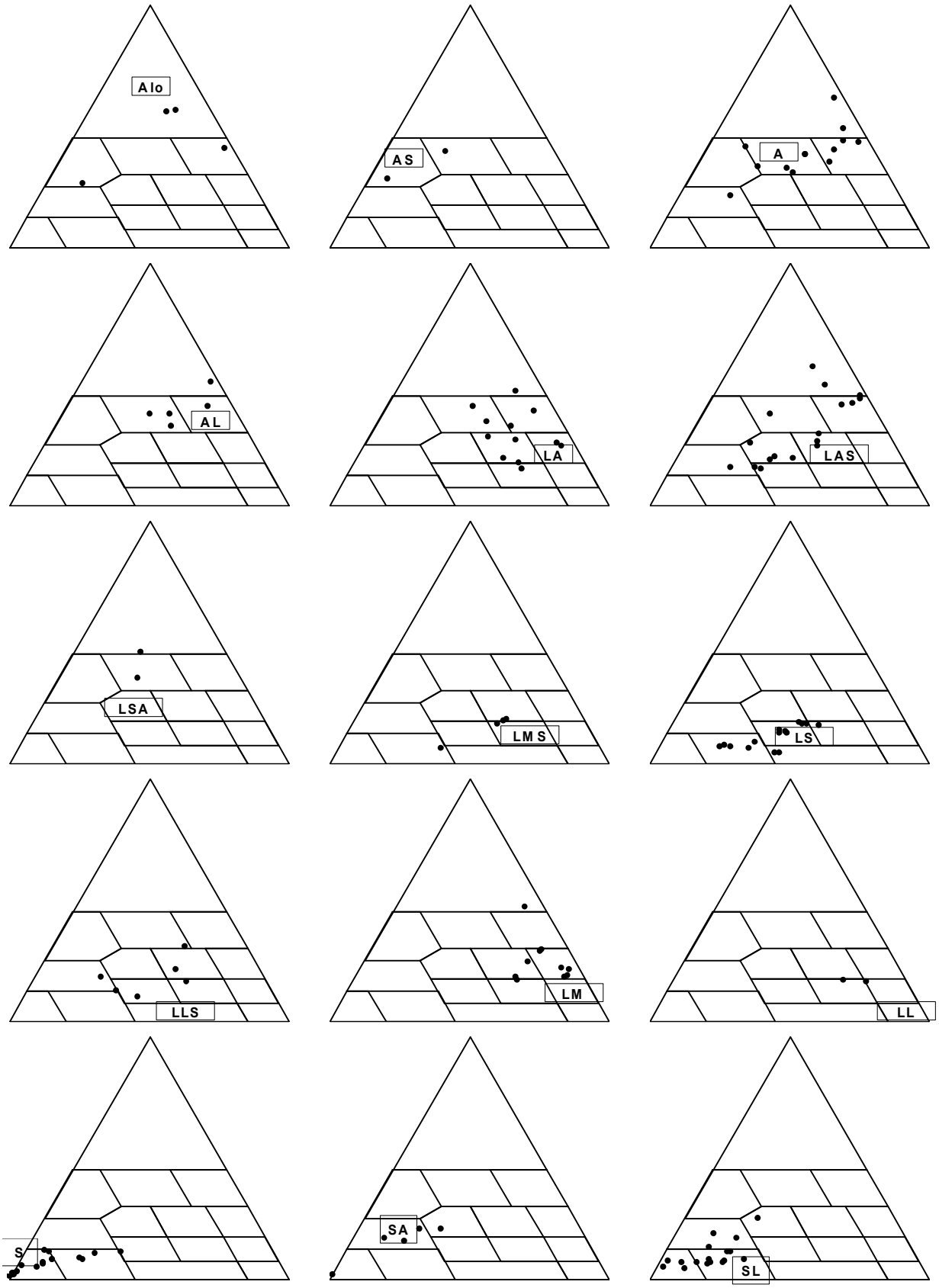


Figure 26 : Distribution des résultats des analyses granulométriques sur le triangle des textures du Service de la carte des sols de l'Aisne en fonction des 15 classes de texture appréciées sur le terrain "aux doigts".

Figure 26: *Comparison between the soil texture classes obtained in the field by soil experts (15 classes) and measured soil particle-size (dots).*

Texture «aux doigts»	Texture d'après l'analyse granulométrique														
	S	SL	SA	LLS	LS	LMS	LSA	LAS	LL	LM	LA	AS	A	AL	Alo
S	22	3			1										
SL	4	10	2				1								
SA			3				2								
LLS		1	1		1	1		1					1		
LS		5		2	8	1									
LMS		1				2		1							
LSA													1		1
LAS			1		2		4	3					1	4	2
LL						1				1					
LM						1	1	2		1	4				1
LA						2		3			2		2	2	1
AS												1	1		
A			1										6	4	2
AL													4	1	2
Alo												1			2

Tableau 56 : Tableau croisé des effectifs de textures obtenues par analyses granulométriques (colonnes) et appréciées sur le terrain "aux doigts" (lignes).

Table 56: *Relationships between measured soil particle-size (columns) and texture classes obtained in the field by soil experts (lines). Number of samples.*

Les analyses granulométriques ne sont pas disponibles pour l'ensemble des horizons décrits sur les deux fosses. Cependant, la variabilité des granulométries le long des profils est moins forte que la variabilité des textures «aux doigts». En conséquence, seuls les résultats des analyses granulométriques ont été utilisés dans les différents calculs de réserve en eau (voir le bilan des données disponibles – **annexe sol 2**).

Pour les calculs de réserve en eau à partir de coefficients de texture (Jamagne *et al.*, Chapelier *et al.*, Hall *et al.*, Bruand *et al.*) une classe de texture est appliquée à chaque horizon de sol à partir des résultats des analyses granulométriques disponibles. La texture des horizons profonds est estimée, pour chaque fosse, par la moyenne des deux prélèvements réalisés pour chacune des profondeurs 40-80 et 80-100 cm. Les valeurs obtenues pour la couche 80-100 cm sont extrapolées aux profondeurs 100-200 cm. Pour les horizons de surface, les analyses granulométriques effectuées sur trois horizons caractéristiques d'une fosse sont extrapolées à la seconde fosse et, le cas échéant, aux horizons intermédiaires (**annexe sol 3**).

Pour les calculs de réserve en eau à partir des fonctions de pédotransfert, les teneurs en carbone et les densités apparentes doivent être utilisées en complément des granulométries. Ces données étant disponible pour 5 couches standards (0-10, 10-20, 20-40, 40-80 et 80-100 cm), les résultats des analyses granulométriques par horizon sont attribués à ces couches. En règle générale, la granulométrie de l'horizon le plus proche est attribuée à la couche standard considérée. La granulométrie d'un horizon peut également être attribuée à plusieures couches standards ou la granulométrie d'une couche standard peut résulter de la moyenne des granulométries de deux horizons. Les granulométries des couches 40-80 et 80-100 cm sont les moyennes des quatre prélèvements réalisés à ces profondeurs dans les fosses 1 et 2 et la granulométrie des couches 80-100 cm est extrapolée aux couches plus profondes (**annexe sol 4**).

4.1.2. Epaisseur des horizons

Les profondeurs des divers horizons sont mesurées au centimètre près à partir de la surface du sol minéral. Pour chaque horizon, les limites supérieure et inférieure sont indiquées. Si la transition avec l'horizon sous-jacent est progressive, la valeur correspondant à la profondeur moyenne de la transition est donnée comme limite inférieure de l'horizon. Dans le cas d'une limite irrégulière les profondeurs minimales et maximales atteintes par la base de l'horizon sont données séparément (Brêthes et Ulrich, 1997). L'épaisseur de l'horizon est alors calculée par différence entre la moyenne des profondeurs maximales et minimales de la base et du plafond de chaque horizon :

$$E_{horizon} = \left(\frac{P_{\min} base + P_{\max} base}{2} \right) - \left(\frac{P_{\min} plafond + P_{\max} plafond}{2} \right)$$

4.2. Réserves utiles estimées

4.2.1. Influence de la méthode d'estimation des teneurs volumiques en eau

Le **tableau 57** donne un bilan de l'ensemble des calculs de réserve utile réalisés pour les placettes du sous-réseau météorologique forestier ; le **tableau 58** donne quelques statistiques descriptives des réserves utiles calculées pour chaque fosse et les **figures 27 et 28** donnent une représentation graphique de la dispersion des résultats.

Les différentes méthodes de calcul conduisent, sauf quelques cas exceptionnels, à des estimations très fortement dispersées des réserves utiles. Les différences entre les valeurs minimales et maximales obtenues pour chacune des fosses varient de 54 mm (SP 25 fosse 1) à 529 mm (HET 30 fosse 1), la moyenne des écarts sur l'ensemble des 52 fosses étant de 234 mm.

Une part de cette dispersion des valeurs peut être expliquée par les différents pF utilisés à la capacité au champ : sur l'ensemble des fosses et en confondant toutes les méthodes on constate que la moyenne des réserves calculée à partir d'un pF de 1,7 à 2 est supérieure à celle des réserves calculées à partir d'un pF de 2,3, etc. Pour une méthode donnée on constate également que les réserves utiles se classent par ordre décroissant en fonction des pF à la capacité au champ : pF 1,7 à 2 > pF 2,3 > pF 2,5 > pF 2,6. Cependant, ce classement n'est pas vérifié à l'échelle de chaque fosse (une réserve calculée à un pF de 2,5 par la méthode A peut être supérieure à une réserve calculée à un pF de 1,7 par la méthode B) et le classement des méthodes et des pF varie pour chaque fosse. L'analyse est par ailleurs biaisée par le fait que toutes les méthodes ne couvrent pas l'ensemble de la gamme des pF (de 1,7 à 2,6).

Auteurs	pF	CHP		CHS			DO	EPC				HET			PL	PM			PS			SP					
		40	59	10	35	41	71	08	63	74	87	30	54	64	20	40c	72	85	44	67a	76	05	11	25	38	57	68
Jamagne *et al.*	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chapelier *et al.*	2,5	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bruand *et al.*	cc			x	1	x				x			x	x					2			2	x	x			
	2,0			x	1	x				x			x	x					2			2	x	x			
	2,5			x	1	x				x			x	x					2			2	x	x			
Hall *et al.*	coef.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	1,7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Renger	1,8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gupta et Larson	1,85	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,0	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,3	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rawls *et al.*	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Saxton *et al.*	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vereecken *et al.*	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mayr	2,0	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wösten *et al.* "par classes"	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wösten *et al.* "continue"	2,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tableau 57 : Bilan des calculs de réserve utile en eau réalisés sur les placettes du sous-réseau météorologique forestier. La mention 1 ou 2 signifie que le calcul n'a été réalisé que sur l'une des deux fosses.

Table 57: *Summary of the soil-water estimates computed for each site in the RENECOFOR meteorological sub-network.*

Placette	Fosse	N	Min	Cent 10%	Cent 25%	Médiane	Cent 75%	Cent 90%	Max	Max-Min	C90-C10	C75-C25
CHP 40	1	25	184	229	274	296	343	391	489	306	163	68
CHP 40	2	25	185	230	276	298	345	394	492	307	163	69
CHP 59	1	23	293	326	352	387	449	521	658	365	195	96
CHP 59	2	23	281	313	344	386	448	520	657	376	208	103
CHS 10	1	28	131	162	173	209	242	276	379	248	114	68
CHS 10	2	28	168	203	223	269	304	358	493	324	155	81
CHS 35	1	28	158	188	200	229	261	320	353	195	132	61
CHS 35	2	25	182	219	243	273	308	371	403	221	152	65
CHS 41	1	28	125	156	183	209	234	270	386	261	114	50
CHS 41	2	28	125	156	175	203	239	266	386	261	110	63
DOU 71	1	25	76	83	111	125	165	191	228	152	108	55
DOU 71	2	25	61	69	87	95	129	151	181	120	82	42
EPC 08	1	25	99	103	116	163	175	212	289	190	110	59
EPC 08	2	25	100	103	117	161	173	212	287	188	109	57
EPC 63	1	20	82	125	150	196	260	311	332	251	185	110
EPC 63	2	20	80	113	132	178	238	287	290	210	174	106
EPC 74	1	28	99	133	143	176	198	204	242	143	71	55
EPC 74	2	28	83	108	118	147	159	165	200	117	57	40
EPC 87	1	21	73	143	165	220	294	378	549	476	235	128
EPC 87	2	21	72	131	153	207	271	342	497	425	211	119
HET 30	1	21	65	133	142	206	296	378	594	529	245	155
HET 30	2	21	47	60	77	93	133	166	214	168	106	55
HET 54a	1	28	155	163	190	210	241	282	340	185	120	51
HET 54a	2	28	136	142	165	185	213	247	304	168	105	48
HET 64	1	28	64	75	86	95	106	130	172	109	56	19
HET 64	2	28	72	87	97	107	125	144	197	126	57	28
PL 20	1	25	93	128	147	205	253	321	380	287	193	106
PL 20	2	25	81	96	115	152	177	228	271	191	132	63
PM 40c	1	25	61	101	120	177	226	298	348	286	196	106
PM 40c	2	25	61	102	120	178	227	298	348	286	195	107
PM 72	1	25	106	119	139	182	209	232	248	143	113	70
PM 72	2	25	81	91	104	131	153	169	182	101	78	49
PM 85	1	25	25	95	136	175	240	290	365	341	195	104
PM 85	2	25	25	95	135	174	218	289	363	339	194	83
PS 44	1	25	198	248	273	299	358	420	470	272	172	85
PS 44	2	28	209	266	298	319	358	436	492	283	170	61
PS 67a	1	25	23	97	125	175	259	325	393	370	228	134
PS 67a	2	25	23	96	125	175	258	323	391	368	226	133
PS 76	1	25	92	137	168	218	251	330	371	278	193	83
PS 76	2	25	70	102	124	163	187	247	275	206	145	63
SP 05	1	25	72	82	93	108	131	157	184	112	75	38
SP 05	2	28	154	182	218	241	271	327	385	231	145	53
SP 11	1	28	91	96	113	126	141	185	229	138	89	28
SP 11	2	28	97	102	123	135	151	197	244	146	95	28
SP 25	1	28	35	39	45	50	60	75	89	54	36	15
SP 25	2	28	104	117	135	154	169	210	253	149	93	34
SP 38	1	25	45	75	83	95	139	176	225	179	101	55
SP 38	2	25	59	99	105	125	182	233	297	238	134	77
SP 57	1	25	78	141	170	243	286	347	371	293	206	117
SP 57	2	25	66	121	148	208	247	301	326	260	181	99
SP 68	1	25	46	52	62	77	95	101	137	91	49	33
SP 68	2	25	50	57	68	86	106	113	154	104	55	38

Tableau 58 : Bilan des valeurs de réserves utiles estimées pour les 52 fosses. Nombre de méthodes utilisées, réserve minimum, centile 10%, centile 25%, valeur médiane, centile 75%, centile 90%, réserve maximum. Ecarts entre : réserves maximum et minimum, centile 90% et 10%, centile 75% et 25%.

Table 58: *Extractible water estimates for the RENECOFOR meteorological sub-network (26 sites, 52 soil pits). Number of estimates, minimum value, percentiles 10, 25, 50, 75 and 90%, maximum value. Distances between maximum and minimum values, percentiles 90 and 10% and percentiles 75 and 25%.*

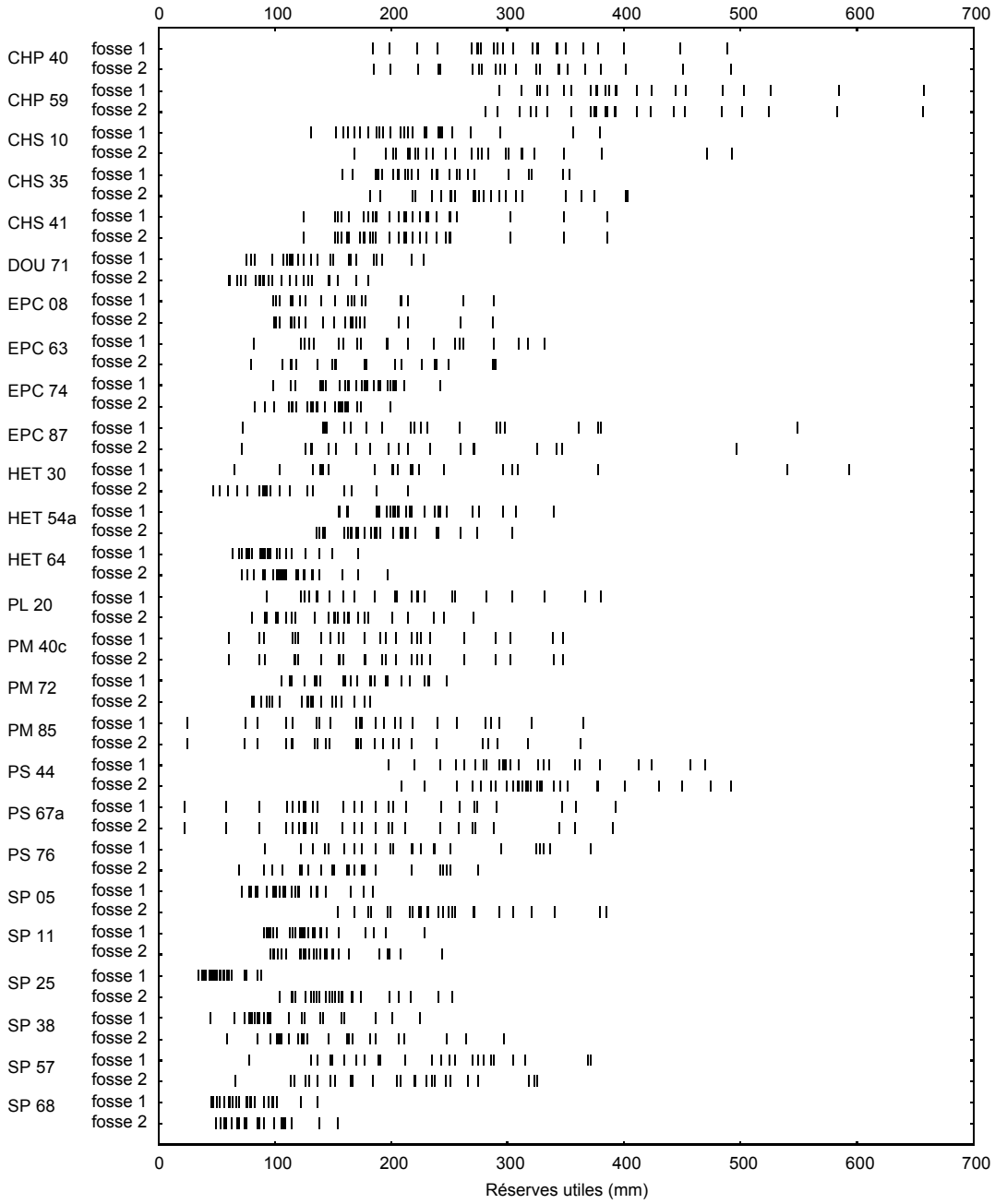


Figure 27 : Distribution de l'ensemble des réserves utiles en eau calculées sur les 52 fosses.

Figure 27: *Extractible water estimates for the RENECOFOR meteorological sub-network (26 sites, 52 soil pits). Whole dataset.*

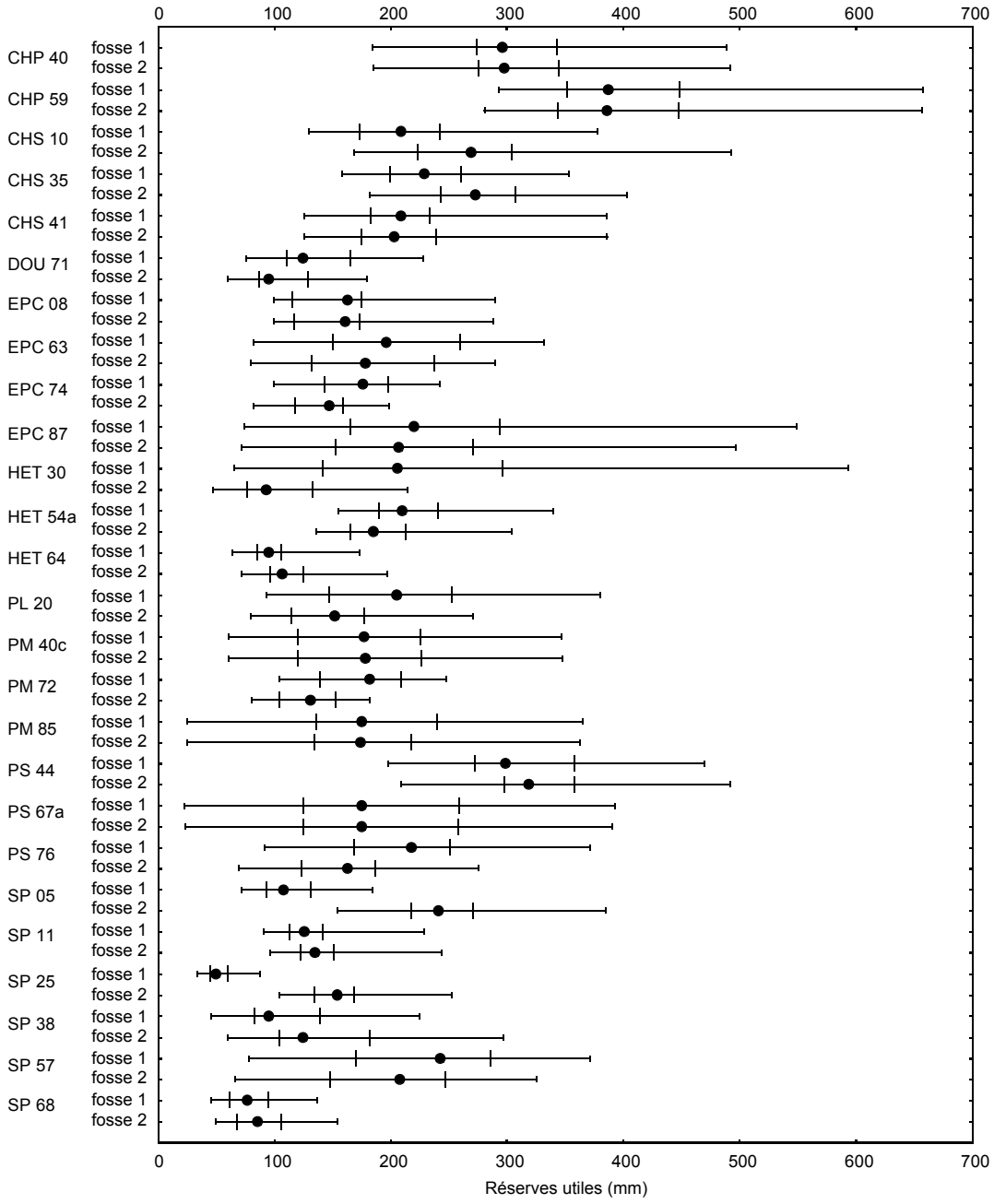


Figure 28 : Valeurs médianes et centiles 10%, 25%, 75% et 90% des réserves utiles en eau calculées sur les 52 fosses.

Figure 28: *Extractible water estimates for the RENECOFOR meteorological sub-network (26 sites, 52 soil pits). Median, percentiles 10, 25, 75 and 90%.*

			Ecarts en mm d'eau			Ecarts en %		
Placette	**Fosse**	**N**	**Minimum**	**Moyenne**	**Maximum**	**Minimum**	**Moyenne**	**Maximum**
CHS 35	1	28	27	40	59	16	17	18
CHS 35	2	25	24	36	52	13	13	13
DOU 71	1	25	25	43	67	26	32	39
DOU 71	2	25	28	44	67	32	43	52
EPC 08	1	25	25	41	75	23	26	28
EPC 08	2	25	22	37	67	20	24	26
EPC 63	1	20	12	45	83	15	22	26
EPC 63	2	20	11	45	85	14	24	31
EPC 74	1	28	10	18	25	9	11	12
EPC 74	2	28	9	17	23	10	12	15
EPC 87	1	21	8	33	77	11	13	14
EPC 87	2	21	7	32	76	9	14	17
HET 30	1	21	11	45	116	17	19	20
HET 30	2	21	11	45	116	23	40	56
HET 54a	1	28	7	10	15	4	4	5
HET 54a	2	28	16	24	35	12	12	13
HET 64	1	28	11	18	32	15	18	19
HET 64	2	28	11	17	31	14	15	17
PL 20	1	25	9	28	56	9	13	15
PL 20	2	25	10	24	45	12	16	18
PM 72	1	25	4	6	8	3	4	4
PM 72	2	25	10	18	28	11	14	18
PM 85	1	25	0	3	5	1	1	2
PM 85	2	25	0	3	7	2	2	2
PS 44	1	25	19	30	43	9	9	10
PS 44	2	28	12	20	30	6	6	6
PS 67a	1	25	1	15	34	5	8	9
PS 67a	2	25	1	7	16	3	4	4
PS 76	1	25	15	34	57	15	16	17
PS 76	2	25	17	40	67	24	24	25
SP 05	1	25	15	25	37	20	22	25
SP 05	2	28	26	43	65	17	17	18
SP 11	1	28	10	15	25	10	12	12
SP 11	2	28	10	16	26	10	11	12
SP 25	1	28	14	21	33	34	38	43
SP 25	2	28	1	2	4	1	1	2
SP 38	1	25	20	53	103	44	46	48
SP 38	2	25	20	52	103	33	35	37
SP 57	1	25	2	6	10	3	3	3
SP 57	2	25	5	15	24	7	7	8
SP 68	1	25	27	49	82	54	62	70
SP 68	2	25	27	49	82	50	56	62

Tableau 59 : Valeurs absolues des écarts ($RU_{max} - RU_{med}$) ou ($RU_{med} - RU_{min}$) sur l'ensemble des 42 fosses présentant une charge en cailloux non nulle. Erreurs en mm d'eau par rapport à la réserve utile calculée avec une charge médiane en cailloux et erreur en pourcentage. Valeurs minimum, maximum et moyenne de ces erreurs et nombre de méthodes employées pour estimer les réserves (N).

Table 59: *Distances between extractible water estimates computed with maximum, minimum and median amounts of coarse fragments (*$RU_{max} - RU_{med}$ or $RU_{med} - RU_{min}$*). Minimum, mean and maximum distances (mm). Minimum, mean and maximum relative distances (%).*

4.2.2. Influence de la charge en éléments grossiers

Les charges en éléments grossiers estimées sur le terrain sont relativement imprécises puisque évaluées en 6 classes d'abondance recouvrant chacune une large gamme de pierrosités (par exemple classe 2 = de 5% à 25% de cailloux - *cf.* § 1). Pour estimer l'importance de cette imprécision dans le calcul des réserves en eau, les calculs ont été réitérés en utilisant les charges minimale et maximale de chaque classe (RU_{min} et RU_{max}) et comparés aux réserves utiles calculées en utilisant une charge médiane en éléments grossiers (RU_{med}).

Les placettes CHP 40, CHP 59, CHS 10, CHS 41 et PM 40c qui présentent une charge nulle en éléments grossiers, ne sont pas prises en compte ici. Sur l'ensemble des 21 autres placettes, la valeur absolue du biais dans l'estimation des réserves[1] varie de moins de 1 mm (placette PM 85) à plus de 100 mm (placette SP 38, HET 30) selon les méthodes d'estimation des teneurs volumiques en eau. L'écart moyen varie de ±2 à ±53 mm. L'écart relatif par rapport aux réserves calculées en utilisant une charge médiane en éléments grossiers est compris entre ±1% et ±70%, soit un écart relatif moyen de ±1% à ±62% (**tableau 59**).

Pour 11 fosses, l'écart relatif sur la réserve en eau est inférieur ou égal à 10%. Pour 17 fosses, il est compris entre 10 et 20% ; entre 20 et 50% pour 12 fosses et supérieure à 50% pour la placette SP 38 (**figure 29**).

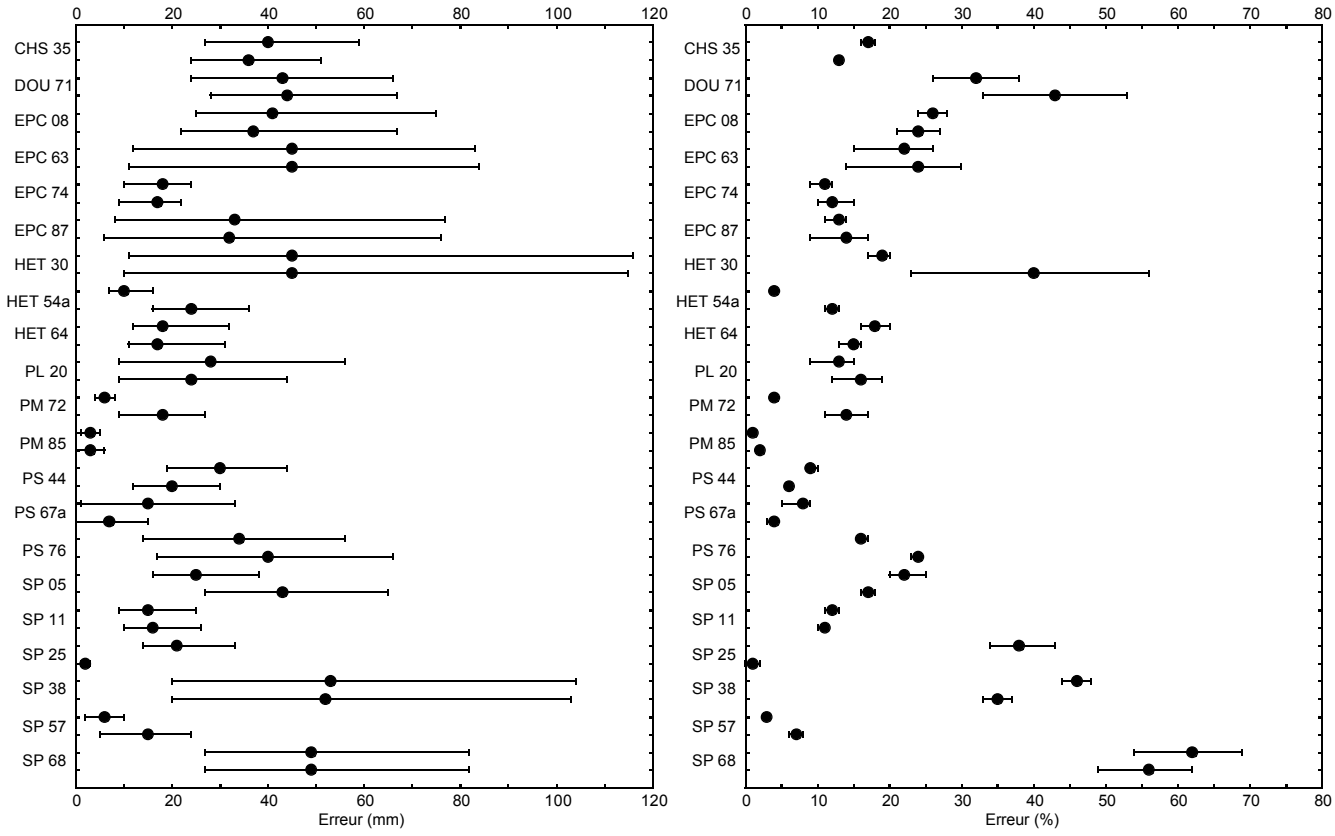


Figure 29 : Valeurs minimum, moyenne et maximum en mm d'eau (à gauche) et en % (à droite) des valeurs absolues des écarts sur l'estimation des réserves utiles en fonction de la charge en cailloux.

Figure 29: *Differences (mm) and relative differences (%) between extractible water estimates computed with maximum, minimum and median amounts of coarse fragments*

1 – ($RU_{max} – RU_{med}$) ou ($RU_{med} - RU_{min}$)

TROISIEME PARTIE :
CALCUL DES BILANS HYDRIQUES ET DES VOLUMES D'EAU DRAINEE

1. MODELE DE BILAN HYDRIQUE

Les notions de *sécheresse* ou de *disponibilité en eau* sont souvent utilisées sans définitions précises, par référence à une impression d'excès ou de manque de pluie. Le déficit pluviométrique peut être quantifié par rapport à une moyenne de précipitation (annuelle, saisonnière ou mensuelle) calculée sur une période de référence. Une appréciation plus élaborée de la sécheresse est le calcul d'un déficit climatique, différence entre précipitations et évaporation potentielle à un pas de temps mensuel voire décadaire. Il est bien évident qu'un déficit pluviométrique ou même climatique n'aura pas les mêmes conséquences sur la productivité ou la survie selon les espèces, selon la période du cycle végétatif où le déficit apparaît, et surtout selon les réserves en eau auxquelles la végétation a accès. De plus, le choix du pas de temps de tels calculs est fondamental.

Deux caractéristiques essentielles et spécifiques du fonctionnement écophysiologique des couverts forestiers (par opposition aux couverts herbacés) suffisent pour souligner les limites des approches purement climatiques :

- les couverts forestiers interceptent une quantité importante des précipitations incidentes, ce qui réduit donc significativement la quantité d'eau participant à la reconstitution des réserves en eau des sols ;

- les couverts forestiers sont fortement couplés avec l'atmosphère, c'est à dire que leur transpiration est fortement régulée par les conditions atmosphériques.

C'est notamment pour ces deux raisons essentielles que la quantification précise des *sécheresses* en forêt nécessite l'évaluation des variations de quantité d'eau dans le sol au cours de la saison, variations dépendant de la quantité d'eau arrivant au sol (pluie moins interception) et de la quantité d'eau quittant le sol (transpiration, drainage). Cette transpiration est déterminée par la demande atmosphérique, la quantité de feuillage et la réserve hydrique du sol elle-même. Il est donc clair que cette quantification n'est pas simple du fait des rétroactions permanentes entre disponibilité en eau du sol, demande atmosphérique et transpiration. Un calcul de bilan hydrique au pas de temps journalier, nécessaire à la bonne prise en compte du fonctionnement écophysiologique des couverts, apparaît donc nécessaire pour une identification et une quantification précise des épisodes de déficit hydrique ou d'excès en eau.

Le modèle de bilan hydrique retenu est celui développé spécialement pour la forêt par A. Granier et N. Bréda (INRA-Nancy) - (Bréda 1994, Granier *et al.*, 1995 ; Granier *et al.*, 1999 ; Granier *et al.*, 2000). Il s'agit d'un modèle itératif à pas de temps journalier à partir duquel il est possible de simuler la transpiration des arbres et d'effectuer des analyses rétrospectives et prévisionnelles de l'intensité du déficit de réserve en eau du sol. Ce modèle donne également des volumes d'eau drainée (Figure 30). Des travaux antérieurs ont démontré la pertinence des sorties de ce modèle dans plusieurs études : analyse de la croissance du hêtre en Lorraine (Badeau, 1995) ; étude du dépérissement du hêtre en zone de plaine (Badeau *et al.*, 1997) ou encore dans l'étude du dépérissement des chênes sessiles et pédonculés en vallée du Rhin (Bréda et Peiffer, 1999).

1.1. Composantes du bilan hydrique

Un bilan équilibré vérifie l'équation suivante :

$$\text{Apports} = \text{Pertes} + \Delta\ \text{Stocks}$$

Apports
- apports atmosphériques (pluie, neige, brouillard, rosée) ;
- remontées capillaires ;
- ruissellement des eaux à la surface du sol ;
- écoulements latéraux dans le sol.

Pertes :

- interception par le couvert végétal ;
- transpiration de la strate arborée ;
- transpiration du sous-étage ;
- évaporation du sol ;
- ruissellement ;
- écoulements latéraux ;
- drainage profond.

Variation de stock :

- quantité d'eau contenue dans le sol ;
- quantité d'eau contenue dans les tissus végétaux (aubier) ;

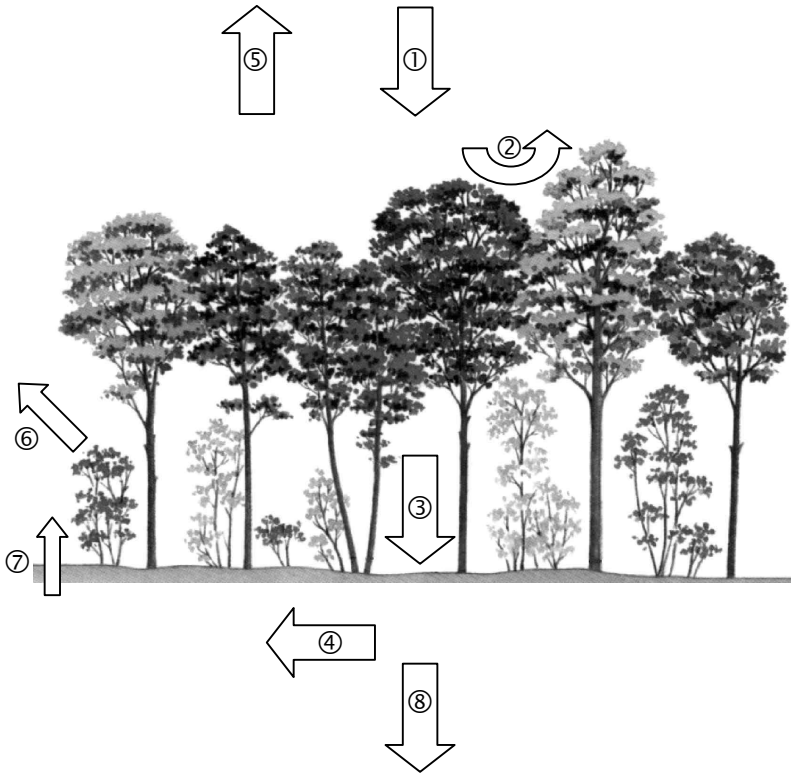
Dans le modèle de bilan hydrique utilisé pour ce travail, plusieurs hypothèses sont faites. Les apports d'eau sous forme de rosée et de brouillard sont négligés ainsi que les remontées capillaires. Les apports et les pertes par ruissellement de surface et écoulements latéraux sont considérés comme égaux. Les variations de stock d'eau dans le bois d'aubier sont négligées.

L'équation générale du bilan hydrique est donc :

$$\Delta S_{sol} = P - In - T - ET_{sse} - D$$

Avec :

P	Pluie incidente	①
In	Interception de la pluie par le couvert	② ③=①-②
T	Transpiration des arbres	⑤
ET_{sse}	Evaporation du sol et du sous-étage	⑥+⑦
D	Drainage	⑧
ΔS_{sol}	Variation du stock d'eau dans le sol	④



Les variables climatiques entrées dans le modèle sont les données journalières de précipitations et d'évapotranspiration issues, soit du sous-réseau météorologique forestier, soit des stations Météo-France.

L'interception est calculée comme une fonction de la pluie incidente et de la surface foliaire (LAI) (Bréda 1994, 1999b). L'interception est considérée comme constante au cours de l'année pour les résineux. Pour les feuillus, elle est réduite pendant la période d'expansion des feuilles et de sénescence. Cette durée est fixée à 30 jours pour les deux épisodes. Les pluies incidentes de moins de 1 mm pour les feuillus et de moins 2 mm pour les résineux sont considérées comme totalement interceptées.

La pluie arrivant au sol est obtenue par différence entre la pluie incidente et l'interception et l'addition de l'écoulement le long des troncs. Cette pluie s'infiltre verticalement dans le sol. Dans chaque couche, l'eau est répartie selon deux composantes dont la proportion dépend de la distribution de la taille des pores. Une partie de l'eau s'infiltre rapidement via la macroporosité structurale ou fissurale et atteint la couche sous-jacente. L'autre partie est retenue par la microporosité du sol permettant ainsi la recharge en eau de la couche considérée. Quand la réserve maximale en eau est atteinte pour une couche, l'excès d'eau est drainé vers les horizons sous-jacents.

La transpiration des arbres est estimée à partir de l'évapotranspiration potentielle calculée (ETP) et de l'indice foliaire des peuplements (LAI). Si le stock d'eau dans le sol n'est pas limitant et pour des LAI supérieurs à 6 m^2/m^2 le rapport T_{max} / ETP est fixé à 0,80 ; cette valeur étant valide pour les feuillus (Aussenac et Granier 1979 ; Savoie *et al.* 1988 ; Bouten *et al.* 1992 ; Bréda *et al.* 1993) comme pour les résineux (Black 1979 ; Aussenac et Boulangeat 1980). Pour des couverts non fermés (LAI inférieur à 6 m^2/m^2), Granier *et al.* (1999) ont montré que le rapport T/ETP était proportionnel à l'indice foliaire : $T_{max}/ETP = 0,125 \times LAI$.

Le rapport T/ETP dépend également de la réserve utile en eau. Si celle-ci devient inférieure à 40% de la disponibilité relative totale, le rapport T/ETP décroît de façon linéaire. Ce seuil critique correspond à un seuil physiologique à partir duquel la transpiration est régulée par la fermeture des stomates (régulation des pertes en eau).

L'évapotranspiration du sous-étage est une fonction de l'énergie lumineuse arrivant au sol (Loustau et Cochard, 1991). Celle-ci est proportionnelle à la radiation globale au dessus du couvert forestier et dépend de l'indice de surface foliaire (LAI) des strates arbustive et arborescente. Dans le modèle, l'énergie disponible sous le couvert est calculée à partir de la fonction de Beer-Lambert et du coefficient d'extinction de la lumière k à travers le couvert. En absence de données précises sur la régulation de la strate herbacée en cas de sécheresse édaphique, on émet l'hypothèse que sa transpiration diminue linéairement selon la réserve utile en eau relative de l'horizon de surface du sol.

1.2. Paramétrage du modèle de bilan hydrique

1.2.1. Données concernant le sol

Nombre de compartiments
Pour toutes les placettes, le sol est considéré comme un empilement de trois couches. Les deux premières correspondent aux profondeurs d'installation des plaques lysimétriques, soit 20 et 70 cm ; la troisième correspond à la profondeur maximale d'enracinement (§ 2 du chapitre *Estimation de la réserve utile des sols*). Cette profondeur maximale est toujours inférieure ou égale à 200 cm.

Réserve utile et profondeur d'enracinement
A chacune des trois couches est associée une réserve utile. Pour tester l'influence de ce paramètre sur les résultats des modélisations de bilan hydrique, les calculs ont été réitérés en utilisant les réserves en eau minimales, maximales, médianes ainsi que les centiles 10, 25, 75, et 90% (*cf.* chapitre *Estimation de la réserve utile des sols*)

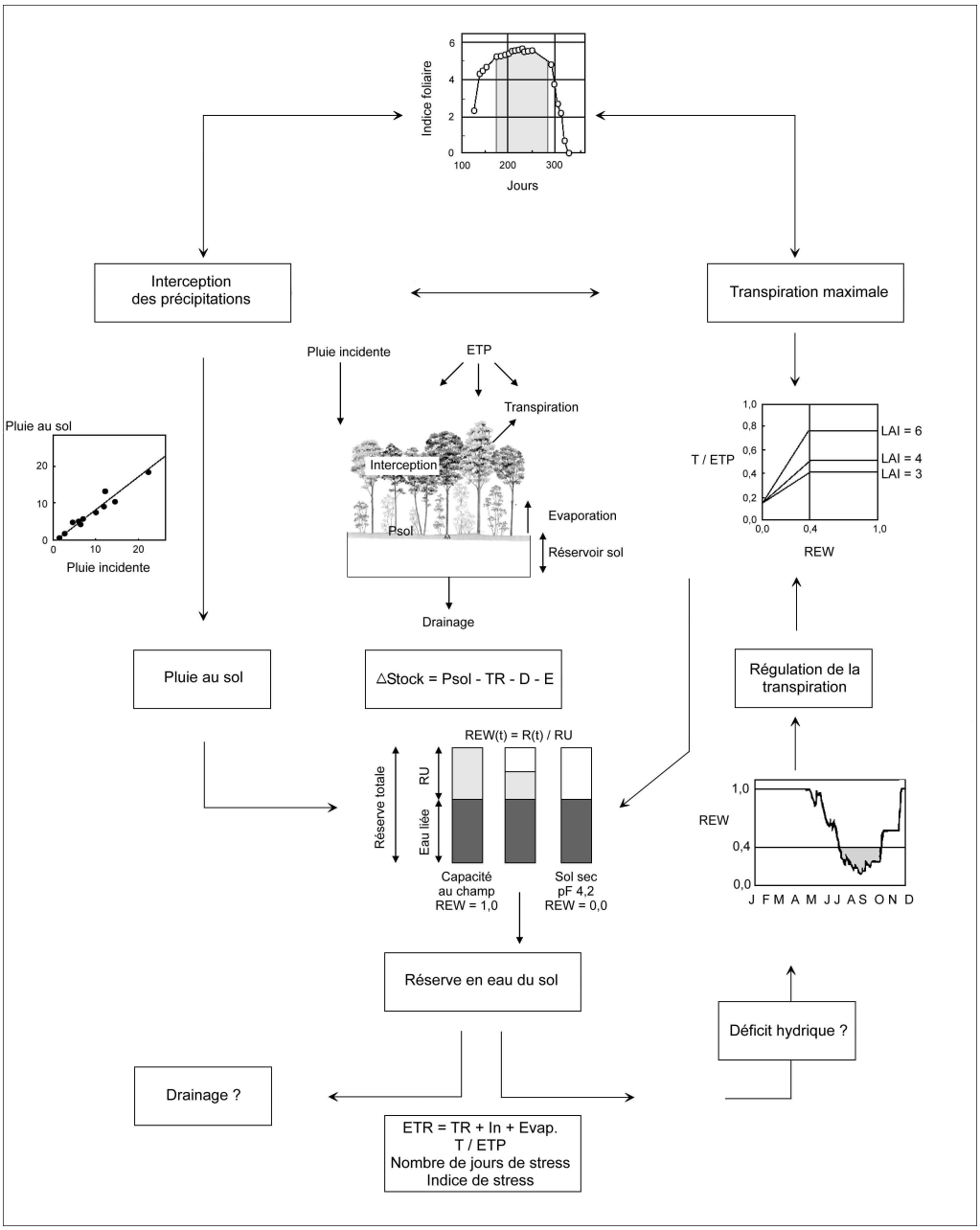


Figure 30 : Schéma général du modèle de bilan hydrique journalier. D'après Granier *et al*., 1995.

Figure 30: *General diagram of the daily water balance model. Granier et al., 1995.*

Répartition des racines dans le sol

Lors de la phase de description des sols et pour chaque horizon décrit, l'enracinement a été codé selon 6 classes d'abondance correspondant à une quantité de racines / dm^2 sur la surface du profil pédologique. (Brêthes et Ulrich, 1997). Ces classes d'abondance ont été converties en indices de densité racinaire de façon à pouvoir calculer une répartition en pourcentage des racines sur le profil (cf. **annexe bilan hydrique 1**).

- très fort ..... plus de 50 racines/dm^2 ..... 50 racines/dm^2
- fort ..... 10 à 50 racines/dm^2 ..... 30 racines/dm^2
- moyen ..... 3 à 10 racines/dm^2 ..... 10 racines/dm^2
- faible ..... 1 à 3 racines/dm^2 ..... 5 racines/dm^2
- très faible ..... moins de 1 racine/dm^2 ..... 1 racines/dm^2
- nul ..... pas de racine ..... 0 racines/dm^2

Placette	Profondeur de calcul (cm)	Proportion d'enracinement (%)		
		Couche 0-20 cm	Couche 20-70 cm	Couche 70-X cm
CHP 40	200	40	50	10
CHP 59	200	35	40	25
CHS 10	175	25	30	45
CHS 35	200	35	50	15
CHS 41	150	30	40	30
DOU 71	200	20	45	35
EPC 08	150	40	45	15
EPC 63	200	25	30	45
EPC 74	150	50	40	10
EPC 87	200	25	45	30
HET 30	200	40	35	25
HET 54a	150	35	50	15
HET 64	110	50	40	10
PL 20	175	50	30	20
PM 40c	200	50	35	15
PM 72	150	30	35	35
PM 85	200	30	40	30
PS 44	200	40	25	35
PS 67a	200	45	35	20
PS 76	200	25	35	40
SP 05	165	20	45	35
SP 11	110	30	50	20
SP 25	100	35	45	20
SP 38	200	30	30	40
SP 57	200	30	45	25
SP 68	200	50	30	20

Tableau 60 : Estimation des proportions d'enracinement par couche de sol pour les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier.

Table 60: *Estimated rooting proportions by soil layer for the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network.*

Densité réelle

La densité réelle des horizons n'étant pas connue, ce paramètre est considéré comme une constante pour tous les types de sols (Villette, 1994) :

- couche 0 à 20 cm 2,4 ;
- couche 20 à 70 cm 2,5 ;
- couche 70 cm à fin du profil 2,6.

Densité apparente

On considère que la densité apparente est une fonction linéaire de l'humidité du sol :

$$Da = (a \times humidité) + b$$

Les coefficients a et b sont issus du travail de Villette (1994) :

- couche 0 à 20 cm a = -0,5286 b = 1.3484 ;
- couche 20 à 70 cm a = -1.3245 b = 1.6804 ;
- couche 70 cm à fin du profil a = -1.5346 b = 1.9720.

Porosité

La porosité des horizons n'étant pas connue, ce paramètre, comme les deux précédents, est considéré comme constant pour tous les types de sols (Villette, 1994) :

- couche 0 à 20 cm 150 ;
- couche 20 à 70 cm 100 ;
- couche 70 cm à fin du profil 80.

Humidité au point de flétrissement

Les humidités pondérales (g d'eau /g de sol) ont été estimées par la fonction de pédotransfert de De Jong *et al.* (1983) :

$$HP = a + b \times [\log(h) - t]$$

avec :

$$a = 6{,}4 + (2{,}78 \times CO) + (0{,}24 \times Arg)$$
$$b = -1{,}56 - [0{,}028 \times (Li + Arg)] - (0{,}24 \times CO)$$
$$t = (0{,}29 \times Arg) - 1{,}12$$

HP	humidité pondérale (pourcentage) ;
H	pression (ici h=15 bar)
Arg, Li et CO	pourcentage d'argile, de limon et de carbone organique

Placette	Humidité pondérale		
	0-20 cm	20-70 cm	> 70 cm
CHP 40	0,0642	0,0518	0,0511
CHP 59	0,0903	0,0574	0,0457
CHS 10	0,0774	0,1218	0,1171
CHS 35	0,1092	0,0652	0,0925
CHS 41	0,1036	0,1055	0,1413
DOU 71	0,2842	0,1515	0,0596
EPC 08	0,1581	0,0753	0,0443
EPC 63	0,3323	0,1089	0,0474
EPC 74	0,1931	0,1317	0,0826
EPC 87	0,2125	0,0983	0,0408
HET 30	0,2593	0,1144	0,0689
HET 54a	0,0887	0,0771	0,1416
HET 64	0,1720	0,1469	0,1808
PL 20	0,1746	0,0860	0,0468
PM 40c	0,1191	0,0667	0,0358
PM 72	0,1155	0,0815	0,1138
PM 85	0,0496	0,0381	0,0353
PS 44	0,1579	0,0774	0,0779
PS 67a	0,0983	0,0487	0,0316
PS 76	0,0650	0,0429	0,0441
SP 05	0,2240	0,1288	0,0843
SP 11	0,2040	0,1515	0,1358
SP 25	0,2275	0,1448	0,2070
SP 38	0,1245	0,0830	0,0615
SP 57	0,0768	0,0487	0,0395
SP 68	0,1343	0,0661	0,0352

Tableau 61 : Estimation des humidités pondérales (g/g) au point de flétrissement (pF = 4,2) pour chaque placette et chaque couche de sol.

Table 61: *Estimated water content at wilting point (pF 4,2) by soil layer for each studied site. Values are in g water / g soil.*

1.2.2. Données concernant le peuplement

Phénologie

Pour les placettes de conifères, la période de végétation est assimilée à l'ensemble de l'année calendaire (les arbres étant toujours feuillés).

Pour les feuillus, la période de végétation a été définie pour chaque placette à partir des travaux de Differt (2001), qui a réalisé une synthèse et une analyse des observations des dates de débourrement et de jaunissement automnal sur les placettes RENECOFOR. Les placettes se distribuent dans quatre groupes :

- **groupe 1**, placettes du sud-ouest pour lesquelles la période de végétation est de l'ordre de 230 à 240 jours :
  - CHP 40 débourrement au jour 80, jaunissement automnal au jour 320 ;
  - HET 64 débourrement au jour 88, jaunissement automnal au jour 320.

- **groupe 2**, placettes du quart nord-ouest pour lesquelles les dates de jaunissement automnal sont plus précoces, ce qui détermine une période de végétation de 221 jours :
  - CHS 35 et CHS 41 débourrement au jour 85, jaunissement automnal au jour 306

- **groupe 3**, placettes du quart nord-est avec des périodes de végétation de 170 à 200 jours :
  - CHP 59 débourrement au jour 110, jaunissement automnal au jour 280 ;
  - CHS 10 débourrement au jour 95, jaunissement automnal au jour 294 ;
  - HET 54a débourrement au jour 103, jaunissement automnal au jour 303.

- **groupe 4**, placette d'altitude du Mont Aigoual avec une très courte période de végétation (137 jour) :
  - HET 30 débourrement au jour 134, jaunissement automnal au jour 271.

Indice foliaire et coefficient d'extinction

Pour les placettes de feuillus, les indices foliaires ont été calculés à partir des biomasses de feuilles et des mesures de surface spécifique en séparant essence principale et sous-étage. Les données utilisées dans le modèle de bilan hydrique sont la moyenne de trois années de mesure (1995 à 1997) sauf pour CHP 40 pour laquelle l'année 1994 était la seule disponible. L'indice foliaire total retenu est la somme des indices peuplement et sous-étage.

Pour les placettes de conifère, l'indice foliaire moyen a été calculé à partir des mesures de rayonnement global effectuées par Augusto (1999) dans divers peuplements résineux en appliquant un coefficient d'extinction par essence.

Les coefficients d'extinction sont une valeur moyenne par espèce issue d'une synthèse effectuée par Bréda (com. pers.).

Interception

L'interception des pluies incidentes est calculée en prenant en compte la hauteur des pluies journalières, l'espèce, l'indice foliaire et la phénologie (Bréda 1994, 1999b). L'interception est considérée comme constante au cours de l'année pour les résineux. Pour les feuillus, elle est réduite pendant la période d'expansion des feuilles et de sénescence. Cette durée est fixée à 30 jours pour les deux phénomènes. Pour des pluies incidentes de moins de 1 mm pour les feuillus et de 2 mm pour les résineux, l'interception est fixée à 100%.

Placette	Indice foliaire	Coefficient d'extinction
CHP 40	5,6	0,5
CHP 59	9,3	0,5
CHS 10	5,6	0,5
CHS 35	8,5	0,5
CHS 41	5,6	0,5
DOU 71	8,9	0,3
EPC 08	7,4	0,3
EPC 63	7,4	0,3
EPC 74	7,4	0,3
EPC 87	7,4	0,3
HET 30	6,0	0,4
HET 54a	8,5	0,4
HET 64	7,4	0,4
PL 20	4,5	0,7
PM 40c	3,0	0,7
PM 72	3,0	0,7
PM 85	3,0	0,7
PS 44	4,5	0,7
PS 67a	4,5	0,7
PS 76	4,5	0,7
SP 05	8,1	0,3
SP 11	8,1	0,3
SP 25	8,1	0,3
SP 38	8,1	0,3
SP 57	8,1	0,3
SP 68	8,1	0,3

Tableau 62 : Indice foliaire moyen et coefficient d'extinction pour chaque placette du sous-réseau météorologique forestier.

Table 62: *Leaf area index for each site in the RENECOFOR meteorological sub-network.*

1.2.3. Données climatiques

Les données climatiques sont issues des stations de mesure du sous-réseau météorologique forestier et des stations Météo-France (pluie, températures minimale et maximale, rayonnement global, vitesse du vent, déficit de saturation de l'air).

1.2.3.1. Séries climatiques utilisées dans les calculs

L'influence des données météorologiques sur les volumes d'eau drainée a été testée à partir de trois séries de calcul (**tableau 63**).

- Pour les 26 placettes du réseau CATAENAT, les drainages ont tout d'abord été calculés en utilisant : i) les données pluie, température et humidité relative (données disponibles sur les 26 placettes) et ii) les données rayonnement et vitesse du vent mesurées par Météo-France. Dans la suite du texte ces drainages constituent la référence. Calculés à partir de données RENECOFOR et de données Météo-France, ils sont appelés dans la suite du texte *drainages mixtes* ou D_{RM}.

- Dans un second temps, les drainages de référence sont comparés aux drainages calculés uniquement à partir des données Météo-France. Ces drainages sont les *drainages Météo-France* ou D_M. Ils sont calculés pour les 26 placettes.

- Enfin, pour les placettes EPC 08, PM 72, PM 85, PS 76, SP 11, SP 25 et SP 38, une troisième série de valeurs a été calculée uniquement à partir des données mesurées sur les placettes CATAENAT, le rayonnement global et la vitesse du vent étant disponibles sur ces placettes. Ces valeurs sont les *drainages RENECOFOR* ou D_R.

1.2.3.2. Traitement des données manquantes

Il existe deux contraintes à l'utilisation du modèle de bilan hydrique :

- le modèle doit être initialisé au premier jour de la première année de mesure ; la réserve utile en eau étant alors considérée comme maximale. Il est en effet impossible de commencer une simulation à une date t quelconque dans l'année sans connaître l'état de la réserve hydrique du sol à la date t-1 ;

- les fichiers météo utilisés en entrée par le modèle ne doivent pas comporter de données manquantes.

Nous avons choisi de faire débuter les calculs de drainage à partir du 1er janvier 1995. Les séries météorologiques RENECOFOR ont donc été complétées pour commencer à cette date (selon les placettes) et pour supprimer les données manquantes. Dans les deux cas, ces données sont estimées à partir des données Météo-France et des paramètres des régressions présentées dans la première partie de ce rapport. L'annexe **bilan hydrique 2** et le **tableau 63** donnent le détail des données manquantes.

L'introduction de données estimées se traduit par un biais lorsque l'on compare les drainages, mais nous avons pu tester que ce biais n'est significatif que lorsque le nombre de données manquantes est conséquent. C'est le cas pour l'année 1995 (=année d'installation du sous-réseau météorologique) où l'on dénombre (en moyenne pour les 26 placettes) 176 jours sans données sur 365 (cf. **tableau 63**). De 1996 à 1999, nous n'avons pas observé d'influence notable des paramètres estimés sur les valeurs de drainages. Les biais sont négligeables par rapport à ceux observés entre des drainages obtenus à partir de séries météorologiques différentes (drainages RENECOFOR *vs* drainages Météo-France par exemple).

? Nous présentons donc dans la suite du texte les cumuls annuels de drainage calculés à partir de séries climatiques complètes (c'est-à-dire avec prise en compte de données estimées) au pas de temps journalier.

? Les valeurs observées en 1995 sont présentées à titre indicatif mais elles n'entrent pas en ligne de compte dans les comparaisons entre *drainages RENECOFOR*, *drainages mixtes* et *drainages Météo-France.*

? Les annexes **bilan hydrique 3**, **4** et **5** présentent à la fois :
- les cumuls annuels de drainage calculés à partir de séries climatiques complètes ;
- les cumuls annuels de drainage après suppression *a posteriori* des journées ou existent des données manquantes dans les séries climatiques. Ces drainages ne correspondent donc plus obligatoirement à un cumul de 365 jours.

Placette	1995												1996	1997	1998	1999	D_{RM}	D_M	D_R
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J F à D	J à D	J à D	J à D			
CHP 59																24	x	x	
CHS 35						13								8		18	x	x	
EPC 08						30							2	3	8	36	x	x	x
PM 72						9										34	x	x	x
PS 76						12									13	45	x	x	x
PS 44						44										3	x	x	
PM 85						38							3		12	11	x	x	x
CHS 41						63									1		x	x	
DOU 71						73							4	6	1		x	x	
PL 20						93							4	2	30	27	x	x	
EPC 87									183				9	3	12	5	x	x	
PM 40c									164						1	5	x	x	
HET 64									165				12			6	x	x	
CHP 40									166				20				x	x	
SP 25									182				10	50		21	x	x	x
HET 30										245			52	1	93	1	x	x	
EPC 74										256						33	x	x	
SP 11										257			5		39	5	x	x	x
SP 38										257			5			4	x	x	x
SP 05										261			8	3			x	x	
SP 68											315		2		34	39	x	x	
PS 67a											298		16	34		26	x	x	
SP 57											305		6	7	12		x	x	
CHS 10											299				24	27	x	x	
HET 54a											299		10			11	x	x	
EPC 63						365							38	1	10	60	x	x	

Tableau 63 : Périodes d'enregistrement des paramètres météorologiques sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier ; nombre de jours manquants dans les séries météorologiques et drainages disponibles.

Table 63: *Time periods recording for the climatic parameters on the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network ; number of missing days and available drained water.*

	Drainages annuels (mm)					Moyennes (mm)	
Placettes	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**1995 à 1999**	**1996 à 1999**
PS 44	435	143	104	215	407	261	217
SP 05	320	334	228	143	176	240	220
PS 67a	280	195	217	186	314	238	228
CHS 41	333	147	166	284	335	253	233
PM 85	320	250	183	245	337	267	254
CHS 35	385	237	142	372	414	310	291
PS 76	355	161	171	376	477	308	296
PM 72	426	252	194	381	487	348	329
EPC 63	434	378	201	428	360	360	342
CHS 10	448	250	339	406	436	376	358
CHP 59	493	324	351	525	439	426	410
HET 54a	511	319	353	444	549	435	416
PM 40c	275	413	513	347	438	397	428
SP 11	413	826	152	422	493	461	473
CHP 40	378	414	770	442	509	503	534
EPC 87	741	546	478	641	581	597	561
SP 57	776	338	568	594	906	636	602
EPC 74	1133	549	592	488	866	726	624
SP 38	878	774	399	586	827	693	647
EPC 08	1059	366	587	836	856	741	661
SP 68	947	510	644	655	855	722	666
HET 64	593	862	573	677	818	705	733
SP 25	1061	743	692	598	1044	828	769
DOU 71	930	688	665	899	1162	869	854
PL 20	766	1351	738	867	502	845	864
HET 30	2137	2457	1586	1455	1974	1922	1868

Tableau 64 : Volumes annuels d'eau drainée sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique à la profondeur d'enracinement ; moyennes pour les périodes 1995 – 1999 et 1996 – 1999. Les placettes sont classées par ordre croissant des valeurs moyennes 1996 – 1999.

Table 64: *Yearly drained water at maximum rooting depth on the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network and annual means for the periods 1995 – 1999 and 1996 – 1999.*

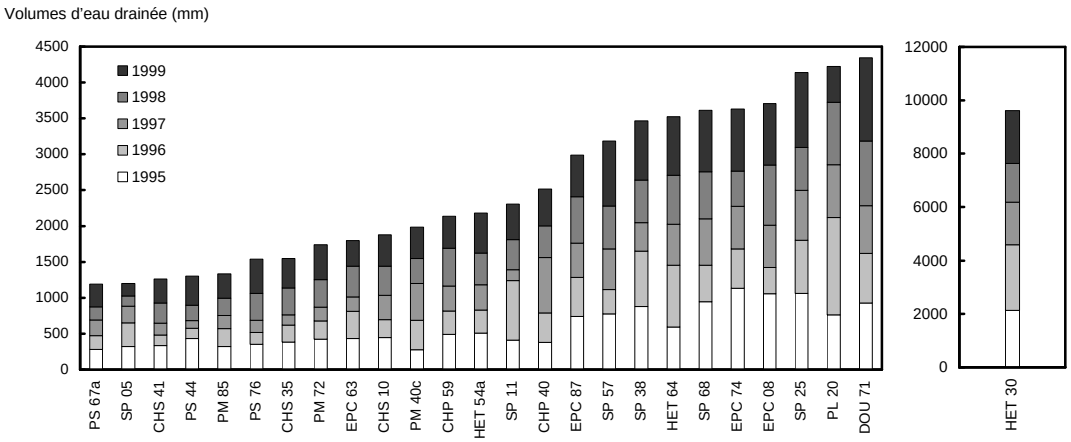


Figure 31 : Volumes annuels d'eau drainée sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier RENECOFOR pour la période 1995 – 1999 à la profondeur d'enracinement.

Figure 31: *Yearly drained water at maximum rooting depth on the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network*

2. RESULTATS

2.1. Volumes annuels d'eau drainée (*cf*. **annexes bilan hydrique 3**, **4** et **5**)

2.1.1. Drainages mixtes (pluie, température, humidité RENECOFOR + rayonnement, vent Météo-France)

Sur la période 1996-1999, on observe une forte variabilité des volumes d'eau drainée entre les différentes placettes du sous-réseau météorologique forestier. Ces volumes varient en moyenne de 220-230 mm (SP 05, PS 67a, SP 05) à 850-860 mm (DOU 71, PL 20). Pour HET 30, le volume moyen des drainages est de l'ordre de 1900 mm par an (**tableau 64, figure 31**).

Les quantités d'eau drainée sont, sans surprise, fortement liées aux volumes des précipitations, mais on note une forte variabilité interannuelle et interplacettes : pour des pluies annuelles de l'ordre de 1000 mm par exemple (de 950 à 1050 mm) les volumes d'eau drainée varient de 143 à 511 mm selon les cas (**figure 32**).

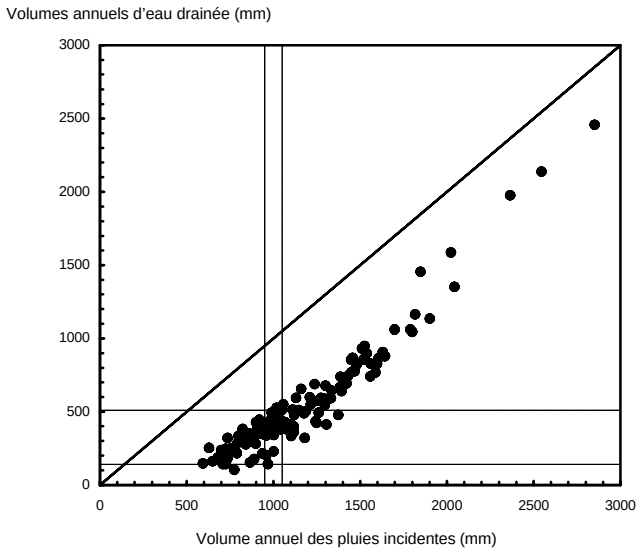


Figure 32 : Relation entre le volume annuel des précipitations et les quantités d'eau drainée à la profondeur maximale d'enracinement pour les 26 placettes CATAENAT.

Figure 32: *Relation between annual precipitation and drained water at the maximum rooting depth on the 26 CATAENAT sites.*

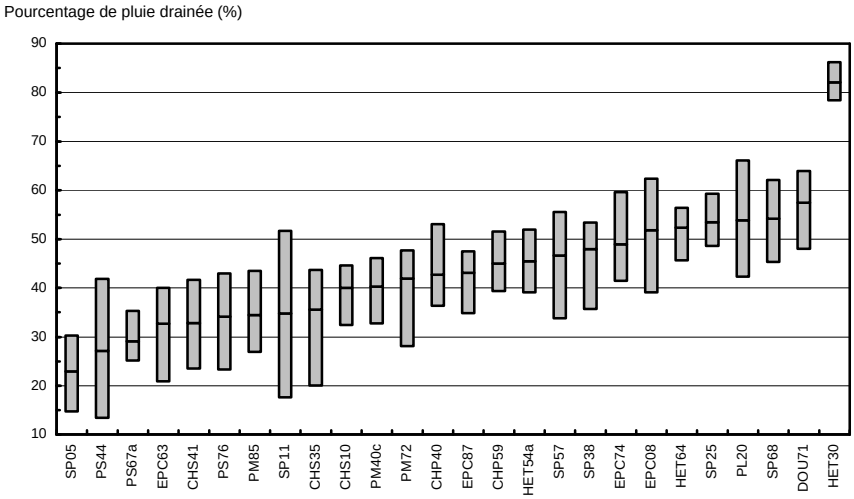


Figure 33 : Valeurs minimales, moyennes et maximales des volumes annuels d'eau drainée à la profondeur maximale d'enracinement, exprimés en pourcentage du volume des pluies incidentes pour chacune des 26 placettes étudiées.

Figure 33: *Minimum, maximum and average annual drained water, at maximum rooting depth, expressed as the percentage of annual precipitation for the 26 sites in the RENECOFOR meteorological sub-network.*

Placette	Ecarts (mm)			Ecarts relatifs (%)		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
CHP 40	-160	133	-10	-20,8	26,1	0,5
CHP 59	-317	-59	-200	-60,4	-16,9	-46,9
CHS 10	-131	-63	-88	-32,2	-14,7	-25,0
CHS 35	-122	-61	-93	-44,9	-19,9	-35,0
CHS 41	-77	-27	-52	-41,1	-8,0	-25,5
DOU 71	-165	-65	-110	-16,0	-9,5	-12,8
EPC 08	-194	37	-89	-33,0	10,2	-11,6
EPC 63	-294	-125	-212	-68,7	-56,6	-61,8
EPC 74	-212	-61	-112	-35,8	-10,3	-18,5
EPC 87	-163	64	-79	-34,0	11,0	-15,2
HET 30	-640	696	-90	-32,4	28,3	-8,0
HET54a	56	196	95	12,6	35,6	21,5
HET 64	-4	45	22	-0,5	7,8	3,4
PL 20	-133	282	-15	-13,1	56,2	5,1
PM 40c	-191	-58	-133	-46,3	-13,3	-31,1
PM 72	-81	-38	-60	-21,4	-14,1	-19,1
PM 85	-14	152	58	-5,4	45,2	21,4
PS 44	-176	5	-81	-44,6	5,1	-30,7
PS 67a	-101	-49	-68	-37,0	-22,7	-29,7
PS 76	-104	8	-33	-27,7	1,6	-12,1
SP 05	-101	-73	-82	-51,2	-30,3	-39,6
SP 11	-240	-63	-178	-57,0	-21,8	-41,6
SP 25	-159	221	39	-21,4	21,2	4,0
SP 38	-306	-173	-222	-48,3	-26,0	-35,8
SP 57	-373	-93	-265	-58,0	-27,5	-42,8
SP 68	-19	218	94	-3,7	25,5	12,1

Tableau 65 : Ecarts par placette entre les « drainages Météo-France » et les « drainages mixtes » (*cf*.texte). Ecarts minimum, maximum et moyen (en mm) des différences «$D_M - D_{RM}$». Ecarts relatifs minimum, maximum et moyen (en %) des rapports «$(D_M - D_{RM}) / D_{RM}$» (Définition voir annexe bilan hydrique 3). Période 1996 – 1999.

Table 65: *Differences « $D_M - D_{RM}$ » (minimum, maximum and average values in mm) and relative differences «$(D_M - D_{RM}) / D_{RM}$» (minimum, maximum and averaged values in %; for a definition, see annex – "bilan hydrique 3").Period 1996 – 1999.*

Pour l'ensemble des placettes et toutes les années de mesures, les quantités d'eau drainée correspondent en moyenne à 42% du volume des pluies incidentes. Selon les placettes, les volumes drainés moyens s'échelonnent de 23% (SP 05) à 82% (HET 30) du volume des pluies. On observe enfin, à l'échelle de la placette, que les drainages, toujours exprimés par rapport aux volumes des pluies, peuvent être très variables d'une année sur l'autre. Les plus grosses variations sont observées pour SP 11 (drainages variant entre 18% et 52%) et PS 44 (13 à 42%) ; les plus faibles pour HET 30 (78 à 86%), PS 67a (25 à 35%), SP 25 (49 à 59%), etc. (**figure 33**).

Ce résultat illustre bien que les quantités d'eau drainée dépendent à la fois des quantités de pluie, mais également de la répartition des précipitations tout au long de l'année, de la taille de la réserve utile et de son état quand surviennent les pluies, ainsi que des caractéristiques du peuplements qui est l'interface entre le sol et l'atmosphère et de la porosité du sol.

2.1.2. Drainages mixtes et drainages Météo-France (*cf.* **annexes bilan hydrique 3**, **4**, **5** et **6**)

La comparaison *drainages mixtes* / *drainages Météo-France* permet de tester l'influence globale des paramètres pluie, température et humidité relative sur les estimations des volumes d'eau drainée. Cette comparaison intègre donc à la fois une composante *entrée d'eau* (précipitations) et une composante *sortie d'eau* (température et humidité relative étant des composantes de l'ETP).

Les données numériques sont reportées dans l'annexe **bilan hydrique 3**. L'annexe **bilan hydrique 4** donne une représentation graphique de ces chiffres. L'annexe **bilan hydrique 5** présente, en plus des valeurs annuelles de drainage, les quantités d'eau drainée pour trois tranches de profondeur de sol.

Au pas de temps annuel les écarts entre les *drainages Météo-France* et les *drainages mixtes* varient de -373 à +282 mm (placette HET 30 exclue). En moyenne, sur la période 1996-1999, les écarts varient de -265 mm (SP 57) à +95 mm (HET 54a). Pour 5 placettes seulement (HET 54a, HET 64, PM 85, SP 25 et SP 68) ces moyennes sont positives ; pour toutes les autres elles sont négatives, c'est-à-dire que les *drainages mixtes* (incluant des données RENCOFOR) sont supérieurs aux drainages calculés uniquement à partir de données Météo-France (**tableau 65** – **figure 34A**).

Si l'on considère les écarts relatifs de drainage (différence des drainages divisée par les drainages mixtes considérés comme la référence) une seule placette (HET 64) montre des écarts annuels compris dans une fourchette de ±10%. On peut donc considérer que dans ce cas particulier l'influence de l'origine des données météorologiques est négligeable (**tableau 65** – **figure 34B**).

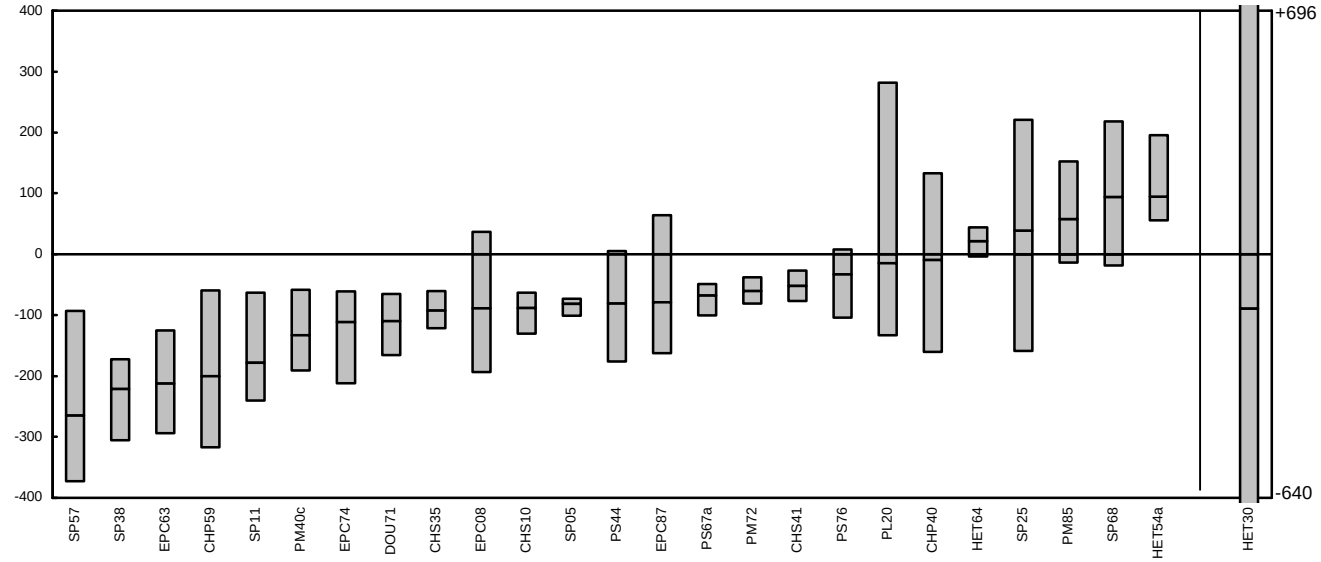
Pour les placettes DOU 71 et PM 72 (voire les placettes EPC 63, PS 67a et CHS 10), la moyenne des écarts relatifs sur la période 1996-1997 n'est pas comprise dans la fourchette de ±10% mais la variabilité interannuelle des écarts est très faible (comme dans le cas de HET 64). Pour ces placettes, l'influence de l'origine des données météorologiques n'est pas négligeable mais elle est relativement constante dans le temps (sur la période 1996-1999).

Pour toutes les autres placettes les écarts relatifs sont très élevés et très variables dans le temps. Il semble donc difficile dans ce cas d'estimer correctement des valeurs annuelles de drainage à partir des seules données Météo-France.

Une part importante de ces différences de drainage est due aux différences entre les volumes de pluie incidente : les écarts de drainage sont proportionnels aux écarts de précipitation (r^2=0,83) - (**figure 35**). Mais il existe une forte variabilité au sein du nuage de points : pour un écart de pluie donné, les écarts de drainage peuvent être très variables d'une placette à l'autre et d'une année à l'autre. Cette variabilité est due essentiellement à la répartition des pluies tout au long de l'année (*cf.* l'effet saisonnier sur les précipitations au chapitre 1) et à l'état hydrique du sol à l'instant t. A ce

facteur s'ajoute la variabilité des températures et des humidités relatives, deux paramètres utilisés dans le calcul des ETP.

- A - Drainages Météo-France – Drainages Mixtes (mm)



- B - (Drainages Météo-France – Drainages Mixtes) / Drainages Mixtes (%)

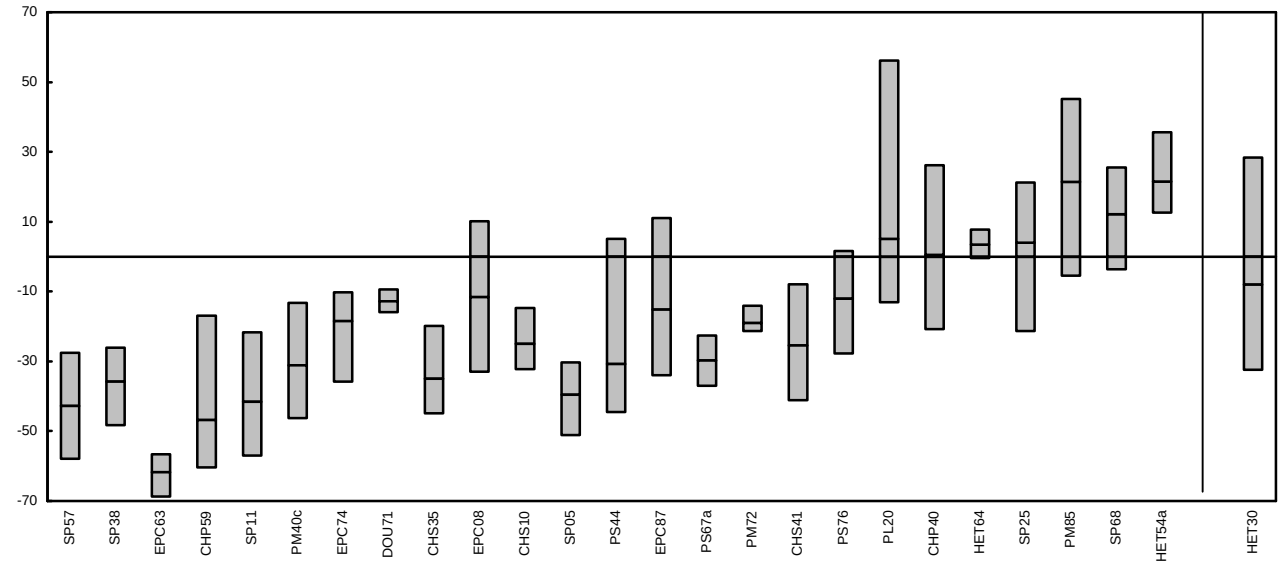


Figure 34 : **A** - Ecarts, par placette, entre les « D_M » et les « D_{RM} » (*cf.* texte, définition voir annexe bilan hydrique 3). Valeurs minimum, maximum et moyenne (en mm) de 1996 à 1999.
B - Ecarts relatifs «($D_M - D_{RM}$) / D_{RM}» (en%). Valeurs minimum, maximum et moyennes (en %) de 1996 à 1999.

Figure 34: ***A*** *- differences « D_M - D_{RM}» (cf. text). Minimum, maximum and average values for the period 1996-1999.*
B *- relative differences «($D_M - D_{RM}$) / D_{RM}» (%, for a definition, see annex – "bilan hydrique 3"). Minimum, maximum and average values.*

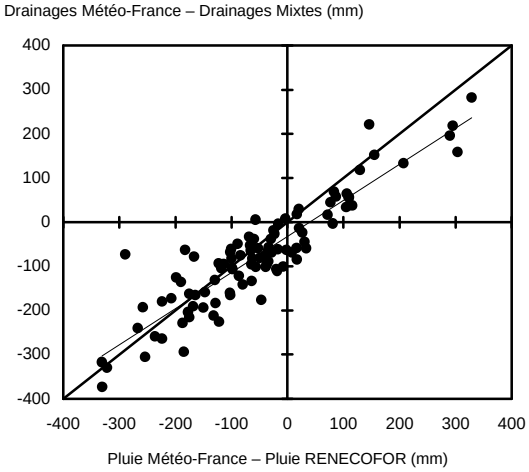


Figure 35 : Ecarts de drainages (drainages Météo-France moins drainages mixtes) en fonction des écarts de précipitations (pluies Météo-France moins pluies RENECOFOR).

Figure 35: *Differences «Météo-France drainage– Mixed drainage» as a function of precipitation differences (Météo-France precipitation– RENECOFOR precipitation).*

2.1.3. Drainages mixtes, drainages Météo-France et drainages RENECOFOR (*cf.* annexe bilan hydrique 7)

Le rayonnement global et la vitesse du vent étant mesurés sur 7 placettes du sous-réseau météorologique forestier, il est possible d'ajouter aux comparaisons précédentes les volumes d'eau drainée calculés à partir des seules données RENECOFOR. Seules des comparaisons entre les moyennes des drainages calculés sur la période 1996-1999 sont présentées ici.

Entre les drainages RENECOFOR (D_R) et les drainages mixtes (D_{RM}), seuls les paramètres *rayonnement global* et *vitesse du vent* varient. Comme le volume des pluies n'intervient plus (seules les précipitations RENECOFOR sont utilisées) et que ce paramètre à une forte incidence sur les volumes d'eau drainée, on peut s'attendre à une nette amélioration des résultats, c'est-à-dire à une diminution des écarts (en valeur absolue) entre les différentes valeurs de drainage.

Pour toutes les placettes, et conformément à ce qui était attendu, les écarts de drainage entre D_R et D_{RM} sont inférieurs à ceux observés entre D_M et D_{RM} sauf pour EPC 08, placette où l'ordre de grandeur des écarts relatifs reste le même, et PS 76, placette où les écarts relatifs passent de -11% à +25%.

On constate que les drainages RENECOFOR sont supérieurs aux drainages mixtes sauf pour la placette SP 25. Pour toutes ces placettes, nous avions déjà contasté que l'ETP calculée à partir des seules données Météo-France est supérieure à l'ETP calculée à partir des seules données RENECOFOR ($ETP_{Météo\text{-}France} > ETP_{Mixte} > ETP_{Rénécofor}$).

L'augmentation du volume d'eau drainée peut donc s'expliquer par la diminution des valeurs d'ETP. Pour les placettes SP 25, SP 38, PM 72 et PM 85 les écarts d'ETP sont de moins de 5% ; on observe en conséquence de très faibles écarts entre les volumes d'eau drainée (**tableau 66**, **figures 36** et **37**). Pour les placettes SP 11, PS 76 et EPC 08, les écarts relatifs d'ETP sont respectivement de 11%, 15% et 16%. Les écarts de drainage sont en conséquence plus élevés que pour les autres placettes.

Drainages (mm)

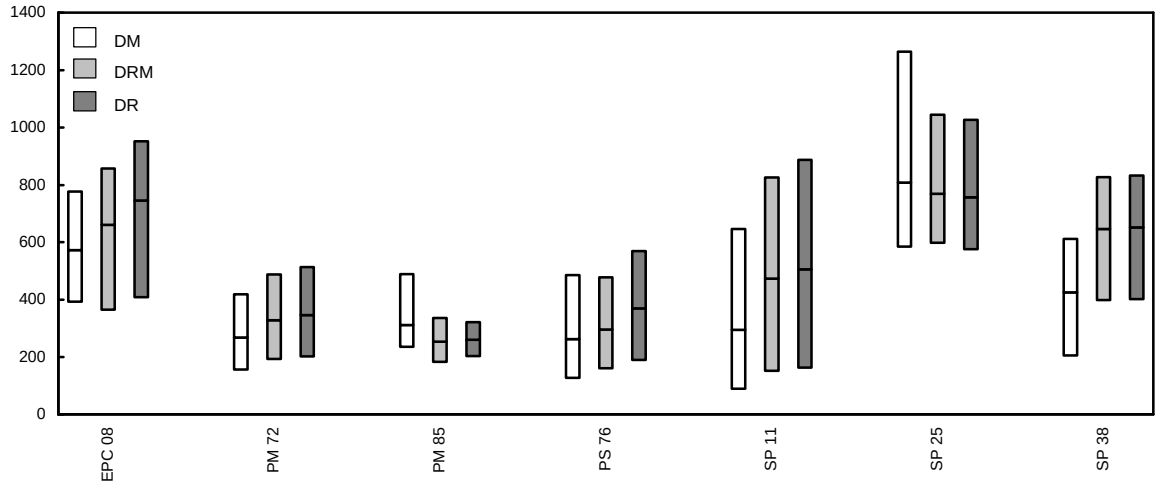


Figure 36 : Valeurs minimales, moyennes et maximales des volumes annuels d'eau drainée calculés à partir des données Météo-France (blanc), des données RENECOFOR (gris foncé) et des données mixtes (gris clair).

Figure 36: *Minimum, maximum and average annual drained water computed with the Météo-France data (white), the RENECOFOR data (dark grey) and mixed data (light grey).*

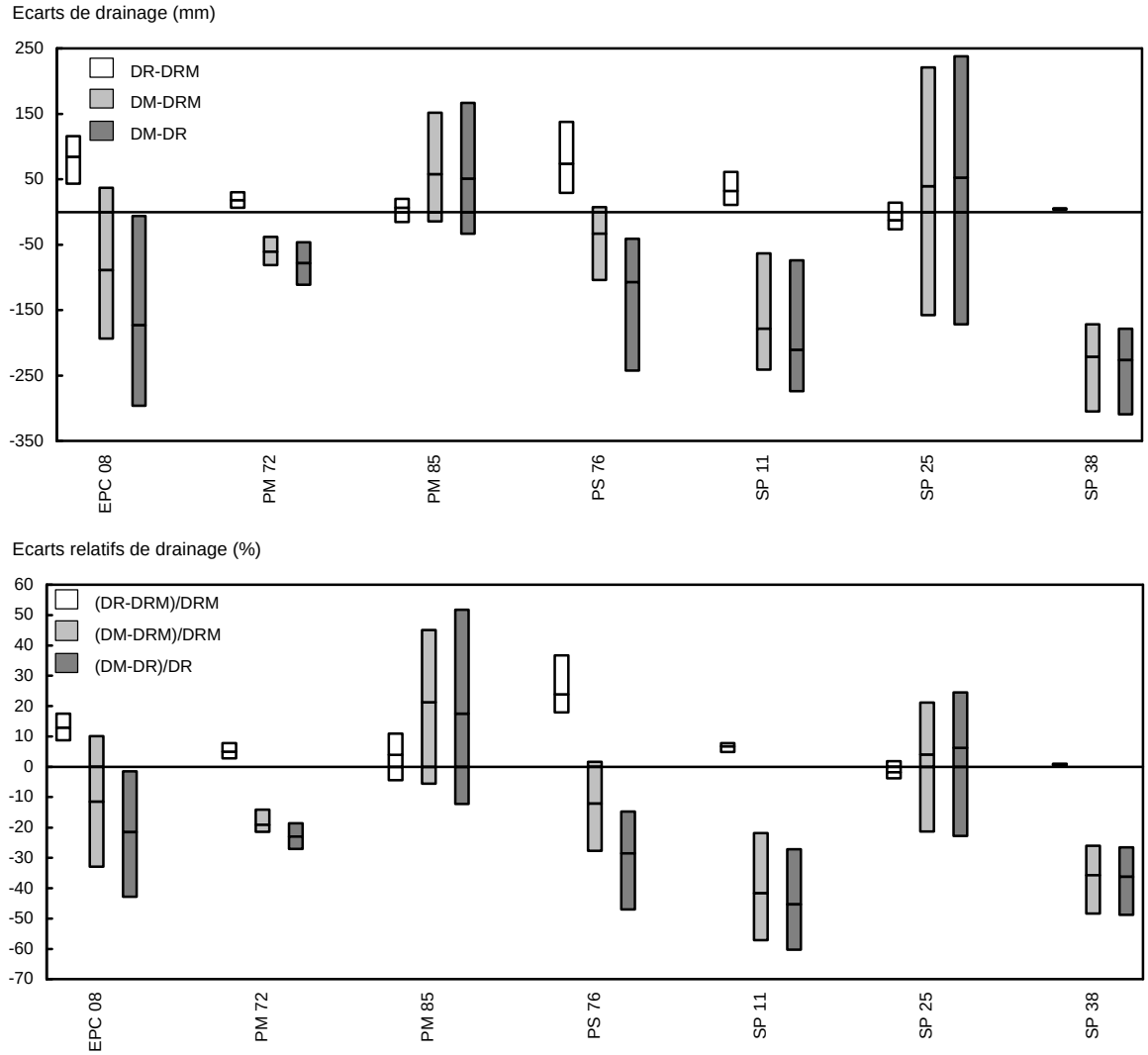


Figure 37 : Ecarts (mm) et écarts relatifs (%), par placette, entre D_R et D_{RM} (blanc), D_M et D_{RM} (gris clair), D_M et D_R (gris foncé).

Figure 37: *Differences and relative differences between D_R et D_{RM} (white), D_M et D_{RM} (light grey), D_M et D_R (dark grey).*

	Drainages (mm)			Ecarts moyens (mm)			Ecarts relatifs moyens (%)		
Placette	D_R	D_{RM}	D_M	D_R-D_{RM}	D_M-D_{RM}	D_M-D_R	D_R-D_{RM}%	D_M-D_{RM}%	D_M-$D_{R\%}$
EPC 08	746	661	572	+84	-89	-173	+12,7	-13,5	-23,2
PM 72	346	329	268	+18	-61	-78	+5,4	-18,4	-22,6
PM 85	261	254	312	+7	+58	+51	+2,8	+22,8	+19,5
PS 76	370	296	263	+74	-33	-107	+25,0	-11,2	-29,0
SP 11	506	473	295	+32	-178	-211	+6,8	-37,7	-41,6
SP 25	757	769	809	-13	+40	+52	-1,7	+5,1	+6,9
SP 38	652	647	425	+5	-221	-226	+0,8	-34,2	-34,7

Tableau 66 : Statistiques par placette des écarts entre les volumes d'eau drainée obtenus à partir des données météorologiques RENECOFOR, des données météorologiques «mixtes» et des données météorologiques Météo-France. Ecarts moyen de 1996 à 1999 (en mm) des différences «Drainages RENECOFOR - Drainages mixtes» (D_R-D_{RM}) ; «Drainages Météo-France - Drainages mixtes» (D_M-D_{RM}) et «Drainages Météo-France - Drainages RENECOFOR» (D_M-D_R). Ecarts relatifs moyens (D_R-D_{RM})/D_{RM} ; (D_M-D_{RM})/D_{RM} ; (D_M-D_R)/D_R exprimés en pourcentage.

Table 66: *Summary statistics for the differences «RENECOFOR drainage - Mixed drainage» (D_R-D_{RM}); «Météo-France drainage - Mixed drainage» (D_M-D_{RM}) and «Météo-France drainage– RENECOFOR drainage» (D_M-D_R), Relative differences (%):* (D_R-D_{RM})/D_{RM} ; (D_M-D_{RM})/D_{RM} ; (D_M-D_R)/D_R.

Les écarts entre les drainages calculés, d'une part, à partir des seules données RENECOFOR et d'autre part, à partir des seules données Météo-France sont les plus élevés. Avec moins de précipitations et une ETP plus élevée les drainages calculés à partir des données Météo-France sont inférieurs à ceux calculés à partir des données RENECOFOR (**tableau 66, figures 36 et 37**). L'ordre de grandeur de ces écarts est de 20% pour les placettes PM 85, EPC 08 et PM 72 ; de 30% pour PS 76 et de 40% pour SP 38 et SP 11. Les plus faibles écarts sont observés pour SP 25 avec une valeur moyenne de +52 mm soit +6,9%.

2.2. Influence des paramètres pédologiques (*cf.* annexe bilan hydrique 8)

Les résultats précédents ont été obtenus en attribuant à chaque sol une réserve utile médiane (cf. chapitre *Estimation de la réserve utile des sols*). Ce paramètre clé dans le modèle de bilan hydrique étant difficile à estimer convenablement, il était nécessaire de réaliser un test de sensibilité pour estimer dans quelles proportions peuvent varier les quantités d'eau drainée en fonction de différentes hypothèses de réserves utiles. Pour ce test, les valeurs minimales et maximales des réserves utiles ainsi que les centiles 10, 25, 75 et 90% de ces estimations, ont été utilisés pour chaque placette dans le modèle de bilan hydrique (**tableau 58 page 71**). Les drainages ont été calculés à partir des données météorologiques enregistrées sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) ou à partir des seules données RENECOFOR dans le cas des placettes EPC 08, PM 72, PM 85, PS 76, SP 11, SP 25 et SP 38. Les différences de drainage sont comparées au volume d'eau drainé obtenu à partir de la réserve utile médiane de chaque placette[1].

La **figure 38** et le **tableau 67** présentent, pour chaque placette, les écarts relatifs annuels et les écarts relatifs moyens des drainages obtenus sur la période 1995-1999.

Pour l'ensemble des placettes, on constate que les volumes moyens d'eau drainée augmentent quand les réserves utiles diminuent. Cependant, cette loi générale n'est pas vérifiée pour chacune des placettes et chacune des années considérées en particulier. La **figure 40** illustre l'exemple de la placette CHP 40 : en 1995 et 1998 (années les moins pluvieuses) on observe que les drainages sont augmentés pour les hypothèses de RU inférieures à la médiane (A, B et C) et diminués pour les RU plus fortes (D, E et F) ; en 1996, le bilan de ces dernières s'inverse et les drainages sont augmentés pour toutes les hypothèses de réserve ; en 1997, les très fortes pluies gomment toutes différences et les drainages sont identiques quelle que soit la réserve utile ; enfin, en 1999, seules les plus faibles réserves (A et B) engendrent des différences significatives de drainage.

1 - Ecart relatif entre les drainages annuels calculés pour un réserve utile X par rapport aux drainages obtenus pour la réserve utile médiane = (Drainages RU_X – Drainages $RU_{médiane}$) x 100 / Drainages $RU_{médiane}$

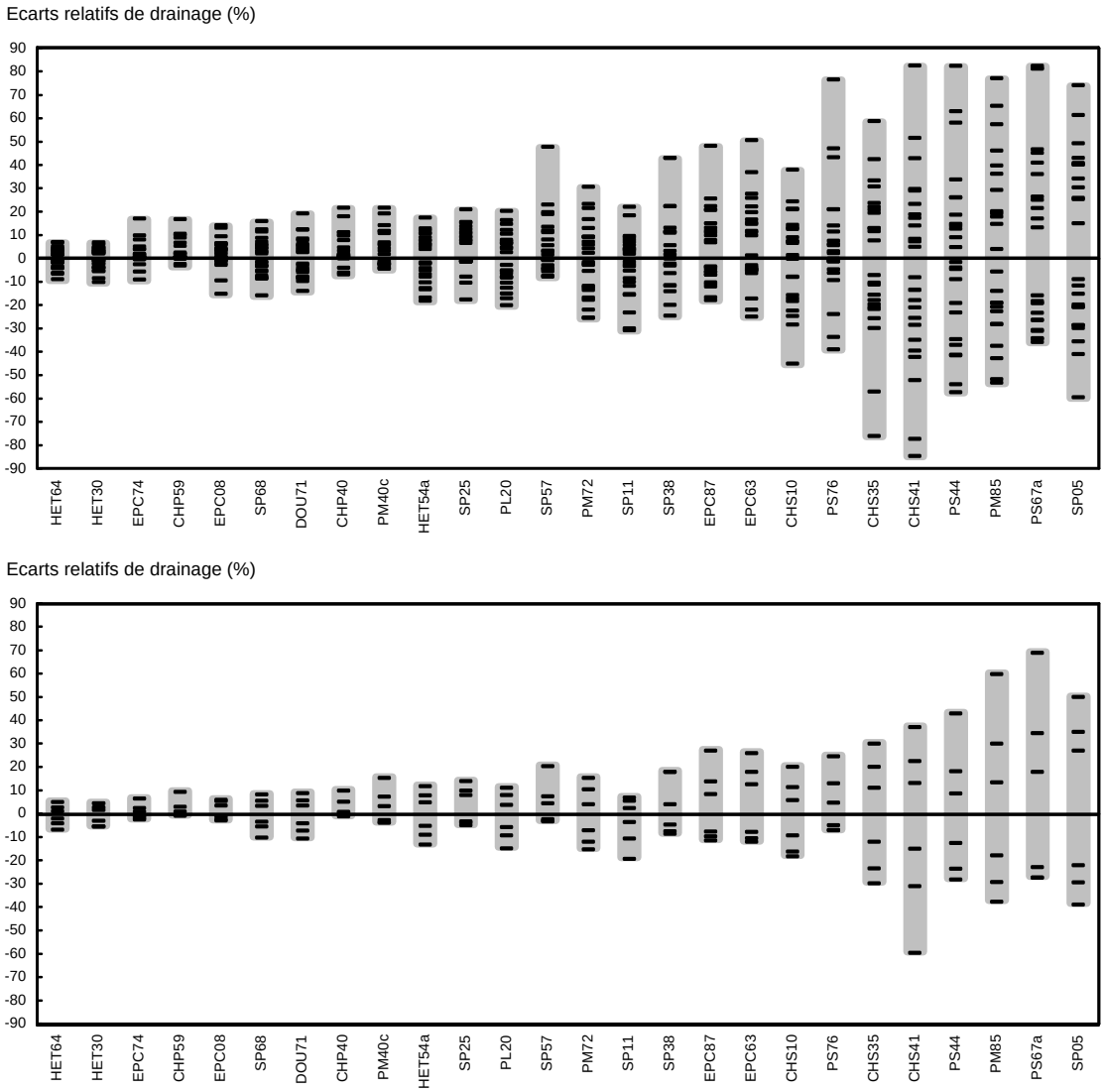


Figure 38 : Ecarts relatifs entre les drainages calculés pour les différentes hypothèses de réserve utile par rapport aux drainages obtenus pour la réserve utile médiane = (Drainages RU_X – Drainages $RU_{médiane}$) x 100 / Drainages $RU_{médiane}$. En haut, valeurs annuelles. En bas, valeurs moyennes par placette pour la période 1995-1999.

Figure 38 : *Relative differences between the volumes of drained water computed from the 6 hypotheses of extractible water with regard to the volume of drained water obtained with the median value of extractible water = (Drainage RU_X – Drainage $RU_{médiane}$) x 100 / Drainage $RU_{médiane}$. Top, annual results. Bottom, mean values for the 1995-1999 period.*

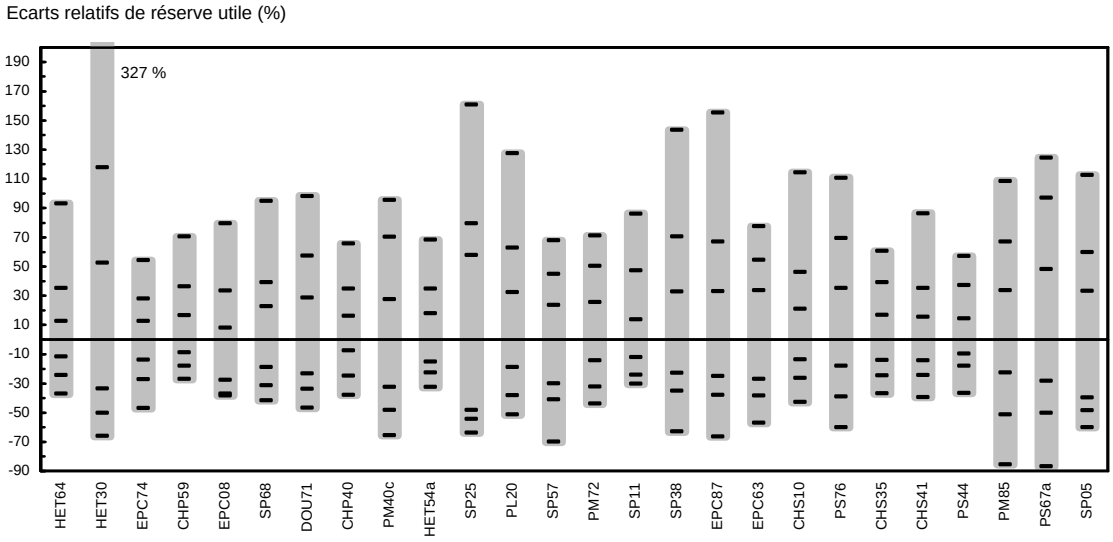


Figure 39 : Ecarts relatifs entre les 6 hypothèses de réserve utile par rapport à la valeur médiane de la réserve.

Figure 39 : *Relative differences between the 6 hypotheses of extractible water with regard to the median value of extractible water.*

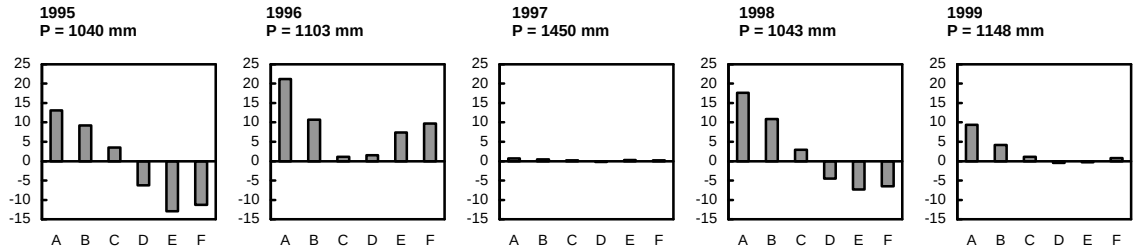


Figure 40 : Ecarts relatifs annuels (%) par rapport aux volumes d'eau drainée obtenu pour la réserve utile médiane de la placette CHP 40 (297 mm), A = réserve utile minimum (184 mm), B = centile 10% (223 mm), C = centile 25% (274 mm), D = centile 75% (345 mm), E = centile 90% (401 mm), F = réserve utile maximum (493 mm),

Figure 40: *Annual relative differences (%) with regard to the drainage computed with the median value of the available water for CHP 40 (297 mm), A = minimum available water (184 mm), B = centile 10% (223 mm), C = centile 25% (274 mm), D = centile 75% (345 mm), E = centile 90% (401 mm), F = maximum available water (493 mm),*

	Hypothèses de réserve utile (mm)							Ecarts relatifs de drainage (%)					
Placette	**Min**	**C10**	**C25**	**Med**	**C75**	**C90**	**Max**	**Min**	**C10**	**C25**	**C75**	**C90**	**Max**
HET64	64	77	90	102	115	138	197	5,7	3,4	1,6	-1,8	-4,1	-7,9
HET30	47	69	92	139	212	303	594	5,0	3,2	2,0	-2,8	-5,4	-5,9
EPC74	83	114	135	157	177	201	242	7,2	3,0	1,4	-0,8	-1,6	-2,4
CHP59	281	316	351	386	450	526	658	0,6	0,0	0,1	0,7	2,3	8,6
EPC08	99	101	116	161	174	215	289	6,9	6,3	4,3	-1,0	-3,4	-3,8
SP68	46	54	64	79	97	110	154	8,5	5,9	3,6	-3,0	-5,0	-9,6
DOU71	61	76	88	115	148	181	228	9,5	6,2	4,0	-3,8	-7,1	-10,6
CHP40	184	223	274	297	345	400	492	12,4	7,1	1,8	-1,9	-2,6	-1,4
PM40c	61	92	120	178	227	303	348	19,5	10,4	5,3	-3,6	-6,2	-6,7
HET54a	136	156	171	202	238	272	340	11,5	7,6	4,7	-4,1	-7,2	-10,3
SP25	35	44	50	97	153	174	253	13,5	9,6	7,9	-3,2	-3,9	-5,1
PL20	81	103	135	167	221	272	380	12,8	9,2	4,6	-5,7	-9,2	-14,6
SP57	66	130	154	221	273	320	371	21,3	8,0	5,0	-2,1	-2,9	-3,0
PM72	81	98	124	145	182	218	248	17,5	12,1	5,0	-7,9	-13,2	-16,8
SP11	91	99	115	131	149	193	244	9,6	8,0	3,7	-4,4	-12,7	-20,3
SP38	45	79	94	122	162	208	297	19,4	9,0	4,9	-5,0	-8,6	-10,2
EPC87	72	133	161	215	286	359	549	26,7	13,8	8,5	-7,2	-11,2	-9,9
EPC63	80	115	136	187	250	289	332	24,9	17,3	12,2	-5,4	-7,3	-8,2
CHS10	131	169	198	230	278	336	493	20,6	11,9	6,0	-8,2	-16,2	-15,3
PS76	70	107	144	176	238	298	371	30,6	17,0	6,7	-6,9	-10,2	-10,8
CHS35	158	189	215	251	293	349	403	30,3	20,2	11,3	-11,9	-24,3	-32,2
CHS41	125	156	177	207	239	280	386	34,4	20,8	12,3	-12,8	-27,0	-53,1
PS44	198	256	282	313	358	429	492	46,1	19,6	9,4	-11,9	-25,9	-32,0
PM85	25	85	135	175	234	292	365	55,7	27,7	11,6	-15,2	-26,0	-34,4
PS67a	23	87	125	175	259	345	393	68,9	33,0	17,0	-19,2	-22,8	-22,8
SP05	72	93	109	181	241	289	385	46,6	31,4	23,1	-16,6	-22,2	-30,6

Tableau 67 : Hypothèses de réserves utiles et moyennes des écarts relatifs de drainage sur la période 1995-1999, Les cellules grisées correspondent aux écarts inférieurs ou égaux à ±10% des drainages calculés à partir des réserves utiles médianes,

Table 67: *Extractible water estimates and averaged relative differences for drained water between 1996 and 1999, Cells in grey correspond to relative differences lower than* ±10%,

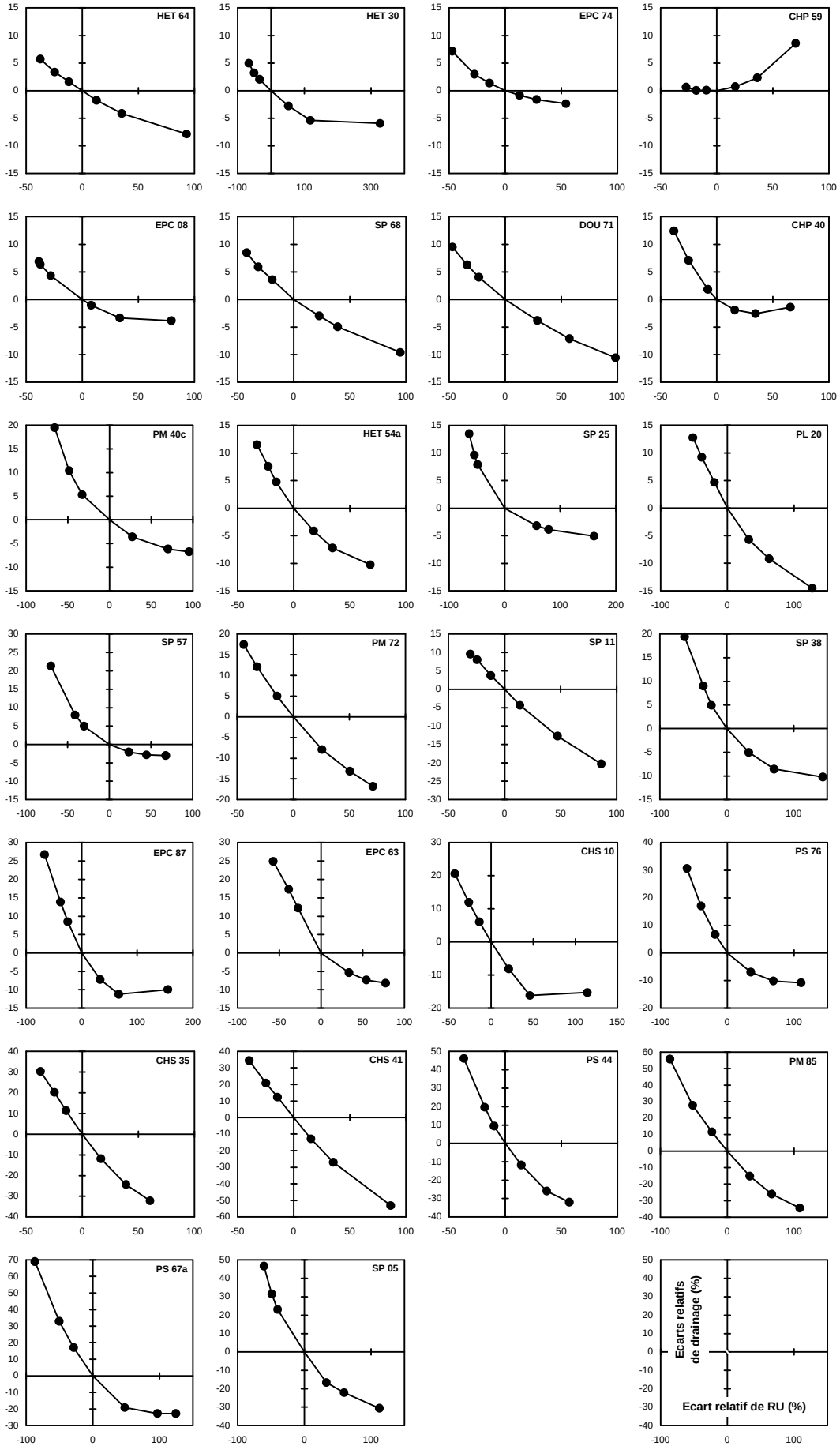


Figure 40 : Ecarts relatifs de drainage (moyennes 1995-1999) par rapport aux écarts relatifs de réserve utile (%).

Figure 40*: *Relative differences of drained water vs. relative differences of extractible water.

Les résultats présentés sur la **figure 38** et dans le **tableau 67** montrent que, au pas de temps annuel ou en moyenne sur les 5 années de mesures, les placettes peuvent être classées en trois groupes.

Pour les placettes HET 64, HET 30, EPC 74, CHP 59, EPC 08, SP 68 et DOU 71, on constate que la modification des hypothèses de réserve utile n'entraîne que peu de différence dans les volumes d'eau drainée. Pour ces placettes, même si les réserves utiles varient de -50% à +100% par rapport à la réserve utile médiane (**figure 39**), les moyennes des écarts relatifs de drainage pour la période 1995-1999 sont de l'ordre de ±10% par rapport aux drainages obtenus avec la RU médiane. Le cas le plus extrême est celui de HET 30, placette où la réserve utile varie de 64 à 594 mm alors que les écarts relatifs de drainage par rapport à la réserve utile médiane s'échelonnent de +5,4% à -6,5%.

A l'opposé, pour les placettes CHS 35, CHS 41, PS 44, PM 85, PS 67a et SP 05, il existe d'une part, une très forte variabilité inter-annuelle des écarts relatifs de drainage et, d'autre part, tous ces écarts dépassent largement le seuil théorique de ±10% par rapport aux drainages obtenus avec la RU médiane (-59,1% à +37,5% pour CHS 41 ; -26,8 à +69,3% pour PS 67a).

Pour toutes les autres placettes, les valeurs des écarts relatifs de drainage dépendent des hypothèses de réserves utiles.

On constate également (**figure 41**) que les relations entre écarts de réserve et écarts de drainage ne sont pas linéaires : il n'y a pas proportionnalité directe entre les volumes d'eau drainée lorsque l'on fait varier la réserve utile. Pour SP 57 par exemple, si on diminue la réserve utile diminue de 90 ou 150 mm, des écarts relatifs de drainage de +8% ou +21% sont observés. Inversement, si la réserve utile augmente de 90 ou 150 mm, aucune évolution forte des quantités d'eau drainée est observée, puisque les écarts relatifs ne dépassent pas 3% en valeur absolue.

Ceci s'explique simplement par le fait que les variations des quantités d'eau dans le sol au cours de l'année dépendent :

- du volume d'eau arrivant au sol (précipitations diminuées des interceptions) ;
- du moment des arrivées d'eau au sol (répartition des pluies tout au long de l'année) ;
- de la quantité d'eau quittant le sol (évaporation et transpiration).

La transpiration est déterminée par la demande atmosphérique et la surface du feuillage mais également par la réserve hydrique du sol.

Les rétroactions permanentes entre disponibilité en eau, demande atmosphérique et transpiration rendent donc difficile l'étude temporelle des variations du volume d'eau dans le sol. La modification de la seule réserve utile entraîne donc un ensemble de réactions complexes impossibles à prévoir sans l'utilisation du modèle de bilan hydrique.

CONCLUSIONS GENERALES

Paramètres climatiques

La confrontation des paramètres météorologiques enregistrés, d'une part, sur les placettes RENECOFOR et, d'autre part, sur le réseau Météo-France, montre qu'il n'existe pas de fortes incohérences dans les séries de mesures. Cependant, l'absence de postes Météo-France dans le voisinage immédiat des placettes RENECOFOR et la spécificité des microclimats forestiers (encore assez mal connus), sont des facteurs qui introduisent une variabilité non négligeable sur les mesures.

Les différences observées pour chaque paramètre entre le réseau RENECOFOR et les stations Météo-France semblent démontrer l'intérêt de l'existence des stations de mesures forestières. Les stations Météo-France sont, comme attendu, trop éloignées des placettes RENECOFOR, à des altitudes trop différentes et dans des environnements ne permettant pas de caractériser précisément les microclimats forestiers. Cette observation concernant les climats moyens observés sur les placettes est encore plus évidente si l'on considère les évènements extrêmes, bien qu'ils n'aient pas été traités dans ce rapport (fortes pluies et orages, coup de chaleur, etc.).

Nous rappelons cependant que cette étude n'intègre que les mesures acquises sur une période de 5 années. Il conviendrait donc de vérifier les résultats obtenus ici avec des séries de mesures plus longues.

Précipitations

Le classement des placettes, de la plus " sèche " à la plus " arrosée ", n'est pas très différent selon l'utilisation de l'une ou l'autre des sources de données. On constate cependant que les volumes de précipitations enregistrés sur les placettes RENECOFOR sont en moyenne plus forts que ceux enregistrés par Météo-France : 19 placettes sont plus " *arrosées* " que les postes Météo-France correspondants, contre 7 placettes plus " sèches ". Ces différences peuvent en partie être expliquées par les distances entre les postes de mesure et les différences d'altitudes mais il n'existe pas de relation simple entre ces facteurs et ils ne sont pas suffisants pour décrire les différences de précipitations.

- Pour 7 placettes (CHS 41, EPC 08, EPC 74, HET 64, PL 20, PS 67a et PS 76) les différences de précipitations n'excèdent pas ±50 mm par an, en moyenne sur la période 1995-1999.
- Pour CHP 40 et SP 25, les volumes des précipitations enregistrés sur les placettes sont inférieurs de 50 mm aux volumes mesurés par Météo-France. Pour SP 58, HET 54a et PM 85, ces volumes sont inférieurs à 100 mm.
- Lorsque les pluies enregistrées sur le réseau sont supérieures à celle enregistrées par Météo-France, les écarts sont de l'ordre de 50-100 mm pour CHS 10, CHS 35, DOU 71, PM 40c, PM 72 et PS 44 ; de l'ordre de 100-200 mm pour CHP 59, EPC 63, EPC 87, HET 30 et SP 05 ; et supérieurs à 200 mm pour SP 11, SP 38 et SP 57.

Aux pas de temps mensuel ou journalier, le volume global des précipitations n'est pas le seul facteur à prendre en compte. Même pour les placettes où l'on observe peu de différences entre les volumes des précipitations mesurés, il existe une forte variabilité des épisodes pluvieux. Les corrélations, aux pas de temps journalier et mensuel, montre qu'il est possible d'estimer des pluies pour les placettes du réseau RENECOFOR à partir des mesures Météo-France, mais que ces estimations sont médiocres. Les relations présentées dans les annexes météo 2 et 3 devraient par ailleurs être confirmées sur une période plus longue.

Températures

Au pas de temps journalier, les corrélations entre les températures mesurées dans les deux réseaux sont nettement plus fortes que celles observées pour les pluies et ce, malgré une plus grande distance entre les postes. Les données manquantes de températures sur les placettes RENECOFOR peuvent donc être estimées à partir des séries Météo-France avec un degré de confiance supérieur à ce qui peut être fait pour les pluies.

Les températures maximales sont mieux corrélées entres-elles que les températures minimales. Les moins bonnes relations entre températures maximales sont observées pour les placettes EPC 74, SP 11, EPC 63 et HET 30. Pour les températures minimales elles sont observées pour les placettes EPC 87, EPC 74, PS 76, EPC 08, PM 72, SP 11, SP 25 et HET 64.

Rayonnement global

Le rayonnement global n'étant mesuré que sur 7 placettes du sous réseau météorologique forestier, il est difficile de généraliser les résultats, d'autant plus que les rayonnements RENECOFOR sont comparés, soit à des rayonnements (EPC 08, PM 85, SP 11 et SP 25 à partir de 1998), soit à des durées d'insolation (PM 72, PS 76, SP 38 et SP 25 jusqu'en 1997) mesurés par Météo-France.

Au pas de temps journalier, les coefficients de corrélation varient de 0,86 à 0,97. La qualité des corrélations est nettement dépendante de la différence d'altitude et de la distance séparant les placettes RENECOFOR et les stations Météo-France. A l'inverse des écarts journaliers, les écarts mensuels ne représentent qu'une fraction limitée du rayonnement global ; une large majorité des écarts correspondent à des variations de moins de 10% du rayonnement global mesuré sur les stations Météo-France. Les stations Météo-France de mesure du rayonnement étant très éloignées des sites RENECOFOR, on peut supposer que des paramètres topographiques puissent expliquer les écarts de rayonnement.

Humidité relative et vitesse du vent

Les corrélations entre les humidités relatives mesurées dans les deux réseaux sont très médiocres et les corrélations entre les vitesses de vent sont les plus mauvaises. Pour ces deux paramètres la qualité des corrélations est peu marquée par la distance entre les postes de mesure ou la différence d'altitude. Ces résultats ne sont pas surprenants puisque plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences observées comme les ambiances forestières plus humides à cause de la transpiration des couverts ou la rugosité des paysages forestiers.

Evapotranspiration potentielle

Au pas de temps journalier, les corrélations entre ETP sont concordantes à celles observées pour le rayonnement global (facteur ayant le plus de poids dans le calcul de l'ETP), et les coefficients de corrélation varient de 0,91 à 0,97, sauf pour la placette SP 11 qui présente un r de 0,82. Au pas de temps annuel, toutes les placettes RENECOFOR présentent un bilan d'ETP inférieur à celui calculé à partir des données Météo-France. Sur l'ensemble des cinq années de mesures, les écarts les plus faibles entre les ETP sont de –68 et –69 mm pour les placettes PM 85 et SP 25 (soit des différences relatives de –6 et –8% par rapport aux ETP Météo-France) et les écarts les plus forts sont de –240 et –270 mm pour les placettes EPC 08 et SP 11 (soit des différences de –27 et –24% par rapport aux ETP Météo-France).

Réserve utile en eau des sols

Si l'on souhaite classer des sols ou des types de stations forestières en fonction de leurs disponibilités en eau, l'emploi de descripteurs simples (coefficients de texture de Jamagne par exemple) est en général suffisant pour ordonner les sites selon une échelle relative. Souhaitant au contraire calculer précisément des volumes d'eau entrant et sortant du sol, cette échelle relative n'est plus suffisante et il faut rechercher une quantification aussi précise que possible du réservoir d'eau.

Bien que ce réservoir apparaisse comme un paramètre essentiel du bilan hydrique et hydrologique des écosystèmes, il reste particulièrement difficile à mesurer ou estimer. La distribution de la porosité, la densité apparente, les propriétés physico-chimiques, les profondeurs prospectées par les systèmes racinaires, la pierrosité des différents horizons, etc. sont des déterminants essentiels de la réserve en eau, aussi difficiles à caractériser les uns que les autres. De plus, les particularités des sols forestiers font qu'il n'est pas possible de transposer sans précaution les connaissances acquises sur les sols agricoles ; cette observation étant particulièrement valable pour les fonctions de pédotransfert utilisées dans ce rapport (capacité d'échange cationique, densité apparente, taux de matière organique, etc.). On peut par ailleurs observé que les valeurs des potentiels hydriques caractérisant la *capacité au champ* et le point de *flétrissement permanent*, sont objets de débats, en général, et pour les peuplements forestiers en particulier. Les valeurs retenues pour la capacité au champ varient, selon les auteurs, de 0,023 à 0,1 MPa (pF = 1,7 à 3). La valeur de pF = 4,2 (1,5 MPa) est communément admise pour les plantes cultivées et les semis mais de nombreuses observations tendent à démontrer que

le sol a pu fournir de l'eau aux arbres jusqu'à des potentiels hydriques bien plus négatifs que la valeur théorique de -1,5 MPa (par exemple jusqu'à -2,0 et -2,5 MPa dans le cas de chênes sessiles dans l'Est de la France, de mi-juillet à début octobre (Bréda *et al.*, 1995)). Cette prise de conscience des particularismes des sols forestiers et de leur incidence sur le réservoir en eau du sol est relativement récente et peu de groupes français travaillent sur la caractérisation systématique et précise des réservoirs en eau des sols forestiers.

Les 28 modes de calcul de la réserve en eau utilisés dans ce travail ont conduit à des estimations extrêmement variables. Les écarts entre l'hypothèse la plus optimiste de réserve en eau et l'hypothèse la plus pessimiste est en moyenne de 234 mm pour l'ensemble des fosses ! (**tableau 58 page 71**). En excluant les estimations les plus extrêmes de part et d'autre de l'estimation médiane et en ne considérant que les centiles 25% et 75% des estimations (c'est-à-dire les résultats de 14 des 28 méthodes utilisées), la moyenne des écarts est d'environ 71 mm, ce qui représente encore une très forte incertitude sur les estimations de réserve en eau du sol.

A ces problèmes liés aux méthodes de calcul de la réserve, s'ajoutent les incertitudes liées à la description de l'enracinement (c'est-à-dire au volume de sol pouvant être prospecté par les racines) et à la quantification de la pierrosité dans les différents horizons. *In fine*, il n'est donc pas certain que les réserves utiles " réelles " des placettes RENECOFOR se situent effectivement bien dans une gamme prévue par nos hypothèses de calcul !

Le réservoir en eau du sol apparaît donc bien comme un paramètre essentiel du bilan hydrique et hydrologique des écosystèmes forestiers, mais il demeure particulièrement difficile à mesurer, estimer ou prédire. Il en résulte une forte imprécision sur l'estimation de la réserve en eau du sol, et par contre coup sur les volumes d'eau drainée et les pertes d'éléments minéraux. La caractérisation systématique et précise des réservoirs en eau des sols forestiers mériterait un investissement spécifique, tant sur le plan de la quantification *in situ* et de la recherche que sur la poursuite des inventaires.

Bilans hydriques et volumes d'eau drainée

L'influence de l'origine des données météorologiques dans le calcul des bilans hydriques et des volumes d'eau drainée est très importante. L'utilisation des données Météo-France à la place des données RENECOFOR conduit à des écarts annuels de drainage très majoritairement distribués au-delà d'une fourchette de ±10%. Là encore, les calculs ne sont effectués qu'à partir d'une série d'observations météorologiques courte et les différences observées d'une année sur l'autre mériteraient d'être étudiées sur un pas de temps plus long. Il serait nécessaire de vérifier, si, en moyenne et à long terme, les écarts entre les drainages ont tendance à diminuer ou non.

En l'état actuel des choses, désirant relier précisément (avec une incertitude inférieure ou égale à 10%) les analyses physicochimiques des eaux de drainage à des stocks d'éléments drainés hors des écosystèmes, l'acquisition de données météorologiques locales semble incontournable, sauf, peut-être, pour la placette HET 64.

Les incertitudes de drainage liées aux incertitudes sur l'estimation des réserves en eau des sols sont moins fortes que celles liées aux paramètres météorologiques. Pour 7 placettes (HET 64, HET 30, EPC 74, CHP 59, EPC 08, SP 68, DOU 71) des écarts de drainage compris dans une fourchette de ±10% sont observés pour des réserves en eau variant du simple au triple en moyenne. Pour 6 placettes (CHS 35, CHS 41, PS 44, PM 85, PS 67a et SP 05), les écarts de drainage sont toujours très supérieurs à cette limite théorique de ±10%. Pour les 13 autres placettes (CHP 40, PM 40c, HET 54a, SP 25, PL 20, SP 57, PM 72, SP 11, SP 38, EPC 87, EPC 63, CHS 10, PS 76) les écarts de drainage dépendent directement des hypothèses de réserve en eau : pour une gamme de réserve limitée aux centiles 25% et 75% (autour de la valeur médiane obtenue à partir des 28 simulations par placette), les écarts de drainage restent compris dans la fourchette ±10%. Il est également intéressant de noter que les relations entre les écarts de drainage et les écarts de réserve en eau ne sont pas linéaires.

Aux incertitudes " météorologiques " et " pédologiques " qui ont été testées dans le cadre de ce travail, il est nécessaire de rajouter les incertitudes sur :

- les profondeurs d'enracinement et la distribution des racines dans le sol ;
- les paramètres physiques du sol (densité réelle, porosité) ;
- les données concernant les peuplements (phénologie, indice foliaire et coefficient d'extinction, interception des pluies).

Cette étude prospective tend donc à démontrer que l'acquisition de paramètres météorologiques locaux est indispensable pour caractériser les bilans hydriques et hydrologiques des placettes RENECOFOR avec une précision suffisamment fine. La localisation des placettes ainsi que les environnements forestiers font qu'il n'est pas possible d'utiliser directement les données Météo-France sans introduire une incertitude significative dans ces bilans. Pour les précipitations et les températures, les données Météo-France semblent par contre utiles pour estimer les données manquantes des séries acquises sur le sous réseau météorologique forestier. Ce n'est cependant pas le cas pour les vitesses de vent et l'humidité relative de l'air.

Malgré les efforts consentis à la description des sols, cette étude a également montré que des paramètres devraient être observés plus précisément (profondeurs d'enracinement et distribution des racines) et que de nouveaux devraient être pris en compte (densité réelle, porosité, humidités pondérales à quelques dates clés dans l'année).

La quantification précise des sécheresses et des excès d'eau en forêt nécessite l'évaluation des variations de quantité d'eau dans le sol au cours de la saison, variations dépendant de la quantité d'eau arrivant au sol (précipitations moins interceptions) et de la quantité d'eau quittant le sol (transpiration, drainage). Cette transpiration est déterminée par la demande atmosphérique, la quantité de feuillage et la réserve hydrique du sol elle-même. Cette quantification n'est donc pas simple du fait des rétroactions permanentes entre disponibilité en eau du sol, demande atmosphérique et transpiration. Dans cette étude, les paramètres descriptifs des peuplements ont été estimés de façon assez grossière à partir des données de la littérature et il ne serait pas inutile d'acquérir des observations plus fines sur les placettes du sous-réseau météorologique forestier (indice foliaire notamment).

Arya L.M., Paris J.F., 1993. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. Soil Sci. Soc. Am. J., 45, 1023-1030.

Assouline S., Tessier D., Bruand A., 1998. A conceptual model of the soil water retention curve. Water Resour. Res., 34 (2), 223-231.

Augusto L., 1999. Etude de l'impact de quelques essences forestières sur le fonctionnement biogéochimique et la végétation de sols acides. Thèse sur articles – Université Henri Poincaré, Nancy I. 90p + annexes + articles.

Aussenac G., Valette, 1982. Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* et de divers pins dans le Mont Ventoux. Annales des Sciences Forestières, 39, 41-62.

Aussenac, G., Boulangeat, C., 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annales des Sciences Forestières*, 36 (4), 91-107.

Aussenac, G., Granier, A., 1979. Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus sylvatica* et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'Est de la France. II. Etude de l'humidité du sol et de l'évapotranspiration réelle. *Annales des Sciences Forestières*, 36, 265-280.

Badeau V., 1995. Etude dendroécologique du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) sur les plateaux calcaires de Lorraine. Influence de la gestion sylvicole. Thèse de Doctorat en Sciences et Techniques biologiques ; Biologie Forestière, Université de Nancy I, 224p + annexes.

Badeau V., Bréda N., Landmann G., 1997. Dépérissement du hêtre en zone de plaine : variations de l'état de la cime, croissance radiale et stress climatique. INRA – GIP ECOFOR. Rapport final, 75p + annexes.

Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie. INRA édition, Paris, 2ème édition, 257p.

Bastet G., 1999. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert : développement de nouvelles approches. Thèse de l'Université d'Orléans, 193p + annexes.

Bastet G., Bruand A., Quétin P., Cousin I., 1998. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert (FPT) : une analyse bibliographique. Etude et Gestion des Sols, 5 (1), 7-28.

Becker M., 1972. Etude des relations sol-végétation en condition d'hydromorphie dans une forêt de la plaine lorraine. Annales des Sciences Forestières, 29(2), 143-182.

Belgrand M., 1983. Comportement de jeunes plants feuillus (Chêne pédonculé, Chêne rouge, Chêne sessile, Hêtre) sur substrat ennoyé. Adaptations racinaires. Application à la mise en valeur forestière des pseudogley. *Thèse de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon*, 188 p+ annexes.

Benichou P., Le Breton O., 1987. Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La météorologie, 7ème série, n°19, 23-34.

Berben J.C., 1968. Problèmes d'enracinements en sols sableux. *Bull. Soc. Roy. For. De Belgique*, 75, 233-249.

Berben J.C., 1973. Influence de la densité du sol et des précipitations sur la croissance et le développement radiculaire de quelques espèces forestières. *Bull. Soc. Roy. For. De Belgique*, 10, 377-401.

Bigorre F., 1999. Influence de la pédogénèse et de l'usage des sols sur leurs propriétés physiques. Mécanismes d'évolution et éléments de prévision. Thèse de Doctorat en Sciences de la terre, spécialité Science du sol, Université de Nancy I, 145p + annexes.

Bigorre F., 2000. Influence de la pédogénèse et de l'usage des sols sur leurs propriétés physiques. Mécanisme d'évolution et éléments de prévision. Thèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 145p + annexes.

Bigorre F., Tessier D., Pédro G., 2000. Contribution des argiles et matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. C.R. Acad. Sci., 330 (4), 245-250.

Black, T.A., 1979. Evapotranspiration from douglas fir stands exposed to soil water deficits. *Water Resources Research,* 15, 164-170.

Bouma J., 1989. Land qualities in space and time. *In* Proc. ISSS symp. on land qualities in space and time, Bouma, Bregt (Eds.), Wageningen, The Netherlands, 22-26 aug. 1988, 3-13.

Bouten, W., Schaap, M.G., Bakker, D.J., Verstraten, J.M., 1992. Modelling soil water dynamics in a forested ecosystem. I – A site specific evaluation. *Hydrological Processes,* 6, 435-444.

Bowen H.D., 1981. Alleviating mechanical impedance. *In* : Modifying the root environment to reduce crop stress. *ASAE monograph n°4, Michigan USA*, 18-57.

Bréda N., 1994. Analyse du fonctionnement hydrique des chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé *(Quercus robur*) en conditions naturelles ; effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie. Thèse sur articles de l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 59 + publications + annexes.

Bréda N., Cochard H., Dreyer E., Granier A., 1993. Water transfert in a mature oak stand (*Quercus petraea*) : seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 1136-1143.

Bréda N., Granier A., Barataud F., Moyne C., 1995. Soil water dynamics in an oak stand. I – Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil*, 172,17-27.

Bréda N., Peiffer M., 1999a. Etude du bilan hydrique des chênaies de la Forêt domaniale de la Harth (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes. *Rapport final convention ONF-INRA*, juillet 99, 60p + cartes.

Bréda, N., 1999a. Bilan hydrique et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes. Dépérissement forestier en vallée du Rhin. *Rapport Scientifique final Convention ONF / INRA*. 60 pages

Bréda, N., 1999b. L'indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue Forestière Française*, 51 (2), 135-150.

Brêthes A., Demarcq P., 1992. Mortalité du cèdre de l'Atlas sur dolomie dans l'Aveyron. ONF – *Bulletin Technique n°23*, 73-82

Brêthes A., Ulrich E., 1997. Caractéristiques pédologiques des cent deux peuplements du réseau. Fontainebleau : Office National de Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-112-3, 573p.

Brooks R.H., Corey A.J., 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Paper 3, Colo. State Univ., Fort Collins, CO.

Bruand A., Duval O., Gaillard H., Darthout R., Jamagne M., 1996. Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols : importance de la densité apparente. Etude et Gestion des Sols, 3 (1), 27-40.

Campbell G.S., 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci., 117, 311-314.

Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E., Schulze E.D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. Oecologia 108:583-595.

Chapelier G., Duval O., Daroussin J., Couturier A., Bastet G., Roque J., Bruand A., 1999. Etude de la recharge de la nappe de Beauce. Esquisse cartographique des réserves utiles potentielles en eau des sols. INRA, Orléans, 57p + cartes.

Comegna V., Damiani P., Sommella A., 1998. Use of a fractal model for determining soil water retention curves. Geoderma, 85 (4), 307-323.

De Jong R., Campbell C.A., Nicholaichuk W., 1983. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. Can. J. Soil Sci., 63, 291-302.

Differt J., 2001. Phénologie des espèces arborées ; synthèse bibliographique ; analyse des données du Réseau National de Suivi à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers. Ecole National du Genie Rural des Eaux et des Forêts. 97p + annexes.

Droogers P., Bouma J., 1997. Soil survey input in exploratory modeling of sustainable soil management practices. Soil Sci. Soc. Am. J., 61, 1704-1710.

Fitter A.H., 1987. An architectural approach to the comparative ecology of plant root systems. *New Phytol*., 106 (suppl.), 61-77.

Granier A., Biron P., Lemoine D., 2000. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 291-308.

Granier, A., Badeau, V., Bréda, N., 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, 47, n° spécial, 59-68.

Granier, A., Bréda, N., Biron, P., Villette, S., 1999. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological modelling*, 116, 269-283.

Gupta S.C., Larson W.E., 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. Water Resour. Res., 15, 1633-1635.

Hall D.G.M, Reeve M.J., Thomasson A.J., Wright V.F., 1977. Water retention, porosity and density of field soils. Soil survey technical monograph n°9, Harpenden, 75p.

Haverkamp R., Parlange J.Y., 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution : 1 – Sandy soils without organic matter. *Soil Science*, 142 (6), 325-338.

Hutson J.L., Cass A., 1987. A retentivity function for use in soil water simulation models. *J. Soil Sci.* 38, 105–113.

Jackson RB, Canadell J., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E., Schulze E.D., 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia 108:389-411.

Jamagne M., 1967. Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Ann. Agron*., 18, n° hors série, 142p.

Jamagne M., Brétémieux R., Bégon J.C., Mori A., 1977. Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. BTI, 324-325, 627-641.

Kern J.S., 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J*., 59, 1134-1141.

Köstler J.N., Brückner E., Bidelriether H., 1968. Die wurzeln der waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 284p.

Lévy G., 1968. Importance des propriétés du sol pour l'enracinement de *Picea excelsa* et de *Pinus silvestris*. *Ann. Sci. For.*, 25(3), 157-188.

Lévy G., 1986. Plantations sur sols à hydromorphie temporaire. R*evue Forestière Française,* 38(3), 307-314.

Loustau, D., Cochard H., 1991. Utilisation d'une chambre de transpiration portable pour l'estimation de l'évapotranspiration d'un sous-bois de pin maritime à Molinie [*Molinea coerulea* (L.) Moench*]. Annales des Sciences Forestières*, 48, 29-45.

Lucot E., 1994. Influence des caractéristiques de la pierrosité des sols sur la prospection racinaire et l'alimentation hydrique des arbres. Application à l'estimation de la valeur des sols forestiers. Thèse de l'Université de Franche-Comté, 101p + annexes.

Lucot E., Bruckert S., 1992. Organisation du système racinaire du chêne pédonculé (*Quercus robur*) développé en conditions édaphiques non contraignantes (sol brun lessivé colluvial).

Mayr T., Jarvis N.J., 1999. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for a modified Brooks-Corey type model. Geoderma, 91, 1-9.

Nakao T., Fujita M., Nishimura T., Kudo M., 1995. Retained water in soil based on probabilistic pore structure. Environmental International, 21 (5), 711-716.

Peiffer M., 1995. Analyse de la croissance, du fonctionnement hydrique, photosynthétique et de l'efficience d'utilisation de l'eau de frênes de statuts concurrentiels variés. DEA de Biologie Forestière – Université Nancy I – 20p.

Penman H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146.

Petersen G.W., Cunnigham L., Matelski R.P., 1968a. Moisture characteristics of Pennsylvania soils : I. Moisture retention as related to texture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32, 271-275.

Petersen G.W., Cunnigham L., Matelski R.P., 1968b. Moisture characteristics of Pennsylvania soils : II. Soil factors affecting moisture retention within a textural class (silt loam). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32, 866-870

Polomski J., Kuhn N., 1998. Wurzelsysteme. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien ; Haupt. 290p.

Ponette Q., Ulrich E., Brêthes A., Bonneau M., Lanier M., 1997. Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des recherches techniques, ISBN 2-84207-100-X, 427p.

Ponette Q., Ulrich E., Collet G., Kot J., Bruno F., Lanier M., 1996. Sous-réseau météorologique forestier. Bilan de la phase test (1994 / 1995) et perspectives. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 – 84207 – 2, 102p.

Puckett E.E., Dane J.H., Hajek B.F., 1985. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. Soil Sci. Am. J., 49, 831-836.

Rawls W. J., Brakensiek D. L., 1985. Prediction of Soil Water Properties for Hydrologic Modeling. Proceedings of the American Society of Civil Engineers Watershed Management in the Eighties Symposium, American Society of Civil Engineers, New York, 293-299.

Rawls W.J., Brakensiek D.L., Saxton K.E., 1982. Estimation of soil water properties. Trans. ASAE 25, 1316-1320.

Renger M., 1971. Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 130: 53 – 67.

SAS Institute Inc., 1988. SAS/STAT® User's Guide. Release Edition 6.03. Cary, NC – SAS Institut Inc., 1028p.

SAS Institute Inc., 1991. SAS system for regression, second edition. Cary, NC – SAS Institut Inc., 210p.

Savoie, J.M., Comps, B., Letouzey, J., Gelpe, J., 1988. Bilan hydrique des hêtraies mixtes en relation avec le comportement et la régénération du hêtre (*Fagus sylvatica* L.). *Ecol. Plant.*, 9, 285-300.

Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I., 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil. Sci. Soc. Am. J., 50, 1031-1036.

Stone E.L., Kalisz P.J., 1991. On the maximum extent of tree roots. *Forest Ecology and Management*, 46, 59-102.

Thomas F. M., 1999. Vertical rooting patterns of mature *Quercus* trees growing on different soil types in northern Germany. *Plant Ecology*, 147, 95-103.

Tietje O., Tapkenhinrichs M., 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 1088-1095.

Tyler S.W., Wheatcraft S.W., 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 987-996.

Tyler S.W., Wheatcraft S.W., 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions : analysis and limitations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 362-369.

Ulrich E., Lanier M., Combes D., 1998. RENECOFOR – Dépôts atmosphériques, concentrations dans les brouillards et les solutions du sol (sous-réseau CATAENAT) – Rapport sur les années 93 à 96. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 – 84207 – 134 - 4, 135p.

Van Genuchten M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892–898.

Veihmeyer F.J., Hendrickson A.H., 1927. Soil Moisture conditions in relation to plant growth. Plant Physiol., 2, 72-81.

Vereecken H., Maes J., Feyen J., Darius P., 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. Soil Science, 148(6), 389-403.

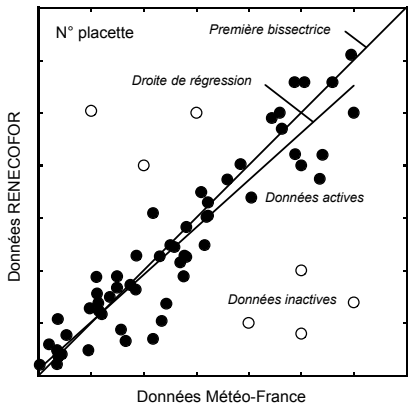
Vilette S., 1994. Etablissement du bilan hydrique sur une chronoséquence de peuplements de Douglas du Beaujolais. Essai de modélisation. Etablissement National d'Enseignement Supérieur de Dijon ; Ecole National des Ingénieurs des Travaux Agricoles ; INRA – Centre de Recherche de Nancy. Mémoire de fin d'étude. 50p + annexes.

Wagner P.A., 1996. Ecophysiologie comparée de plants de chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) et de chêne sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) soumis à deux contraintes racinaires successives : hypoxie et sécheresse. Application à la mise en valeur forestière des pélosols-pseudogleys. *Thèse de l'Université Henri Poincaré – Nancy I*, 108 p + annexes.

Williams R.D., Ahuja L.R., Naney J.W., 1992. Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density and limited data. *Soil Science*, 153 (3), 172-184.

Tous les graphiques présentant des régressions respectent le schéma type suivant.

Seules les régressions concernant les pluies présentent des données inactives (ou *outliers* : données exclues dans le calcul des droites de régression)



Placette	Long.	Latit.	Altitude	Poste Météo-France	N°	Long.	Latit.	Altitude	Distance	Différence d'altitude
CHP40	343.6	1864.7	20	Begaar	40031001	345.1	1875.6	20	11.0	0
CHP59	701.4	2575.9	149	Maroilles	59384001	700.1	2570.5	160	5.5	-11
CHS10	757.5	2368.6	160	Breviandes	10060001	730.1	2364.0	115	27.7	45
CHS35	312.1	2360.2	80	Rennes-St-Jacques	35281001	297.2	2348.9	36	18.7	44
CHS41	518.9	2286.0	127	Blois	41018001	523.8	2288.6	110	5.6	17
DOU71	732.7	2233.9	650	Château-Chinon	58062001	721.3	2232.1	598	11.6	52
EPC08	777.6	2552.8	480	Montcy-St-Pierre	8105003	773.5	2533.5	151	19.8	329
EPC63	648.9	2084.0	950	Clermont-Ferrand	63113001	663.8	2088.0	329	15.4	621
EPC74	909.3	2144.3	1200	Ayze	74024001	916.5	2128.1	450	17.7	750
EPC87	559.4	2088.9	650	Peyrat le Mazet	87117001	558.5	2089.1	450	0.9	200
HET30	696.6	1902.1	1400	Valleraugue-Mt-Aigoual	30339001	699.8	1903.1	1567	3.3	-167
HET54a	922.7	2399.0	325	Badonviller	54040001	937.4	2398.2	332	14.7	-7
HET64	355.9	1798.7	400	Oloron-St-Marie	64422004	361.7	1800.7	235	6.1	165
PL20	1138.0	1717.9	1100	Evisa-Aïtone	20108002	1137.2	1717.2	1000	1.1	100
PM40c	412.4	1896.5	150	Parleboscq-Trey	40218002	415.6	1884.3	152	12.6	-2
PM72	449.8	2307.1	153	St-Christophe sur le Nais	37213001	460.0	2293.8	64	16.8	89
PM85	259.0	2218.2	5	St-Jean de Mont	85234001	266.7	2209.7	7	11.4	-2
PS44	288.5	2290.4	38	Redon	35236002	269.9	2304.5	10	23.4	28
PS67a	994.3	2441.4	175	Stattmatten	67476001	1016.0	2436.6	120	22.3	55
PS76	484.6	2496.2	70	Brionne	27116001	481.8	2467.7	59	28.7	11
SP05	927.9	1951.7	1360	Embrun	5046001	931.0	1960.4	871	9.2	489
SP11	580.6	1762.6	950	St-Louis et Parahou	11352001	600.3	1760.6	680	19.8	270
SP25	913.6	2227.7	1000	Pontarlier	25462001	904.2	2218.9	830	12.9	170
SP38	896.9	2053.8	1100	St-Alban des Hurtières	73220001	906.9	2060.7	620	12.1	480
SP57	953.6	2411.9	400	Rothau	67414001	959.6	2394.1	380	18.8	20
SP68	957.5	2337.0	680	Geishouse	68102001	952.6	2330.9	660	7.7	20

Correspondance entre les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier et des stations Météo-France pour les températures. Longitudes et latitudes en km (Lambert II étendu) ; altitude en m ; distance de la placette au poste Météo-France en km ; différence d'altitude entre la placette et le poste Météo-France en m.

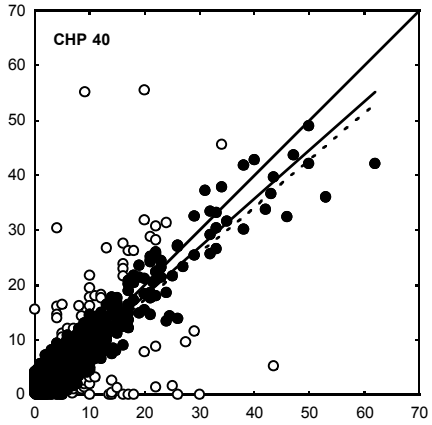
Placette	Long.	Latit.	Altitude	Poste Météo-France	N°	Long.	Latit.	Altitude	Distance	Différence d'altitude
CHP40	343.6	1864.7	20	Mugron	40201001	350.2	1865.4	79	6.7	-59
CHP59	701.4	2575.9	149	Maroilles	59384001	700.1	2570.5	160	5.5	-11
CHS10	757.5	2368.6	160	Vendeuvre sur Barse	10401001	757.7	2360.3	180	8.3	-20
CHS35	312.1	2360.2	80	Rennes-Gallet	35238003	303.8	2354.9	67	9.9	13
CHS41	518.9	2286.0	127	Blois	41018001	523.8	2288.6	110	5.6	17
DOU71	732.7	2233.9	650	Gien sur Cure	58125002	733.9	2238.8	635	5.0	15
EPC08	777.6	2552.8	480	Monthermé	8302003	774.7	2549.3	461	4.6	19
EPC63	648.9	2084.0	950	Olby	63257001	642.9	2082.0	815	6.3	135
EPC74	909.3	2144.3	1200	Pers-Jussy	74211001	903.6	2130.4	580	15.0	620
EPC87	559.4	2088.9	650	Peyrat le Mazet	87117001	558.5	2089.1	450	0.9	200
HET30	696.6	1902.1	1400	Valleraugue-Mt-Aigoual	30339001	699.8	1903.1	1567	3.3	-167
HET54a	922.7	2399.0	325	Baccarat	54039001	927.7	2392.2	308	8.4	17
HET64	355.9	1798.7	400	Oloron-St-Marie	64422004	361.7	1800.7	235	6.1	165
PL20	1138.0	1717.9	1100	Evisa-Aïtone	20108002	1137.2	1717.2	1000	1.1	100
PM40c	412.4	1896.5	150	Parleboscq-Trey	40218002	415.6	1884.3	152	12.6	-2
PM72	449.8	2307.1	153	Ecommoy	72124001	445.7	2316.1	89	9.8	64
PM85	259.0	2218.2	5	Beauvoir sur mer	85018001	266.8	2221.8	8	8.6	-3
PS44	288,50	2290,40	38	Blain	44015001	289.6	2282.9	14	7.6	24
PS67a	994.3	2441.4	175	Alteckendorf	67005001	986.6	2433.8	174	10.8	1
PS76	484.6	2496.2	70	Jumièges	76378001	489.9	2494.2	30	5.7	40
SP05	927.9	1951.7	1360	Les Orres	5098001	935.3	1954.0	1445	7.7	-85
SP11	580.6	1762.6	950	Joucou	11177001	579.4	1758.1	600	4.7	350
SP25	913.6	2227.7	1000	Morteau	25411004	923.6	2237.2	810	13.8	190
SP38	896.9	2053.8	1100	La Rochette	73215001	894.9	2057.1	350	3.8	750
SP57	953.6	2411.9	400	Nitting	57509001	945.8	2417.8	270	9.7	130
SP68	957.5	2337.0	680	Linthal-Epurat	68188002	957.0	2337.7	472	1.0	208

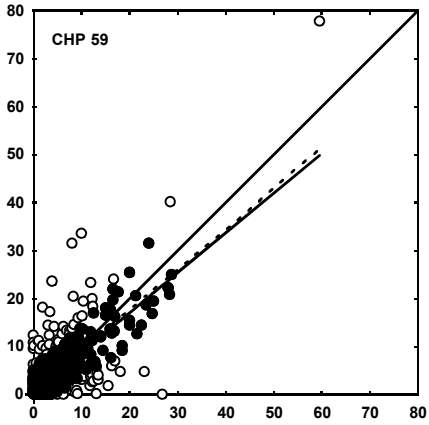
Correspondance entre les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier et des stations Météo-France pour les précipitations. Longitudes et latitudes en km (Lambert II étendu) ; altitude en m ; distance de la placette au poste Météo-France en km ; différence d'altitude entre la placette et le poste Météo-France en m.

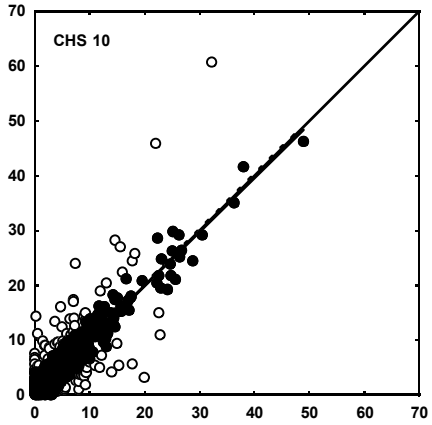
Placette	Long.	Latit.	Altitude	Poste Météo-France	N°	Long.	Latit.	Altitude	Distance	Différence d'altitude
CHP40	343.6	1864.7	20	Dax	40088001	325.2	1860.3	31	18.8	-11
CHP59	701.4	2575.9	149	St-Quentin	2320001	662.1	2535.8	98	56.1	51
CHS10	757.5	2368.6	160	Troyes-Barberey	10030001	725.0	2371.2	112	32.6	48
CHS35	312.1	2360.2	80	Rennes-St-Jacques	35281001	297.2	2348.9	36	18.7	44
CHS41	518.9	2286.0	127	Tours-Parcay-Meslay	37179001	478.8	2272.8	108	42.2	19
DOU71	732.7	2233.9	650	Nevers-Marzy	58160001	658.0	2222.4	175	75.6	475
EPC08	777.6	2552.8	480	Reims-Courcy	51183001	723.4	2479.3	91	91.4	389
EPC63	648.9	2084.0	950	Clermont-Ferrand	63113001	663.8	2088.0	329	15.4	621
EPC74	909.3	2144.3	1200	Chambery-Aix-Voglans	73329001	876.5	2076.5	235	75.3	965
EPC87	559.4	2088.9	650	Limoges-Bellegarde	87085006	510.4	2096.8	402	49.7	248
HET30	696.6	1902.1	1400	Millau	12145001	654.7	1902.0	715	41.9	685
HET54a	922.7	2399.0	325	Nancy-Esset	54526001	885.9	2416.8	212	40.9	113
HET64	355.9	1798.7	400	Pau-Uzein	64549001	376.6	1824.1	183	32.8	217
PL20	1138.0	1717.9	1100	Calvi	20050001	1131.0	1746.1	57	29.1	1043
PM40c	412.4	1896.5	150	Mont-de-Marsan	40192001	372.0	1882.9	59	42.8	91
PM72	449.8	2307.1	153	Le Mans	72181001	439.9	2329.6	51	24.4	102
PM85	259.0	2218.2	5	Nantes-Bouguenais	44020001	300.9	2246.3	26	50.4	-21
PS44	288,50	2290,40	38	Nantes-Bouguenais	44020001	300.9	2246.3	26	45.7	12
PS67a	994.3	2441.4	175	Strasbourg-Entzheim	67124001	991.3	2407.5	150	34.0	25
PS76	484.6	2496.2	70	Rouen-Boos	76116001	516.0	2487.8	151	32.5	-81
SP05	927.9	1951.7	1360	Embrun	5046001	931.0	1960.4	871	9.2	489
SP11	580.6	1762.6	950	Carcassonne	11069001	597.9	1801.1	126	42.2	824
SP25	913.6	2227.7	1000	Besançon	25056001	876.2	2256.2	307	47.0	693
SP38	896.9	2053.8	1100	Chambery-Aix-Voglans	73329001	876.5	2076.5	235	30.4	865
SP57	953.6	2411.9	400	Strasbourg-Entzheim	67124001	991.3	2407.5	150	38.0	250
SP68	957.5	2337.0	680	Colmar-Meyenheim	68205001	978.7	2337.4	209	21.2	471

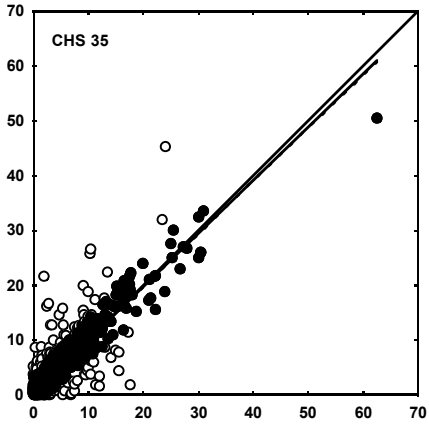
Correspondance entre les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier et des stations Météo-France pour le rayonnement global, la vitesse du vent et l'humidité relative. Longitudes et latitudes en km (Lambert II étendu) ; altitude en m ; distance de la placette au poste Météo-France en km ; différence d'altitude entre la placette et le poste Météo-France en m.

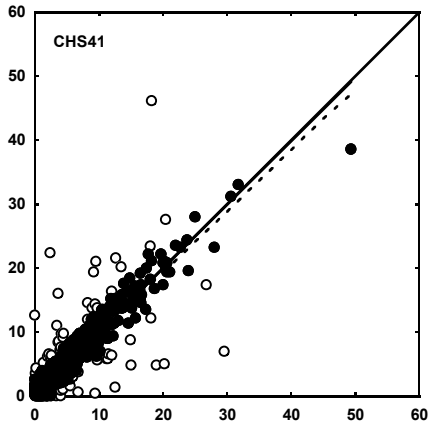
Relations entre les précipitations journalières hors couvert enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions : ligne en pointillé = ensemble des données, ligne pleine = valeurs singulières exclues (se reporter au texte).

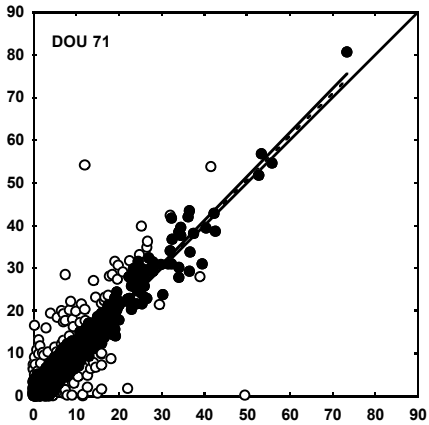


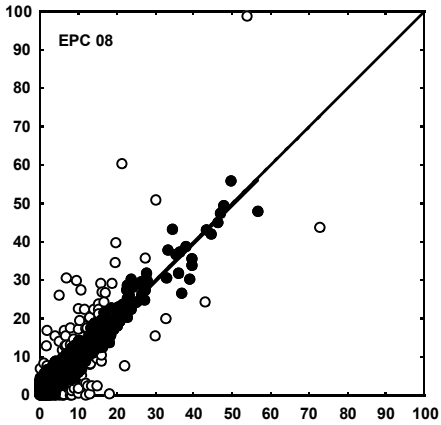


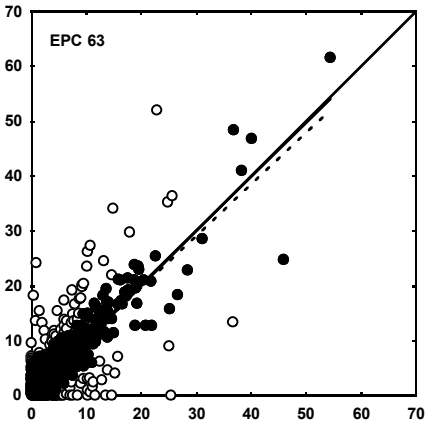


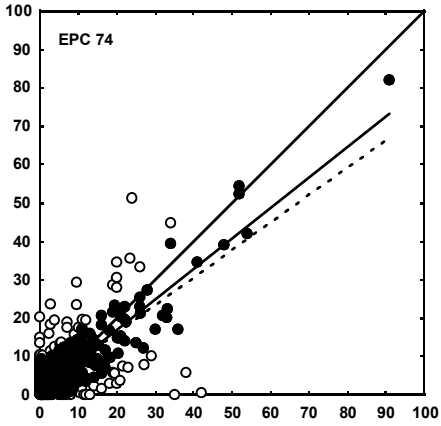


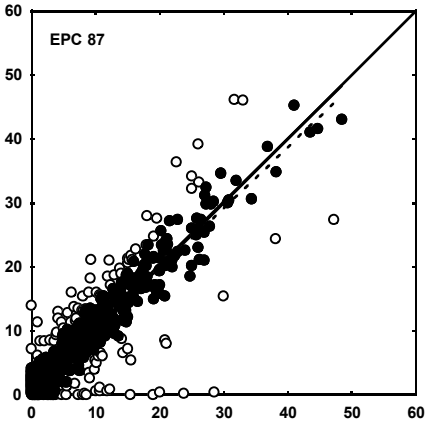


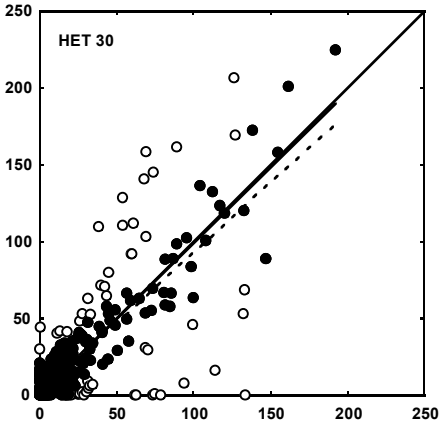


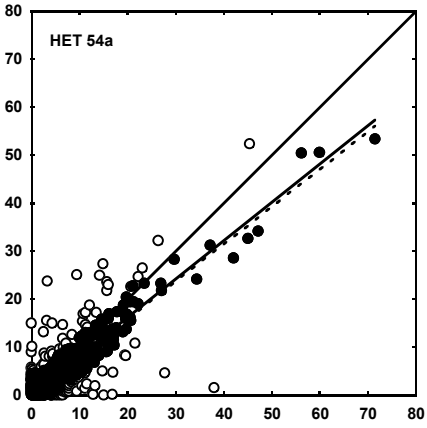

EPC 08
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

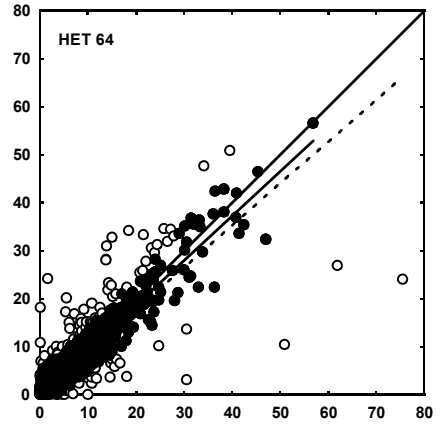

EPC 63
0 10 20 30 40 50 60 70

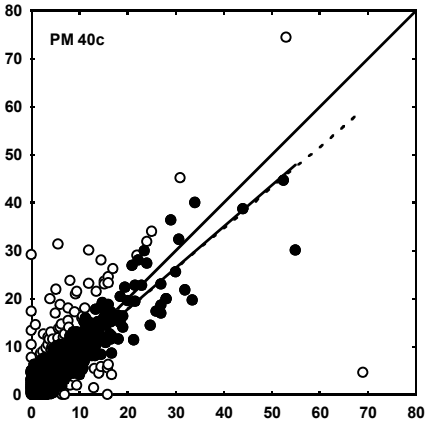

EPC 74
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

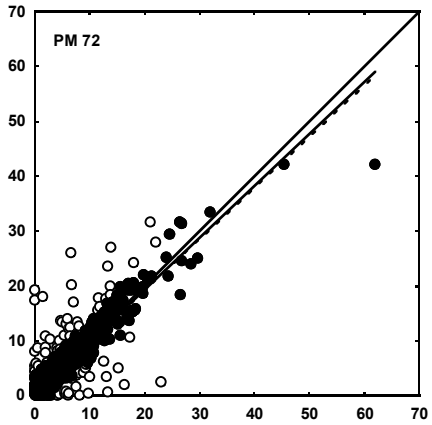

EPC 87
0 10 20 30 40 50 60

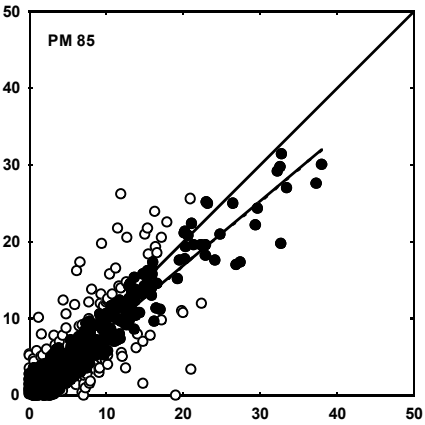

HET 30
0 50 100 150 200 250

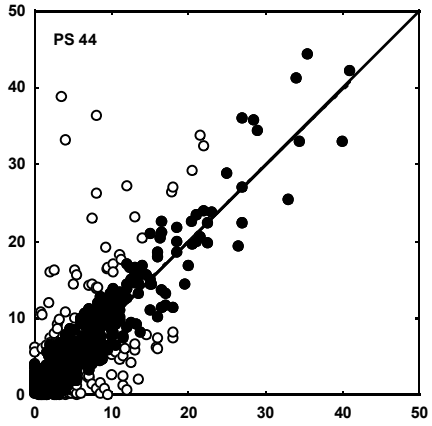

HET 54a
0 10 20 30 40 50 60 70 80

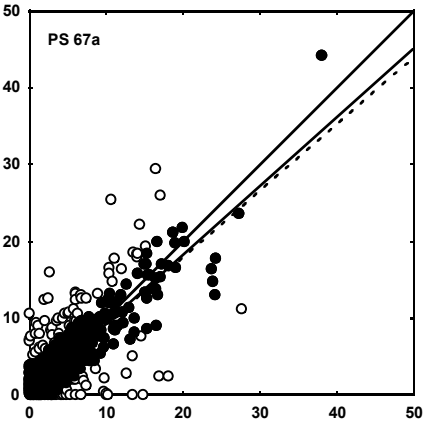

HET 64
0 10 20 30 40 50 60 70 80

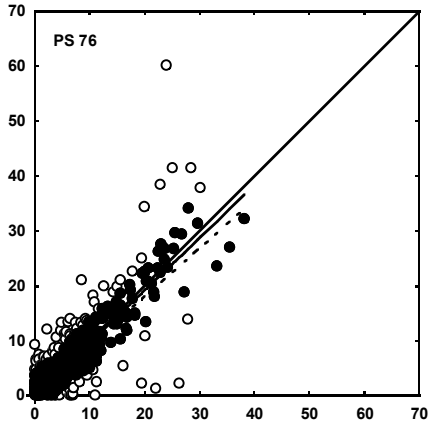

PM 40c
0 10 20 30 40 50 60 70 80

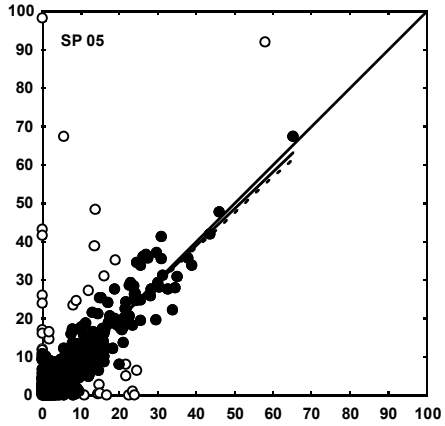

PM 72
0 10 20 30 40 50 60 70

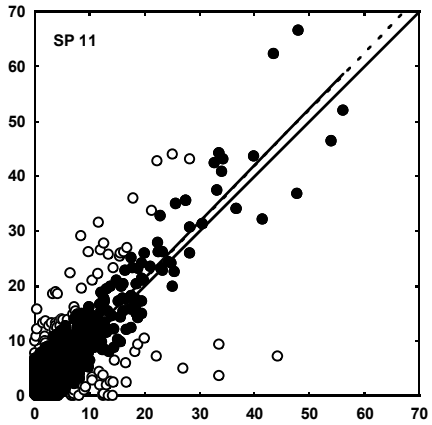

PM 85
0 10 20 30 40 50

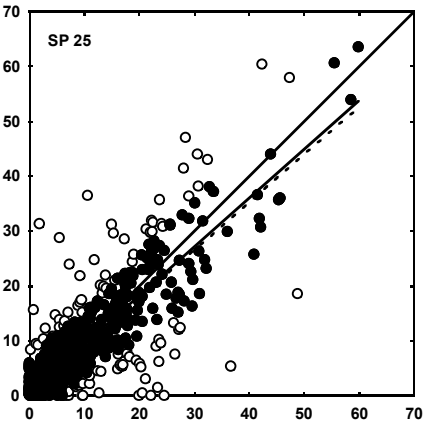

PS 44
0 10 20 30 40 50

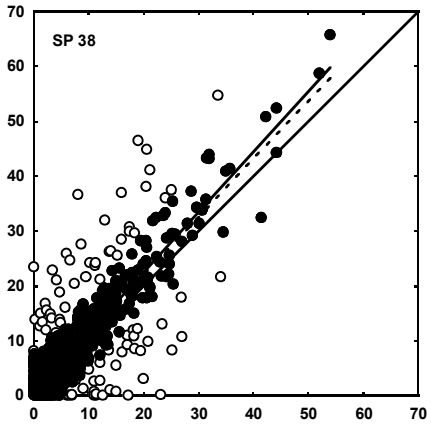

PS 67a
0 10 20 30 40 50

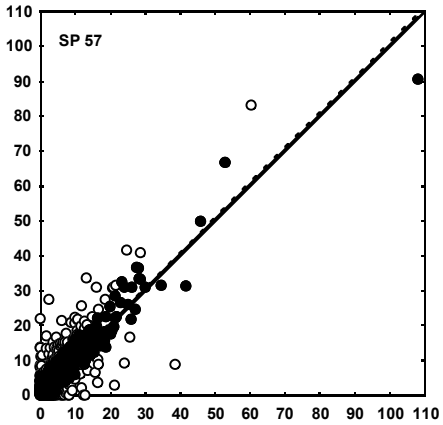

PS 76
0 10 20 30 40 50 60 70

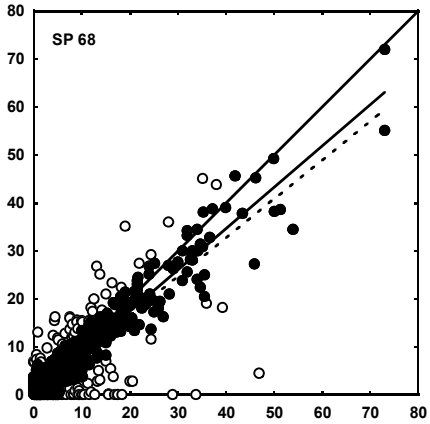

SP 05
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100


SP 11
0 10 20 30 40 50 60 70


SP 25
0 10 20 30 40 50 60 70

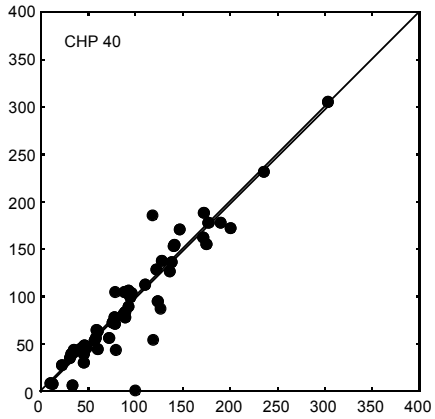

SP 38
0
10
20
30
40
50
60
70

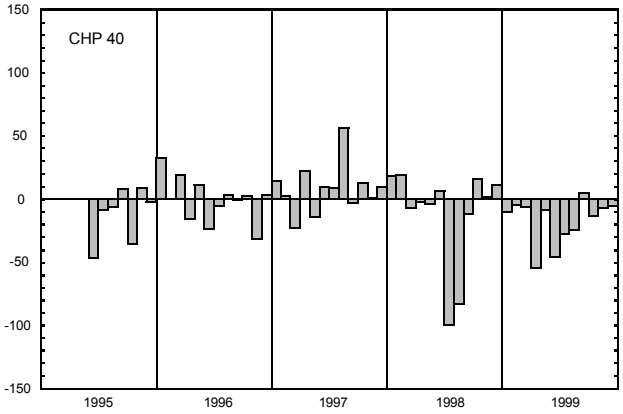

SP 57
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110

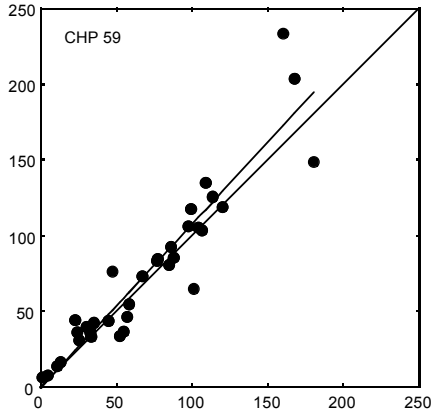

SP 68
0
10
20
30
40
50
60
70
80

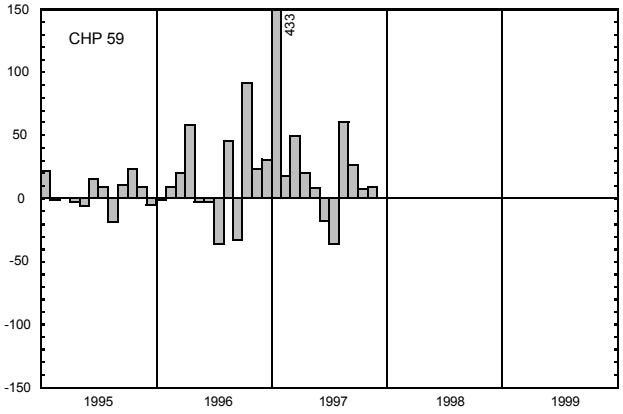
A gauche : relations entre les précipitations mensuelles hors couvert enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions.

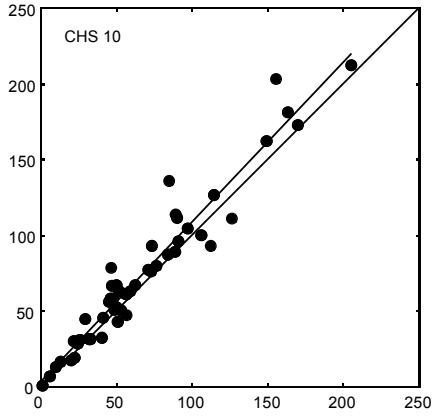
A droite : distribution des écarts relatifs mensuels calculés par la relation :
Ecart (%) = |pluie RENECOFOR – pluie Météo-France| x 100 / pluie MétéoFrance.

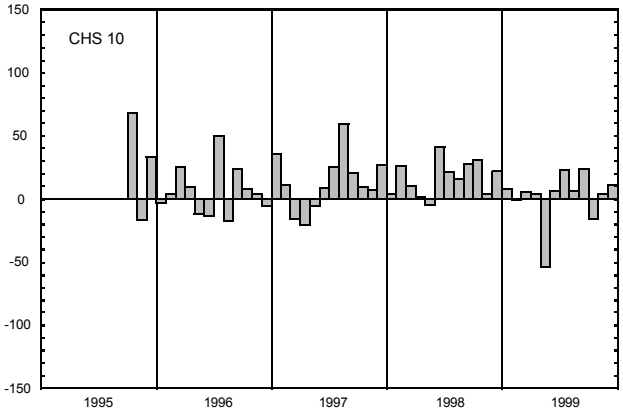


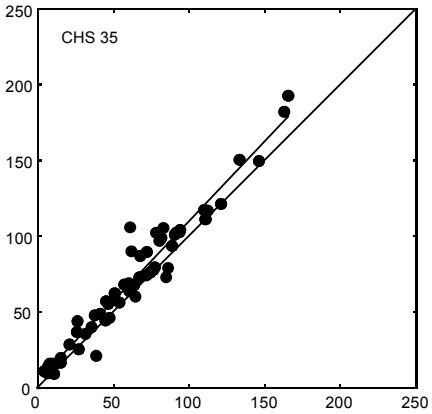


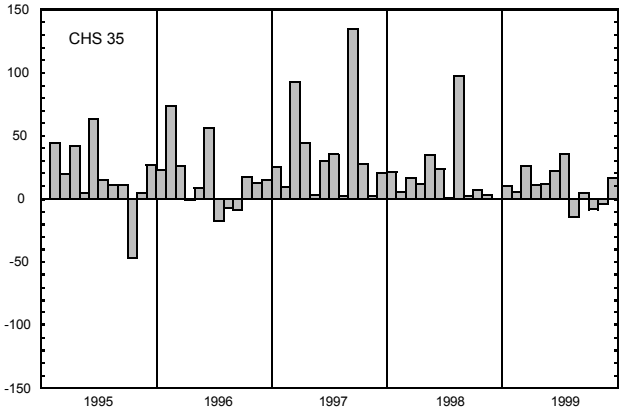


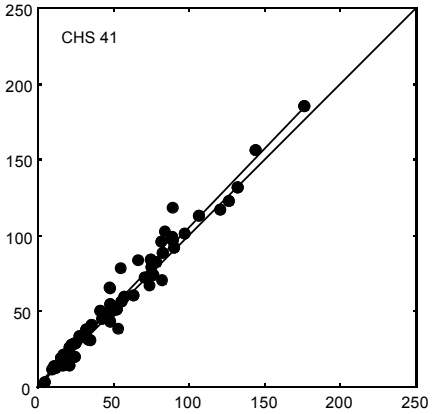


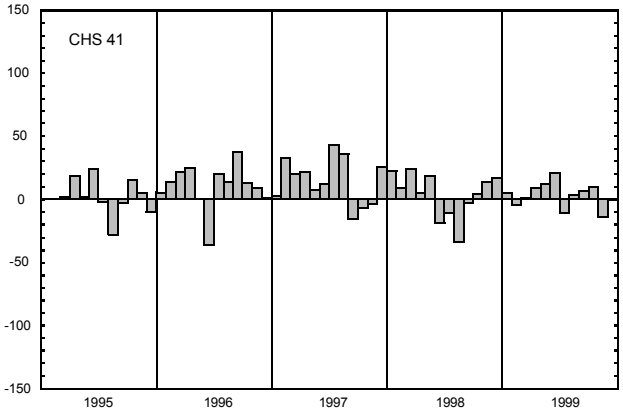


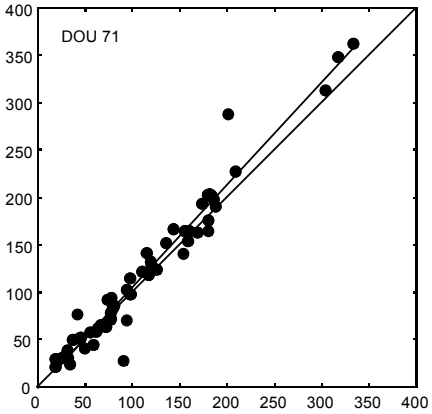


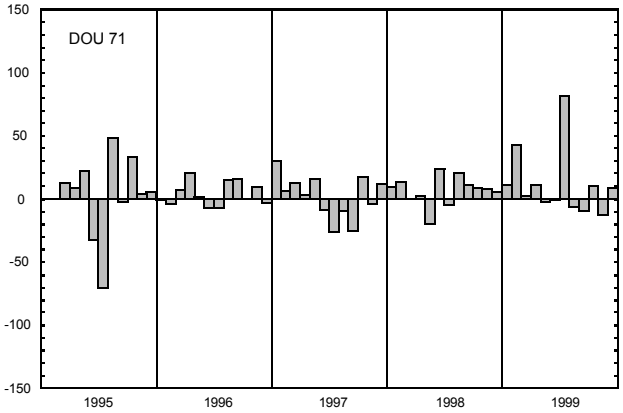

CHS 35
0
50
100
150
200
250

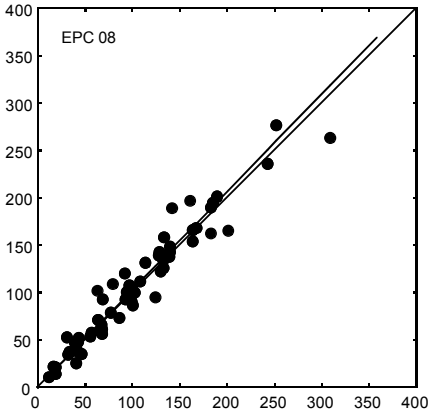

CHS 35
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

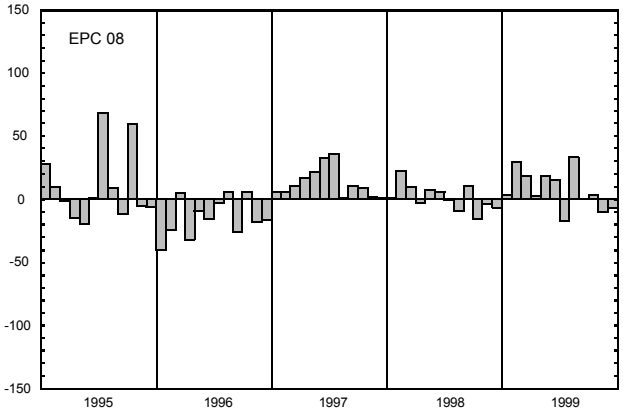

CHS 41
0
50
100
150
200
250

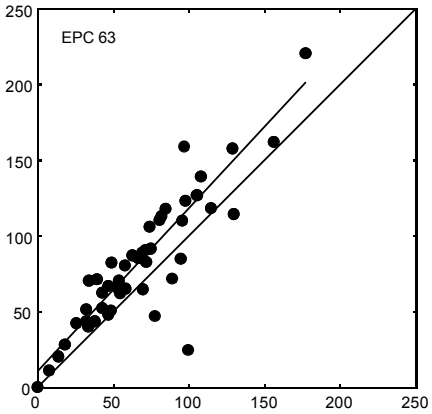

CHS 41
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

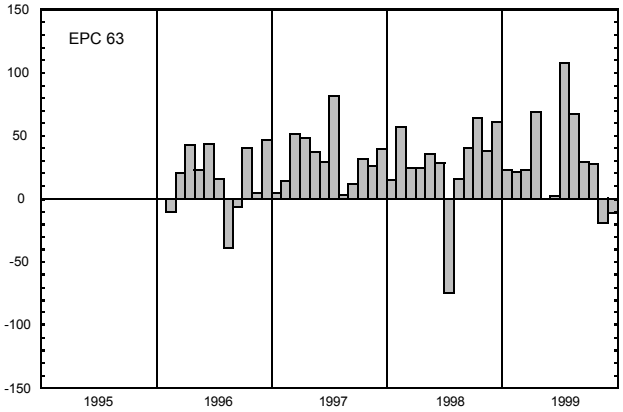

DOU 71
0
50
100
150
200
250
300
350
400

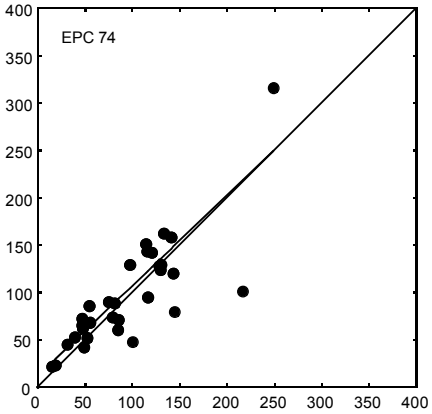

DOU 71
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

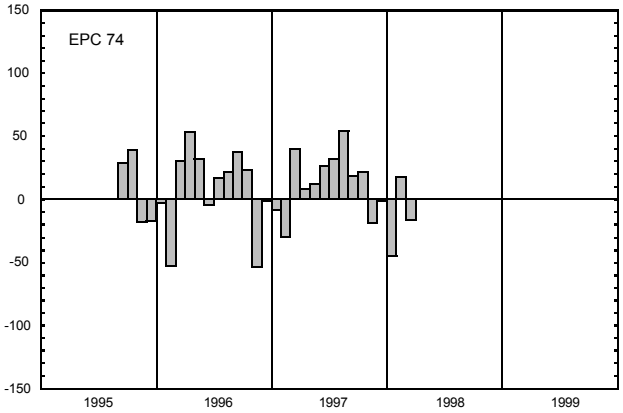

EPC 08
0
50
100
150
200
250
300
350
400

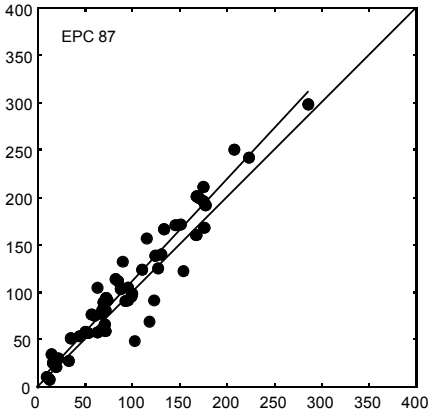

EPC 08
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

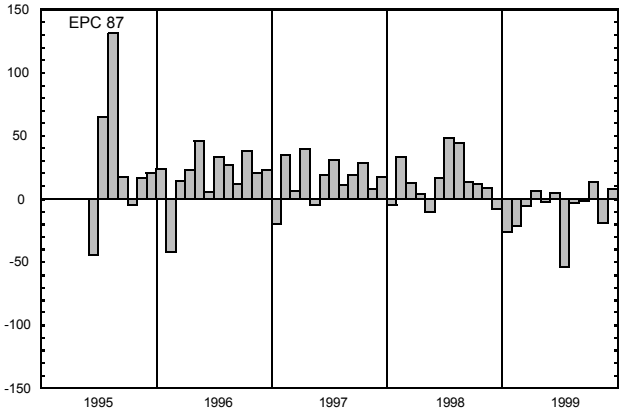

EPC 63
0
50
100
150
200
250

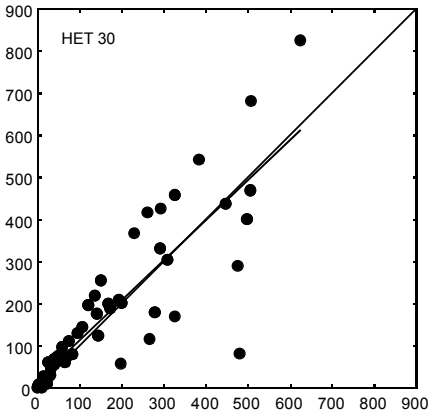

EPC 63
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

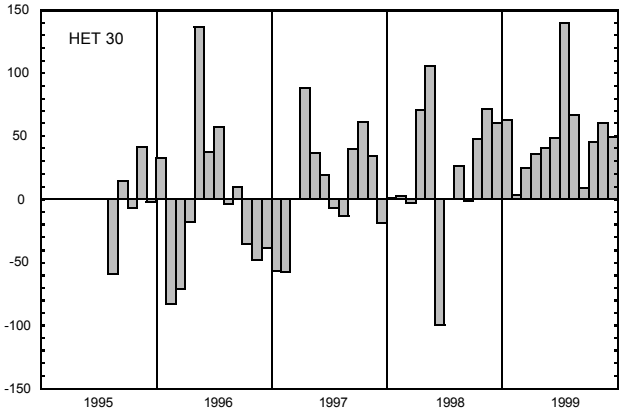

EPC 74
0
50
100
150
200
250
300
350
400

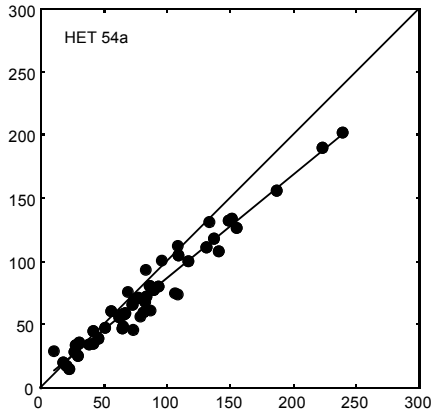

EPC 74
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

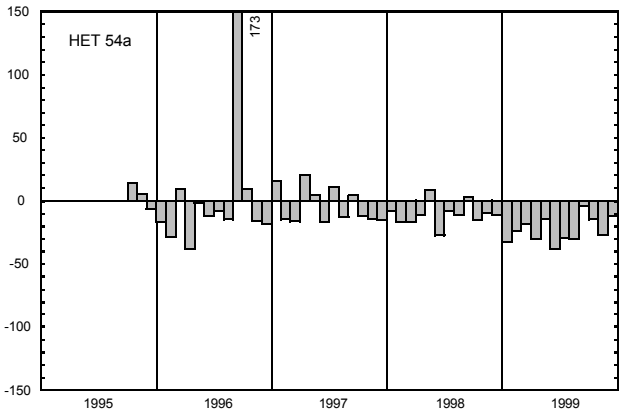

EPC 87
0
50
100
150
200
250
300
350
400

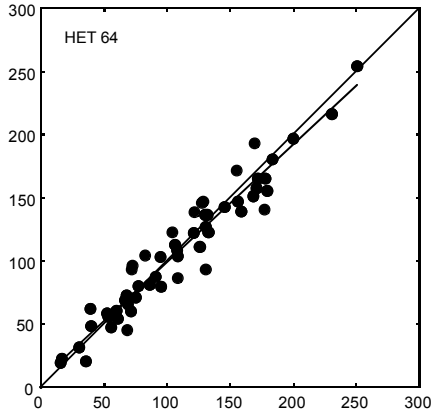

EPC 87
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

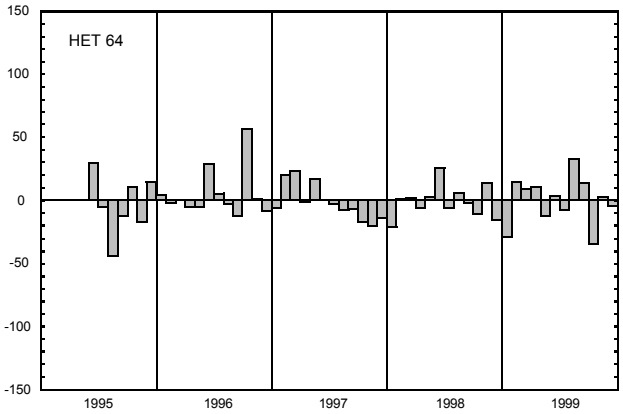

HET 30
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

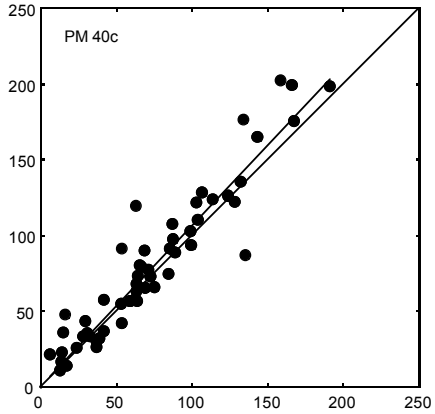

HET 30
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

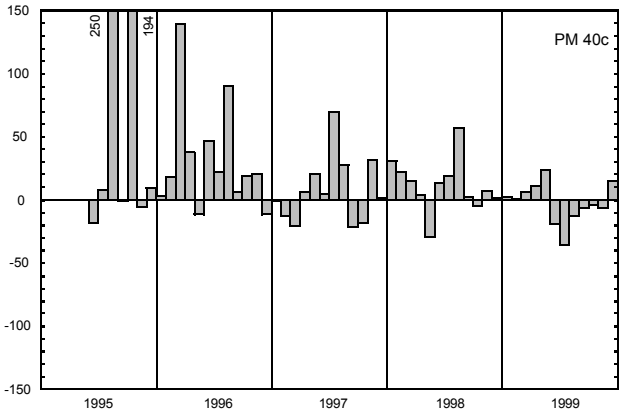

HET 54a
300
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250
300

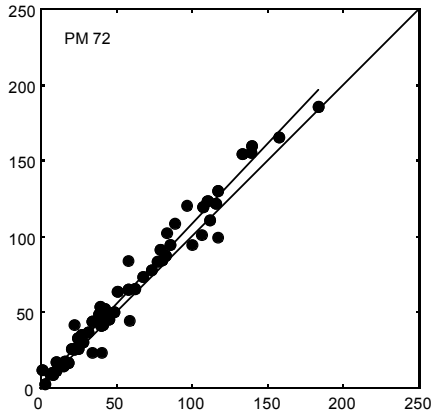

HET 54a
173
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

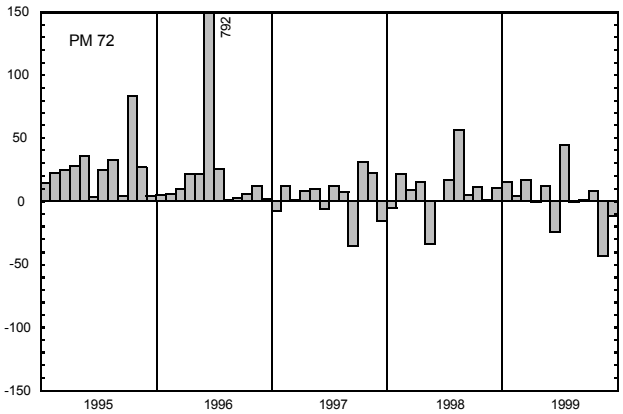

HET 64
300
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250
300

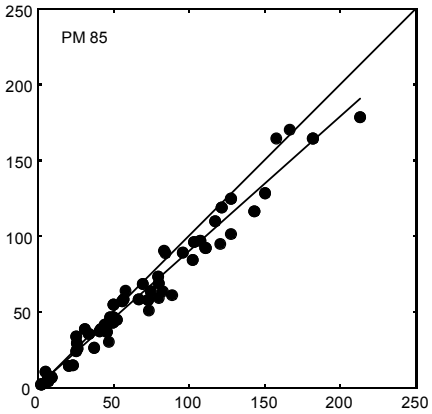

HET 64
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

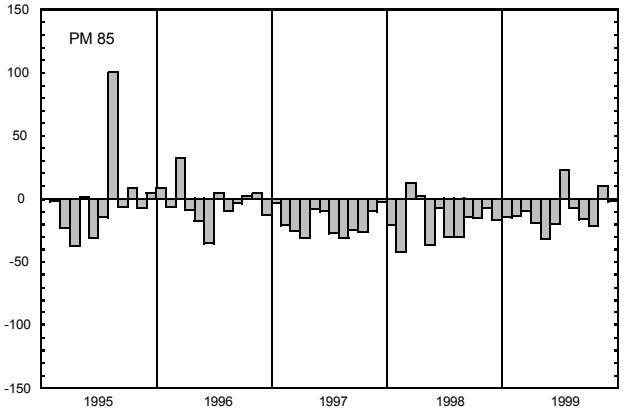

PM 40c
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250

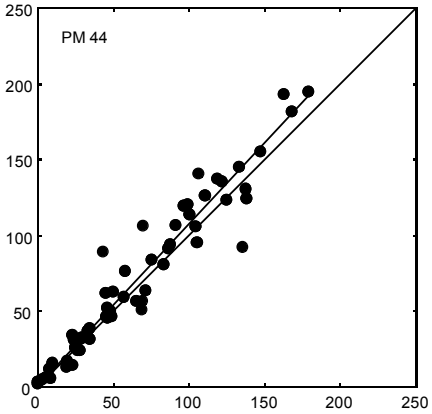

250
194
PM 40c
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

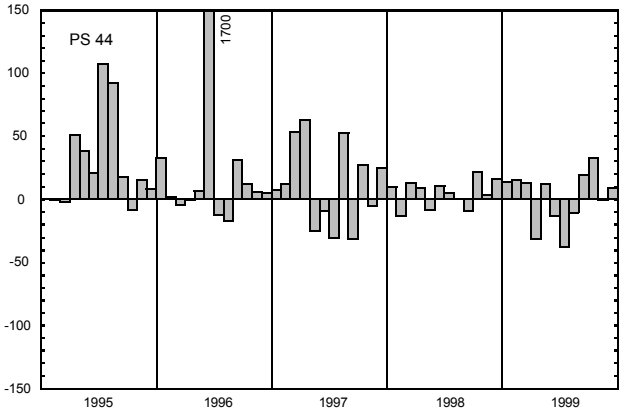

PM 72
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250

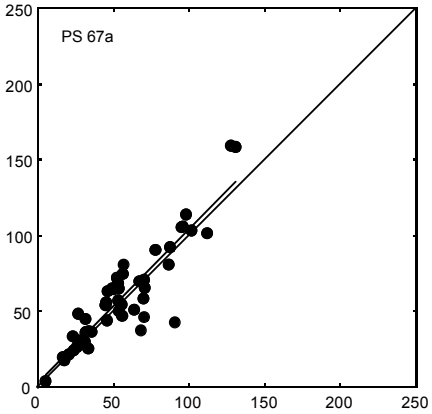

PM 72
792
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

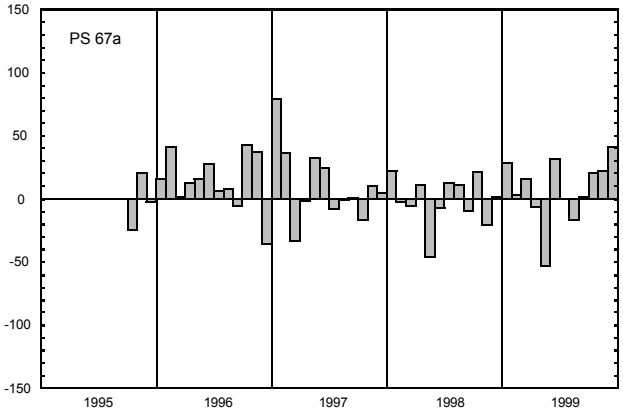

PM 85
0
50
100
150
200
250

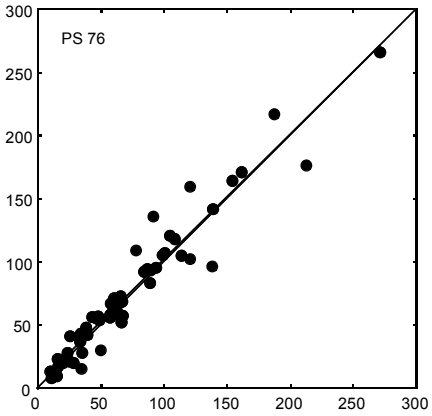

PM 85
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

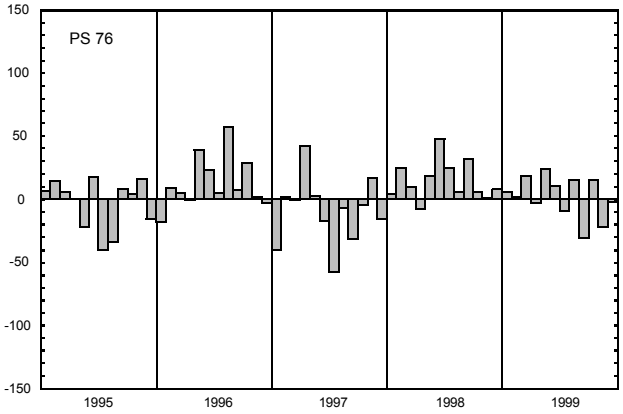

PM 44
0
50
100
150
200
250

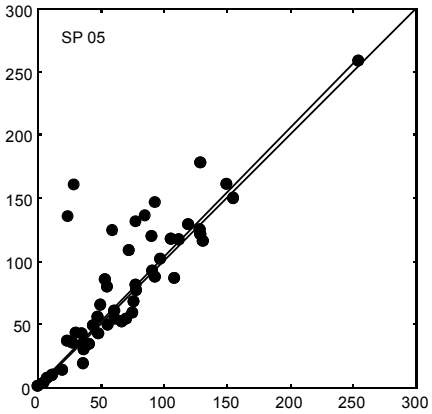

PS 44
1700
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

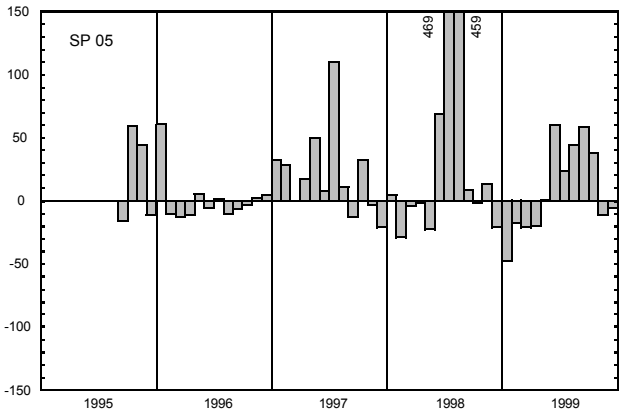

PS 67a
0
50
100
150
200
250

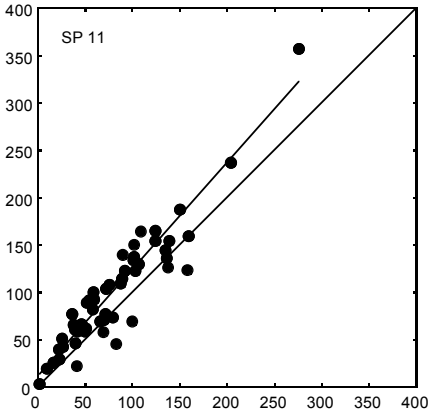

PS 67a
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

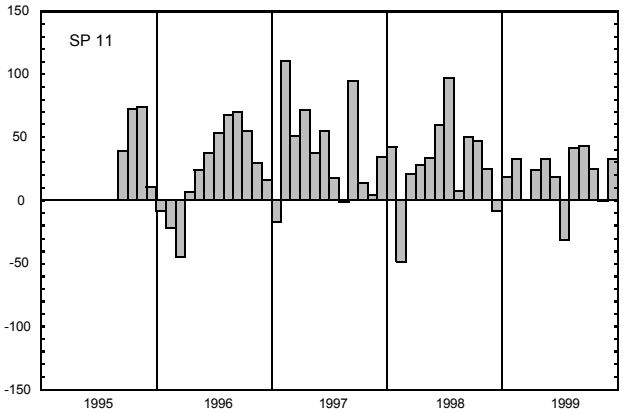

PS 76
0
50
100
150
200
250
300

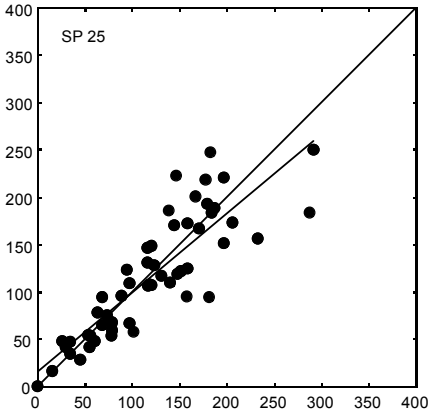

PS 76
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

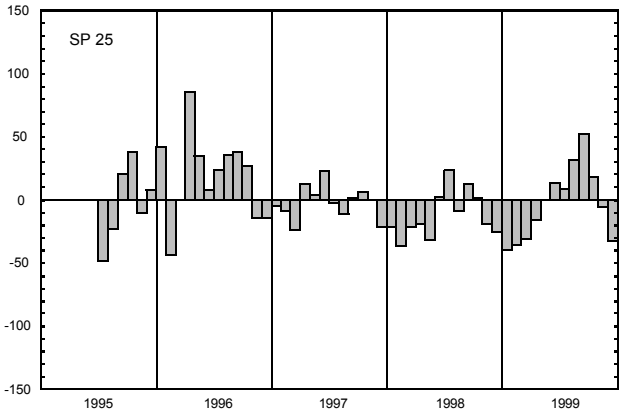

SP 05
0
50
100
150
200
250
300

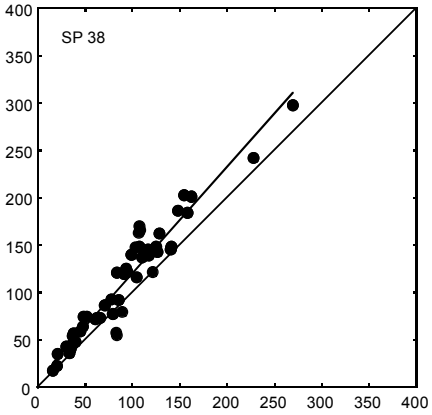

SP 05
469
459
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

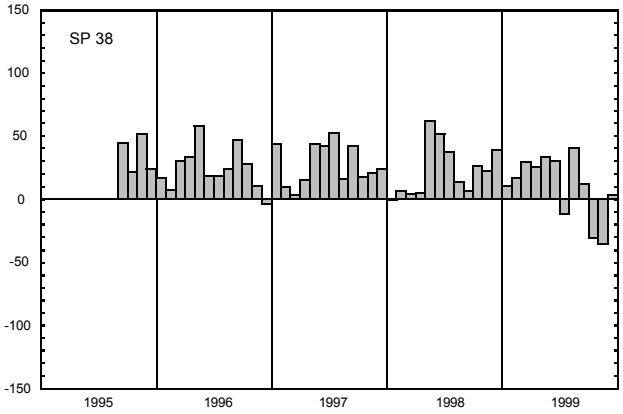

SP 11
0
50
100
150
200
250
300
350
400

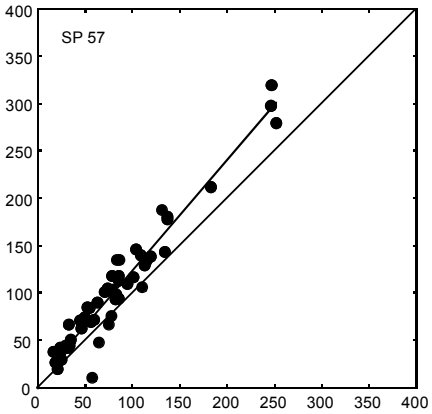

SP 11
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

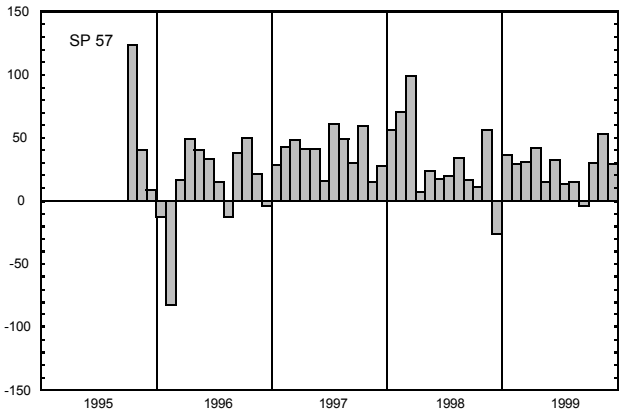

SP 25
0
50
100
150
200
250
300
350
400

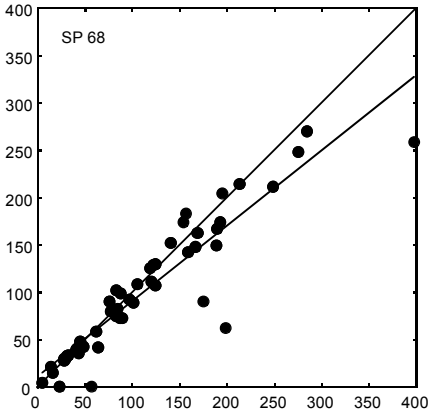

SP 25
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

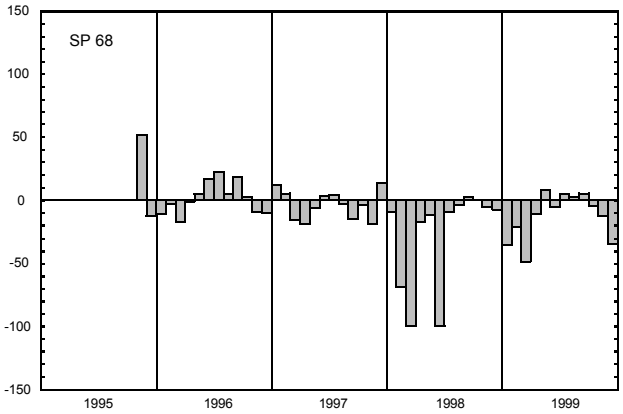

SP 38
0
50
100
150
200
250
300
350
400


SP 38
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

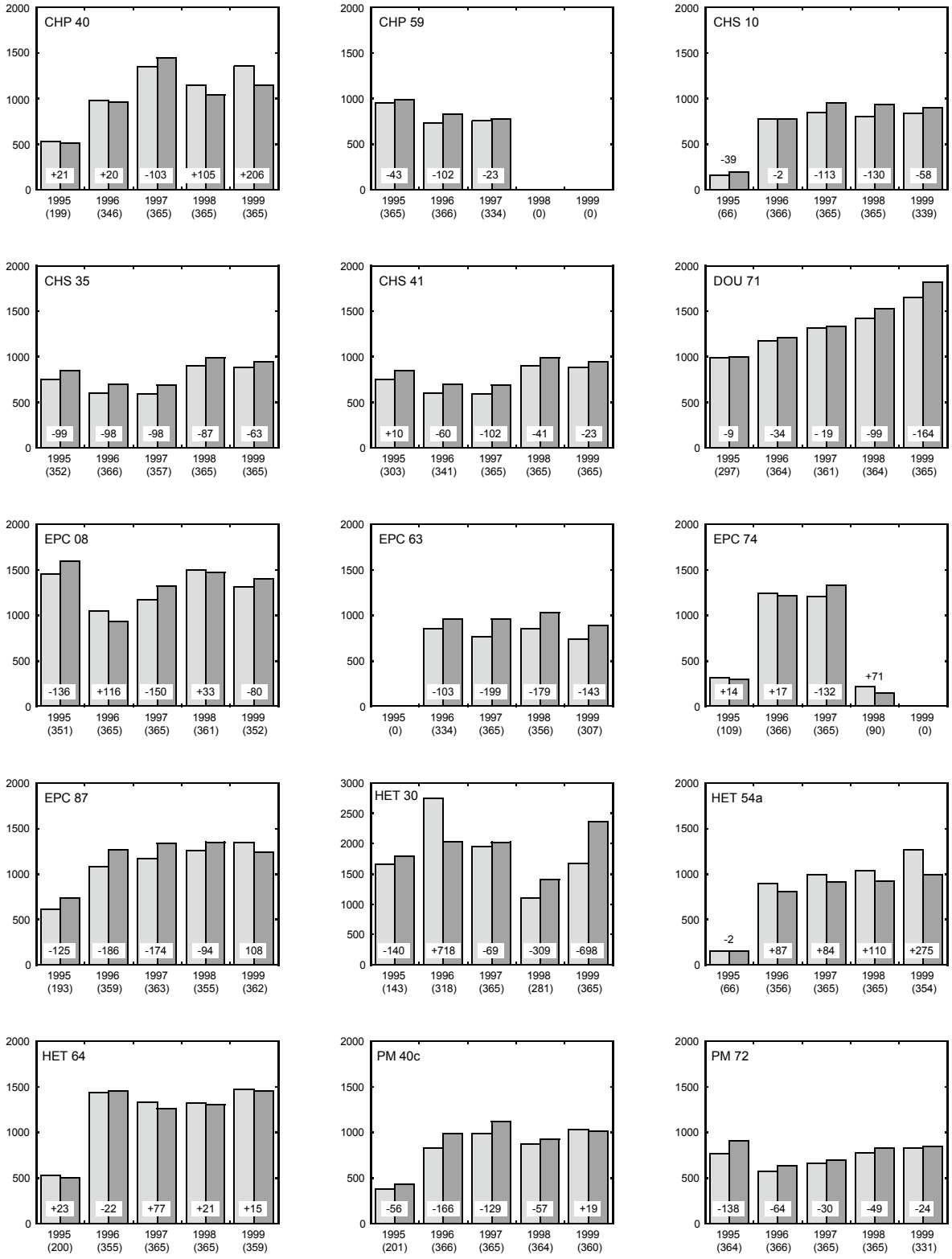

SP 57
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400

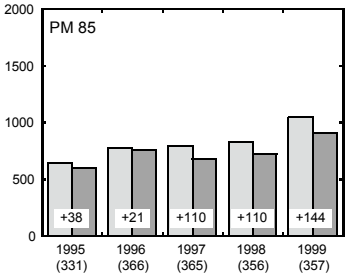

SP 57
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

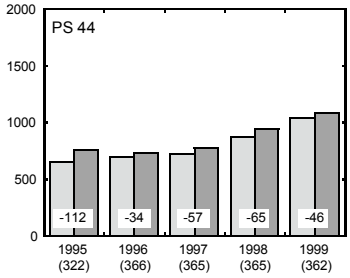

SP 68
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400

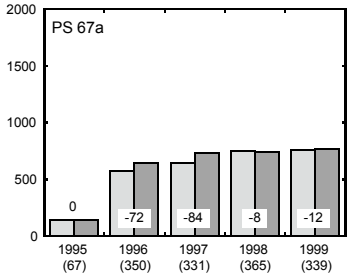

SP 68
150
100
50
0
-50
-100
-150
1995
1996
1997
1998
1999

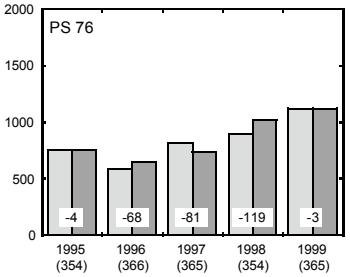
Cumul annuel des pluies enregistrées sur les placettes du réseau RENECOFOR (barres gris foncé à droite) et par Météo-France (barres gris clair à gauche). Nombre de jour de mesure (entre parenthèses) et différence (en mm) « Pluie Météo-France – Pluie RENECOFOR »

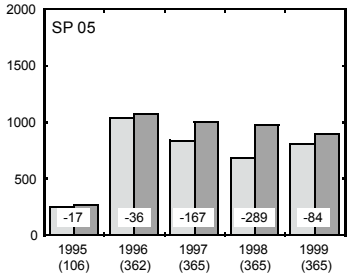


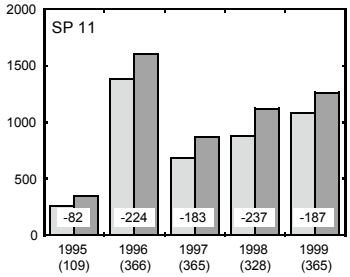

PM 85
2000
1500
1000
500
0
+38
+21
+110
+110
+144
1995 (331)
1996 (366)
1997 (365)
1998 (356)
1999 (357)

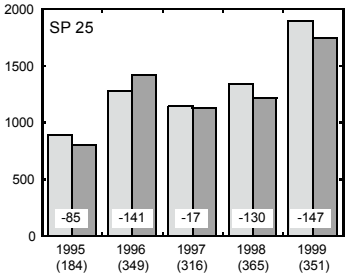

PS 44
2000
1500
1000
500
0
-112
-34
-57
-65
-46
1995 (322)
1996 (366)
1997 (365)
1998 (365)
1999 (362)

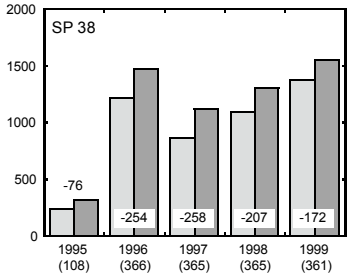

PS 67a
2000
1500
1000
500
0
0
-72
-84
-8
-12
1995 (67)
1996 (350)
1997 (331)
1998 (365)
1999 (339)

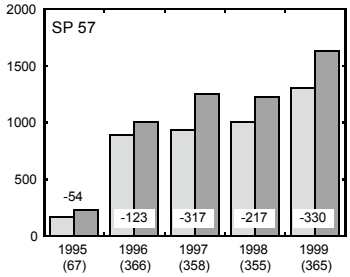

PS 76
2000
1500
1000
500
0
-4
-68
-81
-119
-3
1995 (354)
1996 (366)
1997 (365)
1998 (354)
1999 (365)

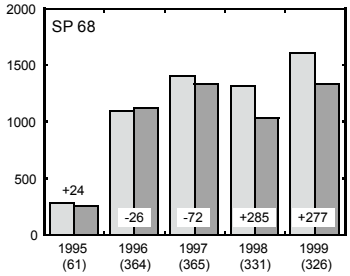

SP 05
2000
1500
1000
500
0
-17
-36
-167
-289
-84
1995 (106)
1996 (362)
1997 (365)
1998 (365)
1999 (365)


SP 11
2000
1500
1000
500
0
-82
-224
-183
-237
-187
1995 (109)
1996 (366)
1997 (365)
1998 (328)
1999 (365)

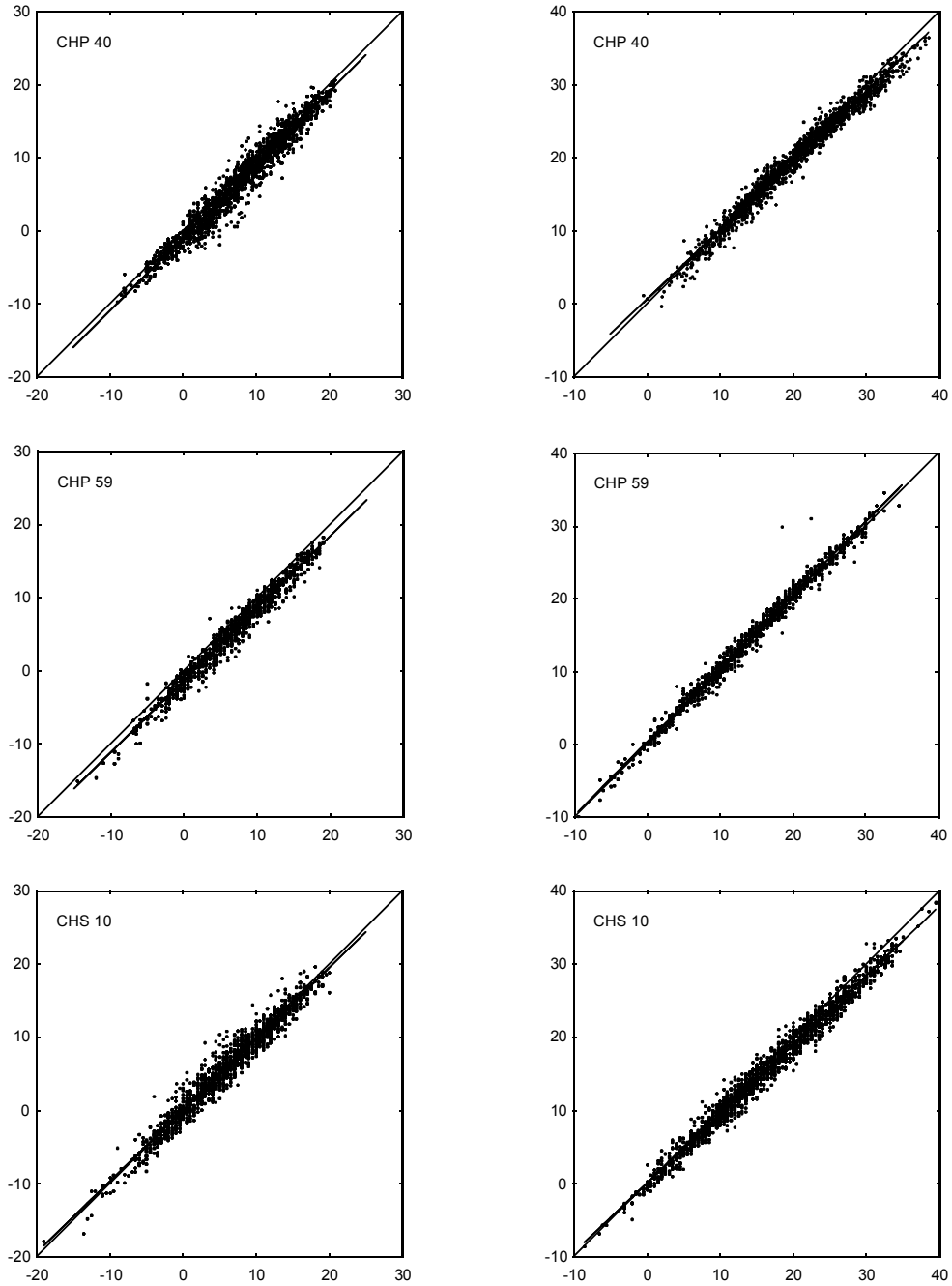

SP 25
2000
1500
1000
500
0
-85
-141
-17
-130
-147
1995 (184)
1996 (349)
1997 (316)
1998 (365)
1999 (351)

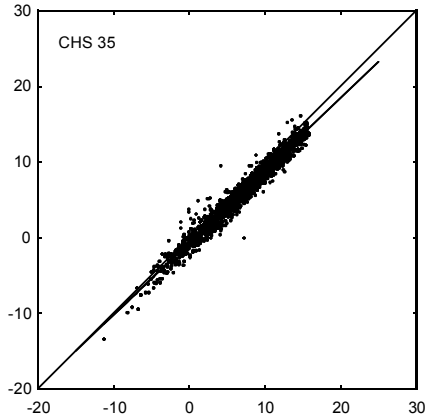

SP 38
2000
1500
1000
500
0
-76
-254
-258
-207
-172
1995 (108)
1996 (366)
1997 (365)
1998 (365)
1999 (361)

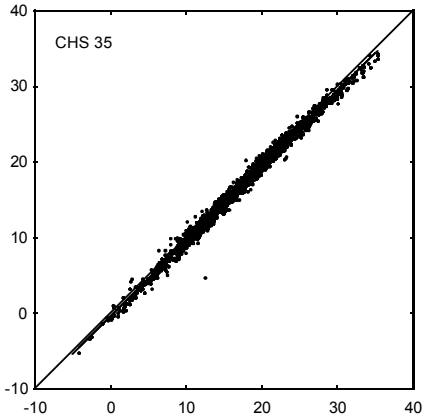

SP 57
2000
1500
1000
500
0
-54
-123
-317
-217
-330
1995 (67)
1996 (366)
1997 (358)
1998 (355)
1999 (365)

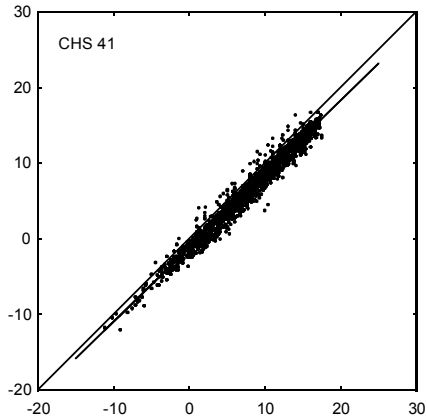

SP 68
2000
1500
1000
500
0
+24
-26
-72
+285
+277
1995 (61)
1996 (364)
1997 (365)
1998 (331)
1999 (326)

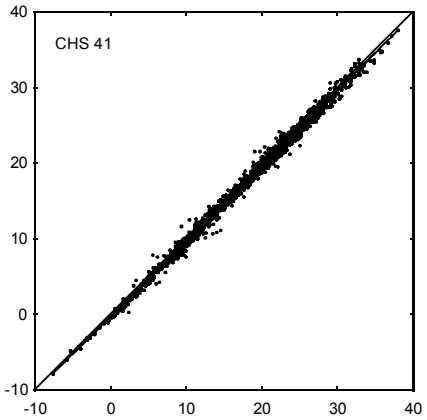
Relations entre les températures hors couvert enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression. A gauche, températures minimales ; à droite, températures maximales.

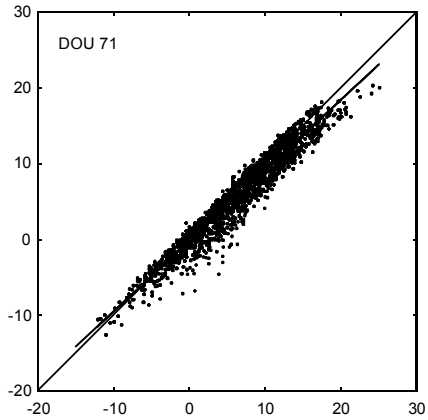


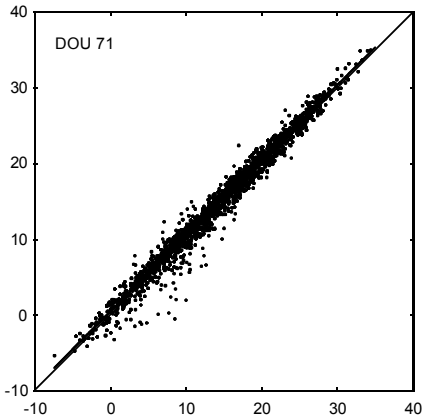

CHS 35
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

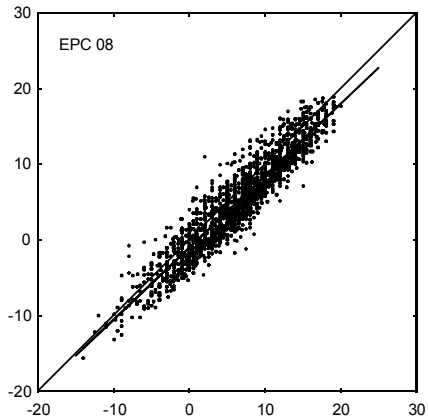

CHS 35
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

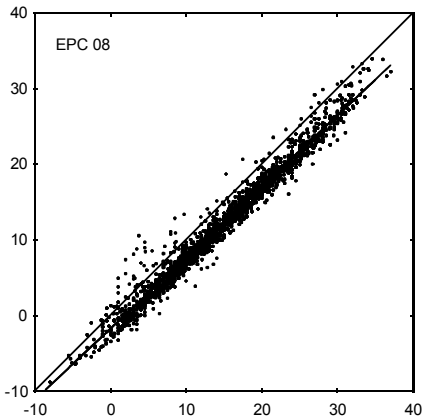

CHS 41
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

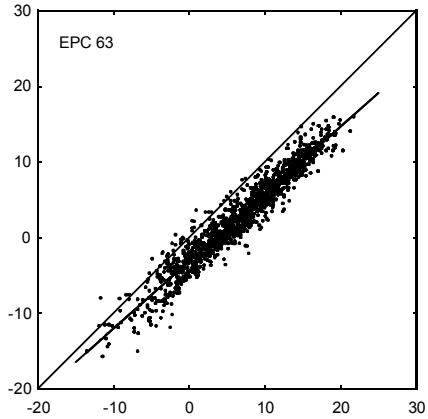

CHS 41
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

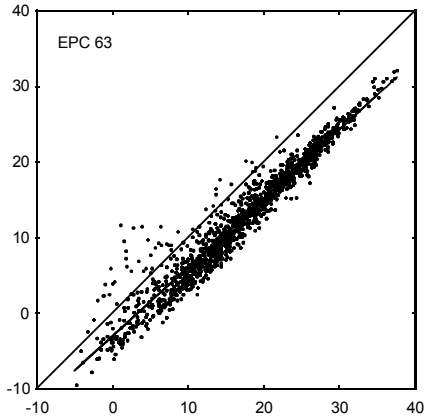

DOU 71
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

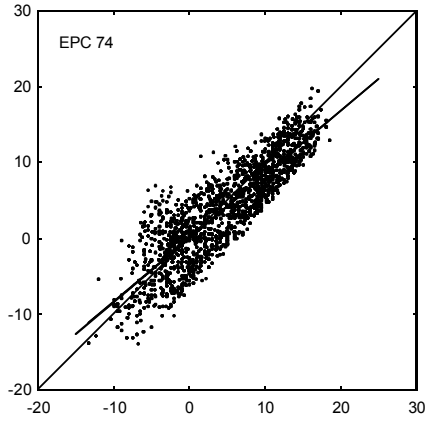

DOU 71
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

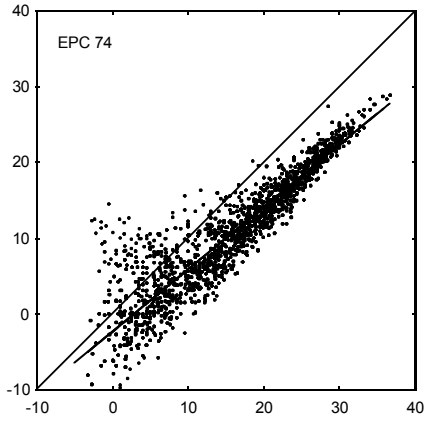

EPC 08
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

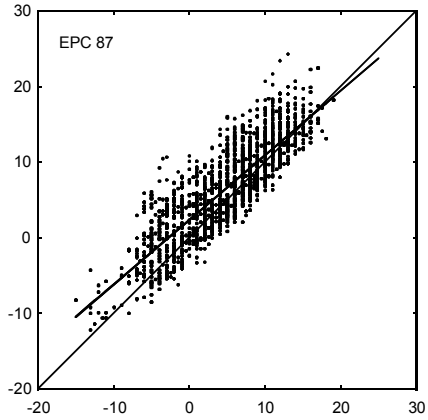

EPC 08
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

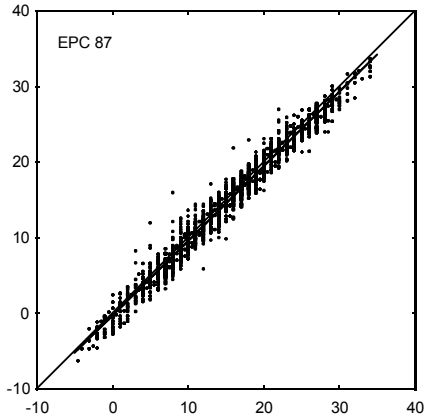

EPC 63
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

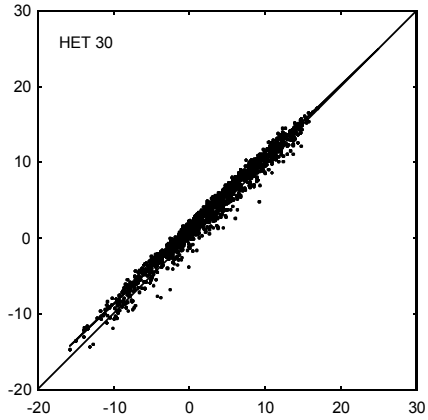

EPC 63
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

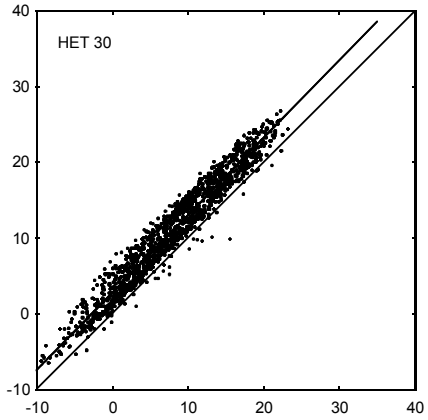

EPC 74
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

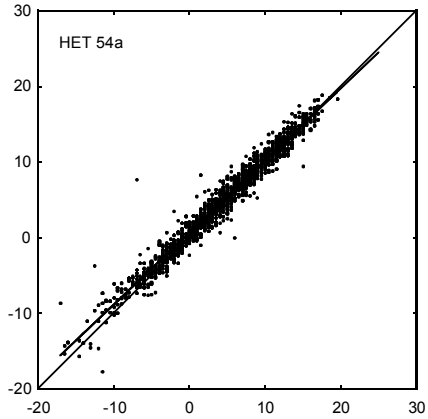

EPC 74
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

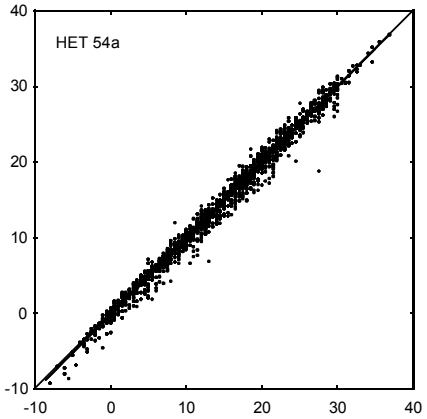

EPC 87
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

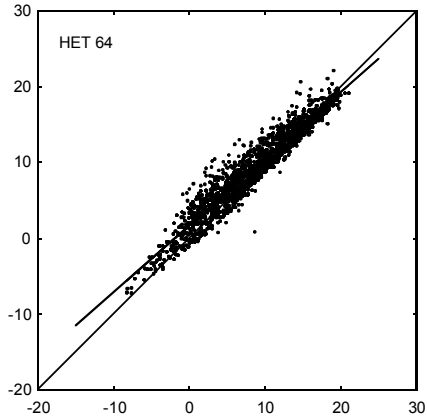

EPC 87
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

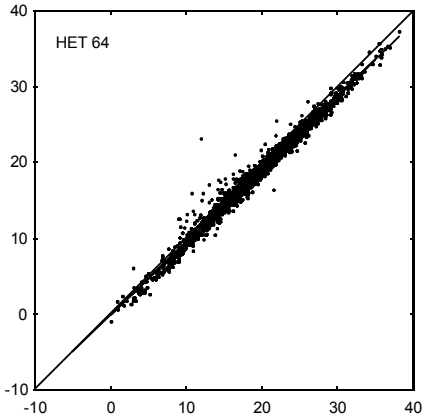

HET 30
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

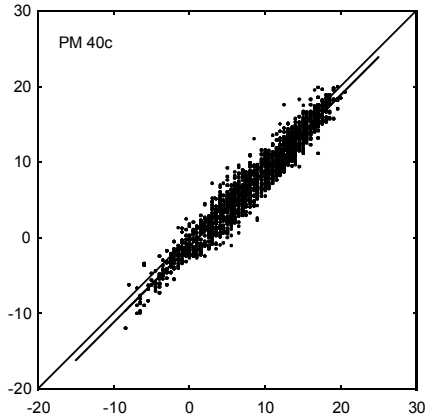

HET 30
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

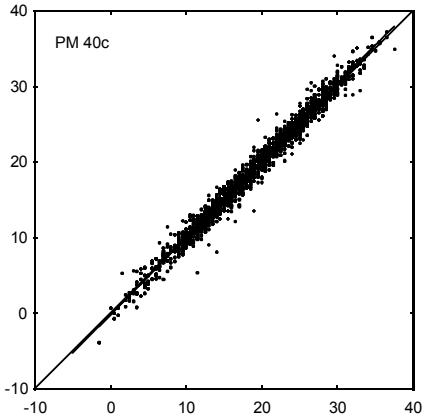

HET 54a
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

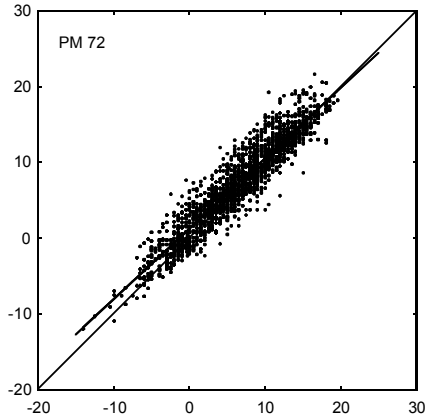

HET 54a
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

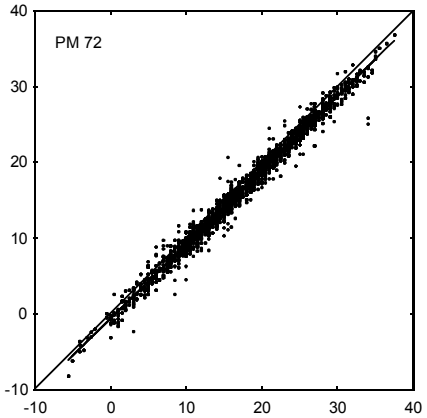

HET 64
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

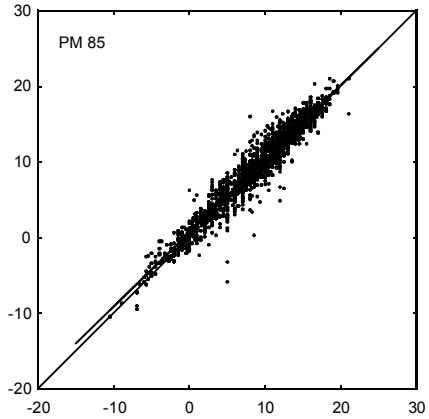

HET 64
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

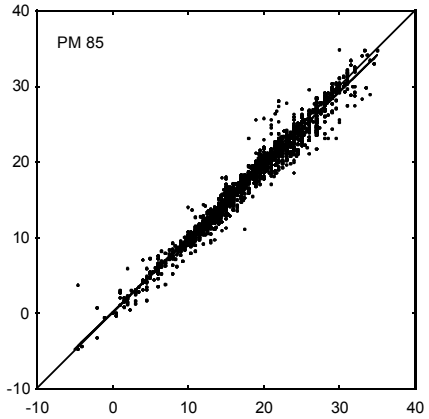

PM 40c
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

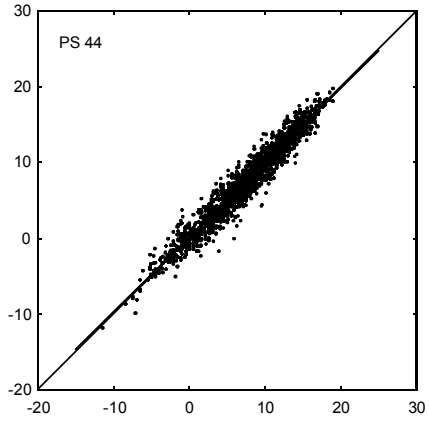

PM 40c
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

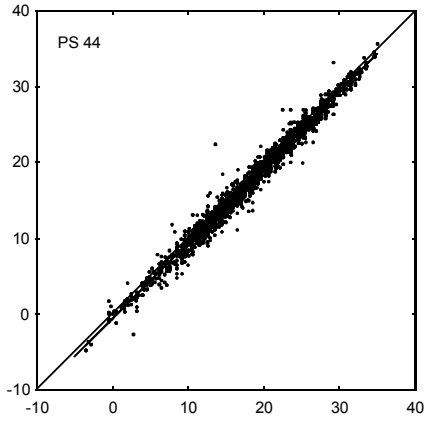

PM 72
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

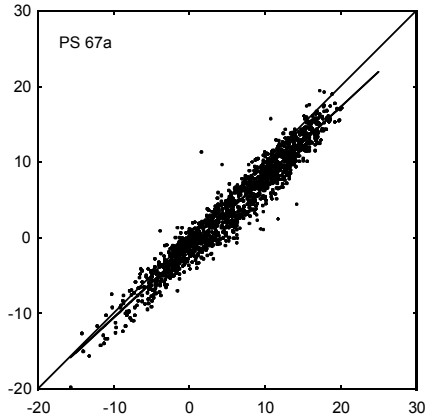

PM 72
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

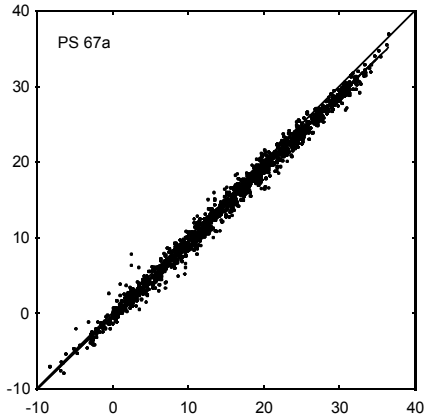

PM 85
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

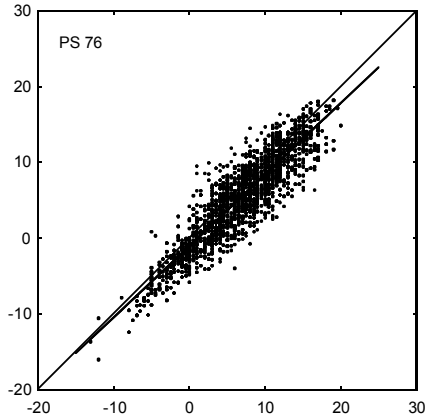

PM 85
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

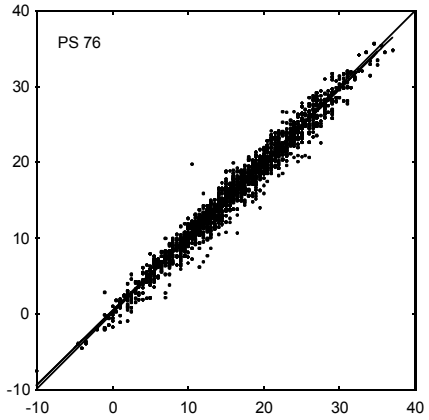

PS 44
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

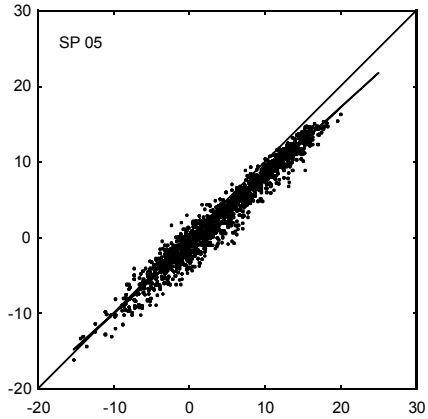

PS 44
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

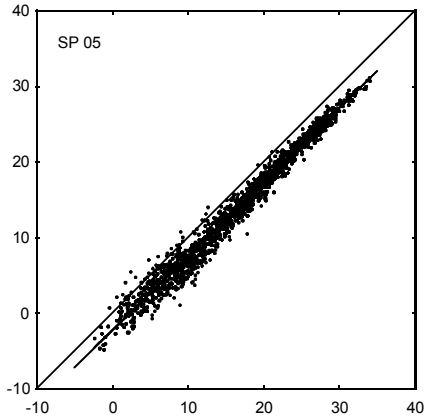

PS 67a
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

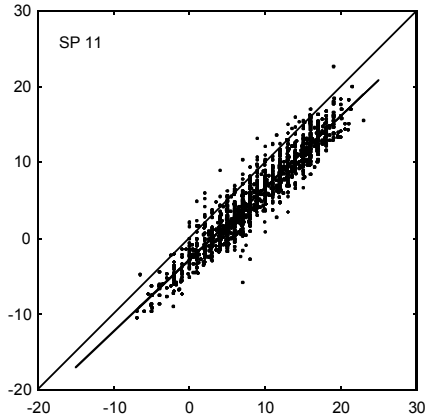

PS 67a
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

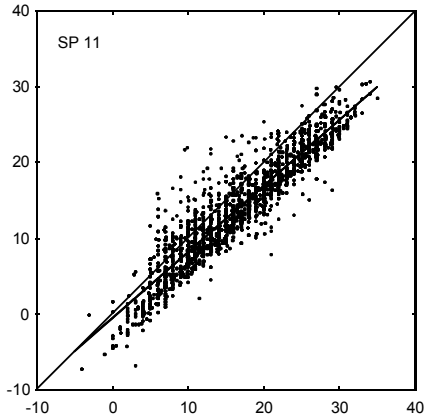

PS 76
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

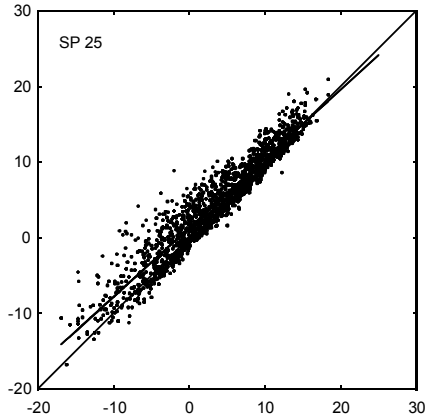

PS 76
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

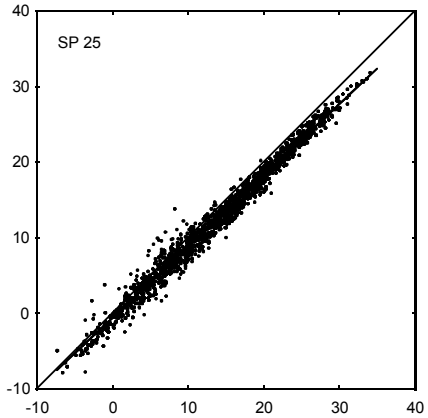

SP 05
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

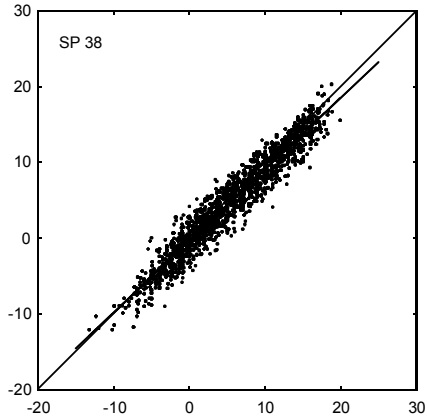

SP 05
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

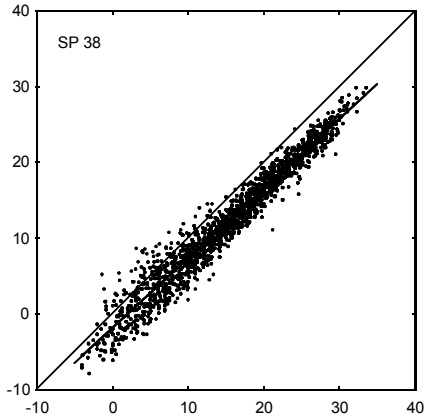

SP 11
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

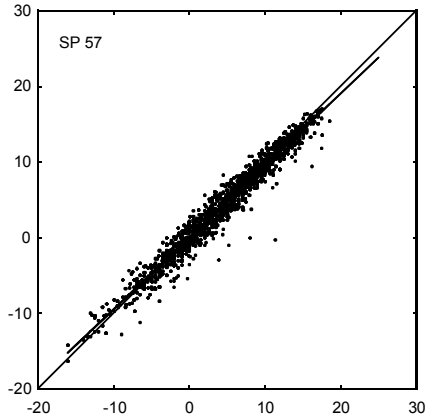

SP 11
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

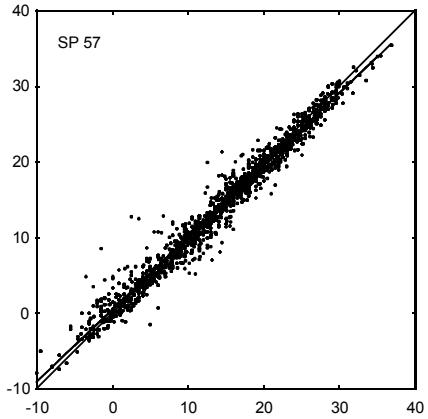

SP 25
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

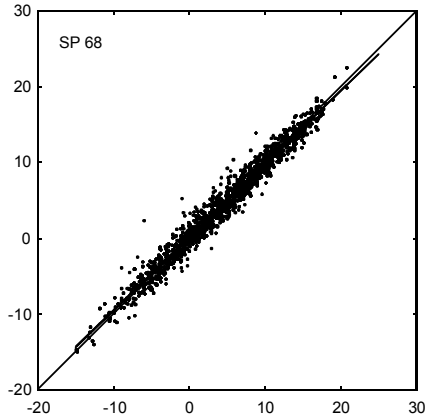

SP 25
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

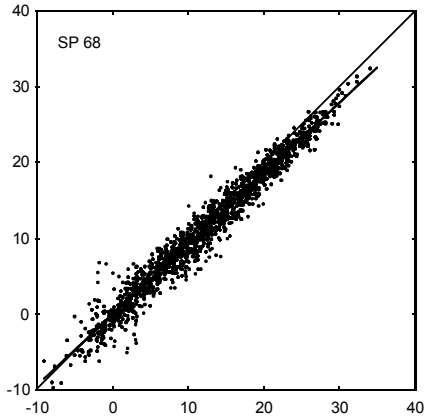

SP 38
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30


SP 38
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40


SP 57
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30

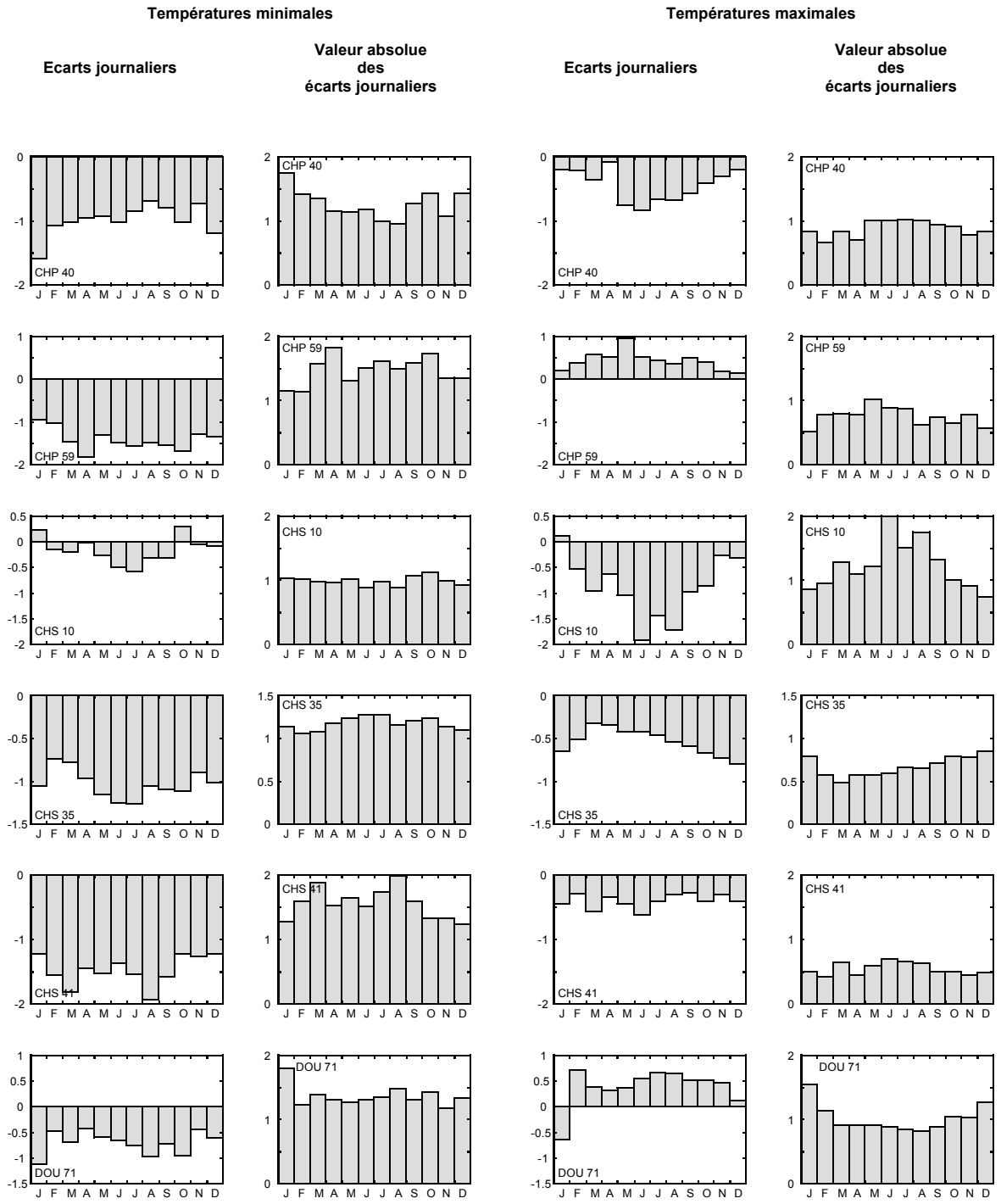

SP 57
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40


SP 68
30
20
10
0
-10
-20
-20
-10
0
10
20
30


SP 68
40
30
20
10
0
-10
-10
0
10
20
30
40

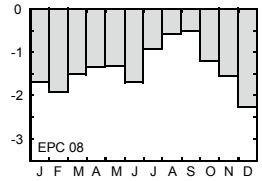
MOYENNES MENSUELLES DES ECARTS JOURNALIERS DE TEMPERATURES

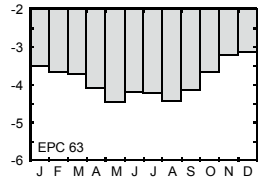
Moyennes mensuelles des écarts journaliers « température RENECOFOR – température Météo-France » et de la valeur absolue de ces écarts pour les températures minimales et maximales enregistrées sur les 25 placettes du sous-réseau météorologique.

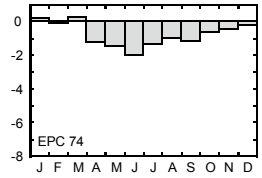


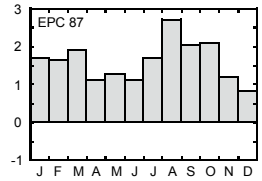
Températures minimales

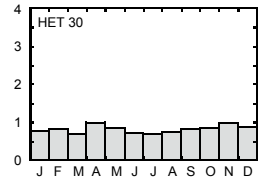
Ecarts journaliers

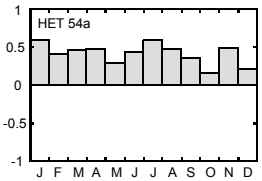


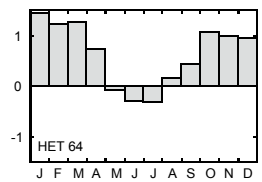


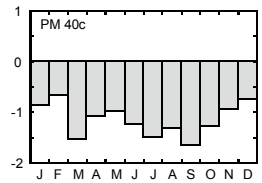




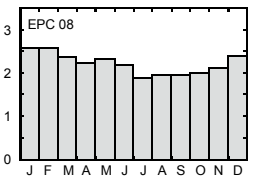


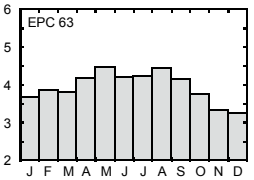


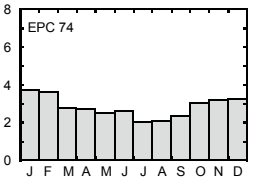


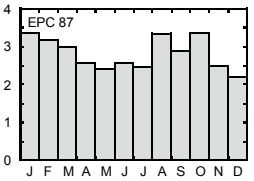


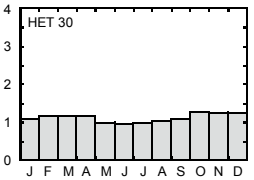
Valeur absolue des écarts journaliers

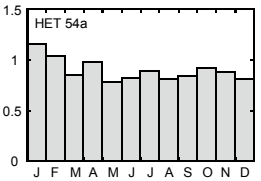


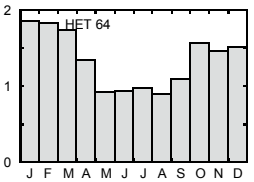


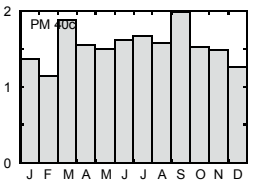






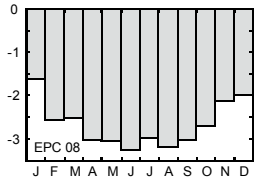


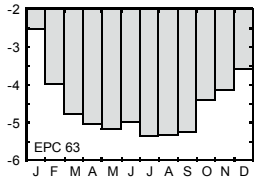


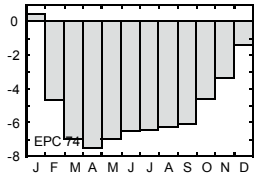


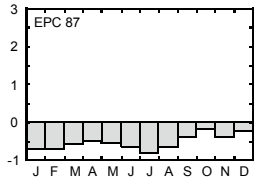
Températures maximales

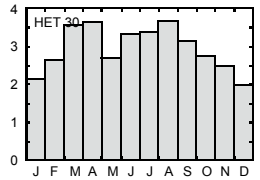
Ecarts journaliers

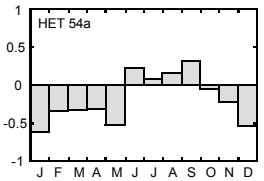


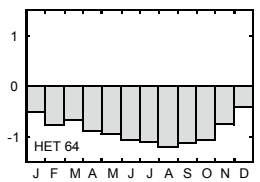


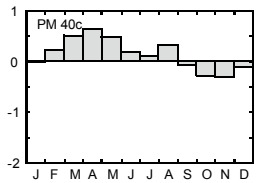




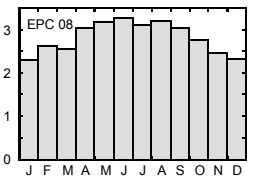


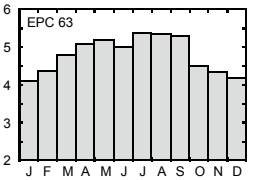


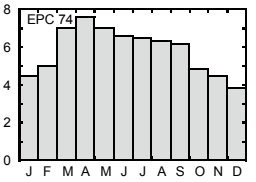


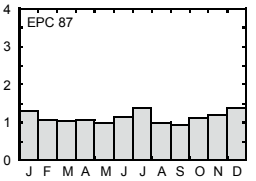


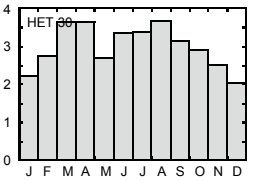
Valeur absolue des écarts journaliers

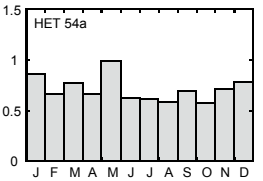


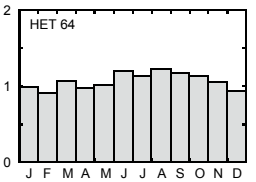


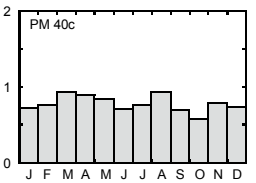












Températures minimales

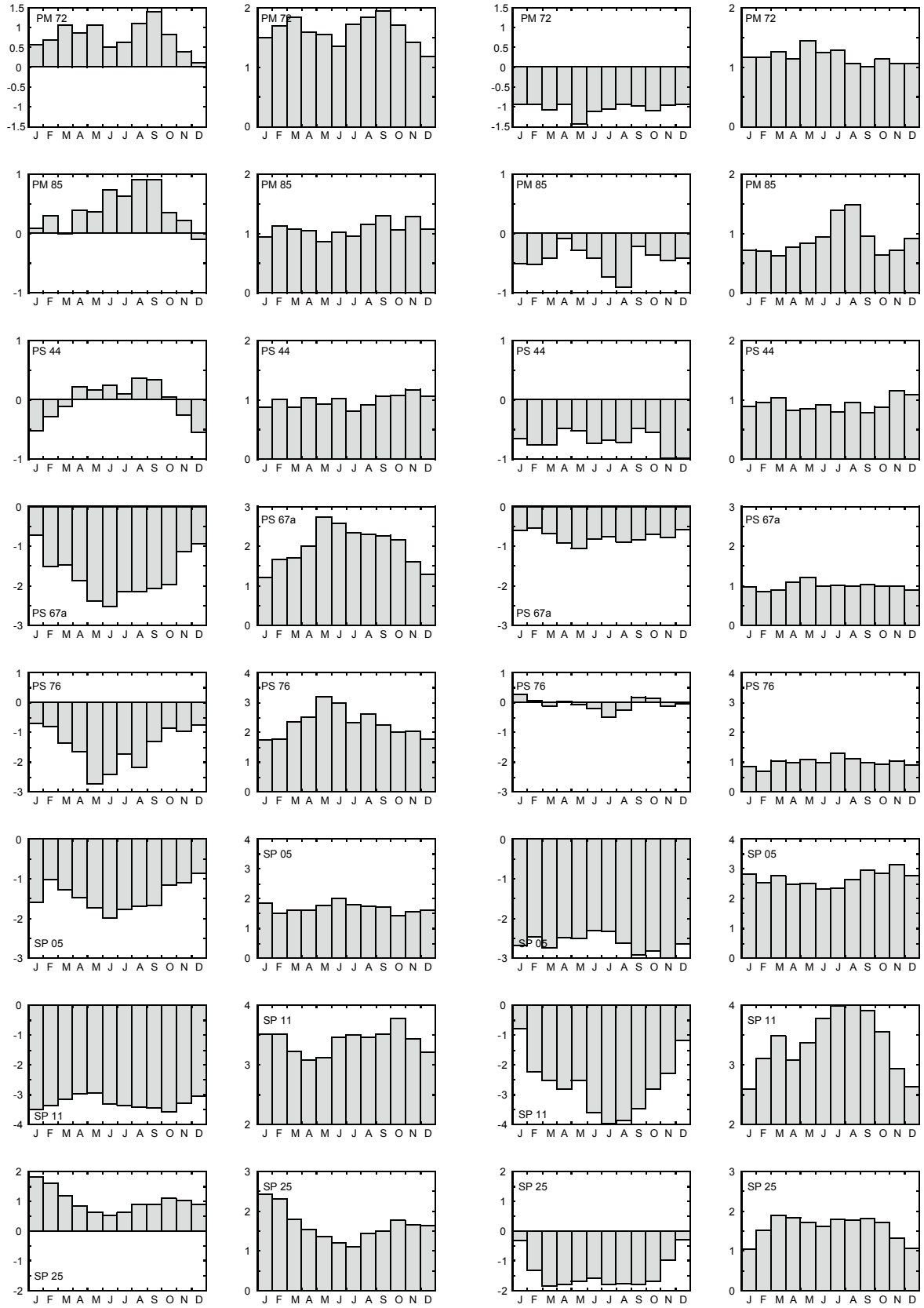
Ecarts journaliers

Valeur absolue des écarts journaliers

Températures maximales

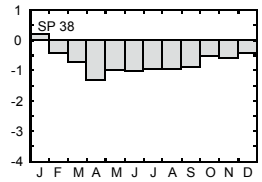
Ecarts journaliers

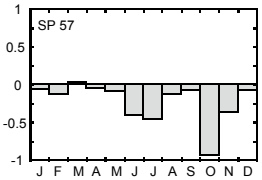
Valeur absolue des écarts journaliers

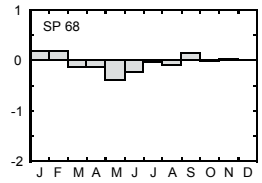


Températures minimales

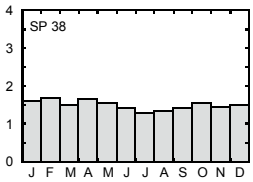
Ecarts journaliers

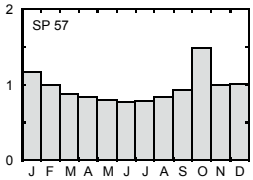


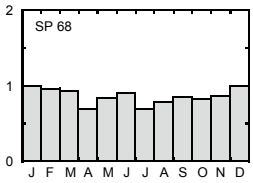




Valeur absolue des écarts journaliers

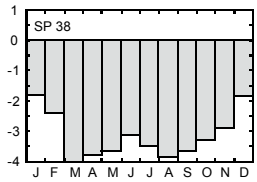


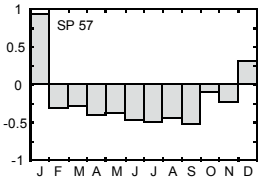


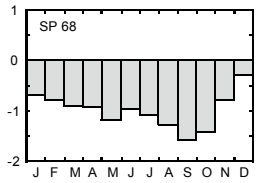


Températures maximales

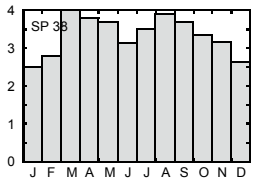
Ecarts journaliers

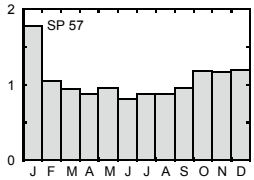


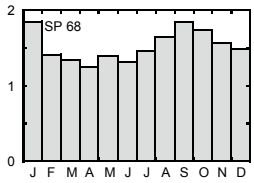




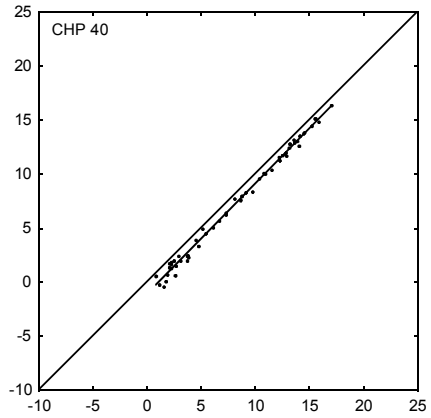
Valeur absolue des écarts journaliers

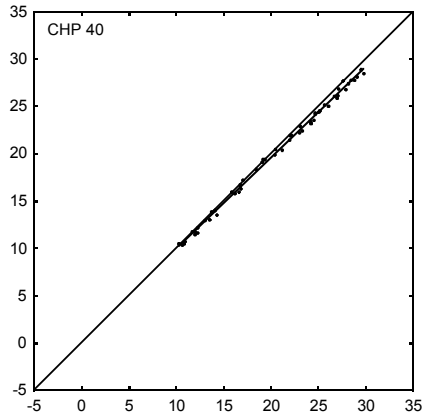


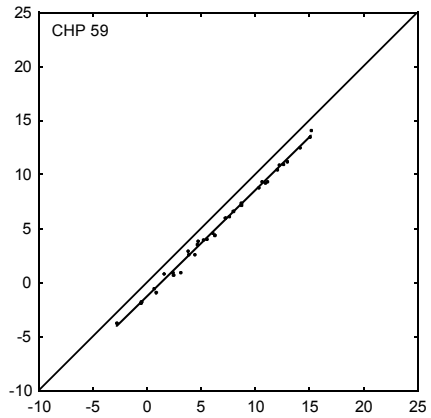


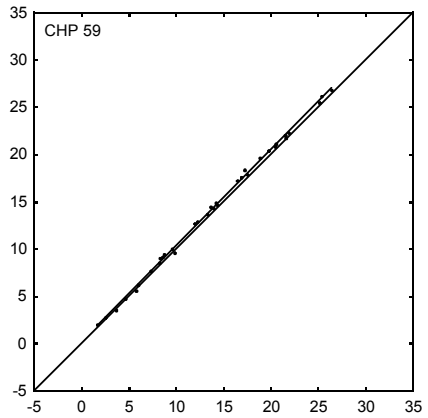


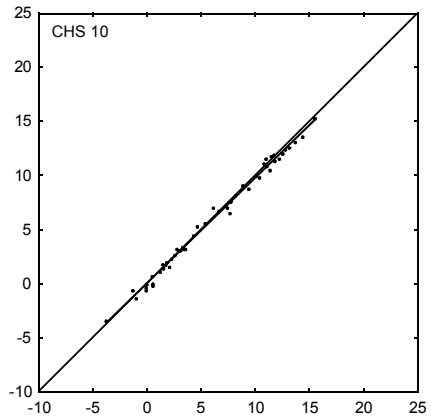
Relations entre les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression.
A gauche, températures minimales ; à droite, températures maximales.

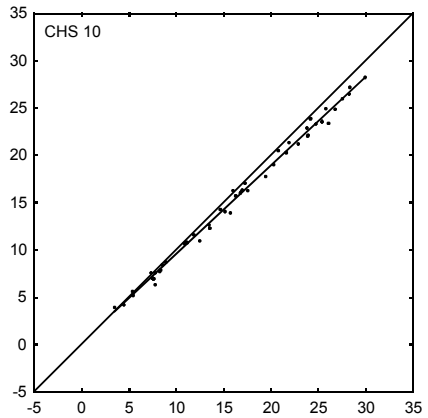


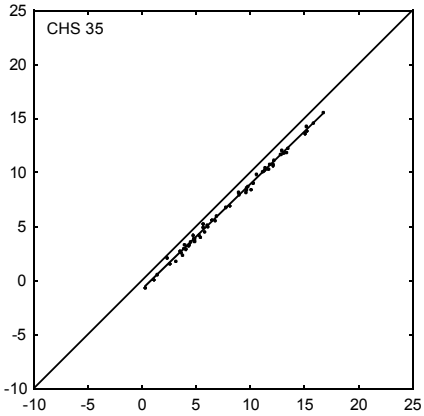


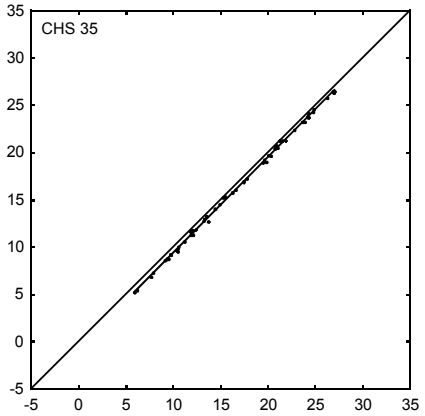


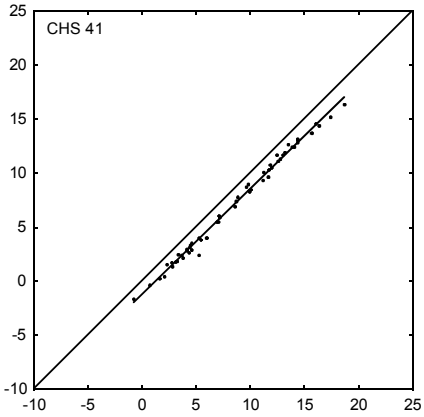


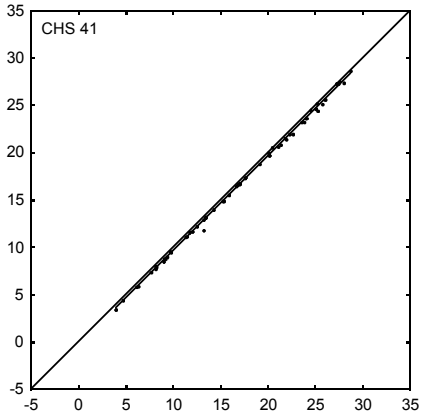


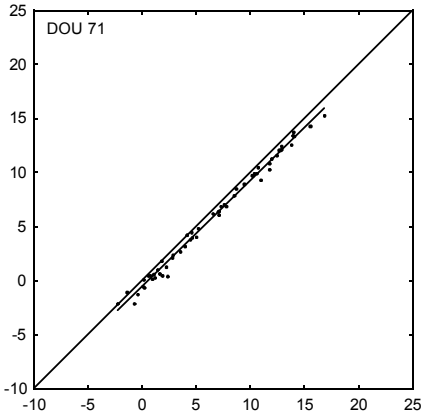


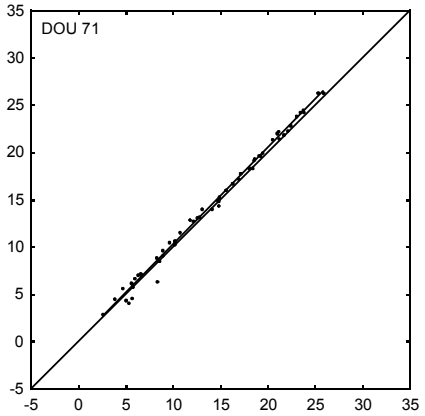

CHS 35
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

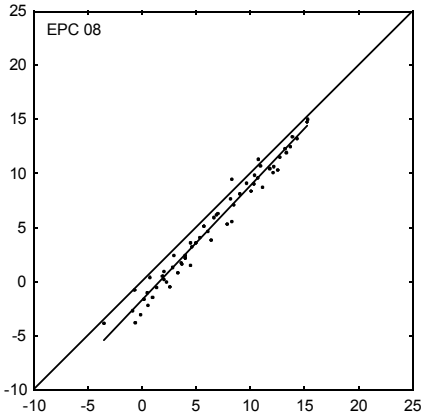

CHS 35
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

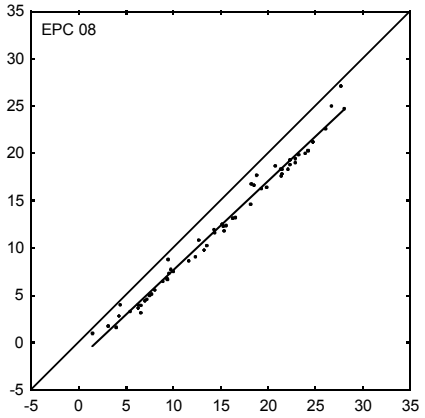

CHS 41
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

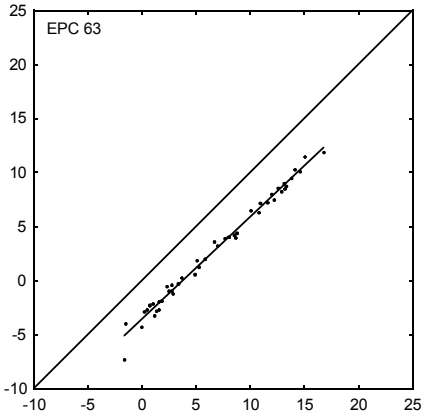

CHS 41
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

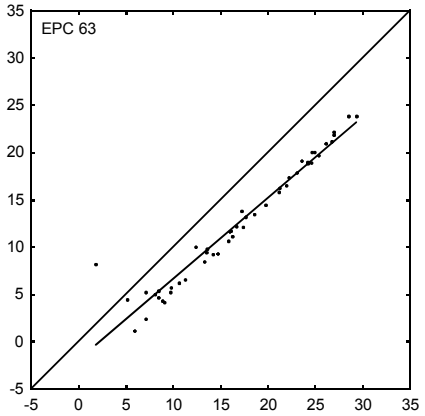

DOU 71
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

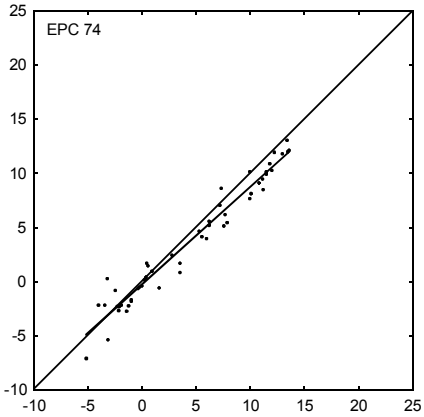

DOU 71
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

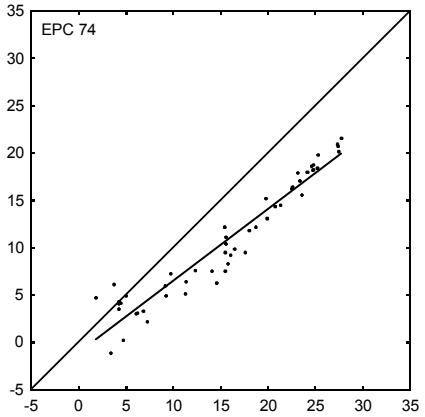

EPC 08
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

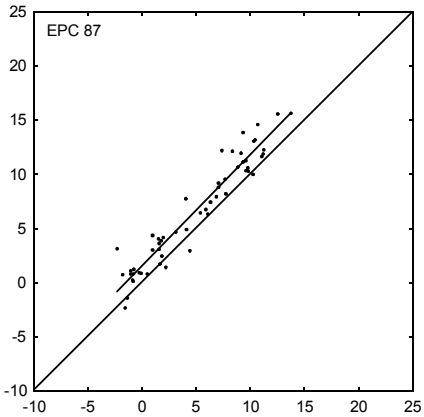

EPC 08
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

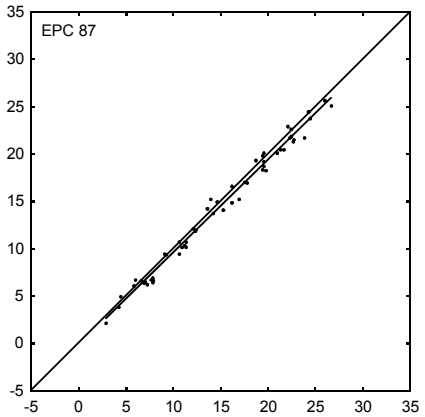

EPC 63
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

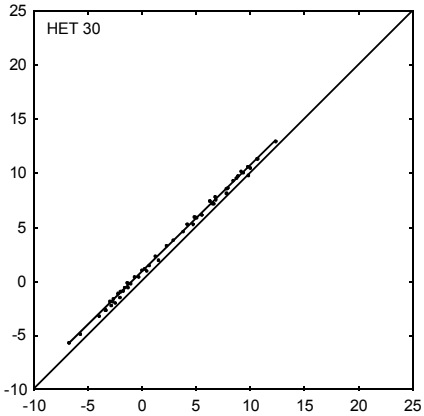

EPC 63
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

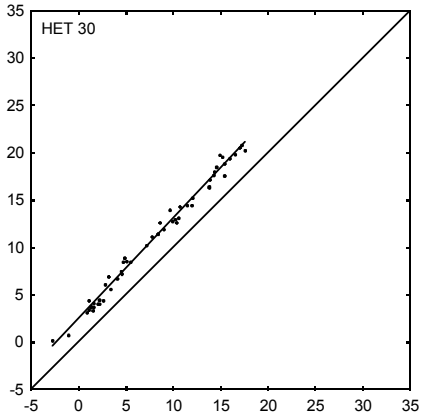

EPC 74
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

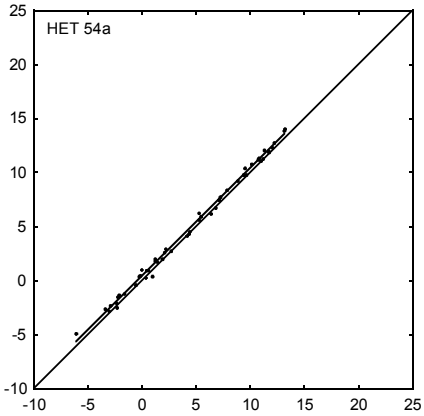

EPC 74
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

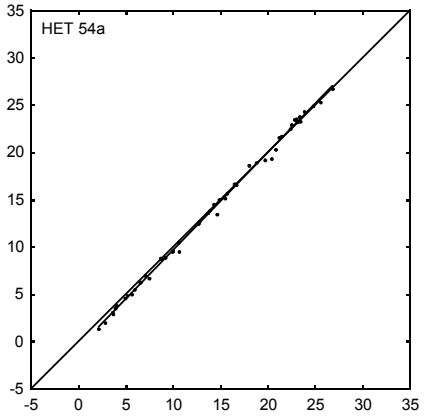

EPC 87
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

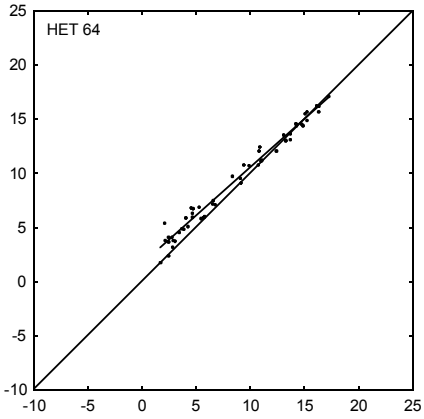

EPC 87
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

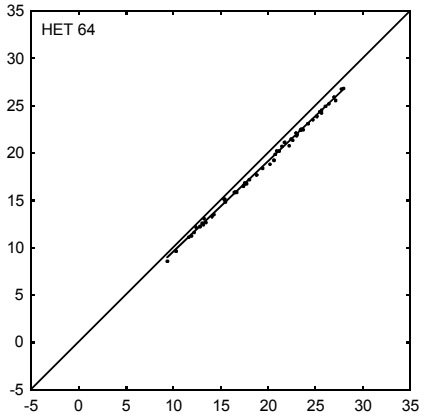

HET 30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

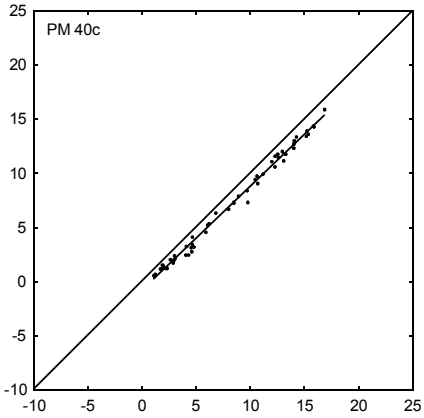

HET 30
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

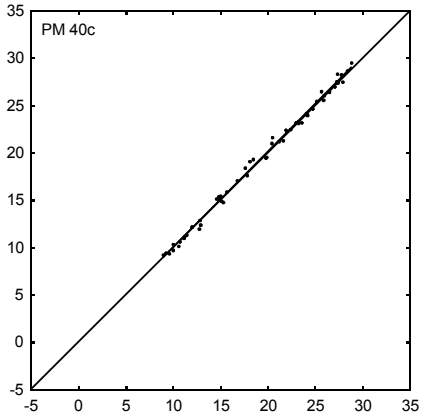

HET 54a
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

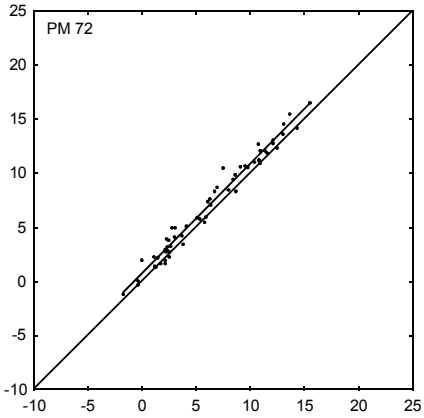

HET 54a
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

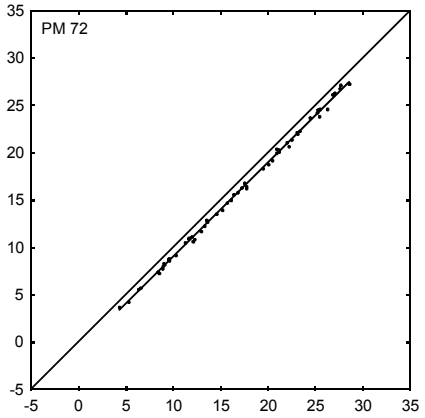

HET 64
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

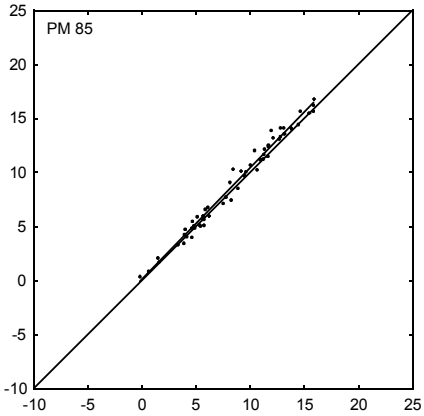

HET 64
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

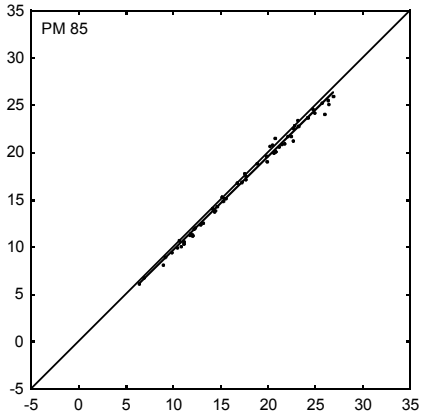

PM 40c
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

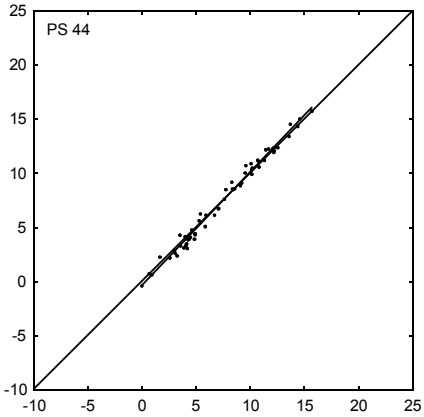

PM 40c
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

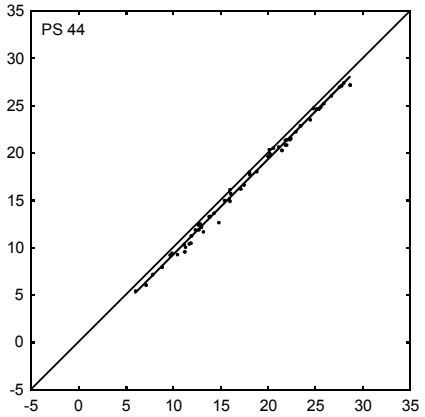

PM 72
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

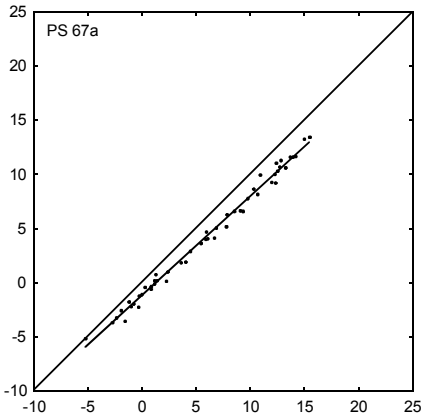

PM 72
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

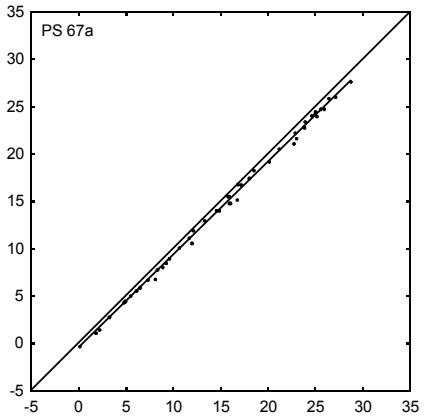

PM 85
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

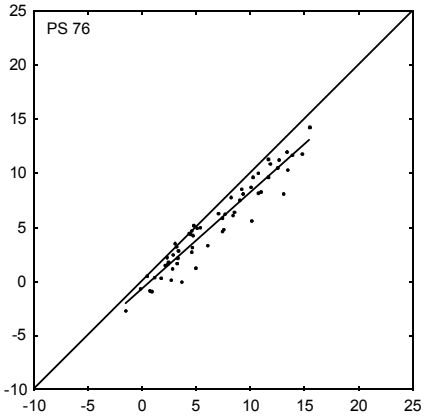

PM 85
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

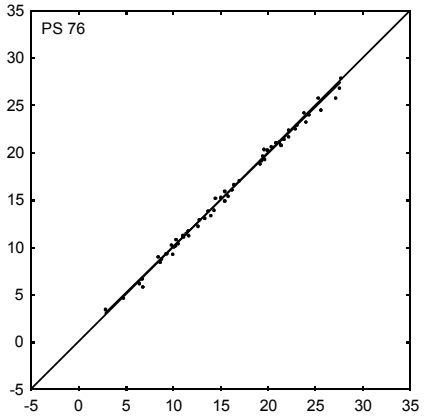

PS 44
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

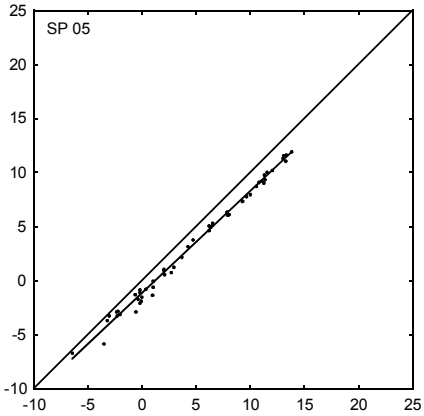

PS 44
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

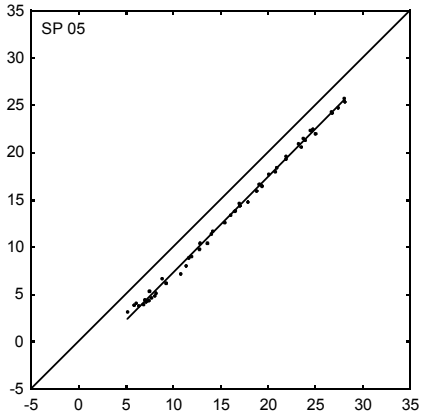

PS 67a
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

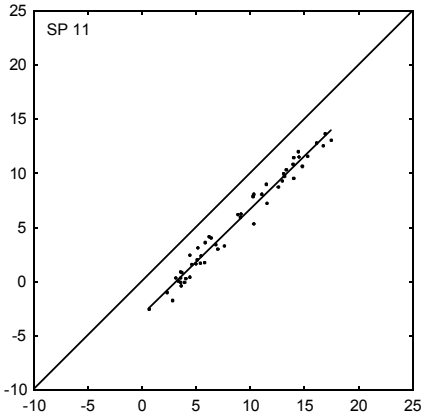

PS 67a
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

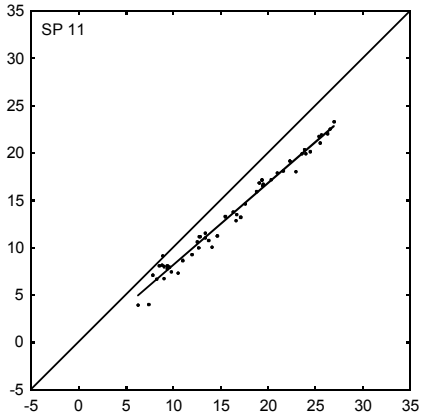

PS 76
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

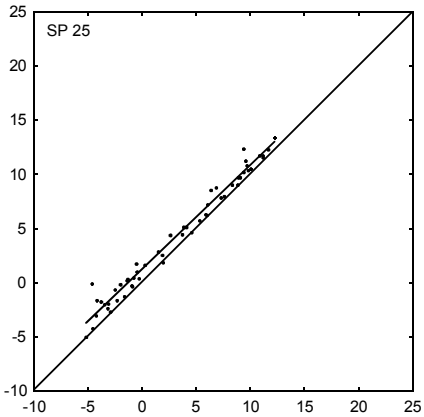

PS 76
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

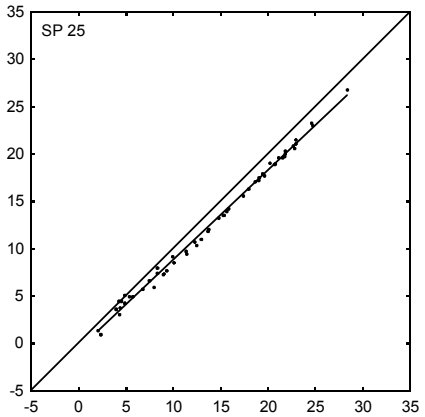

SP 05
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

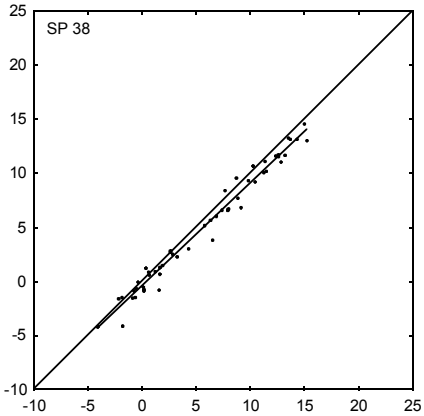

SP 05
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

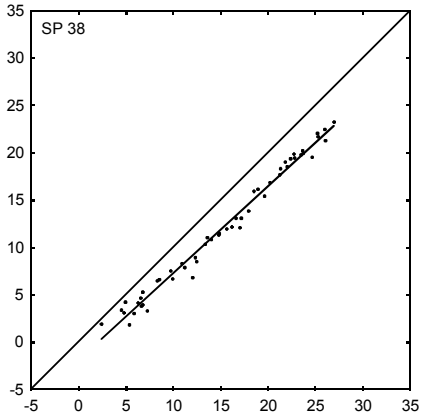

SP 11
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

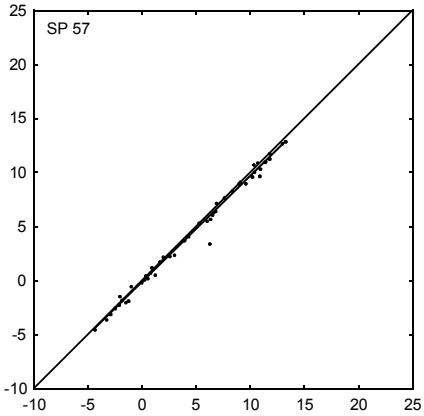

SP 11
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

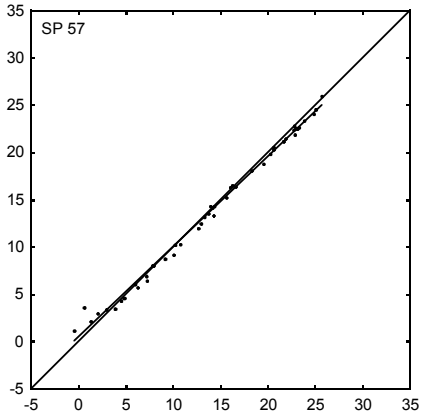

SP 25
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25

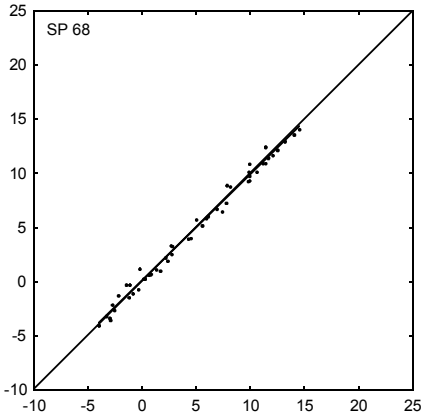

SP 25
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

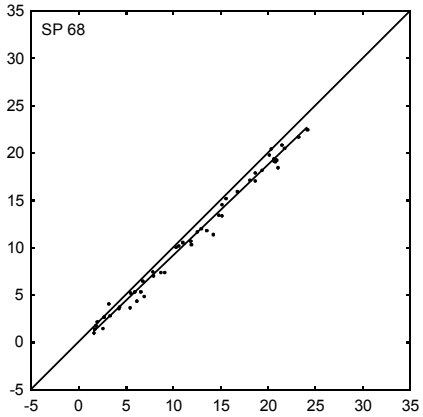

SP 38
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25


SP 38
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35


SP 57
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25


SP 57
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35


SP 68
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-10 -5 0 5 10 15 20 25


SP 68
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-5 0 5 10 15 20 25 30 35

La *durée d'insolation* est mesurée quotidiennement à l'aide d'un héliographe dans la plupart des stations météorologiques. Exprimée en heures et dixièmes, elle indique la durée pendant laquelle le soleil a brillé avec ombres portées sur le sol (soit un rayonnement solaire direct suffisamment intense).

L'*irradiation solaire globale* est mesurée sur une surface horizontale dans une quarantaine de stations du réseau météorologique métropolitain. Elle correspond à l'addition du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus descendant

La mesure du rayonnement global étant relativement récente, on dispose, pour un grand nombre de postes, de séries mixtes et non superposées « *durée d'insolation* / *rayonnement global* ». Pour palier cet inconvénient, Météo-France à développer des modèles de transformation d'une grandeur en une autre en utilisant la formulation d'Angström.

ESTIMATION DU RAYONNEMENT GLOBAL A PARTIR DE LA DUREE D'INSOLATION

$$RG = RGex \times \left(a + b \times \frac{DI}{DJ} \right)$$

ESTIMATION DE LA DUREE D'INSOLATION A PARTIR DU RAYONNEMENT GLOBAL

$$DI = DJ \times \left(c + d \times \frac{RG}{RGex} \right)$$

RG le rayonnement global (en Joules/cm^2)
RGex le rayonnement solaire extra-terrestre journalier (rayonnement solaire reçu par une surface horizontale de 1 m^2 à la limite supérieure de l'atmosphère)
DI la durée d'insolation quotidienne (en heures décimales)
DJ la durée astronomique du jour (en heures décimales)
a, **b**, **c** et **d** coefficients variant avec la saison

	a	b	c	d
printemps	0,213	0,552	-0,329	1,690
été	0,244	0,493	-0,420	1,889
automne	0,201	0,536	-0,327	1,756
hiver	0,195	0,524	-0,312	1,747

La durée astronomique du jour et le rayonnement extra-terrestre journalier dépendant de la latitude de la station de mesure et de la saison, des formules complémentaires sont proposées.

Déclinaison

Elle peut être estimée par la formule de Dogniaux :

$$d = 0{,}33281 - 22{,}984\cos(wJ) - 0{,}34990\cos(2wJ) - 0{,}13980\cos(3wJ) + 3{,}7872\sin(wJ) + 0{,}03205\sin(2wJ) + 0{,}07187\sin(3wJ)$$

d la déclinaison du soleil (en degrés décimaux)
J le rang du jour dans l'année à partir du premier janvier (jour julien)
$w = \frac{2p}{N}$, avec N le nombre total de jours dans l'année

Durée astronomique du jour

Elle peut être calculée par différence entre les heures de coucher et de lever du soleil (déterminées par le calcul des angles solaires) ou être déduite directement par la relation :

$$DJ = \frac{24}{p} Arc\cos(-tgj \cdot tgd)$$

DJ est exprimée en heures décimales
d la déclinaison du soleil exprimée en degrés décimaux
f la latitude du lieu en degrés décimaux

Rayonnement solaire extra-terrestre journalier

$$RGex = 0{,}36 \cdot CSJ \cdot \left(DJ \cdot \sin j \cdot \sin d + \frac{24}{p} \cdot \sin AH_2 \cdot \cos j \cdot \cos d \right)$$

Rgex en Joules/cm^2
DJ la durée astronomique du jour en heures décimales
f la latitude du lieu en degrés décimaux
d la déclinaison du soleil exprimée en degrés décimaux
AH_2 l'angle solaire au coucher du soleil (voir ci-dessous)
CSJ la puissance interceptée en W/m^2 (voir ci-dessous)

Puissance interceptée CSJ

Elle est estimée par l'expression suivante (d'après Dogniaux) :

$$CSJ = CS + 45{,}326\cos(wJ) + 0{,}88018\cos(2wJ) - 0{,}00461\cos(3wJ) + 1{,}8037\sin(wJ) + 0{,}09746\sin(2wJ) + 0{,}18412(3wJ)$$

CSJ en W/m^2
CS la constante solaire égale à 1380 W/m^2
J le rang du jour dans l'année à partir du premier janvier (jour julien)
$w = \frac{2p}{N}$, N étant le nombre total de jours dans l'année

Angles horaires

L'angle horaire au lever (AH_1) et au coucher (AH_2) du soleil sont déterminés par la relation :

$$\cos AH_1 = \cos AH_2 = -tgj \cdot tgd$$

f la latitude du lieu (en degrés décimaux)
d la déclinaison du soleil (en degrés décimaux)
Le temps solaire vrai étant conventionnellement nul au midi solaire, AH_1 est négatif et $AH_2 = -AH_1$

Les heures de lever (H_1) et de coucher (H_2) du soleil en temps solaire vrai se déduisent par les formules :

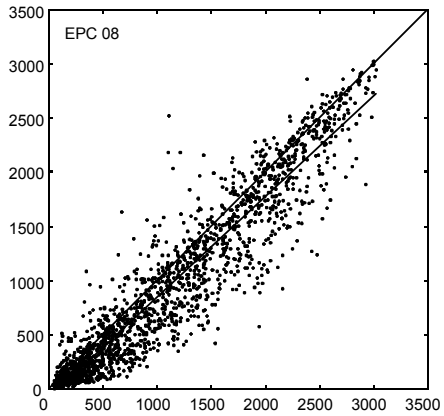
$$H_1 = 12 + \frac{AH_1}{\Delta} \qquad H_2 = 12 + \frac{AH_2}{\Delta}$$

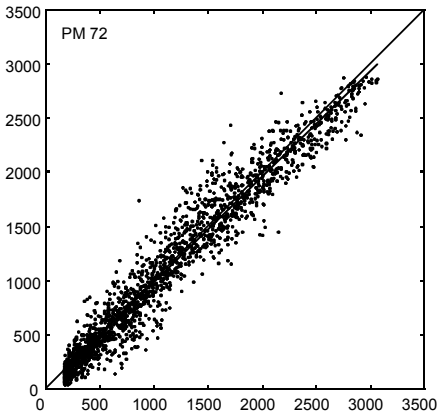
Δ étant l'écart d'angle horaire correspondant à une heure, soit 15° (360° / 24 h) et l'angle horaire AH étant lié à l'heure solaire vrai HSV par la relation AH = Δ (HSV-12).

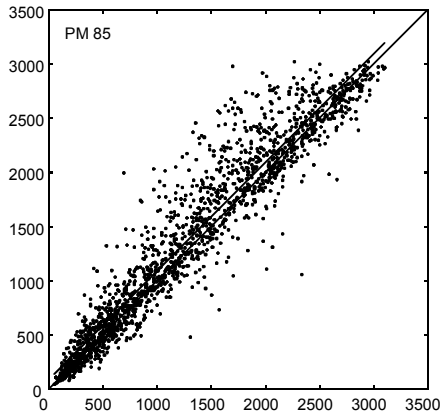
RAYONNEMENT GLOBAL JOURNALIER

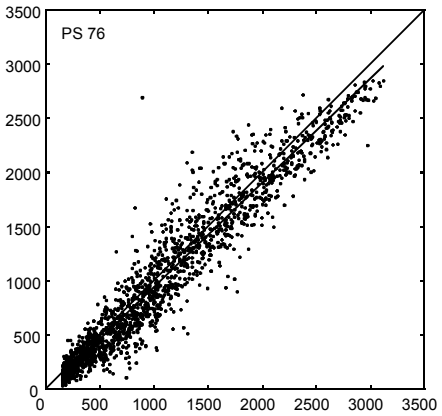
Relations entre le rayonnement global journalier enregistré sur les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression.

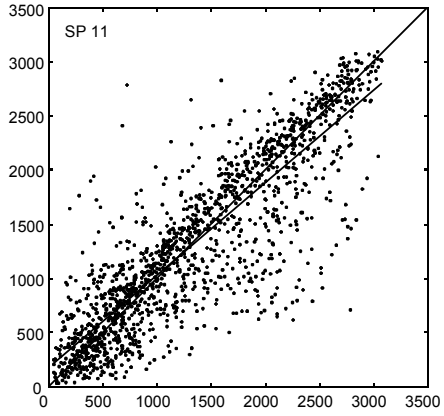
Rayonnement mesuré par Météo-France (colonne de gauche) et rayonnement calculées à partir des durées d'insolation (colonne de droite).

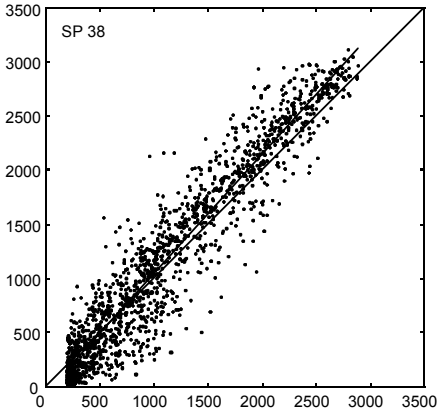


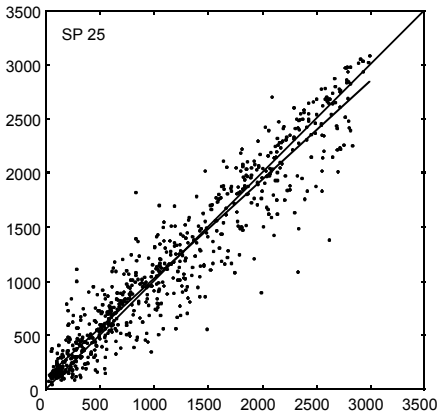


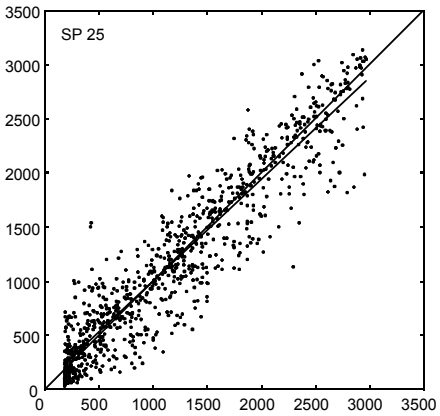








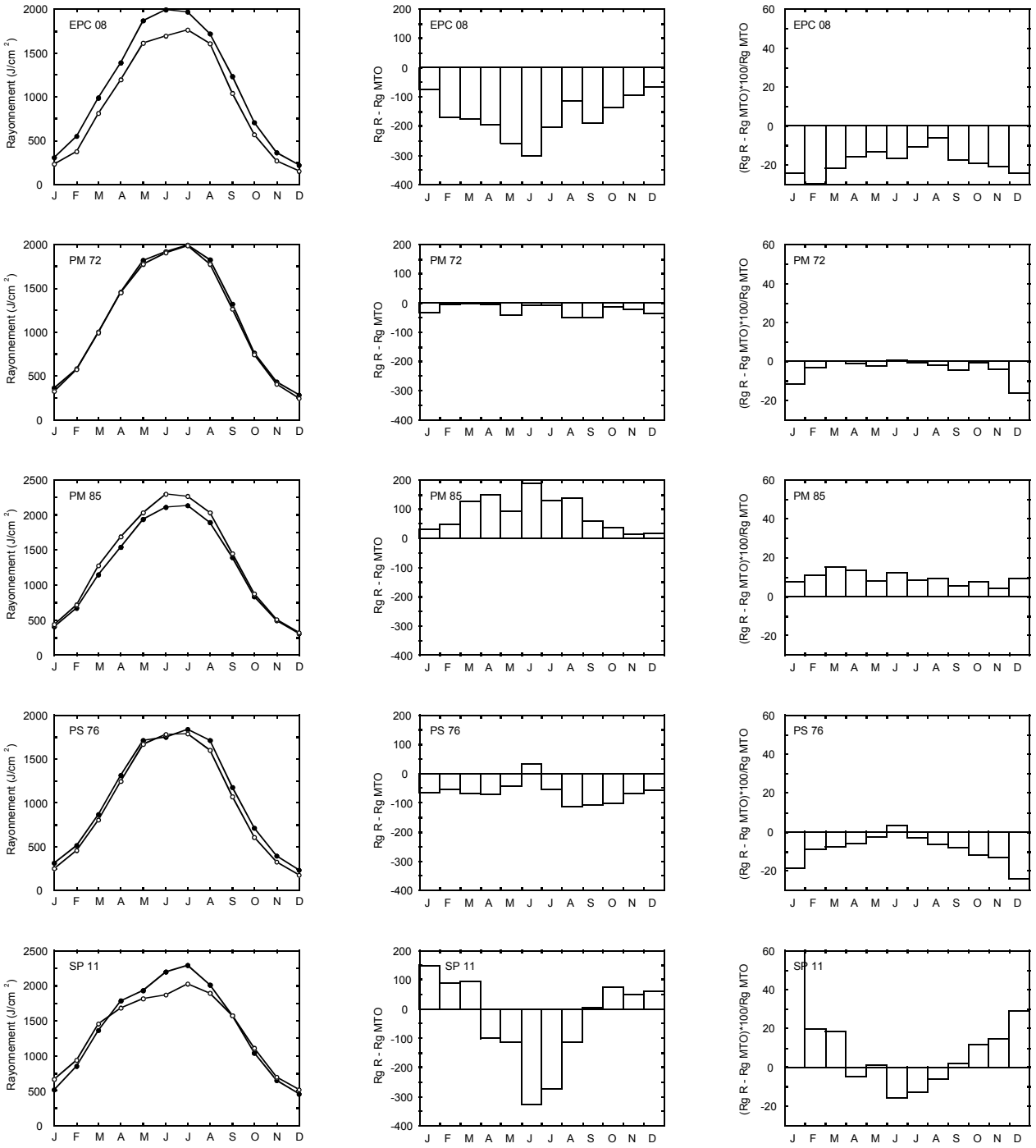

SP 25
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

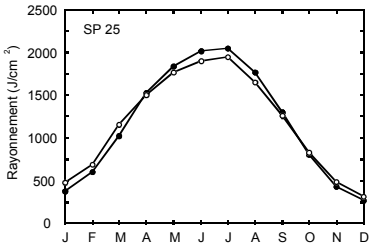

SP 25
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

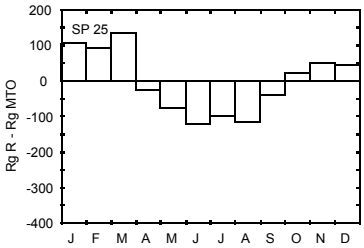
MOYENNES MENSUELLES DES ECARTS JOURNALIERS DE RAYONNEMENT GLOBAL

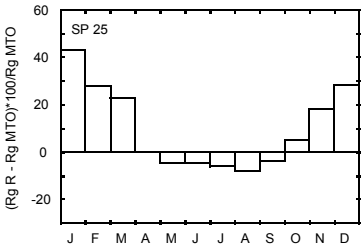
Moyennes mensuelles des écarts «rayonnement RENECOFOR (Rg R) – rayonnement Météo-France (Rg MTO)» (colonne centrale) et moyennes mensuelles des écarts journaliers relatifs «(rayonnement RENECOFOR – rayonnement Météo-France)*100/ rayonnement Météo-France» (colonne de droite).

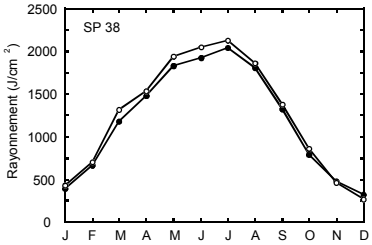
La colonne de gauche présente, pour information, la moyenne mensuelle du rayonnement journalier : en blanc, données RENECOFOR ; en noir, données Météo-France.

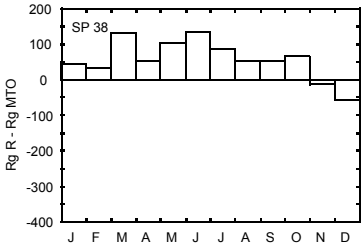


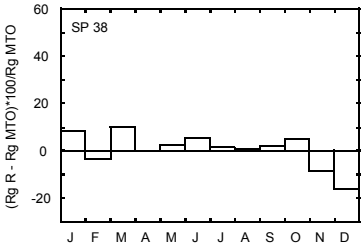

SP 25
Rayonnement (J/cm ²)
2500
2000
1500
1000
500
0
J F M A M J J A S O N D


SP 25
Rg R - Rg MTO
200
100
0
-100
-200
-300
-400
J F M A M J J A S O N D


SP 25
(Rg R - Rg MTO)*100/Rg MTO
60
40
20
0
-20
J F M A M J J A S O N D

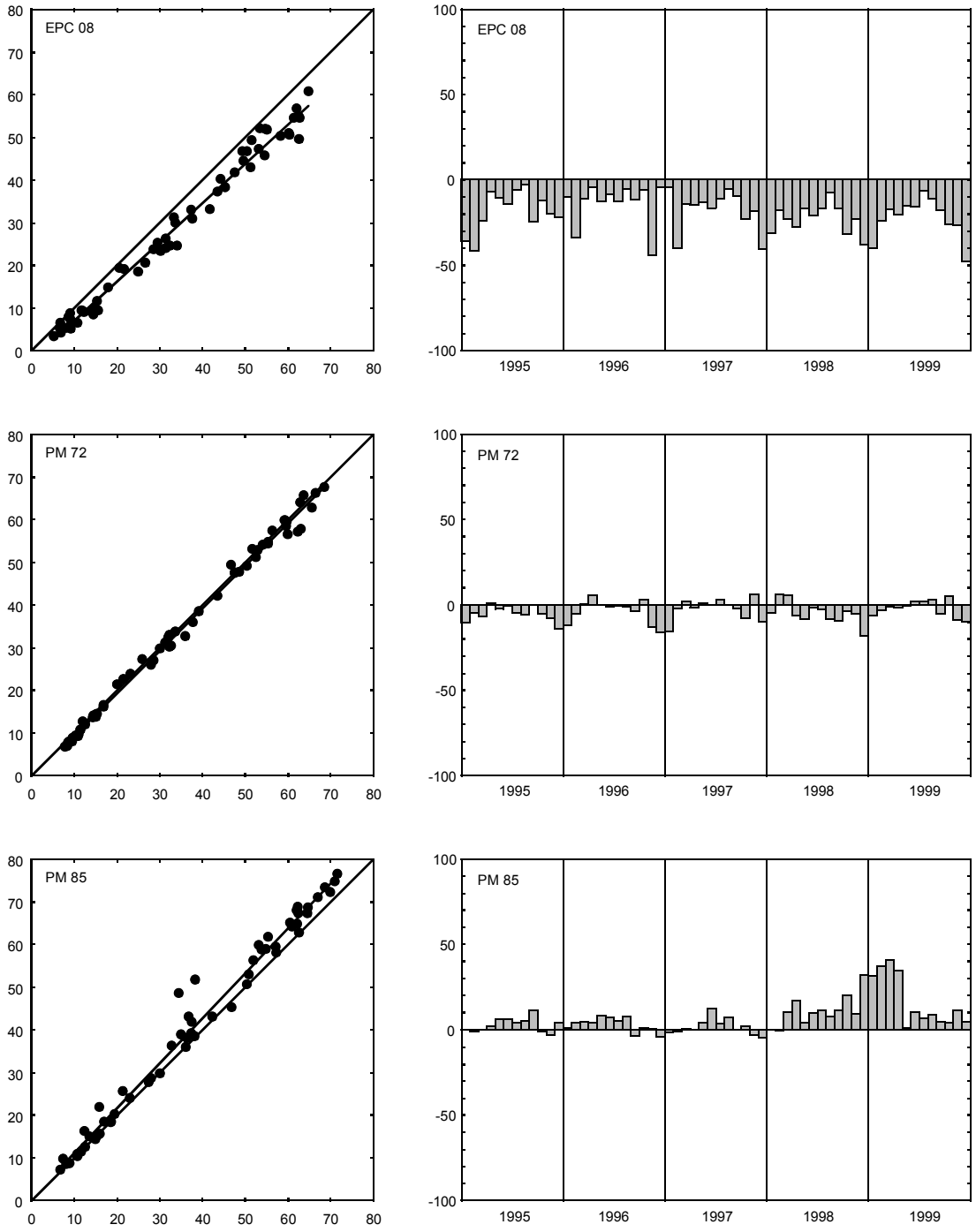

SP 38
Rayonnement (J/cm ²)
2500
2000
1500
1000
500
0
J F M A M J J A S O N D

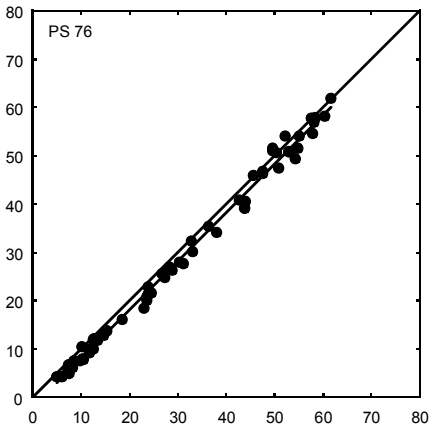

SP 38
Rg R - Rg MTO
200
100
0
-100
-200
-300
-400
J F M A M J J A S O N D

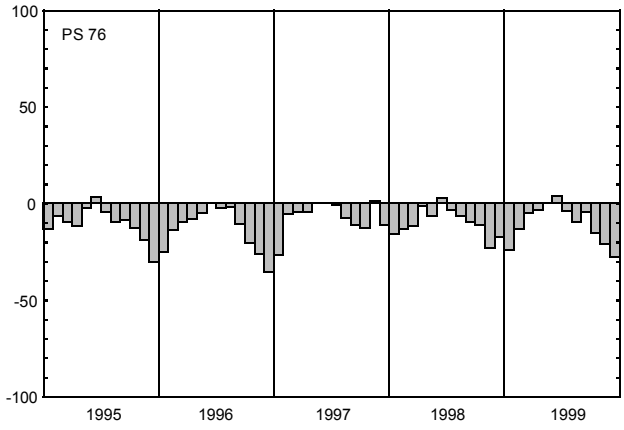

SP 38
(Rg R - Rg MTO)*100/Rg MTO
60
40
20
0
-20
J F M A M J J A S O N D

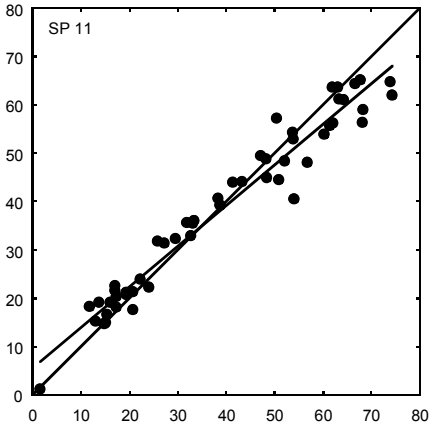
A gauche, relations entre le cumul mensuel du rayonnement global journalier (kJ/cm^2) enregistré sur les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression.

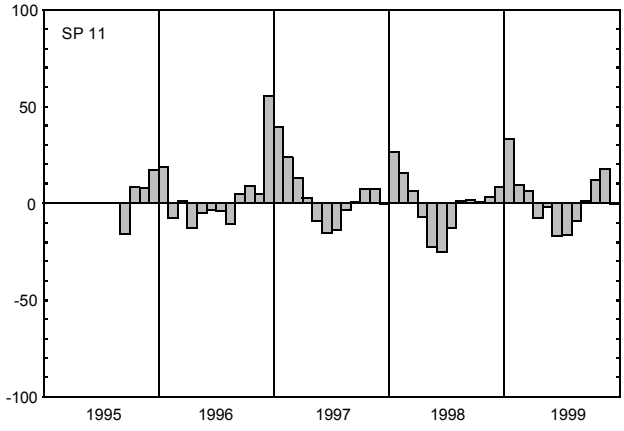
A droite, distribution des écarts relatifs mensuels calculés par la relation :
Ecart(%)=(rayonnement RENECOFOR – rayonnement Météo-France)x100/rayonnement Météo-France

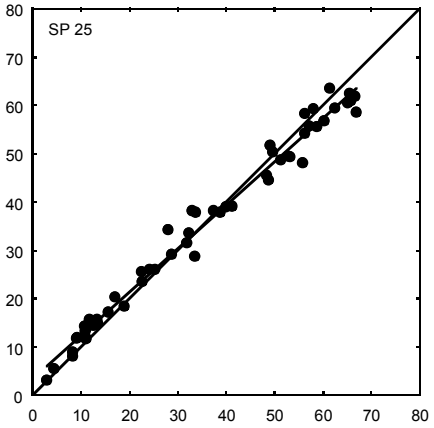


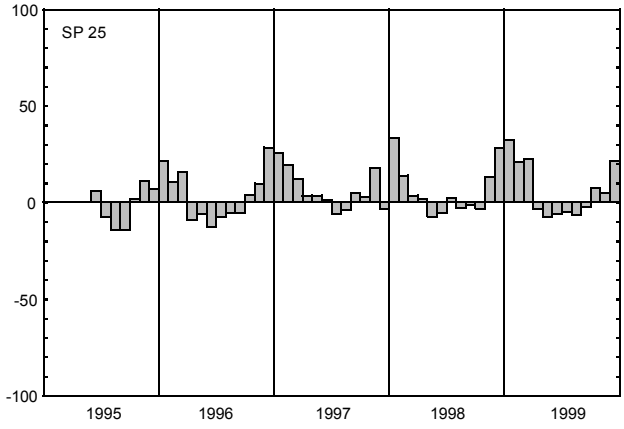

PS 76
0 10 20 30 40 50 60 70 80

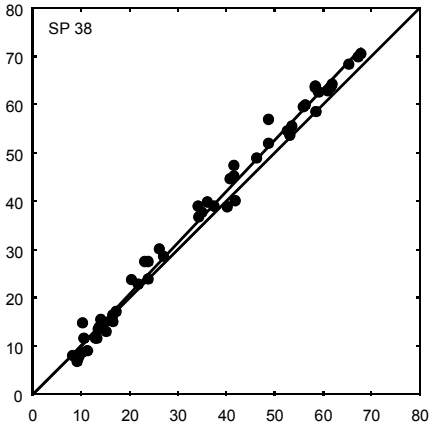

PS 76
100 50 0 -50 -100
1995 1996 1997 1998 1999

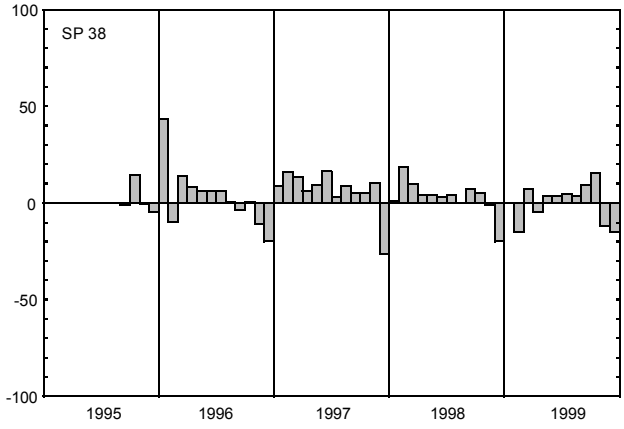

SP 11
0 10 20 30 40 50 60 70 80


SP 11
100 50 0 -50 -100
1995 1996 1997 1998 1999

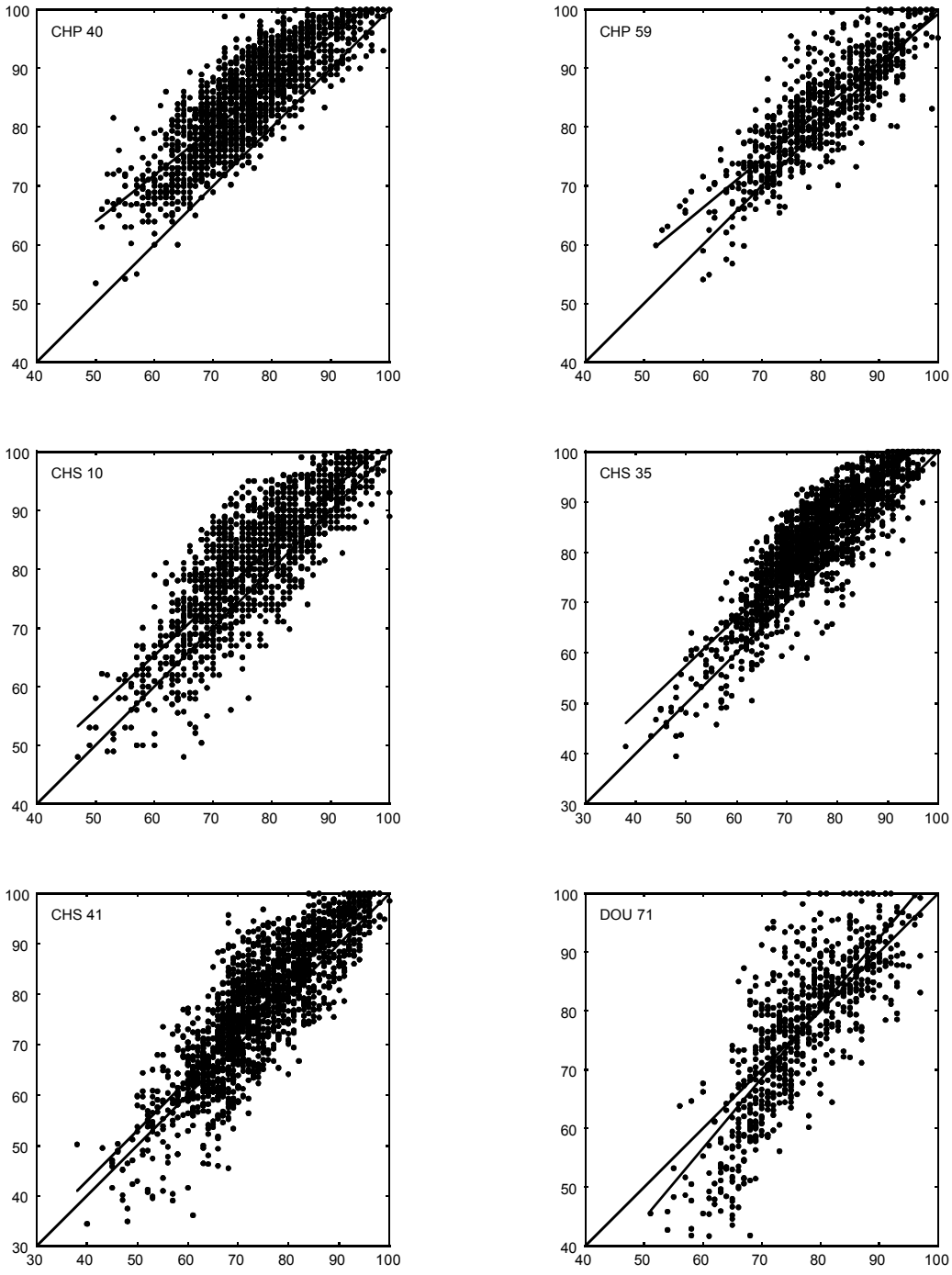

SP 25
0 10 20 30 40 50 60 70 80

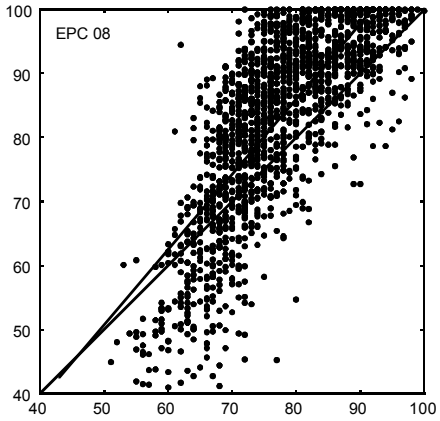

SP 25
100 50 0 -50 -100
1995 1996 1997 1998 1999

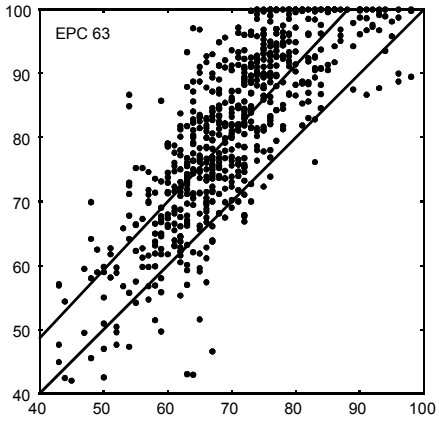

SP 38
0 10 20 30 40 50 60 70 80

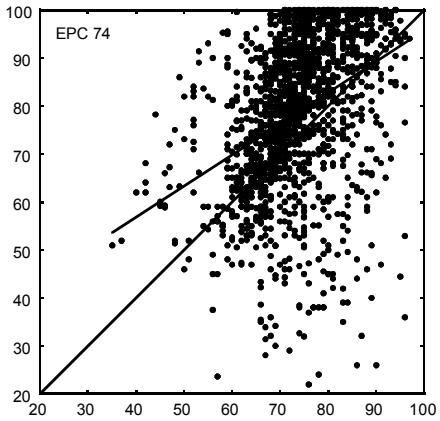

SP 38
100 50 0 -50 -100
1995 1996 1997 1998 1999

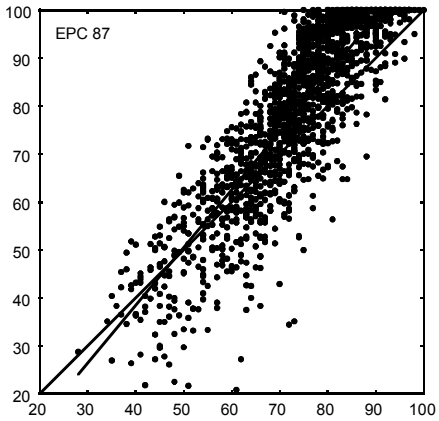
Relations entre l'humidité relative journalières enregistrées sur les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions.

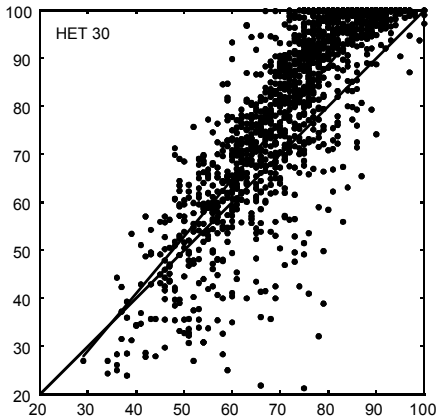


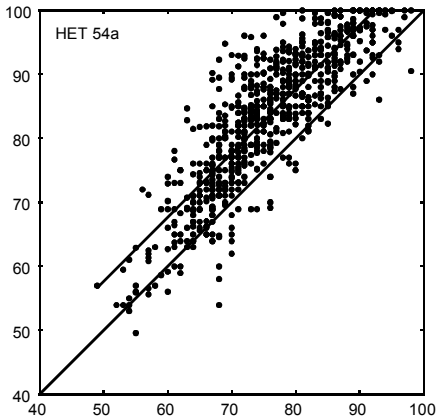

EPC 08
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

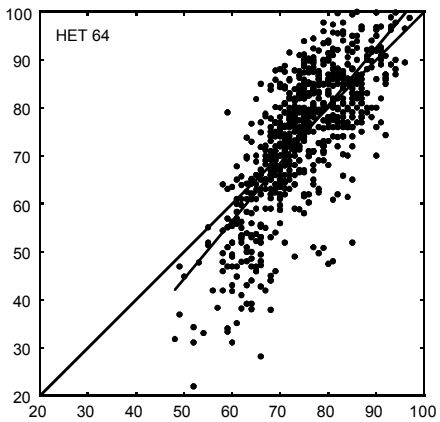

EPC 63
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

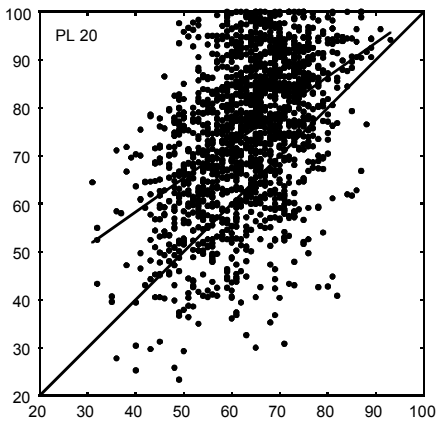

EPC 74
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

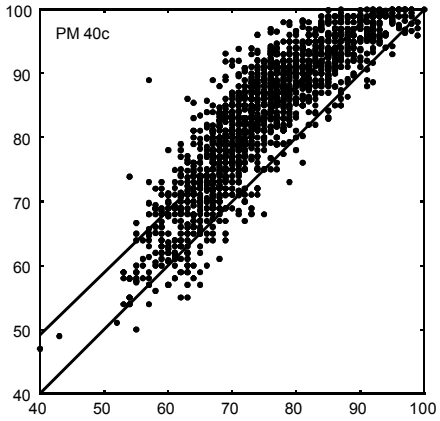

EPC 87
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

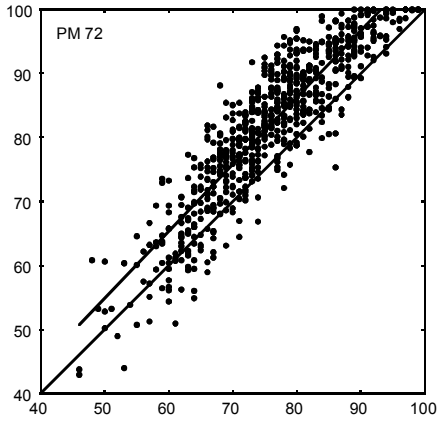

HET 30
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

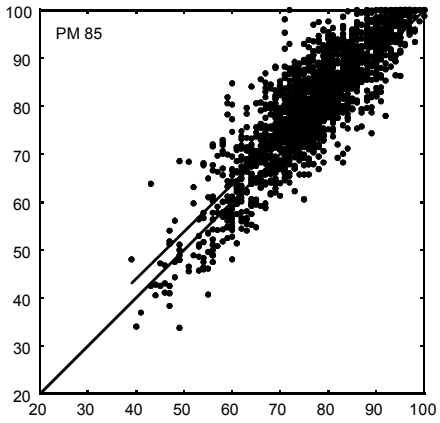

HET 54a
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

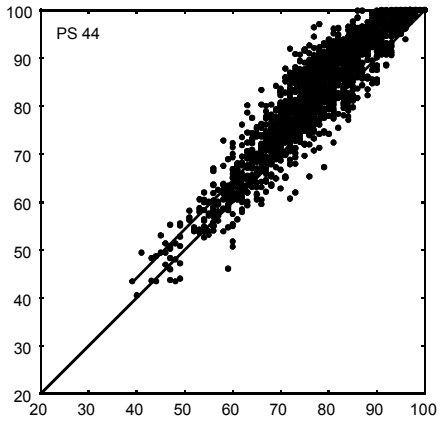

HET 64
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

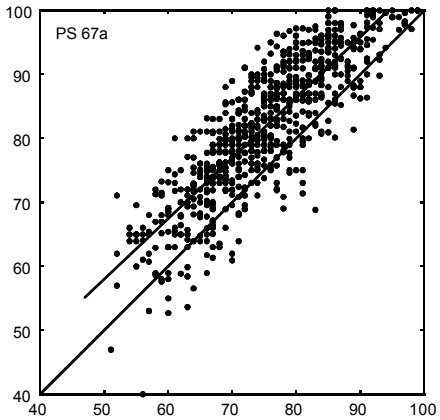

PL 20
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

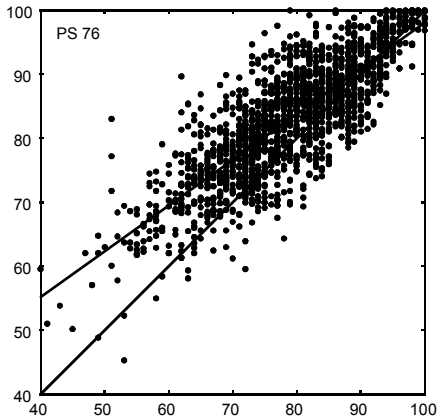

PM 40c
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

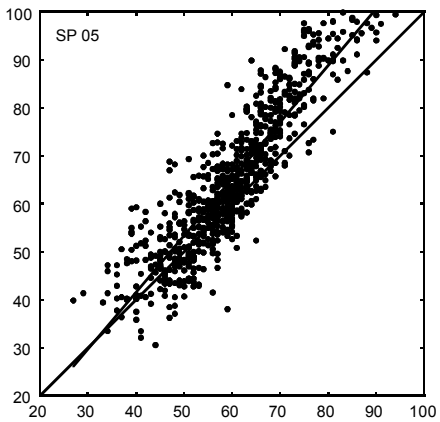

PM 72
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

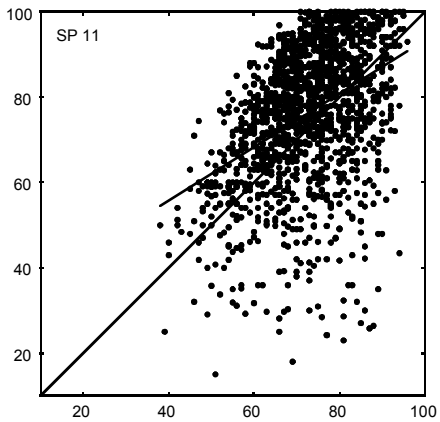

PM 85
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

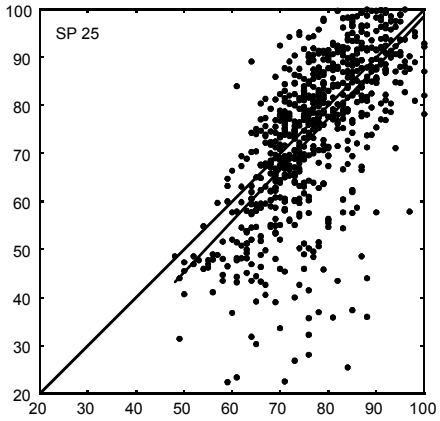

PS 44
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

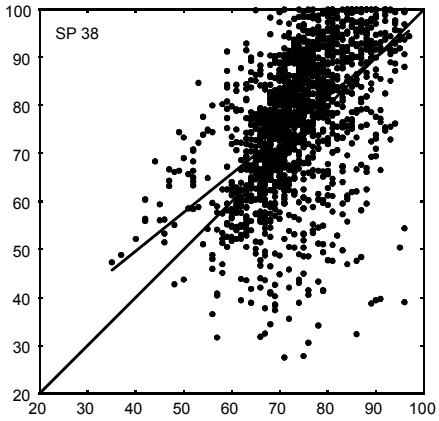

PS 67a
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

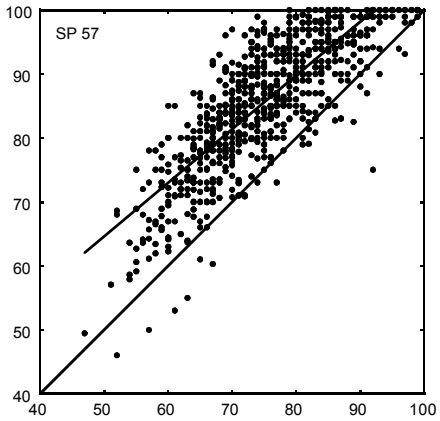

PS 76
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

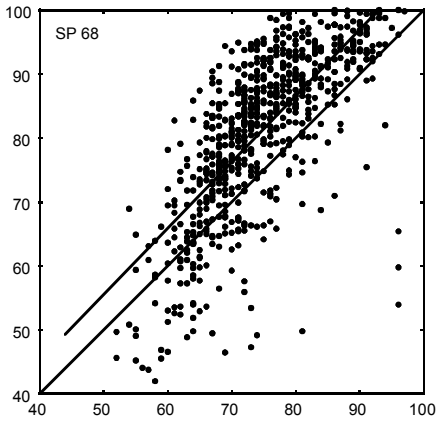

SP 05
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100


SP 11
100
80
60
40
20
20 40 60 80 100


SP 25
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100

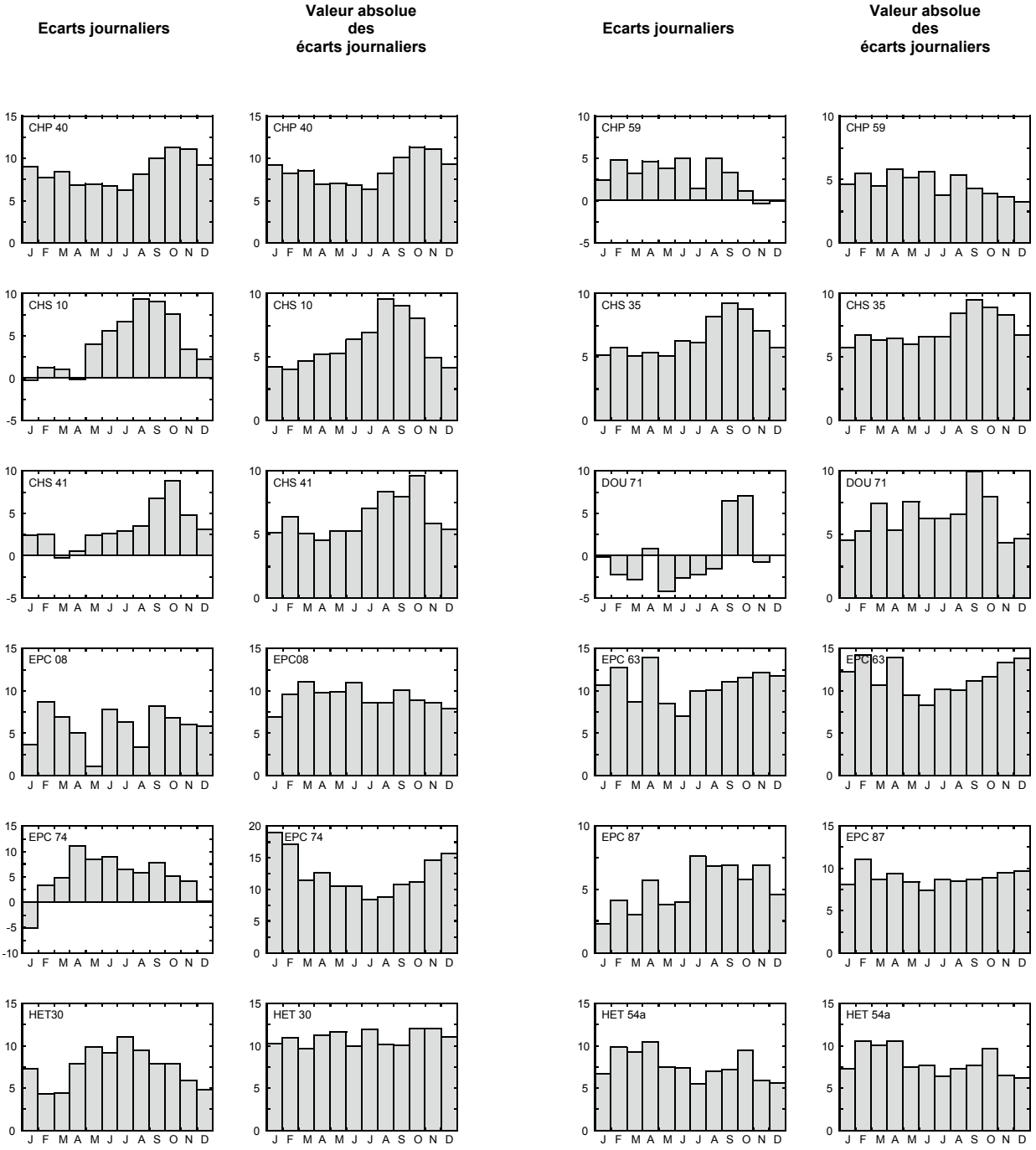

SP 38
100
90
80
70
60
50
40
30
20
20 30 40 50 60 70 80 90 100


SP 57
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100


SP 68
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100

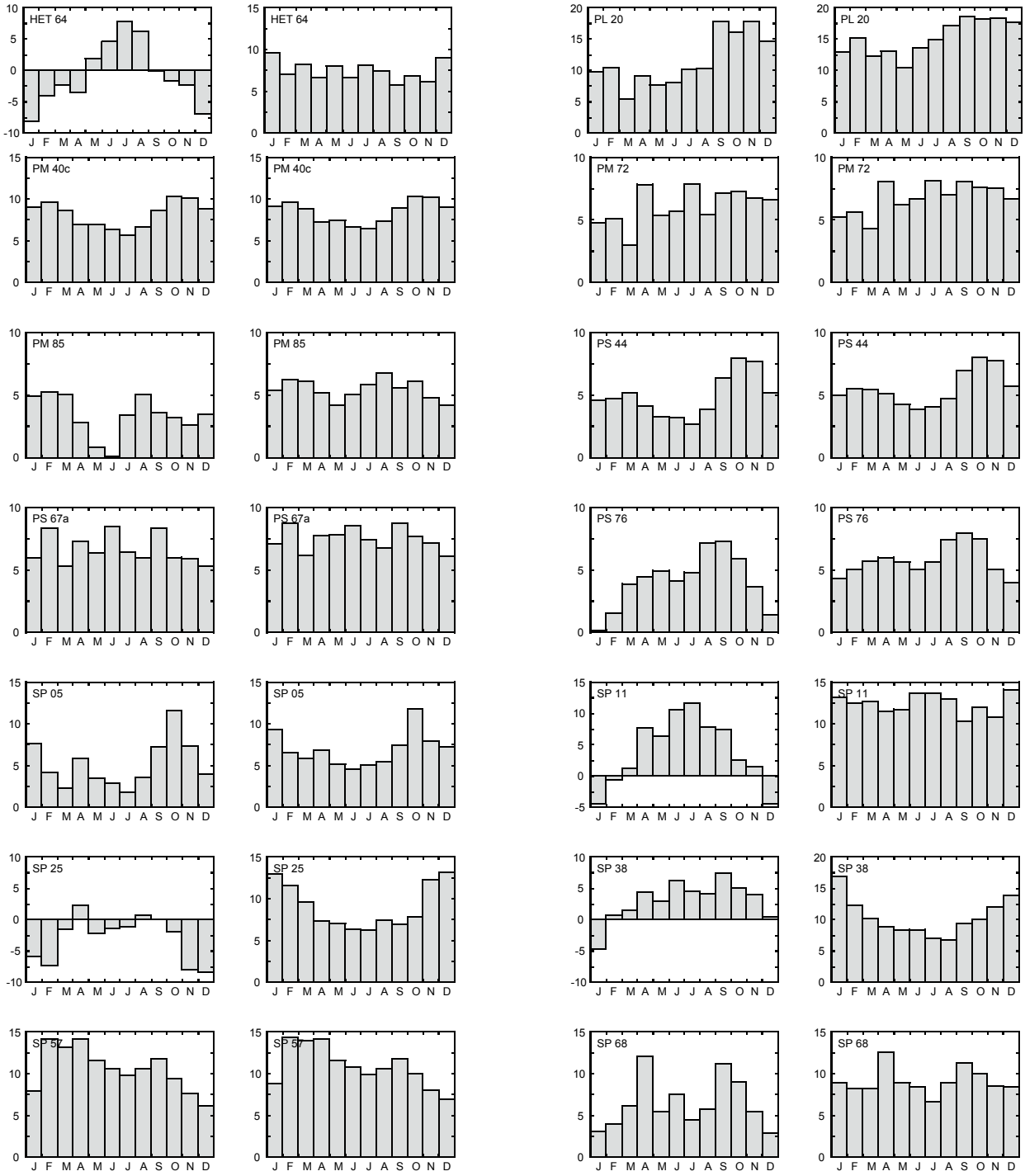
MOYENNES MENSUELLES DES ECARTS JOURNALIERS D'HUMIDITE RELATIVE

Moyenne mensuelle des écarts «humidité relative RENECOFOR – humidité relative Météo-France» et valeur absolue de ces écarts.



Ecarts journaliers

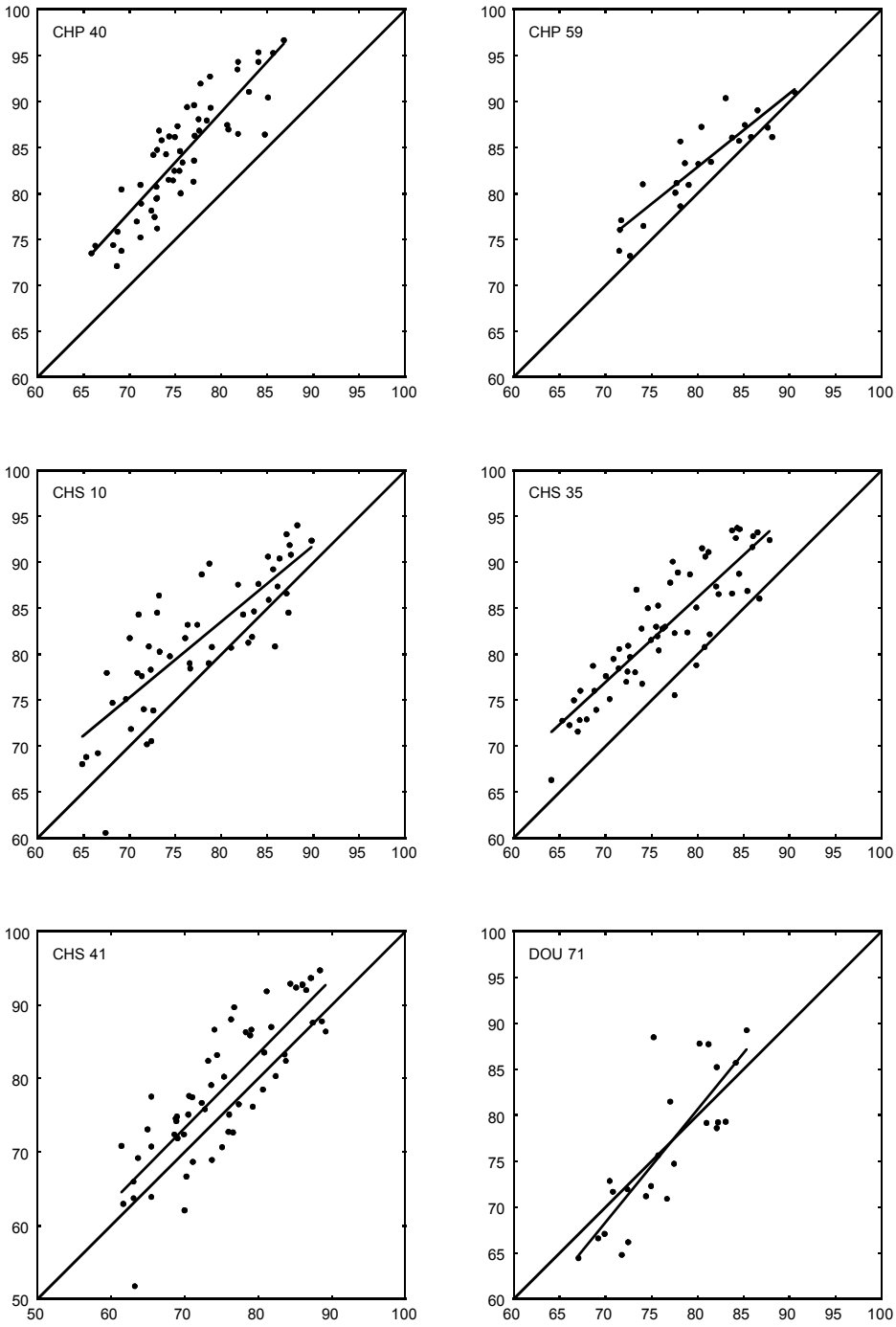
Valeur absolue des écarts journaliers

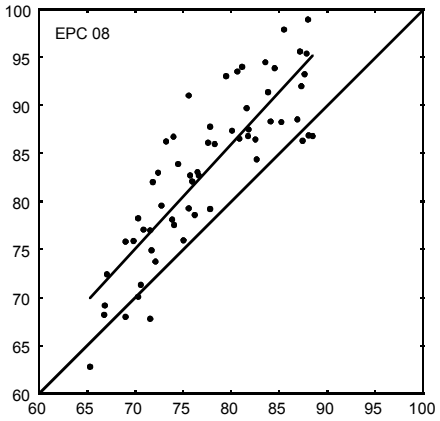


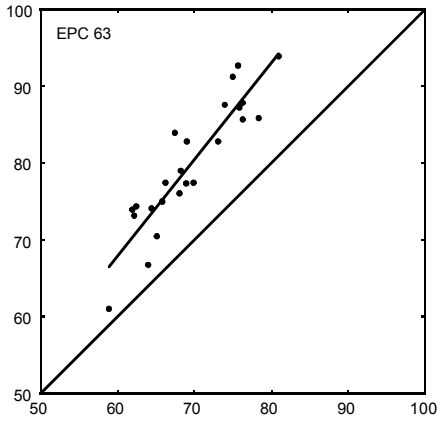
Ecarts journaliers

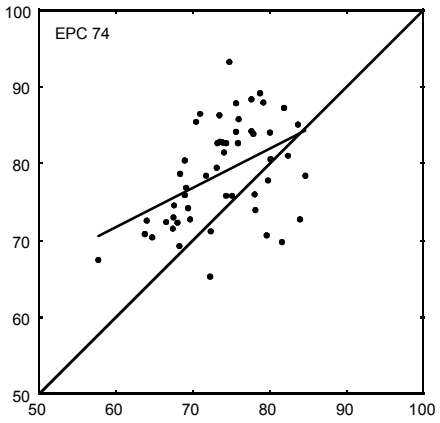
Valeur absolue des écarts journaliers

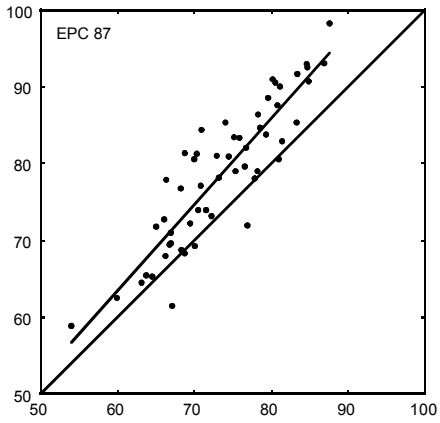
Relations entre les moyennes mensuelles des humidités relatives journalières enregistrées sur les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions.

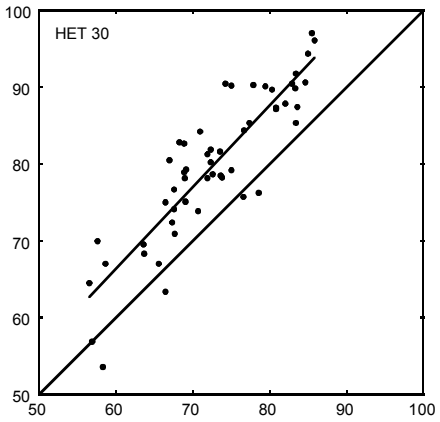


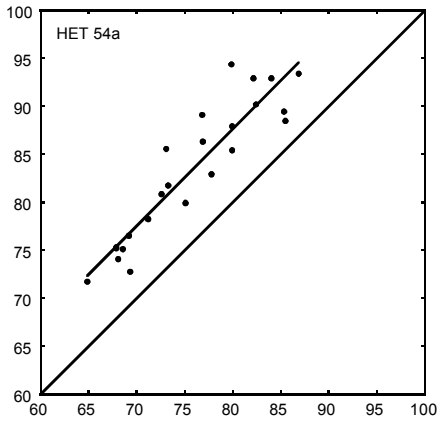

EPC 08

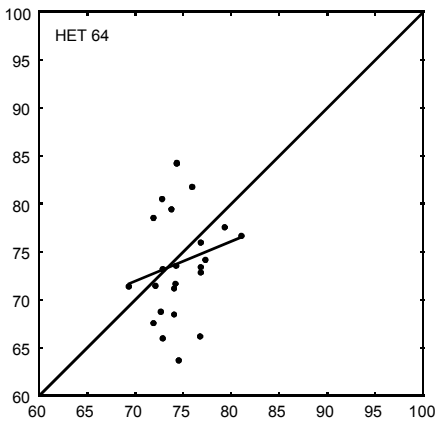

EPC 63

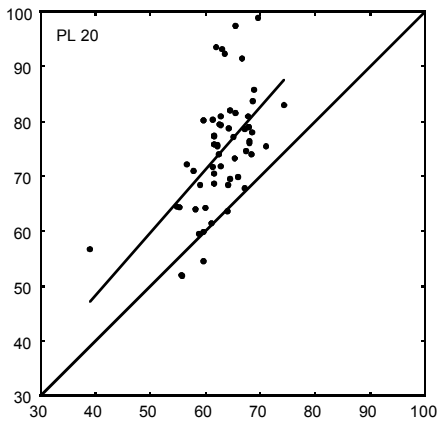

EPC 74

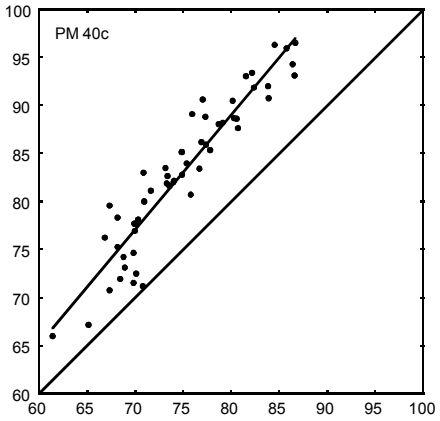

EPC 87

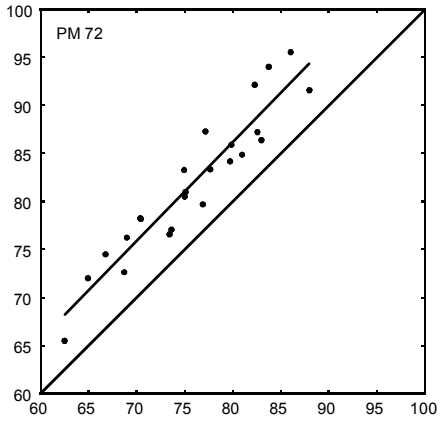

HET 30

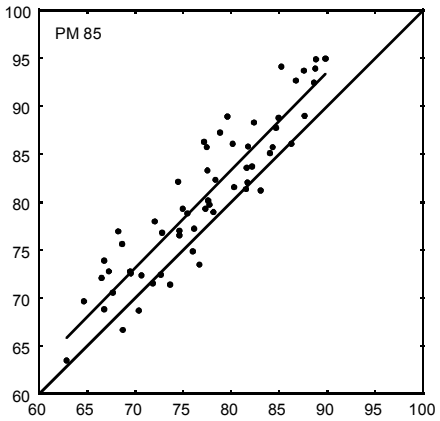

HET 54a

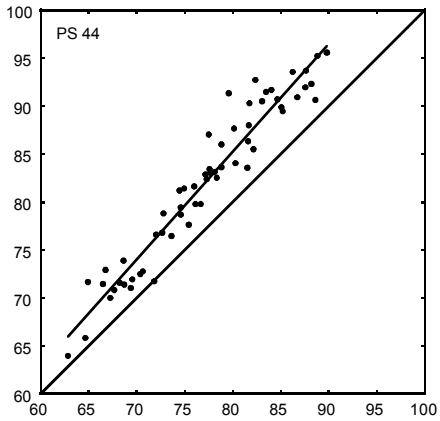

HET 64

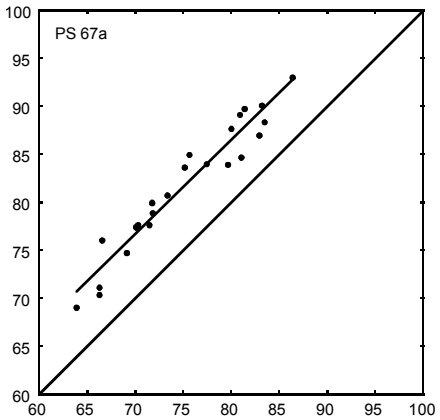

PL 20

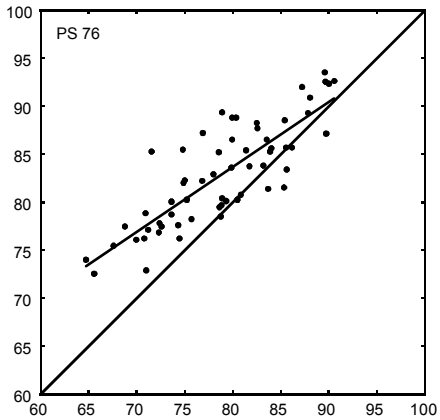

PM 40c
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

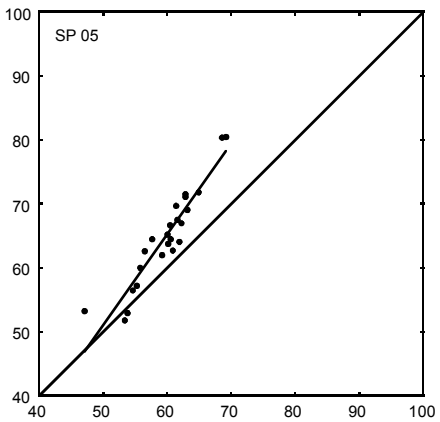

PM 72
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

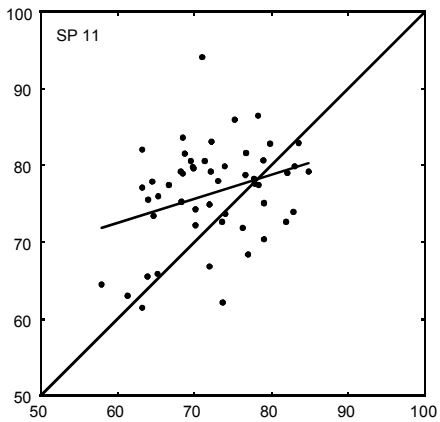

PM 85
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

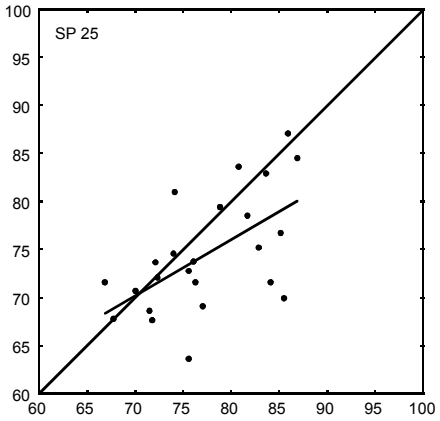

PS 44
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

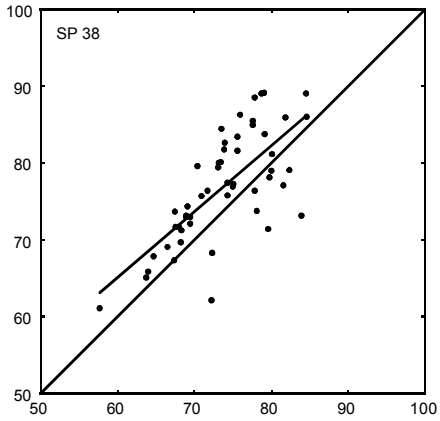

PS 67a
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

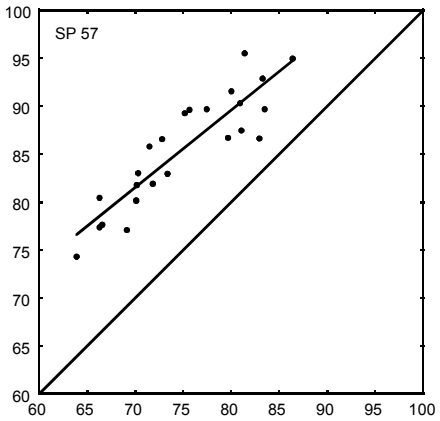

PS 76
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

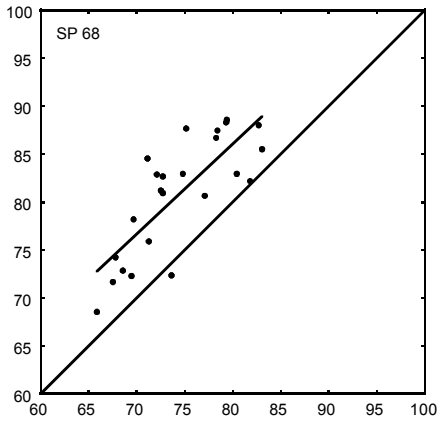

SP 05
100
90
80
70
60
50
40
40 50 60 70 80 90 100


SP 11
100
90
80
70
60
50
50 60 70 80 90 100

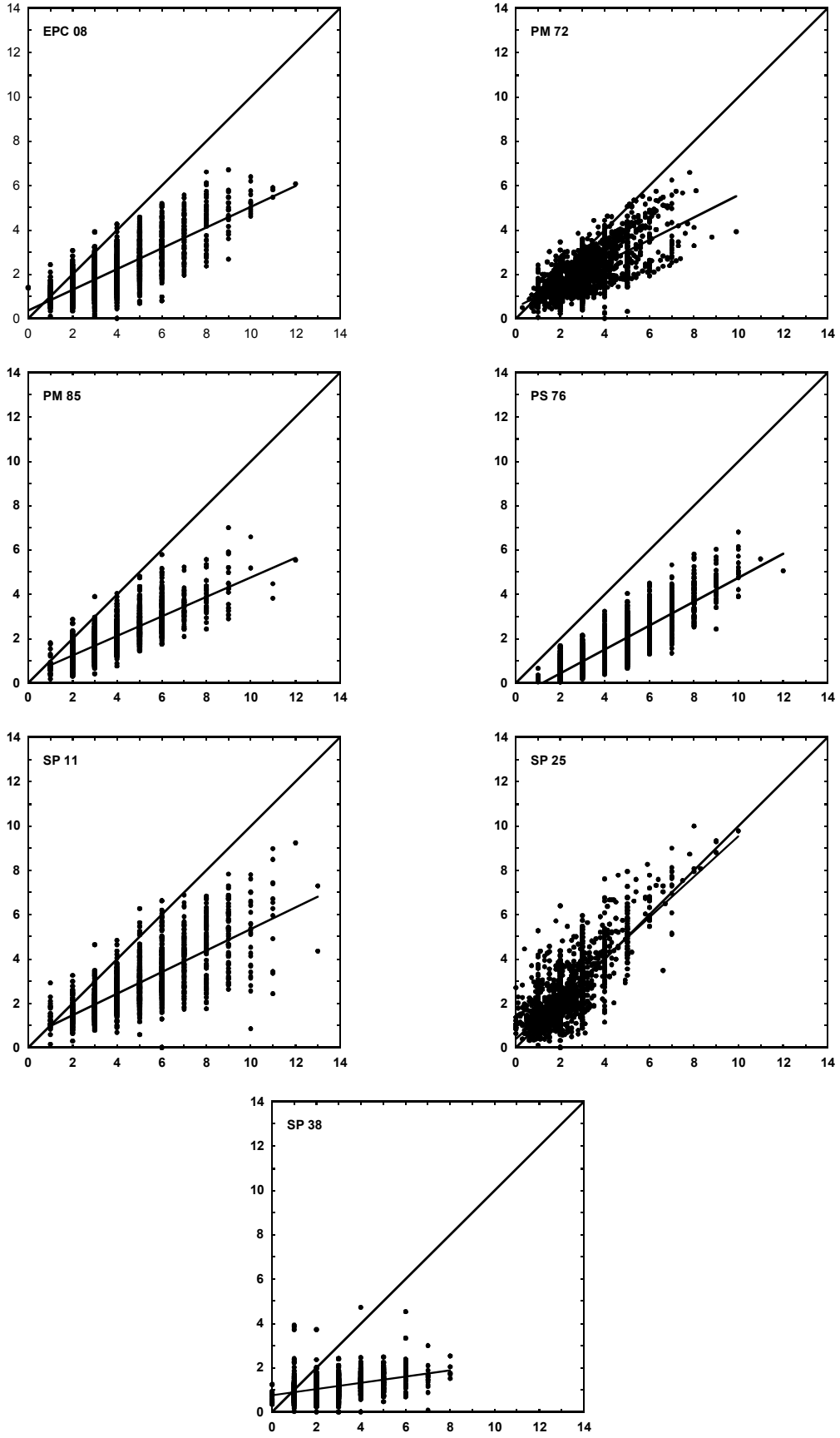

SP 25
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100


SP 38
100
90
80
70
60
50
50 60 70 80 90 100

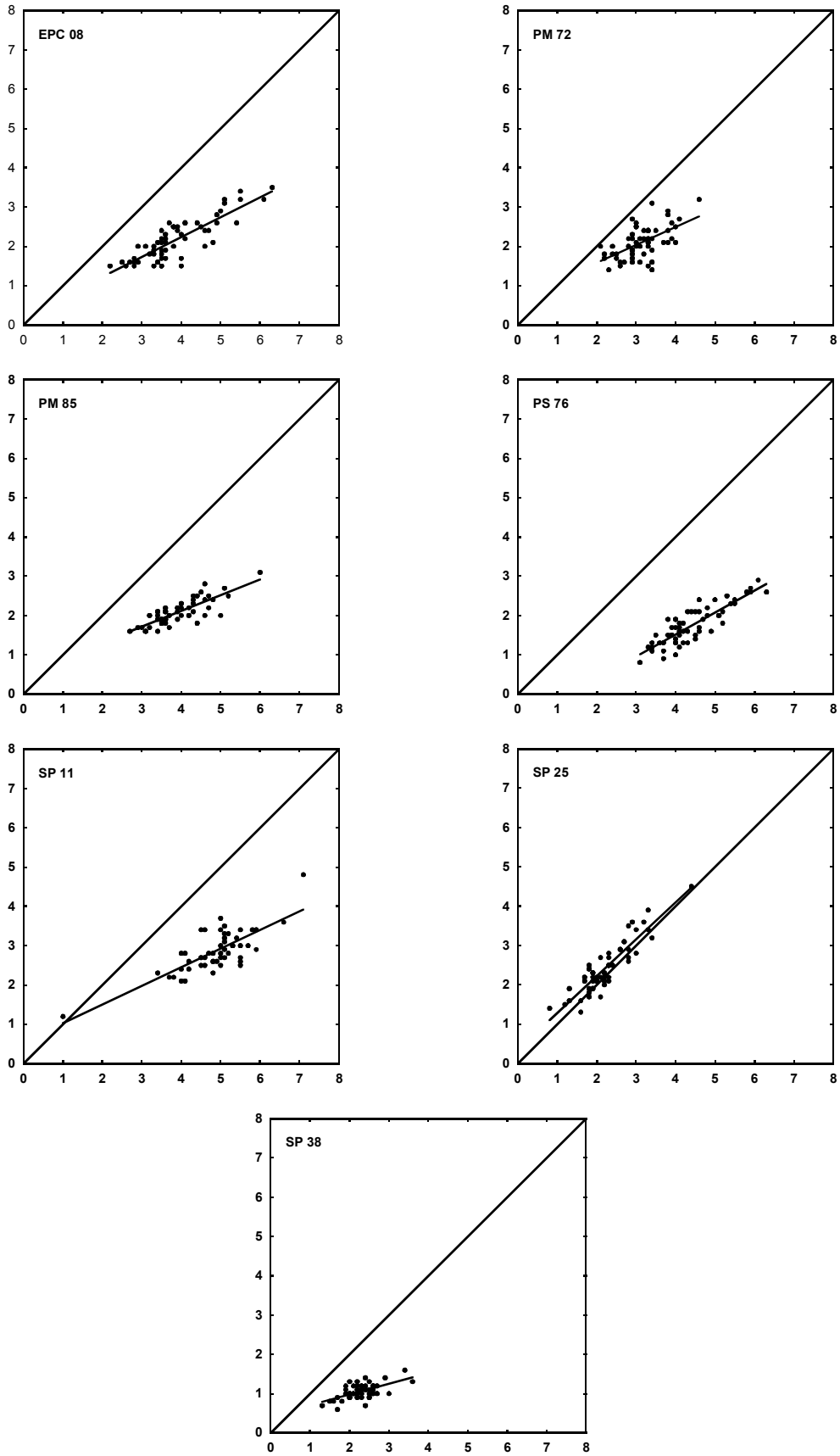

SP 57
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100


SP 68
100
95
90
85
80
75
70
65
60
60 65 70 75 80 85 90 95 100

Relations entre les vitesses de vent journalières hors couvert enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions.



Relations entre les moyennes mensuelles des vitesses de vent journalières hors couvert enregistrées dans les stations Météo-France (abscisses) et sur les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droites de régressions.



L'évapotranspiration potentielle (ETP) est calculée au pas de temps journalier selon la formulation de Penmann (1948).

Les données utilisées sont les suivantes :

Rg : rayonnement global mesuré ou calculé à partir des durées d'insolation ($MJ.m^{-2}$) ;

Tmin : température minimale journalière (°C) ;

Tmax : température maximale journalière en (°C) ;

H : moyenne journalière de l'humidité relative (%) ; paramètre mesuré sur les placettes RENECOFOR et dans certaines stations Météo-France ;

e : pression partielle de vapeur d'eau dans l'air (hPa) ; donnée fournie par Météo-France selon les postes ;

V_{10m} : moyenne journalière de la vitesse du vent mesurée à une hauteur de 10 m ($m.s^{-1}$)

Ces paramètres permettent de calculer :

T_{air} : température moyenne journalière de l'air correspondant à la demi-somme des températures minimale et maximale ;

e_w : pression partielle saturante de la vapeur d'eau (hPa) à la température de l'air

$$e_w = 5{,}999 \times \left[\left(1 + 0{,}01063 \times T_{air}\right)^{7{,}062} \right]$$

Δ : pente de la tangente de la courbe de pression de vapeur saturante (hPa) en fonction de la température de l'air

$$\Delta = e'_w = 0{,}45 \times \left[1 + \left(0{,}01063 \times T_{air}\right)\right]^{6{,}062}$$

Dsat : déficit de saturation de l'air (en fonction des données disponibles)

$$Dsat = e_w \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad \text{ou} \quad Dsat = e_w - e$$

Rn : exposition énergétique nette ($MJ.m^{-2}$) selon une formule calibrée par Granier *et al*. pour les couverts forestiers. L'albédo de la surface évaporante (a) étant fixé à 0,11.

$$Rn = \left(1 - a\right) \times \left(Rg \times 0{,}71\right)$$

E_{air} : pouvoir évaporant de l'air

$$E_{air} = 0{,}26 \times Dsat \times \left[\left(0{,}40 \times V_{10m}\right) + 1\right]$$

L'ETP journalière ($mm.jour^{-1}$) est alors établie en combinant l'équation du bilan d'énergie (terme radiatif) et les équations de transfert de vapeur et de chaleur dans l'air (terme advectif) :

$$ETP = \left(\frac{1}{L} \times \frac{\Delta}{\Delta + g} \times Rn\right) + \left(\frac{g}{\Delta + g} \times E_{air}\right)$$

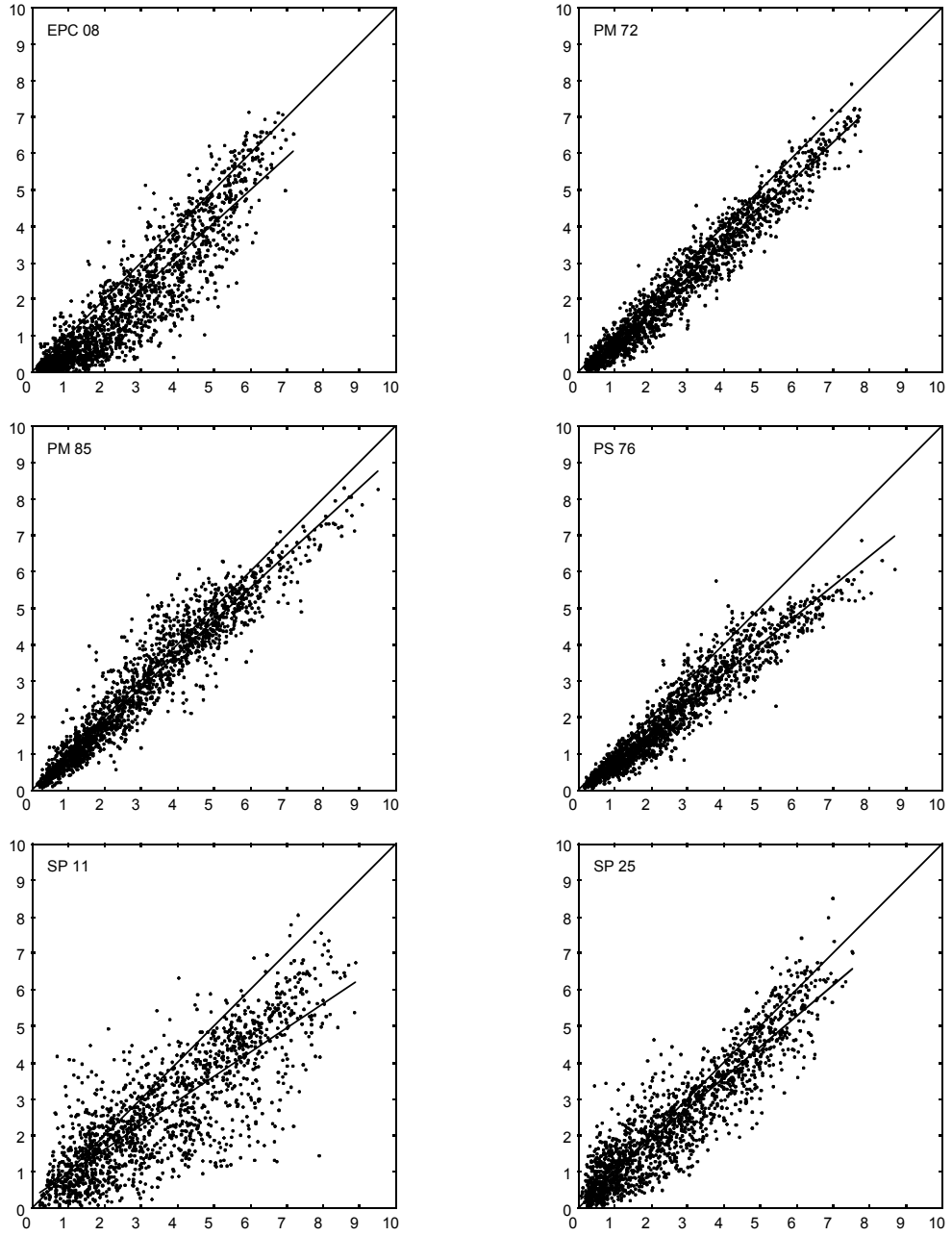
avec :

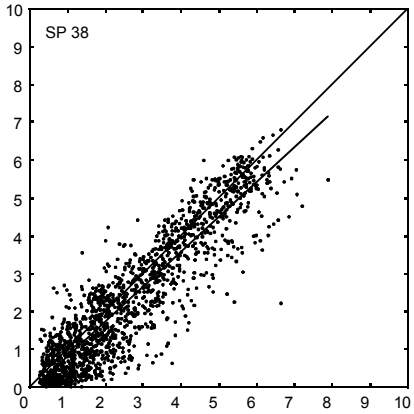
L : chaleur latente de vaporisation de l'eau = 2,50 $MJ.m^{-2}$ pour 1 mm d'eau

g : constante psychrométrique = 0,66 hPa. $degré^{-1}$;

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE JOURNALIERE

Relations entre l'ETP journalière (mm) calculée pour les stations Météo-France (abscisses) et pour les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression.

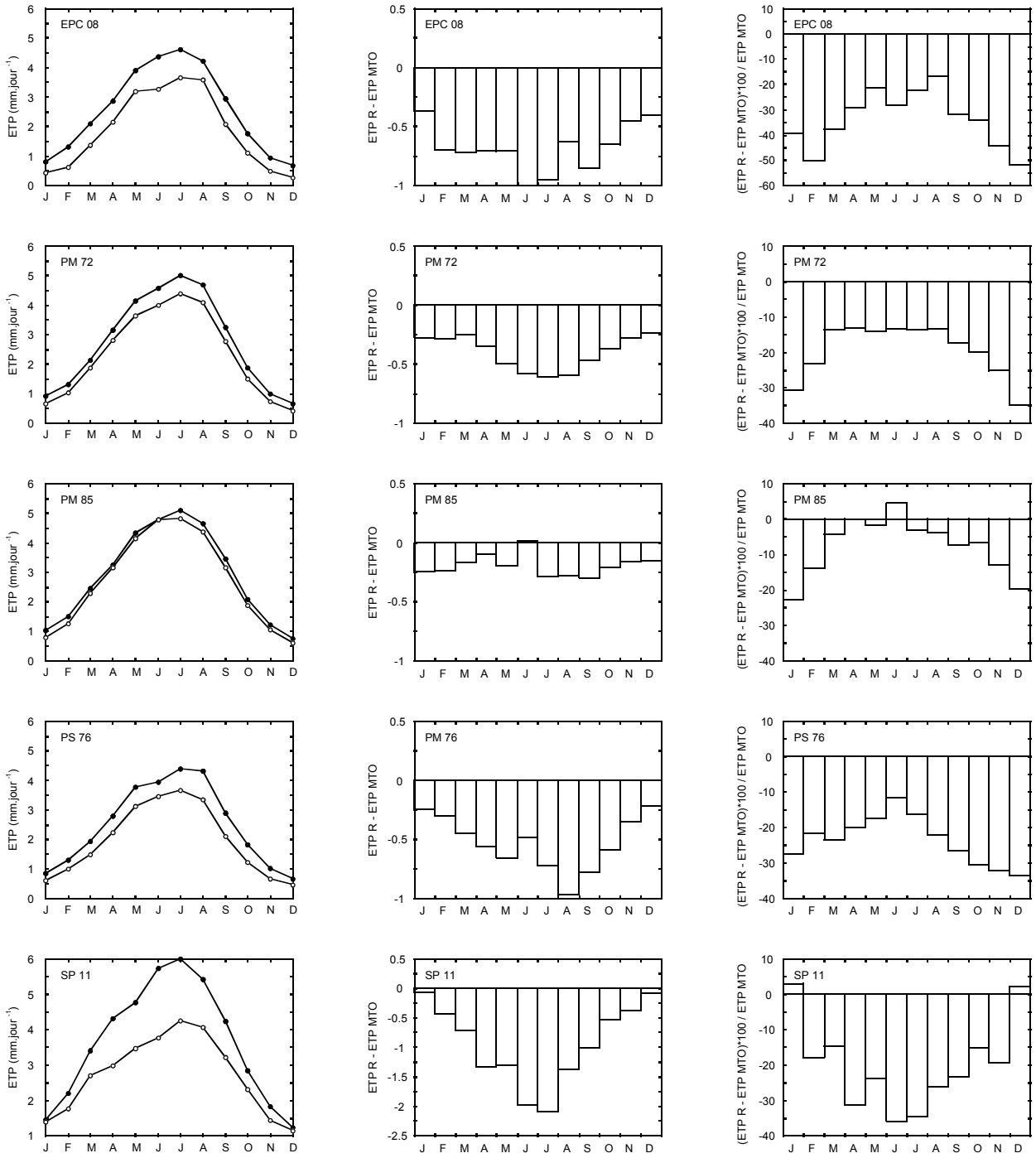


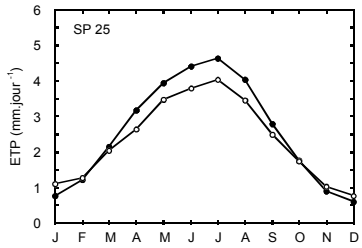

SP 38
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

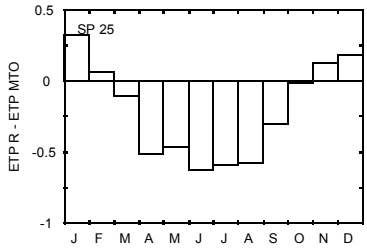
MOYENNES MENSUELLES DES ECARTS JOURNALIERS D'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

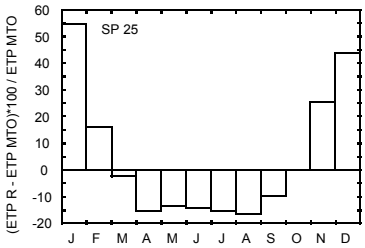
Moyennes mensuelles des écarts «ETP RENECOFOR – ETP Météo-France» (colonne centrale) et moyennes mensuelles des écarts journaliers relatifs «(ETP RENECOFOR – ETP Météo-France)*100/ ETP Météo-France» (colonne de droite).

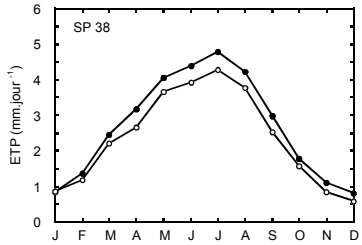
La colonne de gauche présente, pour information, la moyenne mensuelle des ETP journalières : en blanc, données RENECOFOR ; en noir, données Météo-France.

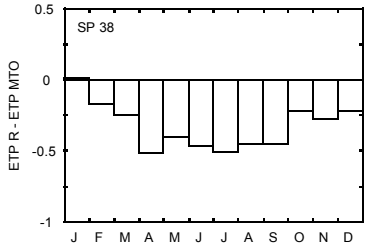


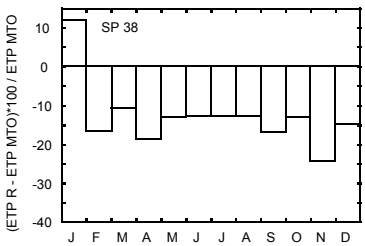

SP 25
ETP (mm.jour-1)
0
1
2
3
4
5
6
J F M A M J J A S O N D


SP 25
ETP R - ETP MTO
-1
-0.5
0
0.5
J F M A M J J A S O N D


SP 25
(ETP R - ETP MTO)*100 / ETP MTO
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
J F M A M J J A S O N D

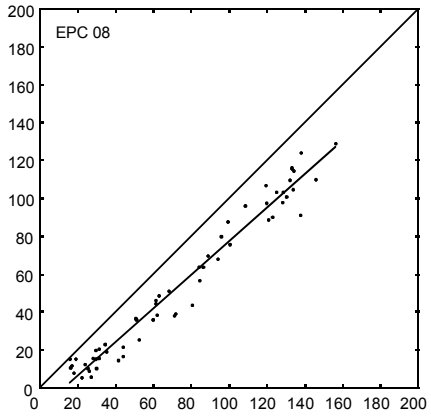

SP 38
ETP (mm.jour-1)
0
1
2
3
4
5
6
J F M A M J J A S O N D

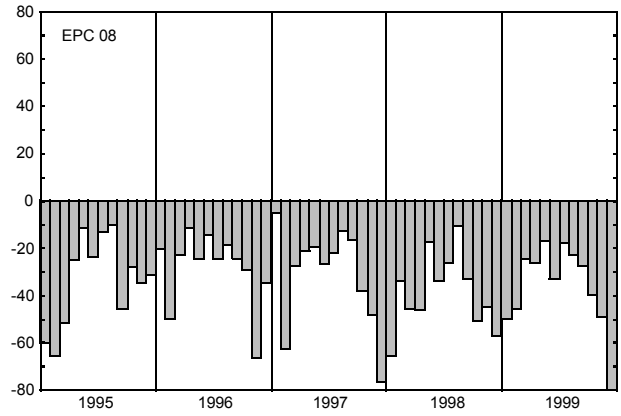

SP 38
ETP R - ETP MTO
-1
-0.5
0
0.5
J F M A M J J A S O N D

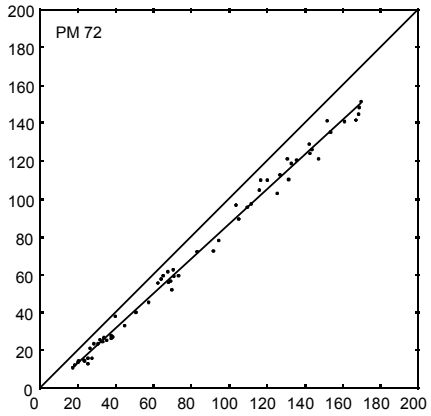

SP 38
(ETP R - ETP MTO)*100 / ETP MTO
-40
-30
-20
-10
0
10
J F M A M J J A S O N D

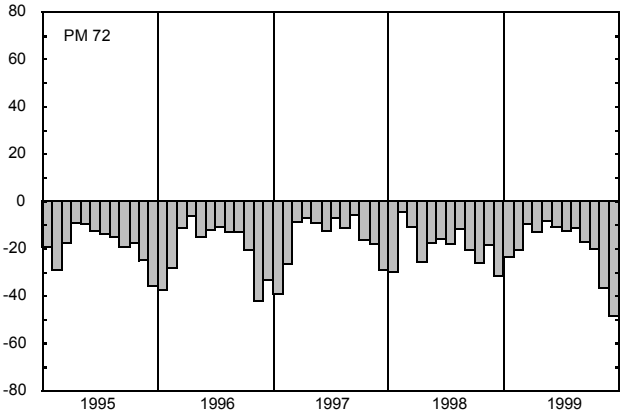
Relations entre l'ETP mensuelle calculée pour les stations Météo-France (abscisses) et pour les placettes RENECOFOR (ordonnées). Droite 1:1 et droite de régression.

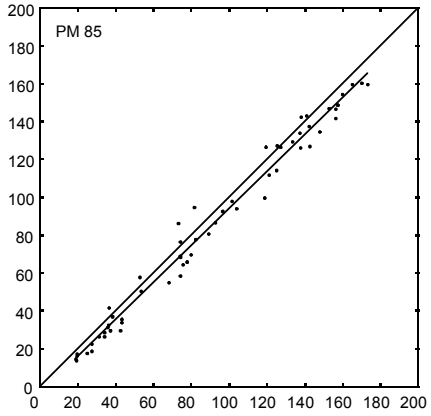
Distribution des écarts relatifs mensuels (%) calculés par la relation : Ecart (%) = (ETP RENECOFOR – ETP Météo-France) x 100 / ETP MétéoFrance.

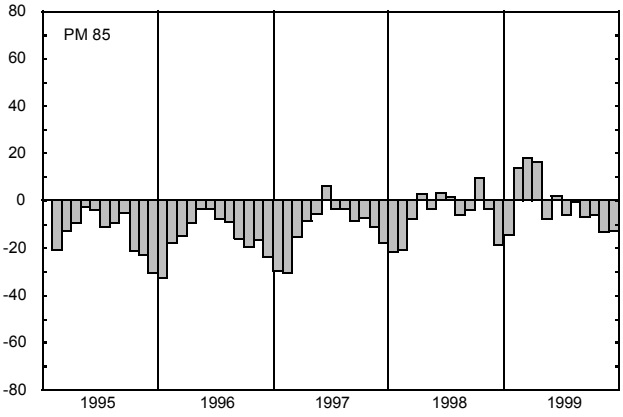


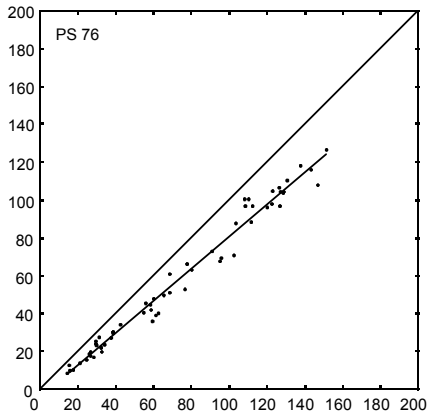


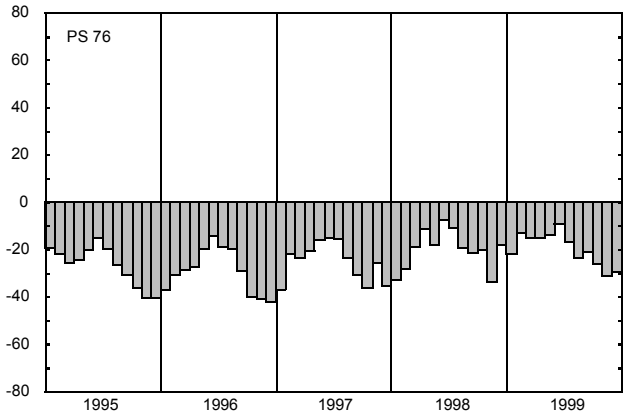


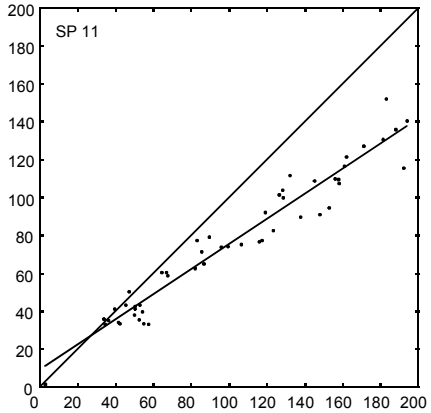


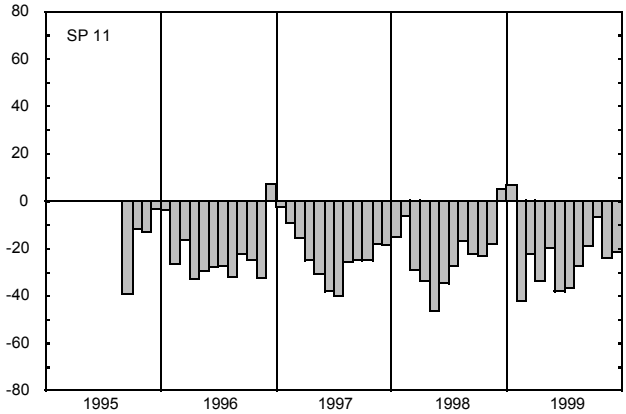


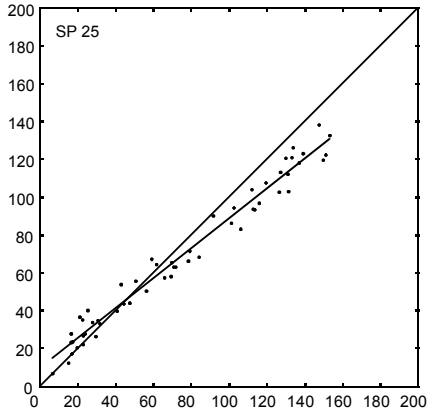


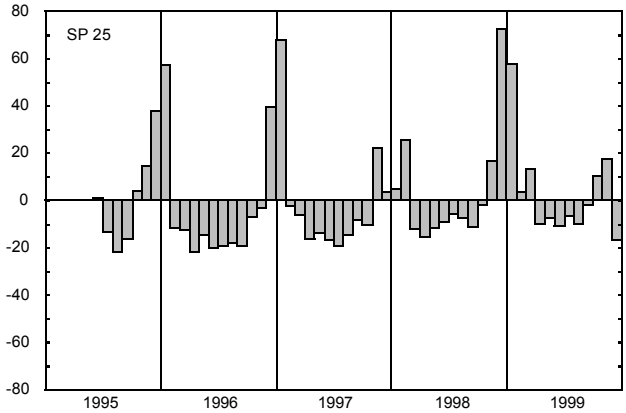

PS 76
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

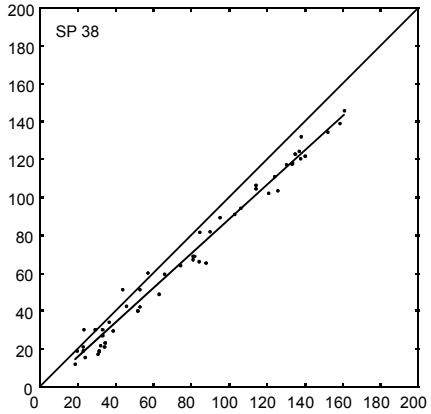

PS 76
80 60 40 20 0 -20 -40 -60 -80
1995 1996 1997 1998 1999

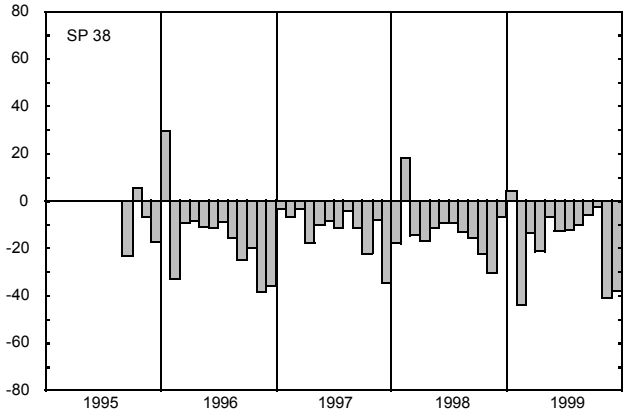

SP 11
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200


SP 11
80 60 40 20 0 -20 -40 -60 -80
1995 1996 1997 1998 1999


SP 25
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200


SP 25
80 60 40 20 0 -20 -40 -60 -80
1995 1996 1997 1998 1999

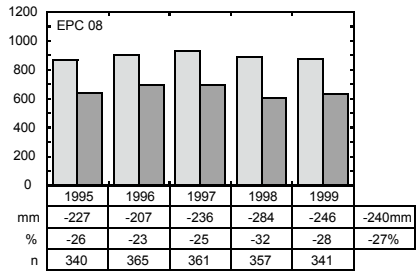

SP 38
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200


SP 38
80 60 40 20 0 -20 -40 -60 -80
1995 1996 1997 1998 1999

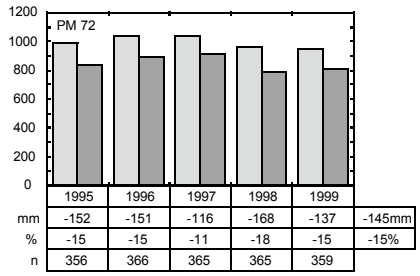
Cumul annuel et sur la période de végétation (avril à septembre) des ETP journalières calculées pour les stations Météo-France (gris clair) et pour les placettes RENECOFOR (gris foncé).

Différence «ETP RENECOFOR – ETP Météo-France» (en mm) ; différence relative «(ETP RENECOFOR – ETP Météo-France)*100/ETP Météo-France» (en %) ; nombre de jours de mesures sur la période (n) ; moyenne des différences et des différences relatives sur les cinq années de mesures.

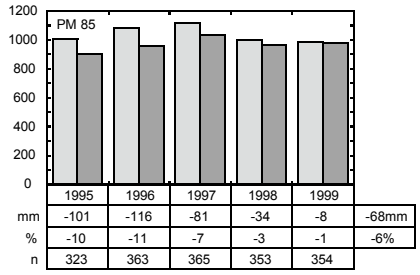
Cumul des ETP de janvier à décembre



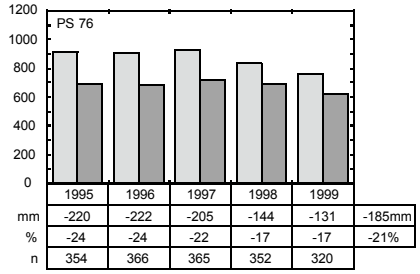
	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-227	-207	-236	-284	-246	-240mm
%	-26	-23	-25	-32	-28	-27%
n	340	365	361	357	341	



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-152	-151	-116	-168	-137	-145mm
%	-15	-15	-11	-18	-15	-15%
n	356	366	365	365	359	

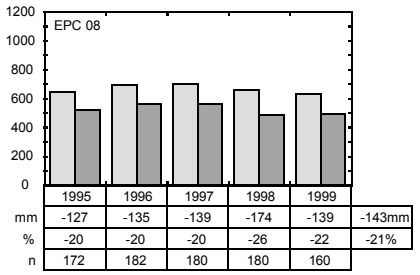


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-101	-116	-81	-34	-8	-68mm
%	-10	-11	-7	-3	-1	-6%
n	323	363	365	353	354	

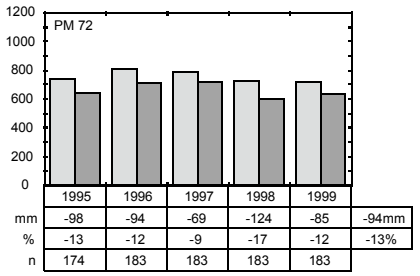


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-220	-222	-205	-144	-131	-185mm
%	-24	-24	-22	-17	-17	-21%
n	354	366	365	352	320	

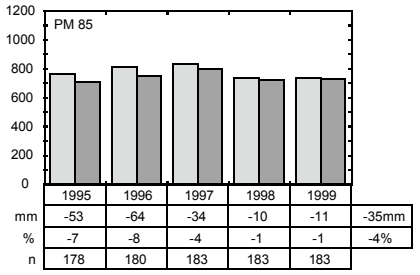
Cumul des ETP d'avril à septembre



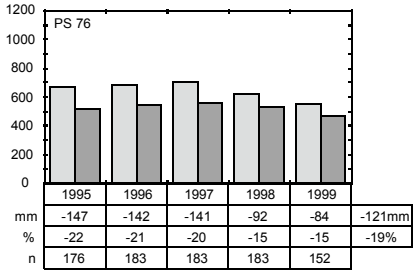
	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-127	-135	-139	-174	-139	-143mm
%	-20	-20	-20	-26	-22	-21%
n	172	182	180	180	160	



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-98	-94	-69	-124	-85	-94mm
%	-13	-12	-9	-17	-12	-13%
n	174	183	183	183	183	

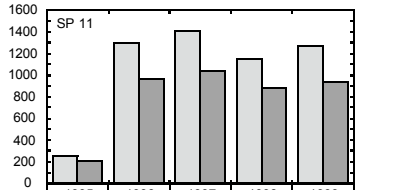


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-53	-64	-34	-10	-11	-35mm
%	-7	-8	-4	-1	-1	-4%
n	178	180	183	183	183	

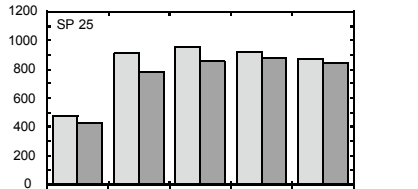


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-147	-142	-141	-92	-84	-121mm
%	-22	-21	-20	-15	-15	-19%
n	176	183	183	183	152	

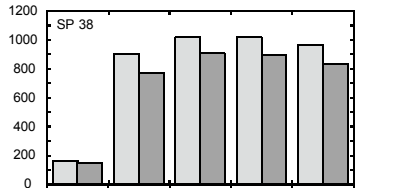
Cumul des ETP de janvier à décembre



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-42	-334	-372	-269	-335	-270mm
%	-17	-26	-26	-23	-27	-24%
n	108	361	365	326	360	

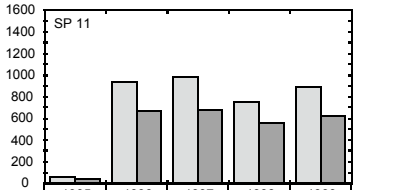


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-47	-130	-102	-43	-23	-69mm
%	-10	-14	-11	-5	-3	-8%
n	184	366	357	365	345	

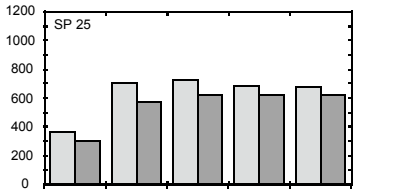


	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-13	-129	-110	-124	-130	-101mm
%	-8	-14	-11	-12	-14	-12%
n	108	361	365	365	361	

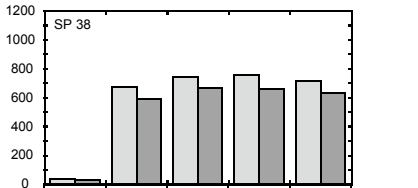
Cumul des ETP d'avril à septembre



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-21	-268	-302	-200	-266	-211mm
%	-39	-29	-31	-27	-30	-31%
n	16	183	183	144	178	



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-61	-133	-109	-65	-53	-84mm
%	-17	-19	-15	-10	-8	-14%
n	92	183	183	183	182	



	1995	1996	1997	1998	1999	
mm	-9	-88	-78	-91	-81	-69mm
%	-23	-13	-10	-12	-11	-14%
n	16	181	183	183	183	

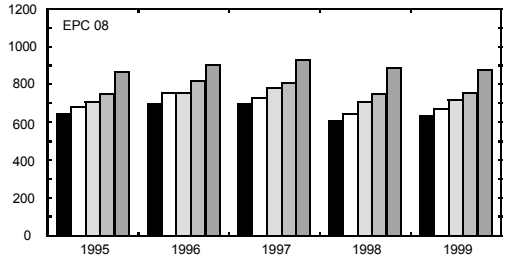
A gauche, cumul annuel et sur la période de végétation (avril à septembre) des ETP journalières (mm) calculées à partir :

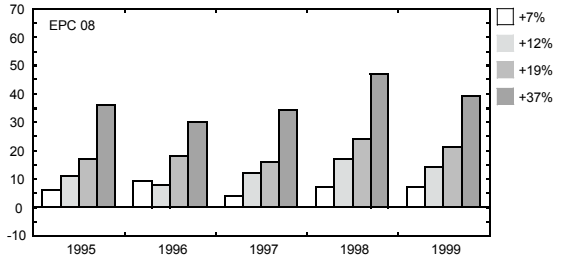
- uniquement les données RENECOFOR (noir) – ETP RENECOFOR ;
- les données RENECOFOR et les vitesses de vent de Météo-France (blanc) – ETP Vent ;
- les données RENECOFOR et les rayonnements de Météo-France (gris clair) – ETP Rayonnement ;
- les données RENECOFOR et les vitesses de vents et les rayonnements de Météo-France (gris moyen) - ETP Vent+Rg ;
- uniquement les données Météo-France (gris foncé) - ETP Météo-France.

A droite, différences relatives annuelles et sur la période de végétation (%) entre les ETP et l'ETP RENECOFOR et moyenne de ces différences sur les cinq années de mesure :

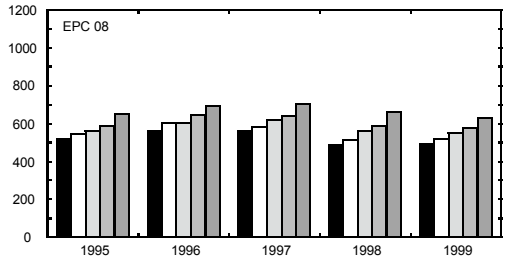
- ETP Vent – ETP RENECOFOR (blanc) ;
- ETP Rayonnement – ETP RENECOFOR (gris clair) ;
- ETP Vent+Rg – ETP RENECOFOR (gris moyen) ;
- ETP Météo-France – ETP RENECOFOR (gris foncé).

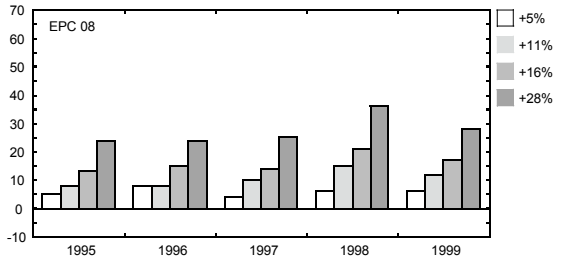
Cumul annuel



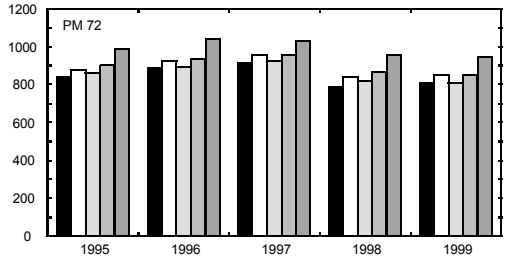


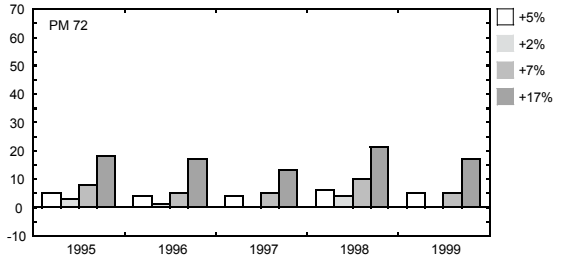
Période de végétation



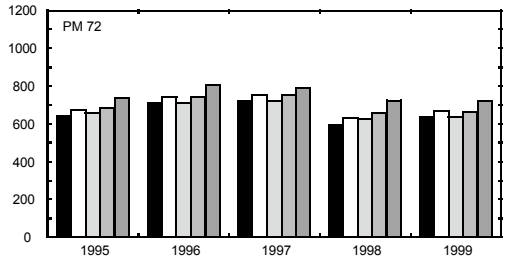


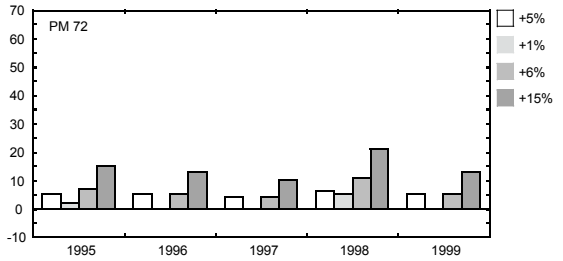
Cumul annuel



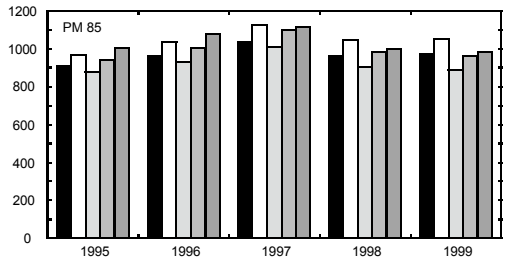


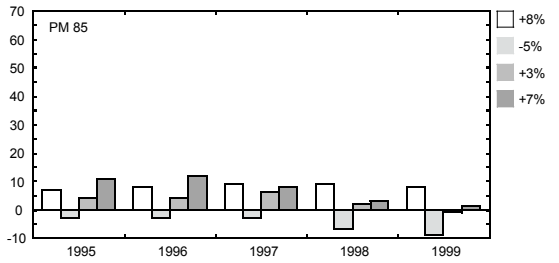
Période de végétation



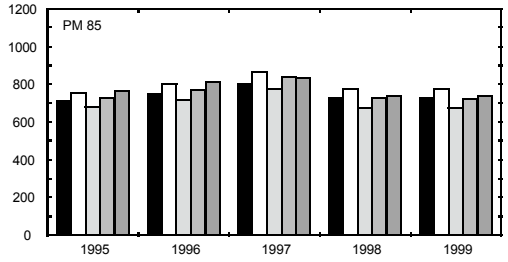


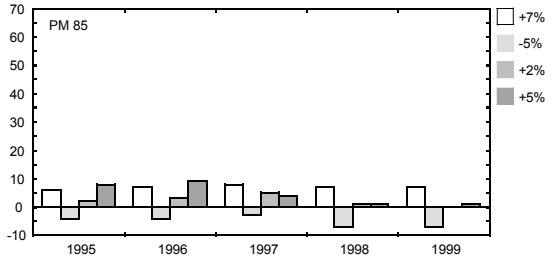
Cumul annuel



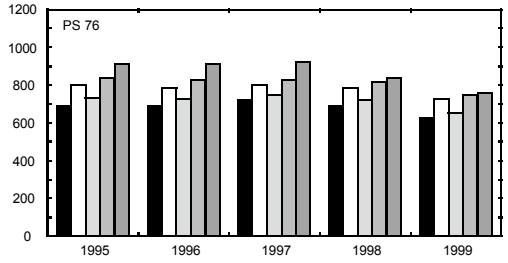


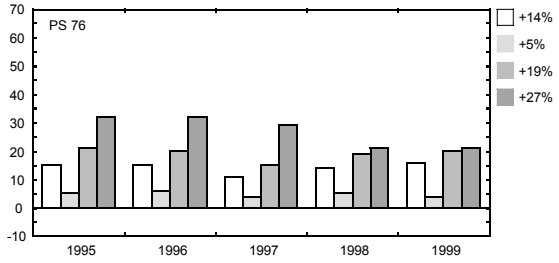
Période de végétation



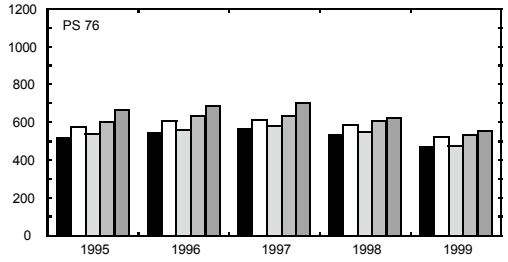


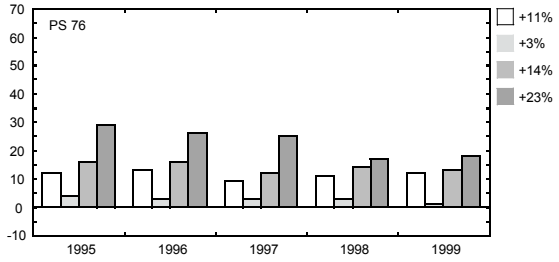
Cumul annuel



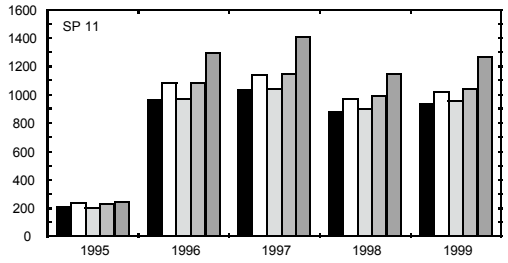


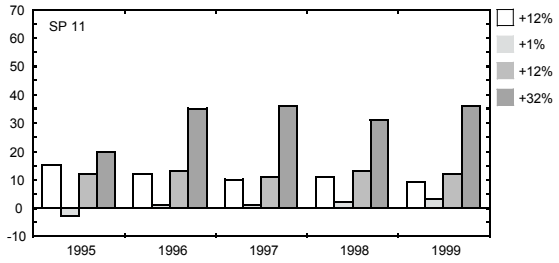
Période de végétation



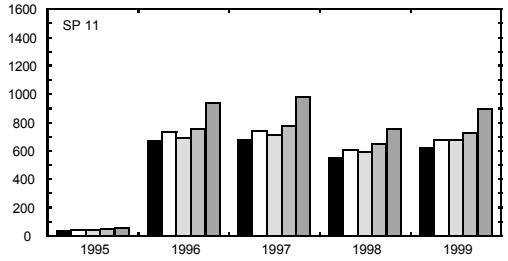


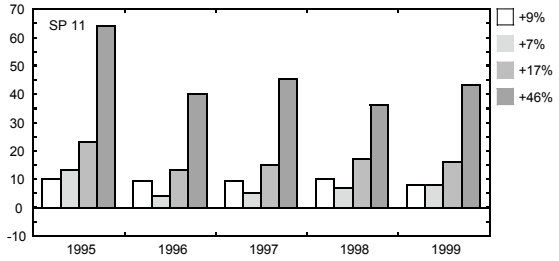
Cumul annuel



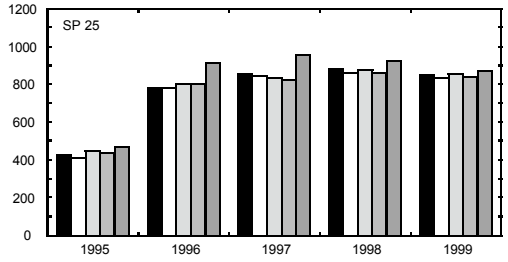


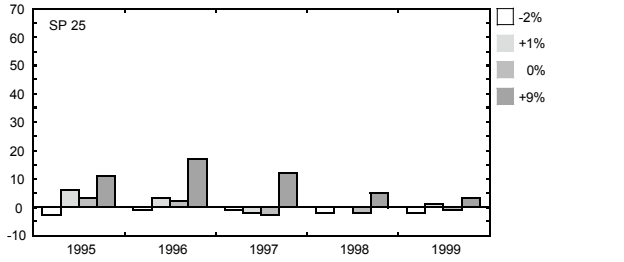
Période de végétation



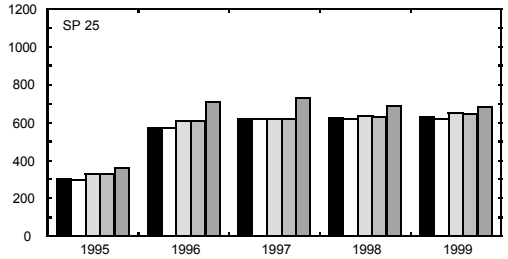


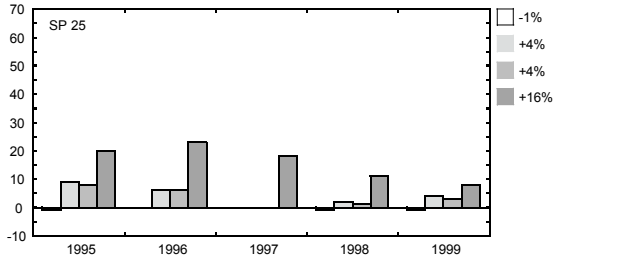
Cumul annuel



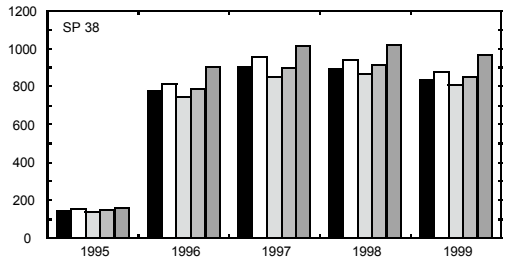


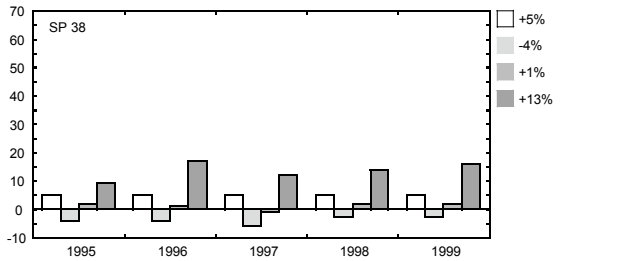
Période de végétation



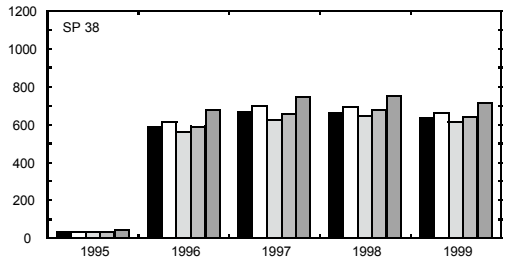


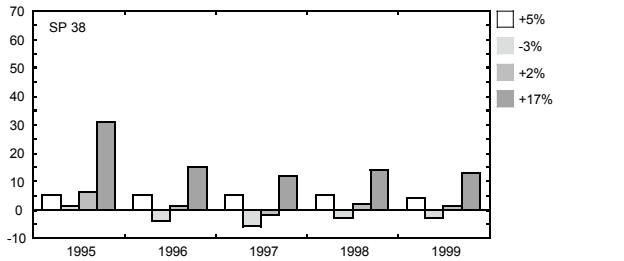
Cumul annuel





Période de végétation





Détermination des profondeurs d'enracinement pour les placettes du sous-réseau météorologique forestier à partir des descriptions des deux fosses pédologiques. Toutes les valeurs de densité apparente sont en g/cm^3.

SOLS CALCAIRES

PM 85 - ARENOSOL CALCAIRE

Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 140 cm et complétées par des prélèvements à la tarière jusqu'à 220 cm. La très faible charge en éléments grossiers ne constitue pas une contrainte à l'enracinement. Le matériau parental est un sable carbonaté (texture sableuse sur tout le profil) et la densité apparente maximum est égale à 1,40 dans les prélèvements les plus profonds (80 – 100 cm). Une nappe permanente était présente à 190 - 220 cm le jour de la description (19 septembre 1995). Des racines sont observées jusqu'au fond de la seconde fosse.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

HET 64 - CALCISOL

Les fosses ont été creusées jusqu'à 120 et 150 cm. L'enracinement est clairement limité par une dalle de calcaire dur fissuré en blocs sub-horizontaux à obliques.

La profondeur maximale d'enracinement correspond à la profondeur de la dalle, soit 110 cm.

SP 05 – CALCISOL / RENDISOL colluvial

Les deux solums décrits se développent dans des matériaux sensiblement différents.

Dans la première fosse, creusée jusqu'à une profondeur de 150 cm, un horizon fortement chargé en éléments grossier (plus de 75%) apparaît à 60 cm de la surface et la roche marneuse (horizon M) est atteinte à 130 cm. Aucune racine n'est observée à partir de cette profondeur. En conséquence, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 130 cm pour la première fosse.

Dans la seconde fosse, creusée jusqu'à une profondeur de 170 cm, la roche marneuse n'est pas atteinte. Les racines sont présentent jusqu'à la base du profil (densité moyenne) et la charge en éléments grossiers ne dépasse pas 50%. La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm pour cette fosse.

SP 11 – CALCISOL rédoxique

Les fosses ont été creusées jusqu'à 130 - 140 cm. L'enracinement est clairement limité à une profondeur de 110 cm par un niveau de marne dure peu ou faiblement fissurée. L'hydromorphie temporaire dans les horizons de surface (engorgement par imbibition) ne semble pas affecter fortement les systèmes racinaires.

La profondeur maximale d'enracinement correspond à la profondeur de la marne, soit 110 cm.

***SP 25* – CALCISOL rédoxique**

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à la dalle calcaire, soit respectivement jusqu'à 70 et 100 cm. L'enracinement est clairement limité par la dalle dans la seconde fosse et quelques racines ont été observées dans les fissures de la dalle calcaire de la première fosse.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 100 cm.

SOLS BRUNS

***PL 20* – BRUNISOL MESOSATURE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 110 - 120 cm et complétées par des prélèvements à la tarière jusqu'à 140-150 cm. La texture des horizons est sablo-argileuse jusqu'à une profondeur de 80 cm puis elle devient sableuse au delà (arène granitique). Les densités apparentes, mesurées jusqu'à 40 cm de profondeur, ne dépassent pas 1,13.

Dans la première fosse, la charge en éléments grossiers ne dépasse pas la classe 4 (50-75%) dans les horizons les plus profonds et les racines très fines, fines et moyennes y sont encore bien présentes (classe 3). Pour cette fosse, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm mais la charge en éléments grossiers est fixée arbitrairement à 75% entre 150 et 200 cm.

Dans la seconde fosse, l'augmentation progressive de la charge en éléments grossiers est accompagnée par une diminution de la densité des racines mais ces dernières sont encore observées en densité très faible jusqu'à la base du profil (140 cm). Pour cette fosse, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 150 cm.

***EPC 63* – BRUNISOL MESOSATURE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 160 et 180 cm dans des scories basaltiques et trachytiques. Les densités apparentes, mesurées jusqu'à une profondeur de 100 cm, ne dépassent pas 0,60. La texture, argileuse dans l'horizon A, devient rapidement sablo-limoneuse jusqu'à la base des profils, avec un niveau limoneux –limono-sableux entre 40 et 80 cm de profondeur. A la base des profils, la charge en éléments grossiers ne dépasse pas 75% et les racines, en densité faible dans la seconde fosse, sont encore présentes en forte densité au fond de la première fosse (160 cm).

Aucune contrainte à l'enracinement n'étant décrite, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm pour les deux fosses.

***SP 68* – BRUNISOL OLIGOSATURE**

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm dans un matériau colluvial d'épaisseur non définie. La charge en éléments grossiers est supérieure à 75% dès 40 - 50 cm mais des racines moyennes, fines et très fines sont réparties de façon homogène jusqu'à la base des profils. La texture limono-sableuse est homogène et la densité apparente ne dépasse pas 1,29.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***SP 57* – ALOCRISOL TYPIQUE**

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm dans des altérites sableuses de grès. Aucune contrainte à l'enracinement n'est mise en évidence : la charge en éléments grossiers est très faible à moyenne ; la texture sableuse est homogène ; la densité apparente ne dépasse pas 1,40 en profondeur ; les racines sont présentes jusqu'à la base des profils.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***SP 38* – ALOCRISOL TYPIQUE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 100 - 130 cm dans des dépôts glaciaires caillouteux (50 à 75 % d'éléments grossiers) puis dans une roche schisteuse très fragmentée à disposition horizontale jusqu'à une profondeur de 160 - 170 cm. Des racines, en densité faible, sont présentent dans ces couches de schiste.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

SOLS PODZOLISES

***PS 76* – PODZOSOL MEUBLE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 130 cm. La texture est sablo-limoneuse sur toute la hauteur des deux profils, sauf dans l'horizon II BT de la fosse 1 où elle est sablo-argileuse. Le second profil est moyennement caillouteux dès la surface et la charge en éléments grossiers dépasse 75% entre 70 et 110 cm de profondeur. Les racines peuvent dépasser cet obstacle mécanique puisqu'on les retrouve en densité faible (classe 2) au-delà de 110 cm dans un horizon moins chargé en éléments grossiers. Dans la première fosse, un horizon très caillouteux est présent entre 80 et 120 cm, mais comme dans le cas du second profil, la charge en cailloux diminue ensuite (charge moyenne) et les racines sont toujours présentes (classe 2).

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***PM 72* – PODZOSOL MEUBLE rédoxique**

Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 120 cm. Le matériau parental est un limon sableux sur argile sableuse : la texture, sableuse en surface, passe progressivement à sablo-limoneuse, sablo-argileuse puis argilo-sableuse vers 80 cm de profondeur. La charge en éléments grossiers ne dépasse pas 25% et des racines sont présentent jusqu'à la base des profils. La densité apparente des horizons profonds est une des plus fortes valeurs mesuré sur les placettes étudiées (1,58 entre 80 et 100 cm). Il est donc probable que l'enracinement des pins soit assez rapidement limité par l'augmentation de cette densité avec la profondeur.

En conséquence, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 150 cm.

***PS 67a* – PODZOSOL OCRIQUE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 200 cm et des racines ont été observées jusqu'à la base des profils. Aucune contrainte à l'enracinement est mise en évidence.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***HET 30* – PODZOSOL OCRIQUE**

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm dans des altérites sableuses colluvionnées de micaschiste. La texture, limono-sablo-argileuse en surface devient limono-sableuse à partir d'une profondeur de 30 - 40 cm et les densités apparentes mesurées ne dépassent pas 0,50. La charge en éléments grossiers est assez différente dans les deux fosses : dans la première elle ne dépasse pas 50% alors qu'elle dépasse 75% dans la seconde fosse à partir de 80 cm de profondeur, mais les fragments de micashiste ont alors une disposition redressée. Malgré ces charges en éléments grossiers, les racines peuvent pénétrer assez loin en profondeur avec une répartition homogène et une disposition générale diverse.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***EPC 87* – PODZOSOL OCRIQUE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm. La texture est sablo-argileuse jusqu'à 50 cm de profondeur puis devient sablo-limoneuse. La densité apparente est significativement corrélée avec la profondeur de prélèvement mais les valeurs restent relativement faibles (0,92 entre 80 et 100 cm). La charge en éléments grossiers est comprise entre 25 et 50% dans les horizons les plus profonds. Les racines, très fines et fines, sont décrite jusqu'au fond des profils et sont disposées de façon diverses.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

***EPC 08* – PODZOSOL OCRIQUE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 140 cm dans des limons sur schistes «ardoisiers». Dans les deux fosses, un horizon rocheux (très forte charge en pierres et cailloux de schiste de forme aplatie) est mis en évidence à 90 et 110 cm. Les racines étant très rares dans cet horizon, la profondeur maximale d'enracinement est fixée à 150 cm.

***DOU 71* – PODZOSOL OCRIQUE**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 140 cm et, comme dans le cas de la placette EPC 08, un niveau très chargé en éléments grossiers apparaît vers 100 cm. Cependant, au delà de cette profondeur, la densité des racines est encore moyenne (3 à 10 racines / dm^2) ou faible (1 à 3 racines / dm^2). La texture, sablo-argileuse en surface, devient sablo-limoneuse dès 40 cm. L'épaisseur de l'arène granitique colluvionnée n'étant pas connue, la profondeur maximale d'enracinement peut être fixée à 200 cm.

***PM 40c* – PODZOSOL HUMIQUE réductique**

Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 180 – 190 cm et les sols ne présentent pas de contraintes mécaniques fortes à l'enracinement (texture sableuse sur tout le profil, charge nulle en éléments grossiers, densité apparente inférieure à 1,30). Des racines sont observées jusqu'au fond des fosses et une nappe était présente à 170 cm le jour de la description (8 août 1995).

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

SOLS LESSIVES ET LESSIVES HYDROMORPHES

***HET 54a* – NEOLUVISOL rédoxique / BRUNISOL OLIGOSATURE rédoxique**

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à 150 cm et complétées par des prélèvements à la tarière jusqu'à 160 – 170 cm. Le matériau parental est constitué par des alluvions anciennes sur marnes. La texture est limoneuse à limono-sableuse en surface et devient argileuse (voire argile lourde dans le cas de la première fosse) à partir de 50 – 60 cm de profondeur, c'est à dire au début de l'horizon BTg1 (fosse 2) ou IISg (fosse 1). Cette augmentation brutale du taux d'argile s'accompagne d'une forte réduction de l'enracinement mais la densité apparente des horizons profonds (80 et 100 cm). ne dépasse pas la valeur de 1,20. Les racines sont présentes jusqu'à la base des profils avec une disposition générale diverse, y compris dans la partie supérieure de la marne. Il est cependant peu probable que les racines puissent coloniser très profondément ce matériau très argileux.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 150 cm.

***CHS 35* – LUVISOL TYPIQUE rédoxique, à micropodzol**

Les fosses ont été creusées jusqu'à 120 cm et complétées par un prélèvement à la tarière jusqu'à 140 cm dans la seconde fosse. A cette profondeur, la charge en cailloux est moyenne (25 à 50% d'éléments grossiers) ou faible. La texture limono-argileuse en surface passe à argilo-limoneuse (fosse 1) ou limono-argilo-sableuse (fosse 2) au niveau de l'horizon BTg (à partir de 50 – 60 m de profondeur) : la transition n'est donc pas franchement brutale. La densité

apparente évolue également au niveau du BTg en passant de 1,00 pour les horizons supérieurs à 1,28 entre 40 et 80 cm, mais elle reste relativement stable avec la profondeur (1,33 entre 80 et 100 cm). La compacité des horizons, la charge en éléments grossiers et l'hydromorphie temporaire ne semblent donc pas constituer des contraintes fortes à l'enracinement. Les racines sont d'ailleurs présentes jusqu'au fond des fosses en proportion faible à très faible (de 3 à moins de 1 racine / dm^2) avec une disposition générale diverse.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

CHS 41 – *LUVISOL rédoxique / LUVISOL-REDOXISOL*
Les fosses ont été creusées jusqu'à 110 cm et la tarière a été utilisée jusqu'à 120 cm. La profondeur prospectable par les racines est estimée à 110 cm en raison de la compacité des horizons II BTg (fosse 1) et BTg2 (fosse 2) estimée sur le terrain à partir de 60 cm de profondeur. Cette contrainte est confirmée par une densité apparente égale à 1,57 entre 80 et 100 cm de profondeur et des texture argileuse (fosse 1) et argile lourde (fosse 2). Cette valeur de densité, une des plus élevée des placettes étudiées ici, ainsi que la nature argileuse du matériau parentale, laissent supposer que les possibilités d'enracinement sont assez rapidement limitées au-delà des horizons décrits dans les fosses.

La profondeur maximale d'enracinement est donc fixée à 150 cm.

EPC 74 – *LUVISOL-REDOXISOL*
Les fosses ont été creusées jusqu'à 120 cm dans une altérite de schistes et de grès. La texture, argileuse sur les 40 premiers centimètres, devient une argile lourde dans l'horizon BTg ; la densité apparente passant de 1,00 à 1,44. L'altérite apparaît à partir de 70 – 90 cm. La texture devient limono-sablo-argileuse mais la densité apparente augmente encore (1,51 entre 80 et 100 cm). L'hydromorphie est très importante et apparaît dès la surface. Une nappe temporaire était présente à 70 cm le jour de la description (2 octobre 1995).

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 150 cm.

CHS 10 – *LUVISOL-REDOXISOL dégradé*

Les deux fosses ont été creusées jusqu'à 100 et 140 cm dans un matériau limoneux. La texture, limono-argileuse en surface, devient argilo-limoneuse au niveau des horizons BTg1 et BTg2 de la première fosse et argileuse dans la seconde fosse. Malgré une densité apparente de 1,56 dans l'horizon BTg2 de la seconde fosse (entre 80 et 100 cm), la densité des racines est encore très significative (densité moyenne - 3 à 10 racines/dm^2) jusqu'à 140 cm. Dans la première fosse, l'enracinement est au contraire limité en profondeur par l'horizon BTg2 (vers 50 – 60 cm).
Les profondeurs maximales d'enracinement sont fixées à 150 cm pour la fosse 1 et 200 cm pour la fosse 2.

CHP 59 – *LUVISOL-REDOXISOL dégradé*
Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 140 cm et la fosse 2 a été complétées par un prélèvement à la tarière jusqu'à 205 cm. En surface, la texture est limoneuse et la densité apparente évolue de 1,05 à 1,32. L'horizon BTg, avec une texture limono-argileuse et une densité apparente de 1,50 est encore bien prospecté par les racines (densité moyenne) jusqu'à une profondeur de 80 – 90 cm. L'enracinement diminue fortement au niveau de l'horizon Cg, toujours limono-argileux, avec une densité apparente de 1,56. Les racines sont toutefois présentes jusqu'à une profondeur de 150 cm. Un prélèvement à la tarière jusqu'à plus de 200 cm, effectué dans la seconde fosse, met en évidence l'absence d'obstacle massif. L'enracinement ne peut donc être contraint que par la nappe temporaire et l'augmentation de la densité apparente en profondeur.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

PS 44 – *LUVISOL-REDOXISOL dégradé*
Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 110 - 120 cm dans un matériau détritique limoneux à limono sableux. La densité apparente ne semble pas être une contrainte : elle passe de 0,91 en surface à 1,33 dans l'horizon BTg, puis elle n'évolue plus avec la profondeur (1,33 encore entre 80 et 100 cm). La charge en éléments grossiers est faible. Les racines sont encore bien présentes au fond des fooses.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

SOLS HYDROMORPHES

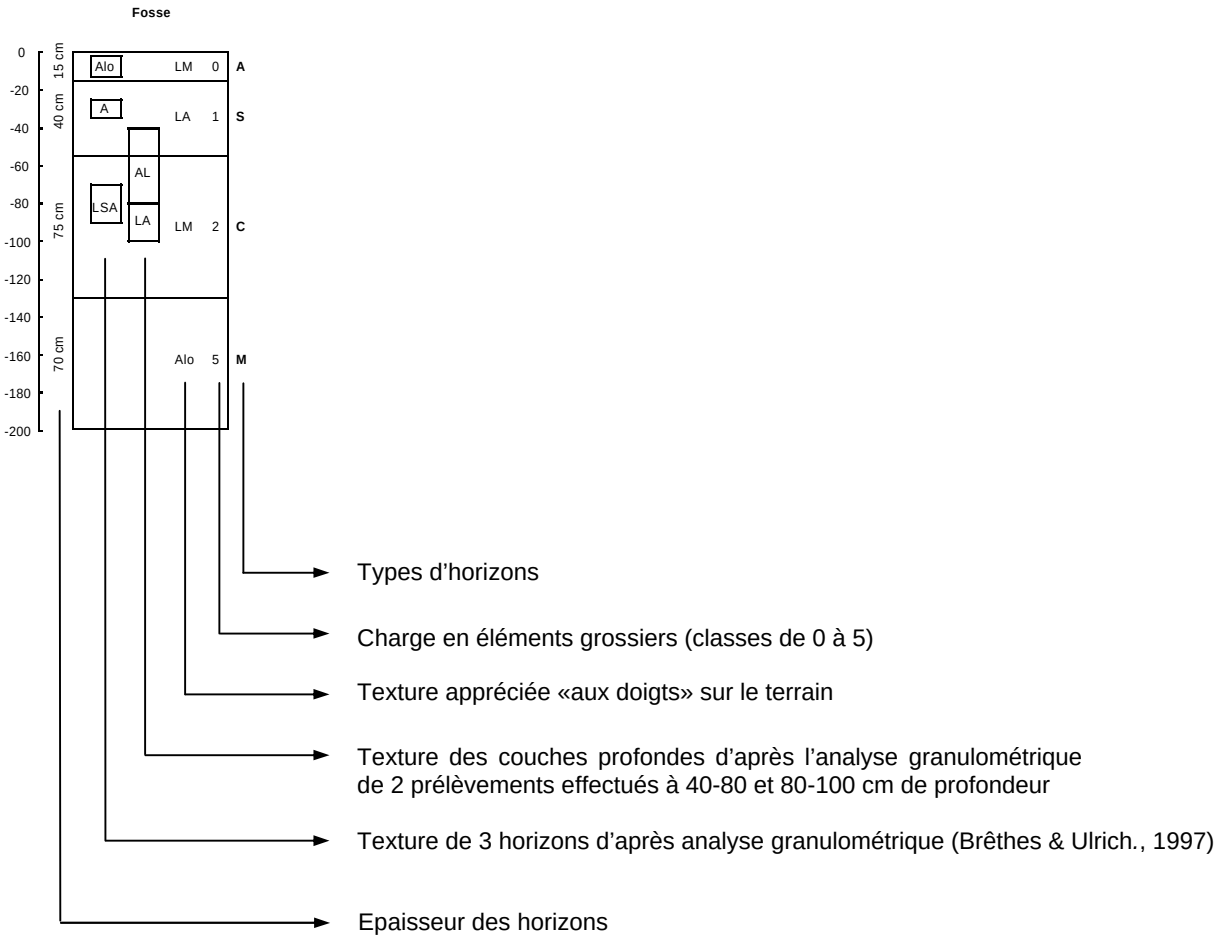
CHP 40 – *REDUCTISOL fluvique*

Les fosses ont été creusées jusqu'à une profondeur de 150 cm et complétées par des prélèvements à la tarière jusqu'à 280 cm. Des racines ont été observées jusqu'au fond des fosses. La texture de tous les horizons est limono-sableuse. La densité apparente passe de 1,37 en surface à 1,65 au niveau de l'horizon Go2 (prélèvements 40 – 80 cm). Entre 80 et 100 cm la densité reste stable avec une valeur égale à 1,66 (plus forte valeur observée sur les placettes CATAENAT de cette étude). La charge en éléments grossiers est nulle. Une nappe est présente en permanence en profondeur (280 cm le jour de la description) et peut remonter à 80-110 cm de la surface du sol.

La profondeur maximale d'enracinement est fixée à 200 cm.

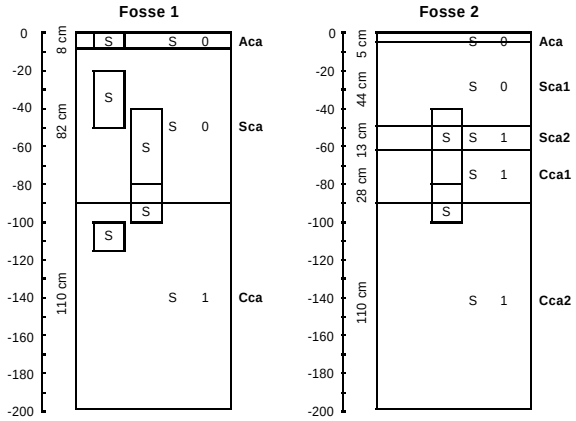
Bilan des données disponibles concernant la granulométrie et la texture des sols

Légende des diagrammes :

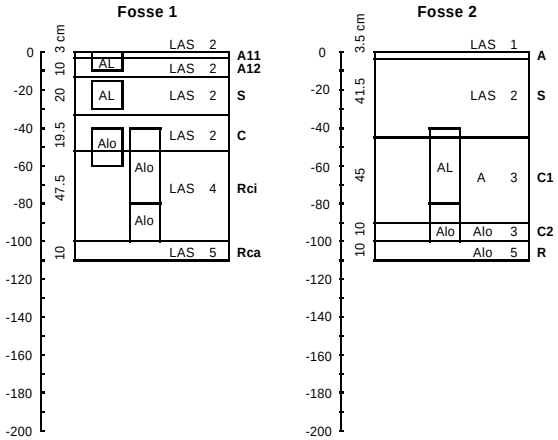


SOLS CALCAIRES

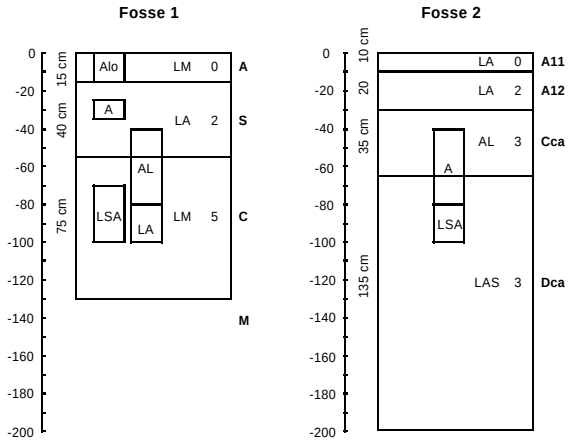
PM 85



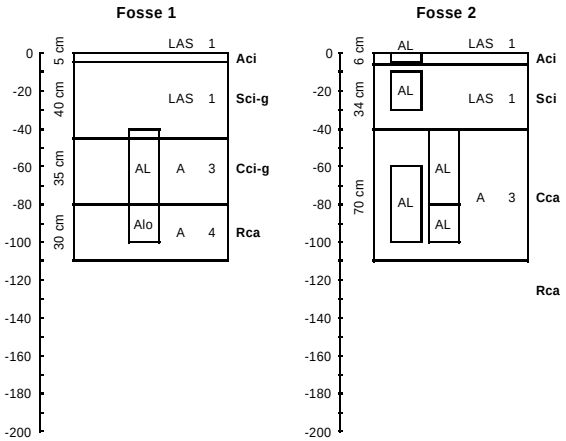
HET 64



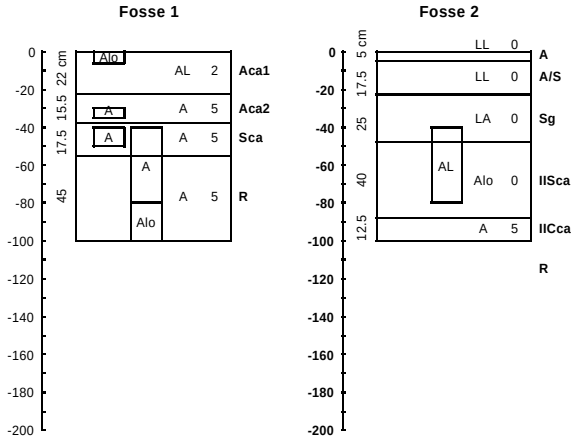
SP 05



SP 11

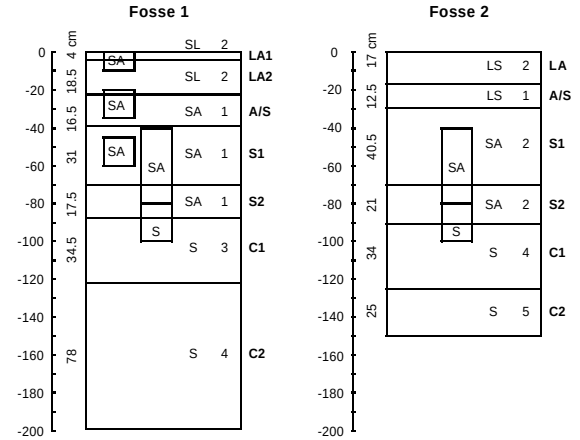


SP 25

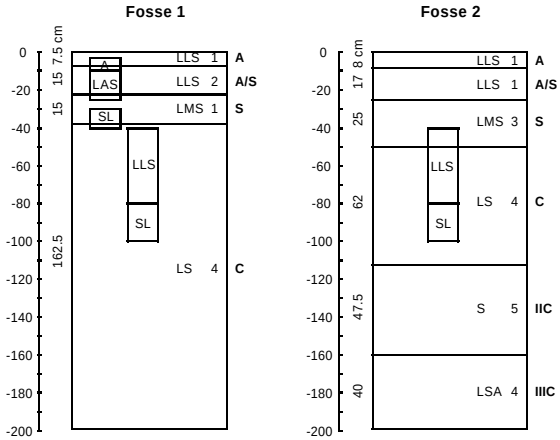


SOLS BRUNS

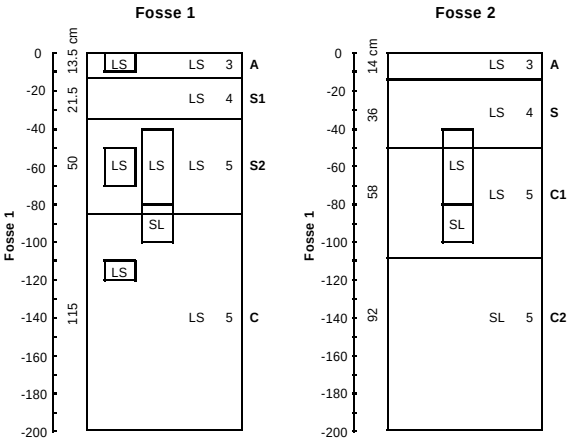
PL 20



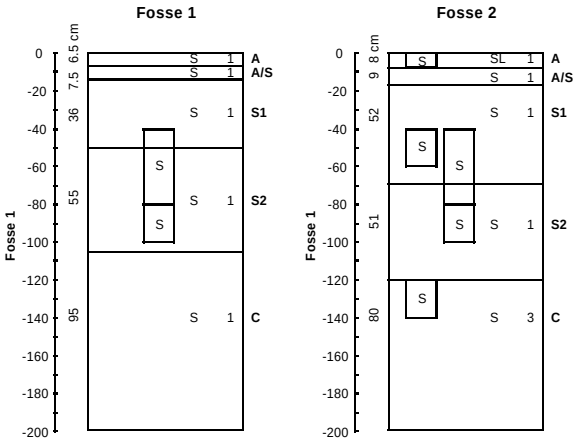
EPC 63



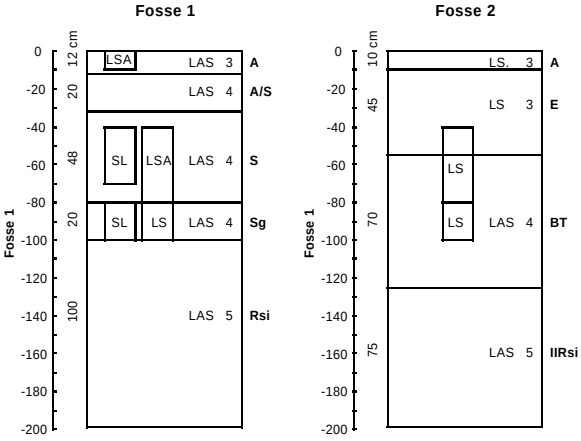
SP 68



SP 57

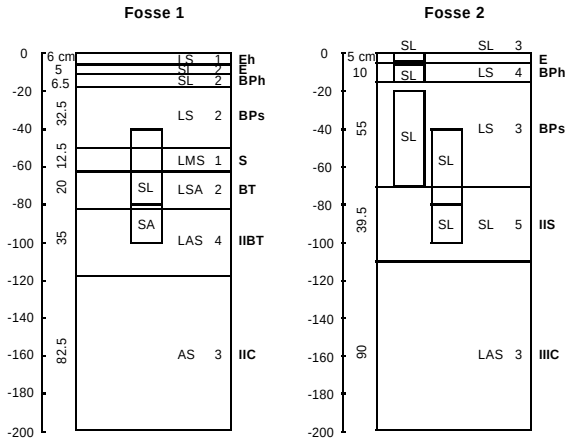


SP 38

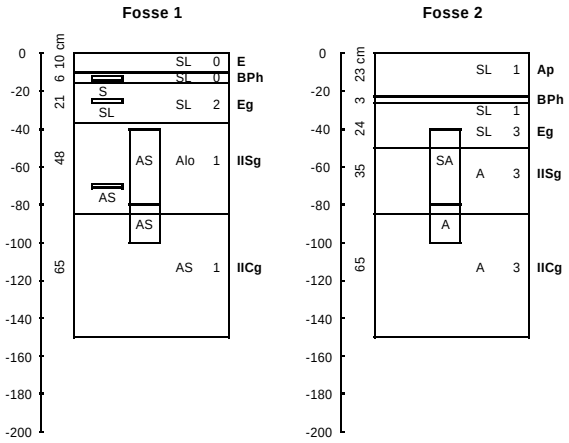


SOLS PODZOLISES

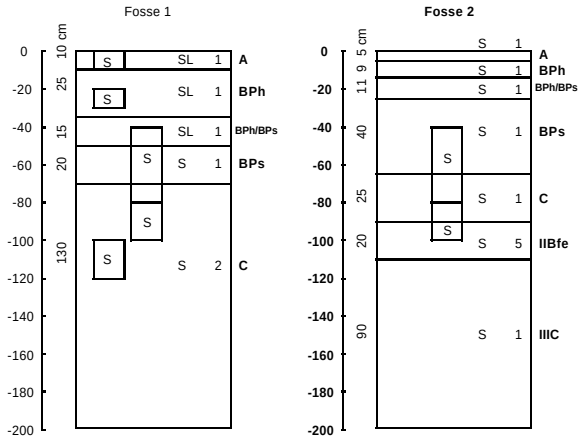
PS 76



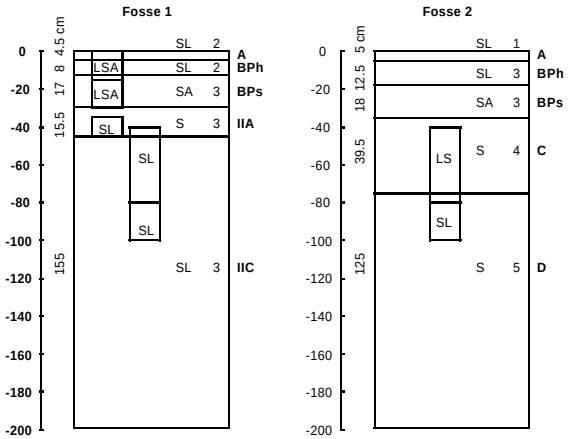
PM 72



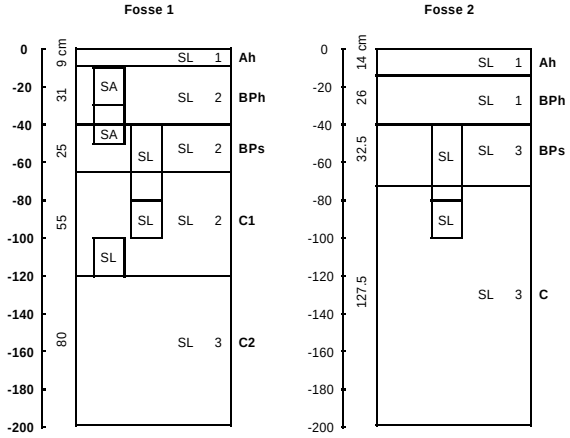
PS 67a



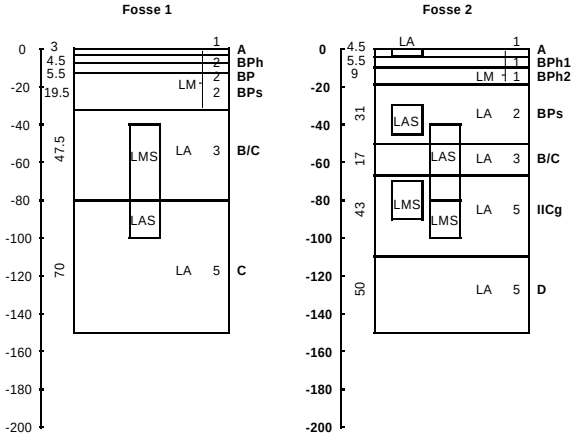
HET 30



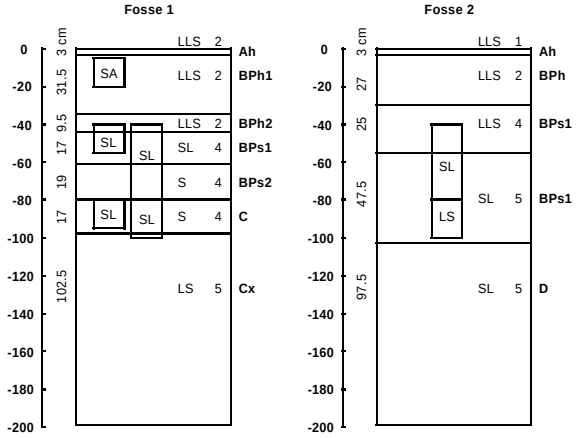
EPC 87



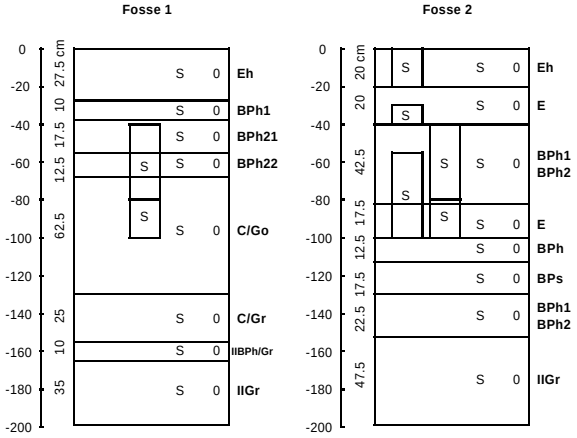
EPC 08



DOU 71

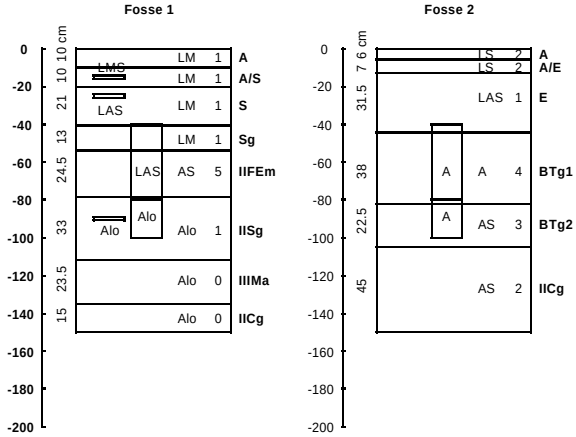


PM 40c

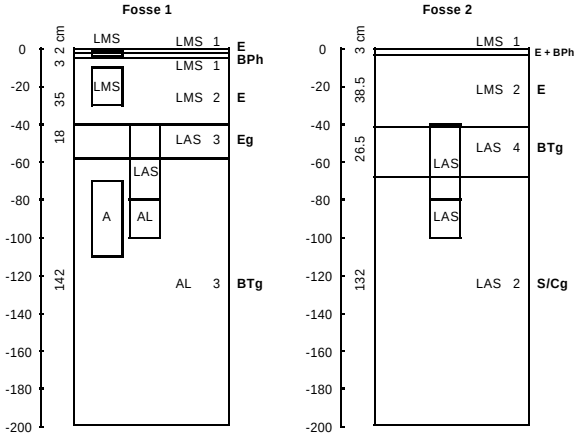


SOLS LESSIVES ET LESSIVES HYDROMORPHES

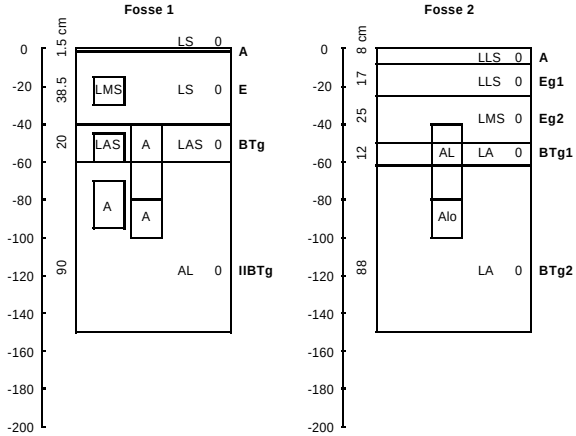
HET 54a



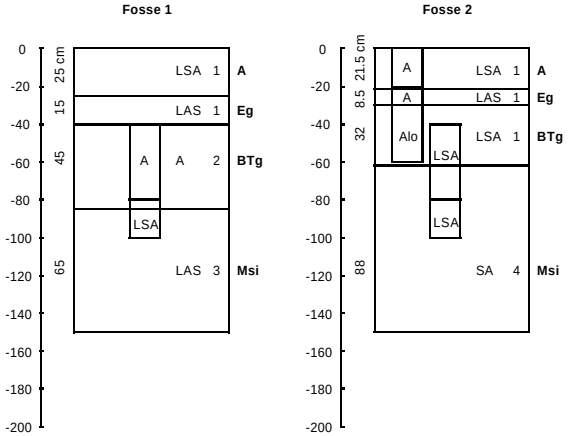
CHS 35



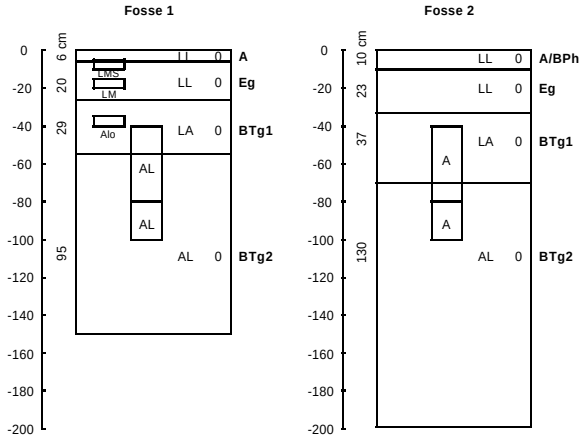
CHS 41



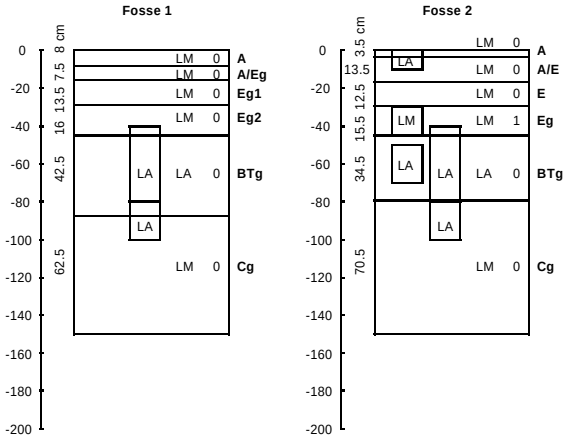
EPC 74



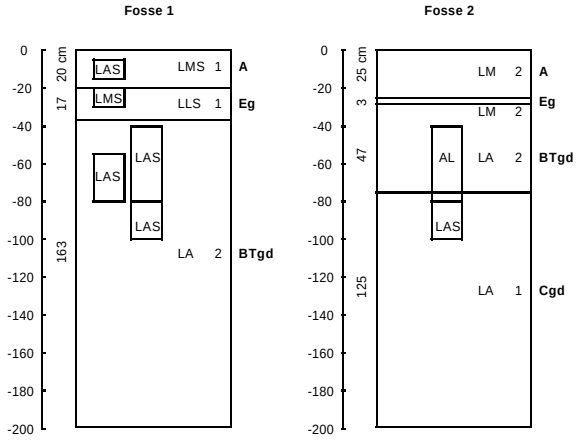
CHS 10



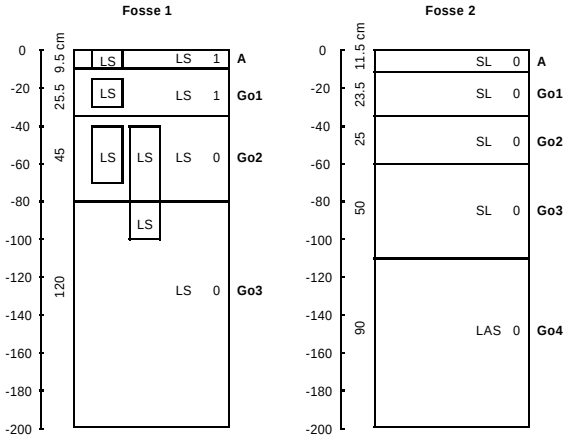
CHP 59



PS 44



CHP 40



Recodage des classes de texture selon le diagramme de classification du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Jamagne, 1967, in Baize, 2000).

Texture 1 : texture appréciée «aux doigts» sur le terrain. Cette texture est présentée ici à titre indicatif. Elle n'est pas utilisée dans les calculs de réserve utile.

Texture 2 : texture appréciée à partir des analyses granulométriques (n=266) et textures extrapolées (n=104, sur fond gris) soit :

- à partir de l'horizon supérieur (? ▼) ;
- à partir de l'horizon inférieur (? ▲) ;
- à partir des données de la fosse n°2 (? ◀) ;
- à partir des données de la fosse n°1 (? ▶).

Cx : charge en élément grossiers :

- classe 0 - charge nulle 0%
- classe 1 - très faible charge ..... 0% à 5% de cailloux
- classe 2 - faible charge ..... 5% à 25% de cailloux
- classe 3 - charge moyenne ..... 25% à 50% de cailloux
- classe 4 - forte charge ..... 50% à 75% de cailloux
- classe 5 - très forte charge ..... 75% à 100% de cailloux

SOLS CALCAIRES

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
PM85	Aca	8.0	S	S	0	Aca	5.0	S	▶ S	0
	Sca	82.0	S	S	0	Sca1	44.0	S	▶ S	0
	Cca	110.0	S	S	1	Sca2	13.0	S	S	1
						Cca1	28.0	S	S	1
						Cca2	110.0	S	S	1
HET64	A11	3	LAS	AL	2	A	3.5	LAS	▶ AL	1
	A12	10	LAS	AL	2	S	41.5	LAS	▶ AL	2
	S	20	LAS	AL	2	C1	45	A	AL	3
	C	19.5	LAS	Alo	2	C2	10	Alo	Alo	3
	Rci	47.5	LAS	Alo	4	R	10	Alo	▼ Alo	5
	Rca	10	LAS	Alo	5					
SP05	A	15	LM	Alo	0	A11	10	LA	▶ Alo	0
	S	40	LA	A	2	A12	20	LA	▶ A	2
	C	75	LM	LA	5	Cca	35	AL	A	3
						Dca	135	LAS	LSA	3
SP11	Aci	5	LAS	AL ◀	1	Aci	6	LAS	AL	1
	Sci-g	40	LAS	AL ◀	1	Sci	34	LAS	AL	1
	Cci-g	35	A	AL	3	Cca	70	A	AL	3
	Rca	30	A	AL	4					
SP25	Aca1	22	AL	Alo	2	A	5	LL	▶ A	0
	Aca2	15.5	A	A	5	A/S	17.5	LL	▶ A	0
	Sca	17.5	A	A	5	Sg	25	LA	▶ A	0
	R	45	A	A	5	IISca	40	ALO	AL	0
						IICca	12.5	A	▶ Alo	5

SOLS BRUNS

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
PL20	LA1	4	SL	SA	2	LA	17	LS	▸ SA	2
	LA2	18.5	SL	SA	2	A/S	12.5	LS	▸ SA	1
	A/S	16.5	SA	SA	1	S1	40.5	SA	SA	2
	S1	31	SA	SA	1	S2	21	SA	SA	2
	S2	17.5	SA	SA	1	C1	34	S	S	4
	C1	34.5	S	S	3	C2	25	S	▸ S	5
	C2	78	S	▾ S	4					
EPC63	A	7.5	LLS	A	1	A	8	LLS	▸ A	1
	A/S	15	LLS	LAS	2	A/S	17	LLS	▸ LAS	1
	S	15	LMS	SL	1	S	25	LMS	▸ SL	3
	C	42.5	LS	LLS	4	C	62.5	LS	LLS	4
	C	120	LS	SL	4	IICca	47.5	S	▸ SL	5
						IIIC	40	LSA	▾ SL	4
SP68	A	13.5	LS	LS	3	A	14	LS	▸ LS	3
	S1	21.5	LS	▾ LS	4	S	36	LS	▸ LS	4
	S2	50	LS	LS	5	C1	58	LS	LS	5
	C	115	LS	LS	5	C2	92	SL	LS	5
SP57	A	6.5	S	S ◂	1	A	8	SL	S	1
	A/S	7.5	S	S ◂	1	A/S	9	S	▾ S	1
	S1	36	S	S ◂	1	S1	52	S	S	1
	S2	55	S	S	1	S2	51	S	S	1
	C	95	S	S ◂	1	C	80	S	S	3
SP38	A	12	LAS	LSA	3	A	10	LS	▸ LSA	3
	A/S	20	LAS	▾ LSA	4	E	45	LS	LS	3
	S	48	LAS	LSA	4	BT	70	LAS	LS	4
	Sg	20	LAS	LS	4	IIRsi	75	LAS	▾ LS	5
	Rsi	100	LAS	▾ LS	5					

SOLS PODZOLISES

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
PS76	Eh	6	LS	SL ◂	1	E	5	SL	SL	3
	E	5	SL	SL ◂	2	BPh	10	LS	SL	4
	BPh	6.5	SL	SL ◂	2	BPs	55.5	LS	SL	3
	BPs	32.5	LS	SL	2	IIS	39.5	SL	SL	5
	S	12.5	LMS	SL	1	IIIC	90	LAS	▸ SA	3
	BT	20	LSA	SL	2					
	IIBT	35	LAS	SA	4					
	IIC	82.5	AS	▾ SA	3					
PM72	E	10	SL	▴ S	0	Ap	23	SL	▸ S	1
	BPh	6	SL	S	0	BPh	3	SL	▸ S	1
	Eg	21	SL	SL	2	Eg	24	SL	▸ SL	3
	IISg	48	Alo	AS	1	IISg	35	A	SA	3
	IICg	65	AS	AS	1	IICg	65	A	A	3
PS67a	A	10	SL	S	1	A	5	S	▸ S	1
	BPh	25	SL	S	1	BPh	9	S	▸ S	1
	BPh/BPs	15	SL	S	1	BPh/BPs	11	S	▸ S	1
	BPs	20	S	S	1	BPs	40	S	S	1
	C	130	S	S	2	C	25	S	S	1
						IIBfe	20	S	S	5
						IIIC	90	S	▾ S	1
HET30	A	4.5	SL	LSA	2	A	5	SL	▸ LSA	1
	BPh	8	SL	LSA	2	BPh	12.5	SL	▸ LSA	3
	BPs	17	SA	LSA	3	BPs	18	SA	▸ LSA	3
	IIA	15.5	S	SL	3	C	39.5	S	LS	4
	C	155	SL	SL	3	D	125	S	SL	5
EPC87	Ah	9	SL	▴ SA	1	Ah	14	SL	▸ SA	1
	BPh	31	SL	SA	2	BPh	26	SL	▸ SA	1
	BPs	25	SL	SL	2	BPs	32.5	SL	SL	3
	C1	55	SL	SL	2	C	127.5	SL	SL	3
	C2	80	SL	SL	3					

SOLS PODZOLISES (suite)

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
EPC08	A	3	LM	LA ▶	1	A	4.5	LM	LA	1
	BPh	4.5	LM	LA ◀	2	BPh1	5.5	LM	▼ LA	1
	BP	5.5	LM	LA ◀	2	BPh2	9	LM	▼ LA	1
	BPs	19.5	LM	LAS ◀	2	BPs	31	LM	LAS	2
	B/C	47.5	LA	LMS	3	B/C	17	LM	LAS	3
	C	70	LA	LAS	5	IICg	43	LA	LMS	5
						D	40	LA	▼ LMS	5
DOU71	Ah	3	LLS	▲ SA	2	Ah	3	LLS	▶ SA	1
	Bh1	31.5	LLS	SA	2	BPh	27	LLS	▶ SA	2
	Bh2	9.5	LLS	SA	2	BPs1	25	LLS	SL	4
	BPs1	17	SL	SL	4	BPs2	47.5	SL	LS	5
	BPs2	19	S	SL	4	D	97.5	SL	▶ LS	5
	C	17.5	S	SL	4					
	Cx	102.5	LS	▼ SL	5					
PM40c	Eh	27.5	S	S ◀	0	Eh	20	S	S	0
	BPh1	10	S	S ◀	0	Eh	20	S	S	0
	BPh21	17.5	S	S	0	BPh1	7.5	S	S	0
	BPh22	12.5	S	S	0	BPh2	35	S	S	0
	C/Go	62.5	S	S	0	E	17.5	S	S	0
	C/Gr	25	S	▼ S	0	BPh	12.5	S	▼ S	0
	IIBPh/Gr	10	S	▼ S	0	BPs	17.5	S	▼ S	0
	IIC/M/Gr	35	S	▼ S	0	BPh1	17.5	S	▼ S	0
						BPh2	5	S	▼ S	0
						IIGr	47.5	S	▼ S	0

SOLS LESSIVES, LESSIVES HYDROMORPHES ET HYDROMORPHES

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
HET54a	A	10	LM	▲ LMS	1	A	6	LS	▶ LMS	2
	A/S	10	LM	LMS	1	A/E	7	LS	▶ LMS	2
	S	21	LM	LAS	1	E	31.5	LAS	▶ LAS	1
	Sg	13	LM	LAS	1	BTg1	38	A	A	4
	IIFEm	24.5	AS	LAS	5	BTg2	22.5	AS	A	3
	IISg	33	Alo	Alo	1	IICg	45	AS	▼ A	2
	IIIMa	23.5	Alo	▼ Alo	0					
	IICg	15	Alo	▼ Alo	0					
CHS35	E	2	LMS	LMS	1	E+BPh	3	LMS	▶ LMS	1
	BPh	3	LMS	LMS	1	E	38.5	LMS	▶ LMS	2
	E	35	LMS	LMS	2	BTg	26.5	LAS	LAS	4
	Eg	18	LAS	LAS	3	S/Cg	132	LAS	LAS	2
	BTg	142	AL	AL	3					
CHS41	Ah	1.5	LS	▲ LMS	0	A	8	LLS	▶ LMS	0
	E	38.5	LS	LMS	0	Eg1	17	LLS	▶ LMS	0
	BTg	20	LAS	LAS	0	Eg2	25	LMS	▶ LMS	0
	IIBTg	90	AL	A	0	BTg1	12	LA	AL	0
						BTg2	88	LA	Alo	0
EPC74	A	25	LSA	A ◀	1	A	21.5	LSA	A	1
	Eg	15	LAS	A ◀	1	Eg	8.5	LAS	A	1
	BTg	45	A	A	2	Btg	32	LSA	LSA	1
	Msi	65	LAS	LSA	3	Msi	88	SA	LSA	4
CHS10	A	6	LL	LMS	0	A/BPh	10	LL	▶ LMS	0
	Eg	20	LL	LM	0	Eg	23	LL	▶ LM	0
	BTg1	29	LA	AL	0	BTg1	37	LA	A	0
	BTg2	95	AL	AL	0	BTg2	130	AL	A	0

SOLS LESSIVES, LESSIVES HYDROMORPHES ET HYDROMORPHES (suite)

	Fosse 1					Fosse 2				
Placette	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**	**Horizon**	**Epaisseur**	**Texture 1**	**Texture 2**	**Cx**
CHP59	A	8	LM	LA ◀	0	A	3.5	LM	LA	0
	A/Eg	7.5	LM	LA ◀	0	A/E	13.5	LM	LA	0
	Eg1	13.5	LM	LM ◀	0	E	12.5	LM	▼ LM	0
	Eg2	16	LM	LM ◀	0	Eg	15.5	LM	LM	1
	BTg	42.5	LA	LA	0	BTg	34.5	LA	LA	0
	Cg	62.5	LM	LA	0	Cg	70.5	LM	LA	0
PS44	A	20	LMS	LAS	1	A	25	LM	▶ LAS	2
	Eg	17	LLS	LMS	1	Eg	3	LM	▶ LMS	2
	BTgd	163	LA	LAS	2	BTgd	47	LA	AL	2
						Cgd	125	LA	LAS	1
CHP40	A	9.5	LS	LS	1	A	11.5	SL	▶ LS	0
	Go1	25.5	LS	LS	1	Go1	23.5	SL	▶ LS	0
	Go2	45	LS	LS	0	Go2	25	SL	▶ LS	0
	Go3	120	LS	LS	0	Go3	50	SL	▶ LS	0
						Go4	90	LAS	▶ LS	0

CLASSES DE TEXTURE

Attribution des résultats des analyses granulométriques par horizon aux couches standards des prélèvements minéraux (0-10 cm, 10-20 cm et 20-40 cm) pour lesquelles ont dispose des teneurs en carbone et des densités apparentes.

A chaque couche standard est attribuée une granulométrie correspondant à celle de l'un des trois horizons prélevés dans l'une des deux fosses lors de la première phase de description des sols (Brêthes et Ulrich, 1997).

En règle générale, la granulométrie de l'horizon le plus proche est attribuée à la couche standard considérée.
Exemple : pour la placette PM 85 on attribue la granulométrie de l'horizon Aca de la fosse n°1 (0-8 cm) à la couche standard 0-10 cm.

La granulométrie d'un horizon peut être attribuée à plusieures couches standards.
Exemple : pour la placette PM85 on attribue la granulométrie de l'horizon Sca aux couches 10-20 cm et 20-40 cm

La granulométrie d'une couche standard peut résulter de la moyenne des granulométries de deux horizons.
Exemple : la granulométrie de la couche 10-20 cm de la placette SP 05 est la moyenne des granulométries mesurées entre 0-15 cm et 25-35 cm.

Les granulométries des couches 40-80 cm et 80-100 cm sont les moyennes des quatre prélèvements réalisés à ces profondeurs dans les fosses 1 et 2 (2 prélèvements par couche et par fosse).

SOLS CALCAIRES

Placette	Couche	Fosse	Horizon	Profondeur	Moyenne	A%	L%	S%
	0-10 cm	1	Aca	0-8 cm		2,4	2,1	95,5
	10-20 cm	1	Sca	20-50 cm		1,3	0,7	98,0
PM 85	20-40 cm	1	Sca	20-50 cm		1,3	0,7	98,0
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		1,4	0,6	98,0
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		1,0	0,7	98,3
	0-10 cm	1	A11 / A12	0-10 cm		41,3	52,4	6,3
	10-20 cm	1	S	15-30 cm		40,9	48,8	10,3
HET 64	20-40 cm	1	S	15-30 cm		40,9	48,8	10,3
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		46,4	44,9	8,7
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		55,8	32,0	12,2
	0-10 cm	1	A	0-15 cm		46,4	47,3	6,3
	10-20 cm				A - S	40,3	43,5	16,3
SP05	20-40 cm	1	S	25-35 cm		34,1	39,7	26,2
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		31,9	49,3	18,8
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		23,5	52,2	24,3
	0-10 cm	2	Aci	0-5 cm		43,2	54,3	2,5
	10-20 cm	2	Sci	10-30 cm		44,9	53,4	1,7
SP11	20-40 cm	2	Sci	10-30 cm		44,9	53,4	1,7
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		42,7	50,0	7,3
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		41,7	46,6	11,8
	0-10 cm	1	Aca1	0-6 cm		50,1	47,6	2,3
	10-20 cm				Aca1 - Aca2	41,1	40,6	18,4
SP25	20-40 cm	1	Aca2	30-35 cm		32,0	33,5	34,5
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		38,8	47,6	13,6
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		60,9	36,0	3,2

SOLS BRUNS

Placette	Couche	Fosse	Horizon	Profondeur	Moyenne	A%	L%	S%
	0-10 cm	1	LA	0-10 cm		16,1	23,4	60,5
	10-20 cm				LA - A/S	18,1	23,0	59,0
PL 20	20-40 cm	1	A/S	20-35 cm		20,0	22,6	57,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		15,3	15,2	69,5
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		9,6	12,5	77,9
	0-10 cm	1	A	3-10 cm		30,5	48,0	21,5
	10-20 cm	1	A/S	10-25 cm		20,9	49,4	29,7
EPC 63	20-40 cm	1	S	30-40 cm		5,4	37,6	57,0
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		3,9	44,4	51,8
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		6,0	29,9	64,1
	0-10 cm	1	A	0-10 cm		15,5	49,0	35,5
	10-20 cm	1	A	0-10 cm		15,5	49,0	35,5
SP 68	20-40 cm				A - S2	13,8	47,2	39,0
		1	S2	50-70 cm		12,1	45,2	46,9
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		12,9	40,9	46,3
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		9,7	34,0	56,4
	0-10 cm	1	A	0-7 cm		6,0	8,9	85,1
	10-20 cm	1	A	0-7 cm		6,0	8,9	85,1
SP 57	20-40 cm	1	S1	40-60 cm		5,2	11,5	83,3
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		6,2	9,1	84,7
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		6,0	10,0	84,0
	0-10 cm	1	A	0-10 cm		18,1	34,7	47,2
	10-20 cm	1	A	0-10 cm		18,1	34,7	47,2
SP 38	20-40 cm				A - S	14,7	30,7	54,7
		1	S	40-70 cm		11,2	26,7	62,1
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		17,0	34,6	48,4
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		15,1	31,8	53,1

SOLS PODZOLISES

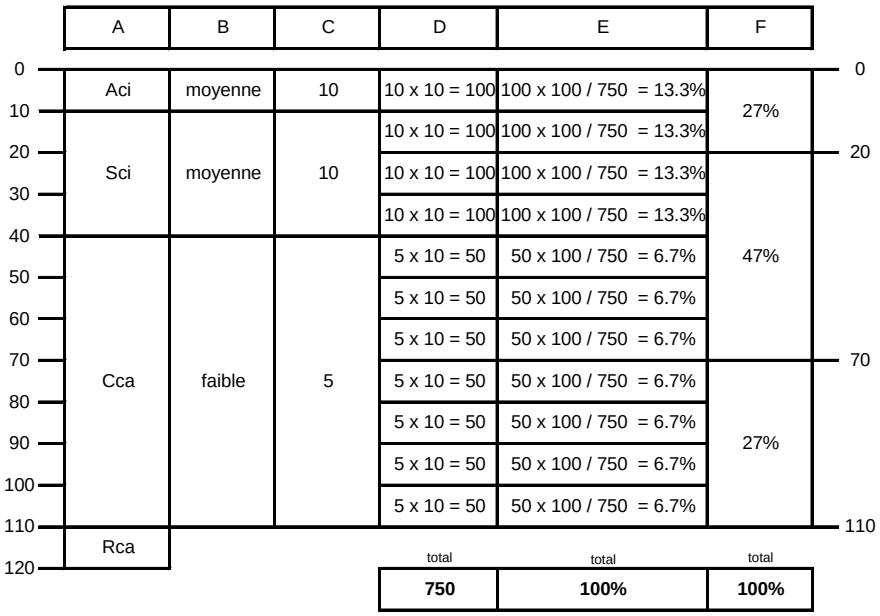
Placette	Couche	Fosse	Horizon	Profondeur	Moyenne	A%	L%	S%
	0-10 cm	2	E	0-4 cm		6,3	23,7	70,0
	10-20 cm	2	BPh	6-15 cm		6,9	23,7	69,4
PS 76	20-40 cm	2	BPs	20-70 cm		7,0	22,6	70,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		7,1	24,6	68,4
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		11,0	23,1	66,0
	0-10 cm	1	Bph	13 cm		3,7	11,3	85,0
	10-20 cm	1	Bph	25 cm		3,7	11,3	85,0
PM 72	20-40 cm	1	Eg	25 cm		12,4	15,9	71,7
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		23,1	16,1	60,8
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		34,2	11,1	54,8
	0-10 cm	1	A	0-10 cm		7,0	3,6	89,4
	10-20 cm				A - BPh	5,8	3,5	90,8
PS 67a	20-40 cm	1	BPh	20-30 cm		4,6	3,3	92,1
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		1,2	1,1	97,7
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		1,3	0,5	98,3
	0-10 cm	1	A	0-15 cm		24,8	26,8	48,4
	10-20 cm	1	BPs	15-30 cm		20,3	30,5	49,2
HET 30	20-40 cm	1	IIA	35-45 cm		10,1	26,1	63,8
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		9,2	32,6	58,2
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		7,2	18,0	74,9
	0-10 cm	1	BPh	10-30 cm		18,2	11,2	67,6
	10-20 cm	1	BPh	10-30 cm		18,2	11,2	67,6
EPC 87	20-40 cm				BPh - BPs	16,3	14,8	67,5
		1	BPs	30-50 cm		14,3	18,3	67,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		8,9	20,8	70,4
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		5,1	17,2	77,7
	0-10 cm	2	A	0-4 cm		29,2	61,7	9,1
	10-20 cm				A - BPs	26,5	60,8	12,8
EPC 08	20-40 cm	2	BPs	30-45 cm		23,7	59,9	16,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		17,9	61,3	20,9
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		16,8	57,1	26,1
	0-10 cm	1	BPh1	5-20 cm		17,5	24,6	57,9
	10-20 cm	1	BPh1	5-20 cm		17,5	24,6	57,9
DOU 71	20-40 cm	1	BPh1	5-20 cm		17,5	24,6	57,9
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		11,3	29,8	58,9
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		8,6	33,2	58,2
	0-10 cm	2	Eh	0-20 cm		5,1	2,3	92,6
	10-20 cm	2	Eh	0-20 cm		5,1	2,3	92,6
PM 40c	20-40 cm	2	E	30-40 cm		1,7	1,3	97,0
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		2,0	1,0	97,1
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		0,9	0,4	98,7

SOLS LESSIVES, LESSIVES HYDROMORPHES ET HYDROMORPHES

Placette	Couche	Fosse	Horizon	Profondeur	Moyenne	A%	L%	S%
	0-10 cm	1	A/S	15 cm		16,4	59,7	23,9
	10-20 cm	1	A/S	15 cm		16,4	59,7	23,9
HET 54a	20-40 cm	1	S	25 cm		17,9	58,3	23,8
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		27,2	44,0	28,8
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		45,2	26,6	28,2
	0-10 cm	1	E + BPh	1-4 cm		16,8	54,7	28,5
	10-20 cm	1	E	10-30 cm		15,7	52,6	31,7
CHS 35	20-40 cm	1	E	10-30 cm		15,7	52,6	31,7
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		25,9	47,7	26,4
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		31,4	46,1	22,5
	0-10 cm	1	E	15-30 cm		15,4	53,6	31,0
	10-20 cm	1	E	15-30 cm		15,4	53,6	31,0
CHS 41	20-40 cm	1	BTg	45-60 cm		29,2	46,4	24,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		37,1	45,5	17,5
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		42,1	40,7	17,3
	0-10 cm	2	A	0-20 cm		34,3	29,4	36,3
	10-20 cm	2	A	0-20 cm		34,3	29,4	36,3
EPC 74	20-40 cm	2	Eg	20-30 cm		36,9	25,3	37,8
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		30,9	24,6	44,5
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		24,4	22,8	52,9
	0-10 cm	1	A	5-10 cm		16,6	61,7	21,7
	10-20 cm	1	Eg	15-20 cm		15,6	70,2	14,2
CHS 10	20-40 cm	1	BTg1	35-40 cm		38,5	54,3	7,2
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		38,6	42,3	19,1
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		38,9	41,8	19,4
	0-10 cm	2	A + E	0-10 cm		18,4	76,7	4,9
	10-20 cm				A+E - Eg	17,9	76,5	5,7
CHP 59	20-40 cm	2	Eg	30-45 cm		17,4	76,2	6,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		24,1	70,7	5,2
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		21,0	74,7	4,3
	0-10 cm	1	A	5-15 cm		17,9	55,1	27,0
	10-20 cm	1	A	5-15 cm		17,9	55,1	27,0
PS 44	20-40 cm	1	Eg	20-30 cm		15,8	55,8	28,4
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		29,9	46,3	23,8
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		27,6	49,5	22,9
	0-10 cm	1	A	0-10 cm		12,6	43,0	44,4
	10-20 cm				A - Go1	12,3	42,2	45,6
CHP 40	20-40 cm	1	Go1	15-30 cm		11,9	41,3	46,8
	40-80 cm	1 + 2		40-80 cm		17,0	46,1	37,0
	80-100 cm	1 + 2		80-100 cm		15,7	47,4	37,0

ESTIMATION DES PROPORTIONS D'ENRACINEMENT

Exemple d'estimation des proportions d'enracinement par couche de sol en vue des calculs de bilan hydrique. Cas de la placette SP 11 – fosse 2.



	A	B	C	D	E	F	
0	Aci	moyenne	10	10 x 10 = 100	100 x 100 / 750 = 13.3%	27%	0
10				10 x 10 = 100	100 x 100 / 750 = 13.3%		
20	Sci	moyenne	10	10 x 10 = 100	100 x 100 / 750 = 13.3%		20
30				10 x 10 = 100	100 x 100 / 750 = 13.3%		
40	Cca	faible	5	5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%	47%	
50				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		
60				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		
70				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		70
80				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%	27%	
90				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		
100				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		
110				5 x 10 = 50	50 x 100 / 750 = 6.7%		110
120	Rca						
				total	total	total	
				750	**100%**	**100%**	

A Horizons décrits et profondeurs
B Densité de racines (6 classes)
C Indice de densité de racines (nombre de racine / dm^2)
D Indice de densité de racines par 10 cm de sol (nombre de racine / dm^2)
E Proportion (%) de racines par 10 cm de sol par rapport au nombre total de racines dans tout le profil.
F Proportion (%) de racines pour les couches 0-20 cm, 20-70 cm et 70-110 cm.

Proportions calculées pour SP 11 - fosse 1 :	33%	56%	11%
Proportions calculées pour SP 11 - fosse 2 :	27%	47%	27%
Proportions moyennes utilisées :	30%	50%	20%

BILAN DES SERIES CLIMATIQUES DISPONIBLES

Bilan des données météorologiques disponibles sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier :

A – paramètres mesurés ;

B – nombre de données manquantes (jours) du 1er janvier 1995 au premier jour effectif d'enregistrement des données climatiques ;

C – nombre de données manquantes (jour) par paramètre mesuré, sur toute la période d'enregistrement des données climatiques.

Exemple : Sur la placette CHP40, les mesures sont disponibles à partir du 16 juin 1995. Il y a donc 166 jours de données manquantes entre le 1er janvier et le 16 juin. Depuis le 16 juin 1995 au 31 décembre 1999, on observe seulement deux données manquantes (jours) pour les précipitations (DM P).

	A						B	C					
	Tmin	Tmax	P	H	Rg	V	DM début	DM Tmin	DM Tmax	DM P	DM H	DM Rg	DM V
CHP 40	x	x	x	x			166	0	0	20	0	-	-
CHP 59	x	x	x	x			0	0	0	24	0	-	-
CHS 10	x	x	x	x			299	3	2	26	26	-	-
CHS 35	x	x	x	x			0	25	18	8	21	-	-
CHS 41	x	x	x	x			63	0	0	1	0	-	-
DOU 71	x	x	x	x			63	18	13	13	13	-	-
EPC 08	x	x	x	x	x	x	0	20	19	32	37	35	29
EPC 63	x	x	x	x			395	51	51	69	65	-	-
EPC 74	x	x	x	x			256	31	31	31	33	-	-
EPC 87	x	x	x	x			163	34	33	31	39	-	-
HET 30	x	x	x	x			219	102	102	135	107	-	-
HET 54a	x	x	x	x			299	21	21	21	21	-	-
HET 64	x	x	x	x			165	12	11	17	12	-	-
PL 20	x	x	x	x			87	36	33	63	34	-	-
PM 40c	x	x	x	x			164	5	6	6	5	-	-
PM 72	x	x	x	x	x	x	0	7	8	35	8	15	8
PM 85	x	x	x	x	x	x	34	25	20	17	22	23	25
PS 44	x	x	x	x			33	13	13	13	13	-	-
PS 67a	x	x	x	x			298	50	50	76	50	-	-
PS 76	x	x	x	x	x	x	0	23	22	22	24	55	38
SP 05	x	x	x	x			258	11	7	5	11	-	-
SP 11	x	x	x	x	x	x	257	38	36	36	45	38	42
SP 25	x	x	x	x	x	x	180	28	26	74	26	27	26
SP 38	x	x	x	x	x	x	257	4	4	8	4	5	7
SP 57	x	x	x	x			298	23	20	17	28	-	-
SP 68	x	x	x	x			297	10	9	82	20	-	-

CHP 40

Données disponibles à partir du 16/06/95

Données manquantes :

Tmin	aucune
Tmax	aucune
Pluie	du 20/11/96 au 9/12/96
Humidité	aucune

CHP 59

Données disponibles à partir du 1/01/95

Données manquantes :

Tmin	aucune
Tmax	aucune
Pluie	du 2/03/99 au 25/03/99
Humidité	aucune

CHS 10

Données disponibles à partir du 26/10/95

Données manquantes :

Tmin	le 3/09/98 ; du 2 au 3/10/99
Tmax	le 3/09/98 ; le 2/10/99
Pluie	du 1/05/99 au 25/05/99 ; le 2/10/99
Humidité	du 11/08/98 au 3/09/99 ; du 2 au 3/10/99

CHS 35

Données disponibles à partir du 1/01/95

Données manquantes :

Tmin	du 9 au 16/06/97 ; les 18, 21, 22, 24, 26 au 30/08/99 ; le 23/09/99 ; du 17 au 21/11/99 ; du 8 au 10/12/99
Tmax	du 9 au 16/06/97 ; du 27 au 29/08/99 ; du 17 au 19/11/99 ; du 7 au 10/12/99
Pluie	du 24/01/95 au 5/02/95 ; du 9 au 16/06/97 ;
Humidité	du 9 au 16/06/97 ;

CHS 41

Données disponibles à partir du 5/03/95

Données manquantes :

Tmin	aucune
Tmax	aucune
Pluie	le 7/08/98
Humidité	aucune

DOU 71

Données disponibles à partir du 5/03/95

Données manquantes :

Tmin	du 3 au 7/05/95 ; les 28 et 29/05/95 ; le 27/07/95 ; les 10 et 11/08/96 ; les 18 et 19/09/96 ; les 11 et 12/06/97 ; les 29 et 30/06/97 ; le 6/08/97 ; le 10/09/98
Tmax	le 2/05/95 ; du 4 au 6/05/95 ; le 28/05/95 ; le 26/07/95 ; le 10/08/96 ; le 11/06/97 ; le 29/06/97 ; les 5 et 6/08/97 ; le 10/09/98
Pluie	le 2/05/95 ; du 4 au 6/05/95 ; le 28/05/95 ; le 26/07/95 ; le 10/08/96 ; le 18/09/96 ; le 11/06/97 ; le 29/06/97 ; les 5 et 6/08/97 ; le 10/09/98
Humidité	du 3 au 6/05/95 ; les 28 et 29/05/95 ; le 27/07/95 ; le 10/08/96 ; le 18/09/96 ; le 11/06/97 ; le 29/06/97 ; le 6/08/97 ; le 10/09/98

EPC 08

Données disponibles à partir du 01/01/95

Données manquantes :

Tmin	le 17/05/95 ; du 26 au 29/05/95 ; du 2 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; les 3 et 4/09/95 ; le 5/10/95 ; les 8 et 9/06/96 ; du 13 au 17/12/98
Tmax	le 17/05/95 ; du 25 au 29/05/95 ; du 1 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; le 3/09/95 ; le 4/10/95 ; le 8/06/96 ; du 13 au 16/12/98
Pluie	les 16 et 17/05/95 ; du 25 au 29/05/95 ; du 1 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; le 3/09/95 ; le 8/06/96 ; du 13 au 16/12/98 ; du 18 au 30/12/99
Humidité	le 17/05/95 ; du 26 au 29/05/95 ; du 2 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; le 3/09/95 ; le 5/10/95 ; les 12 et 13/10/95 ; le 8/06/96 ; du 13 au 17/12/98 ; le 1/06/99 ; du 3 au 6/06/99 ; du 11 au 22/06/99
Rayonnement	du 1 au 4/01/95 ; le 17/05/95 ; du 26 au 29/05/95 ; du 2 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; le 3/09/95 ; le 5/10/95 ; le 8/06/96 ; du 21 au 23/04/97 ; du 26 au 28/08/98 ; du 13 au 17/12/98 ; du 22 au 28/06/99
Vent	du 1 au 4/05/95 ; du 8 au 14/03/95 ; le 17/05/95 ; du 26 au 29/05/95 ; du 2 au 5/07/95 ; le 16/07/95 ; le 3/09/95 ; le 5/10/95 ; le 8/06/96 ; du 13 au 17/12/98

EPC 63

Données disponibles à partir du 28/07/99

Données manquantes :

Tmin	les 27 et 28/07/96 ; les 10 et 11/08/96 ; le 3/09/98 ; les 16 et 19/04/99 ; du 28/04/99 au 25/05/99 ; du 14 au 27/07/99
Tmax	le 27/07/96 ; le 10/08/96 ; le 2/09/98 ; du 15 au 18/04/99 ; du 27/04/99 au 25/05/99 ; du 13/07/99 au 27/07/99
Pluie	le 27/07/96 ; le 10/08/96 ; le 2/09/98 ; du 3 au 10/09/98 ; du 15 au 18/04/99 ; du 27/04/99 au 25/05/99 ; du 13/07/99 au 6/08/99
Humidité	le 10/06/96 ; le 23/06/96 ; le 5/07/96 ; le 27/07/96 ; le 10/08/96 ; le 11/11/96 ; le 4/08/97 ; du 3 au 11/9/98 ; du 16 au 18/4/99 ; du 28/04/99 au 25/5/99 ; le 27/06/99 ; du 14/07/99 au 30/07/99

EPC 74

Données disponibles à partir du 14/09/95

Données manquantes :

Tmin	du 20/02/99 au 5/03/99 ; du 3 au 19/11/99
Tmax	du 20/02/99 au 5/03/99 ; du 3 au 19/11/99
Pluie	du 20/02/99 au 5/03/99 ; du 3 au 19/11/99
Humidité	du 18/02/99 au 5/03/99 ; du 3 au 19/11/99

EPC 87

Données disponibles à partir du 13/06/95

Données manquantes :

Tmin	du 29/10/95 au 6/11/95 ; le 18/11/95 ; les 18 et 19/05/96 ; le 21/06/96 ; le 24/07/96 ; le 5/08/96 ; le 11/12/96 ; le 11/05/97 ; le 13/06/97 ; du 19 au 30/07/98 ; le 18/05/99 ; les 25 et 26/06/99 ; le 28/07/99
Tmax	le 28/10/95 ; du 30/10/95 au 5/11/95 ; le 17/11/95 ; le 18/16/96 ; le 21/06/96 ; les 23 et 24/07/96 ; les 4 et 5/08/96 ; le 11/12/96 ; le 10/05/97 ; le 13/06/97 ; du 19 au 30/07/98 ; le 18/05/99 ; le 25/06/99 ; le 27/07/99
Pluie	le 28/10/95 ; du 30/10/95 au 5/11/95 ; le 17/11/95 ; le 18/05/96 ; le 21/06/96 ; les 23 et 24/07/96 ; les 4 et 5/08/96 ; le 11/12/96 ; le 10/05/97 ; le 13/06/97 ; du 19 au 28/7/98 ; le 18/05/99 ; le 25/06/99 ; le 27/07/99
Humidité	du 29/10/95 au 6/11/95 ; le 18/11/95 ; du 21 au 28/11/95 ; le 16/04/96 ; le 18/05/96 ; le 21/06/96 ; le 24/07/96 ; le 5/08/96 ; le 11/12/96 ; le 11/05/97 ; le 13/06/97 ; du 19 au 28/07/98 ; le 18/05/99 ; le 25/06/99 ; le 27/07/99

HET 30

Données disponibles à partir du 8/08/95

Données manquantes :

Tmin	les 11 et 14/08/95 ; le 20/09/95 ; du 4 au 7/10/95 ; les 11 et 12/10/95 ; du 14 au 17/10/95 ; du 18 au 24/01/96 ; les 13 et 14/05/96 ; du 17 au 19/05/96 ; du 28/04 au 8/05/98 ; du 20/5 au 10/06/98 ; du 7/07 au 20/08/98
Tmax	les 10 et 14/08/95 ; le 19/09/95 ; du 9 au 17/10/95 ; du 17 au 24/01/96 ; le 13/05/96 ; du 16 au 19/05/96 ; du 29/04 au 7/05/98 ; du 19/05 au 9/06/98 ; le 30/06/98 ; du 6/07 au 19/08/98
Pluie	les 10 et 14/08/95 ; le 19/09/95 ; du 21 au 24/01/96 ; du 9/04 au 22/05/96 ; du 29/04 au 7/05/98 ; du 19/05 au 9/06/98 ; du 25/06 au 2/07/98 ; du 6/07 au 19/08/98
Humidité	les 11 et 14/08/95 ; du 12 au 20/09/95 ; le 5/10/95 ; le 6/11/95 ; du 22 au 24/01/96 ; le 16/04/96 ; les 13 et 14/05/96 ; du 17 au 19/05/96 ; le 9/02/97 ; du 29/04 au 8/05/98 ; du 20/05 au 16/06/98 ; du 7/07 au 20/08/98 ; le 15/12/98 ; le 22/12/99

HET 54a

Données disponibles à partir du 27/10/95

Données manquantes :

Tmin	du 14 au 23/09/96 ; du 21 au 31/12/99
Tmax	du 14 au 23/09/96 ; du 21 au 31/12/99
Pluie	du 14 au 23/09/96 ; du 21 au 31/12/99
Humidité	du 14 au 23/09/96 ; du 21 au 31/12/99

Les vitesses de vent n'étant pas mesurées par Météo-France de 1995 à 1997, les données journalières sont remplacées par une valeur moyenne de 3 m/s.

HET 64

Données disponibles à partir du 14/06/95

Données manquantes :

Tmin	du 21 au 25/09/96 ; du 28/09 au 4/10/96
Tmax	du 21 au 24/09/96 ; du 28/09 au 4/10/96
Pluie	du 21 au 24/09/96 ; du 28/09 au 4/10/96 ; du 13 au 18/01/99
Humidité	du 21 au 25/09/96 ; du 28/09 au 4/10/96

PL 20

Données disponibles à partir du 29/03/95

Données manquantes :

Tmin	les 29 et 30/07/95 ; du 20 au 22/09/95 ; les 15 et 16/06/96 ; le 24/12/96 ; le 2/06/97 ; le 29/08/97 ; du 7 au 9/03/99 ; du 17/04 au 6/05/99 ; le 25/05/99 ; du 23 au 24/10/99
Tmax	le 27/07/95 ; du 19 au 21/09/95 ; le 9/04/96 ; le 15/06/96 ; le 24/12/96 ; le 2/06/97 ; le 29/08/97 ; Du 6 au 8/03/99 ; du 17/04 au 5/05/99 ; le 25/05/99 ; le 23/10/99
Pluie	le 29/07/95 ; du 12 au 21/09/95 ; le 9/04/96 ; le 15/08/96 ; le 24/12/96 ; le 2/06/97 ; le 29/08/97 ; du 1 au 30/04/98 ; du 6 au 8/03/99
Humidité	le 29/07/95 ; du 20 au 21/09/95 ; le 9/04/96 ; le 15/06/96 ; le 24/12/96 ; le 2/06/97 ; le 29/08/97 ; du 7 au 8/03/99 ; du 17/04 au 6/05/99 ; le 25/05/99 ; les 23 et 24/10/99

PM 40c

Données disponibles à partir du 14/06/95

Données manquantes :

Tmin	le 30/09/98 ; du 31/05 au 3/06/99
Tmax	le 30/09/98 ; du 30/05 au 3/06/99
Pluie	le 30/09/98 ; du 30/05 au 3/06/99
Humidité	le 30/09/98 ; du 31/05 au 3/06/99

PM 72

Données disponibles à partir du 01/01/95

Données manquantes :

Tmin	les 2 et 3/05/95 ; du 5 au 10/11/99
Tmax	le 2/05/95 ; du 5 au 10/11/99
Pluie	le 2/05/95 ; du 5 au 10/11/99 ; du 4 au 31/12/99
Humidité	les 2 et 3/05/95 ; du 5 au 10/11/99
Rayonnement	du 25/04 au 3/05/95 ; du 5 au 10/11/99
Vent	les 2 et 3/05/95 ; du 5 au 10/11/99

PM 85

Données disponibles à partir du 3/02/95

Données manquantes :

Tmin	du 18 au 20/11/95 ; du 21 au 27/02/98 ; du 4 au 7/12/98 ; du 18 au 28/12/99
Tmax	du 17 au 19/11/95 ; du 21 au 26/02/98 ; du 4 au 6/12/98 ; du 18 au 28/12/99
Pluie	du 21 au 26/02/98 ; du 4 au 6/12/98 ; du 18 au 28/12/99
Humidité	du 21 au 26/02/98 ; du 4 au 7/12/98 ; du 18 au 27/12/99
Rayonnement	du 21 au 27/02/98 ; du 4 au 8/12/98 ; du 18 au 28/12/99
Vent	du 1 au 3/05/96 ; du 21 au 27/02/98 ; du 4 au 7/12/98 ; du 18 au 27/12/99

PS 44

Données disponibles à partir du 3/02/95

Données manquantes :

Tmin	du 4 au 10/08/95 ; du 23 au 25/08/95 ; du 21 au 23/07/99
Tmax	du 3 au 10/08/95 ; du 23 au 24/08/95 ; du 21 au 23/07/99
Pluie	du 3 au 10/08/95 ; du 23 au 24/08/95 ; du 21 au 23/07/99
Humidité	du 4 au 10/08/95 ; du 23 au 25/08/95 ; du 21 au 23/07/99

PS 67a

Données disponibles à partir du 26/10/95

Données manquantes :

Tmin	du 12 au 27/11/96 ; du 19/02 au 24/03/97
Tmax	du 12 au 27/11/96 ; du 19/02 au 24/03/97
Pluie	du 12 au 27/11/96 ; du 19/02 au 24/03/97 ; du 1 au 7/06/99 ; du 12 au 31/12/99
Humidité	du 12 au 27/11/96 ; du 19/02 au 24/03/97

PS 76

Données disponibles à partir du 1/01/95

Données manquantes :

Tmin	du 10 au 12/07/95 ; le 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26/11 au 8/12/98
Tmax	le 15/02/95 ; du 10 au 11/07/95 ; les 25 et 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26 au 28/11/98 ; du 30/11 au 7/12/98
Pluie	le 15/02/95 ; du 10 au 11/07/95 ; les 25 et 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26 au 28/11/98 ; du 30/11 au 7/12/98
Humidité	le 15/02/95 ; du 10 au 12/07/95 ; le 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26/11 au 8/12/98
Rayonnement	le 16/2/95 ; du 10 au 12/07/95 ; le 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26/11 au 8/12/98 ; le 19/05/99 ; les 14 et 15/06/99 ; les 9 et 10/08/99 ; du 12/08 au 6/09/99
Vent	le 15/2/95 ; du 10 au 12/07/95 ; le 26/07/95 ; du 6 au 8/08/95 ; du 13 au 15/12/95 ; du 26/11 au 8/12/98 ; du 12/03 au 25/03/99

SP 05

Données disponibles à partir du 16/09/95

Données manquantes :

Tmin	du 13 au 15/12/95 ; le 8/06/96 ; les 25 et 26/06/96 ; les 11 et 12/08/96 ; les 27 et 28/08/96 ; le 15/10/97
Tmax	du 13 au 14/12/95 ; le 7/06/96 ; le 25/06/96 ; le 11/08/96 ; le 27/08/96 ; les 14 et 15/10/97
Pluie	du 13 au 14/12/95 ; le 7/06/96 ; le 25/06/96 ; le 11/08/96 ; le 27/08/96
Humidité	du 13 au 15/12/95 ; les 7 et 8/06/96 ; les 25 et 26/06/96 ; les 11 et 12/08/96 ; le 27/08/96 ; le 30/10/97

SP 11

Données disponibles à partir du 15/09/95

Données manquantes :

Tmin	du 2/05 au 8/06/98
Tmax	du 2/05 au 7/06/98
Pluie	du 2/05 au 7/06/98
Humidité	le 13/03/96 ; du 2/05 au 8/06/98 ; le 20/07/98 ; du 31/05 au 1/06/99 ; les 24 et 25/06/99 ; le 30/06/99
Rayonnement	du 2/05 au 8/06/98
Vent	du 31/01 au 1/02/96 ; les 28 et 29/02/96 ; du 2/05 au 8/06/98

SP 25

Données disponibles à partir du 29/06/95

Données manquantes :

Tmin	les 13 et 14/07/95 ; les 10 et 11/10/97 ; du 13 au 17/10/97 ; le 10/02/99 ; les 12 et 13/02/99 ; du 18 au 24/11/99 ; du 1 au 8/12/99 ; le 17/12/99
Tmax	le 13/07/95 ; du 9 au 16/10/97 ; le 12/02/99 ; du 18 au 23/11/99 ; du 1 au 7/12/99 ; les 16 et 17/12/99 ; le 21/12/99
Pluie	le 13/07/95 ; du 3 au 12/12/96 ; du 9 au 16/10/97 ; du 1/11 au 11/12/97 ; le 12/02/99 ; du 18 au 23/11/99 ; du 1 au 7/12/99
Humidité	le 13/07/95 ; les 10 et 11/10/97 ; du 13 au 17/10/97 ; le 10/02/99 ; les 12 et 13/02/99 ; du 18 au 24/11/99 ; du 1 au 8/12/99
Rayonnement	13/07/95 ; les 10 et 11/10/97 ; du 13 au 17/10/97 ; le 25/11/97 ; 10/02/99 ; les 12 et 13/02/99 ; du 18 au 24/11/99 ; du 1 au 8/12/99
Vent	le 13/07/95 ; les 10 et 11/10/97 ; du 13 au 17/10/97 ; le 10/02/99 ; les 12 et 13/02/99 ; du 18 au 24/11/99 ; du 1 au 8/12/99

SP 38

Données disponibles à partir du 15/09/95

Données manquantes :

Tmin	du 28 au 31/12/99
Tmax	du 28 au 31/12/99
Pluie	du 28 au 31/12/99
Humidité	le 6/07/96 ; du 4 au 6/12/96 ; du 28 au 31/12/99
Rayonnement	le 26/06/96 ; du 28 au 31/12/99
Vent	le 6/07/96 ; les 4 et 5/12/96 ; du 28 au 31/12/99

SP 57

Données disponibles à partir du 26/10/95

Données manquantes :

Tmin	du 16 au 18/09/96 ; le 23/10/96 ; du 7 au 13/12/97 ; les 16 et 17/04/98 ; les 22 et 23/04/98 ; les 11 et 18/11/98
Tmax	du 16 au 18/09/96 ; du 7 au 13/12/97 ; le 16/04/98 ; le 22/04/98 ; les 11 et 18/11/98
Pluie	du 7 au 13/12/97 ; le 16/04/98 ; le 22/04/98 ; du 11 au 18/11/98
Humidité	les 13 et 14/11/95 ; le 17/11/95 ; les 23 et 24/11/95 ; le 22/12/95 ; le 24/12/95 ; le 12/12/96 ; le 23/03/96 ; du 7 au 13/12/97 ; les 16 et 17/04/98 ; les 22 et 23/04/98 ; du 11 au 18/11/98

SP 68

Données disponibles à partir du 25/10/95

Données manquantes :

Tmin	du 8 au 15/11/95 ; les 23 et 24/07/96
Tmax	du 8 au 14/11/95 ; les 23 et 24/07/96
Pluie	du 8 au 14/11/95 ; les 23 et 24/07/96 ; du 1 au 17/03/98 ; du 1 au 17/06/98 ; du 1/06 au 9/07/99
Humidité	du 28/10 au 6/11/95 ; du 8 au 15/11/95 ; les 23 et 24/07/96

VOLUMES ANNUELS D'EAU DRAINEE - TABLEAUX

Volumes annuels d'eau drainée sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier.

Année : année de mesure
N : nombre de jour avec données
PR : cumul annuel des précipitations enregistrées sur le réseau RENECOFOR - (données en mm)
DR : cumul annuel des drainages calculés à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)
DR% : rapport du volume d'eau drainée par rapport au volume d'eau incident - (données en %)

PM : cumul annuel des précipitations enregistrées par Météo-France- (données en mm)
DM : cumul annuel des drainages calculés à partir des seules données Météo-France (pluie, température, humidité relative, rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)
DM% : rapport du volume d'eau drainé par rapport au volume d'eau incident - (données en %)

DM-DR : différence entre les volumes d'eau drainée calculés : ①à partir des données météorologiques de Météo-France et ② à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR –(données en mm)
DM-DR% : différence entre les volumes d'eau drainée (① - ②) par rapport aux volumes d'eau drainée calculés à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR

Sous tableau «*Avec données estimées*» : Résultats incluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

Sous tableau «*Sans données estimées*» : Résultats excluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

	CHP 40									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1039,50	377,60	36,33	1059,20	390,40	36,86	12,80	3,39
	1996	366	1103,40	414,10	37,53	1134,10	369,30	32,56	-44,80	-10,82
	1997	365	1449,60	769,60	53,09	1347,00	609,20	45,23	-160,40	-20,84
	1998	365	1043,00	442,20	42,40	1148,10	475,90	41,45	33,70	7,62
	1999	365	1148,20	509,30	44,36	1355,10	642,30	47,40	133,00	26,11
Sans données estimées	1995	199	507,60	55,10	10,86	528,90	56,40	10,66	1,30	2,36
	1996	346	959,60	335,90	35,00	979,70	289,10	29,51	-46,80	-13,93
	1997	365	1449,60	769,60	53,09	1347,00	609,20	45,23	-160,40	-20,84
	1998	365	1043,00	442,20	42,40	1148,10	475,90	41,45	33,70	7,62
	1999	365	1148,20	509,30	21,85	1355,10	642,30	47,40	133,00	26,11

	CHP 59									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	991,20	492,50	49,69	948,60	462,40	48,75	-30,10	-6,11
	1996	366	824,40	324,40	39,35	722,20	158,80	21,99	-165,60	-51,05
	1997	365	862,40	350,50	40,64	809,80	291,10	35,95	-59,40	-16,95
	1998	365	1018,20	525,40	51,60	687,00	208,00	30,28	-317,40	-60,41
	1999	365	1004,70	438,90	43,68	768,70	179,50	23,35	-259,40	-59,10
Sans données estimées	1995	365	991,20	492,50	49,69	948,60	462,40	48,75	-30,10	-6,11
	1996	366	824,40	324,40	39,35	722,20	158,80	21,99	-165,60	-51,05
	1997	365	862,40	350,50	40,64	809,80	291,10	35,95	-59,40	-16,95
	1998	365	1018,20	525,40	51,60	687,00	208,00	30,28	-317,40	-60,41
	1999	341	965,80	405,30	23,58	739,10	153,50	20,77	-251,80	-62,13

	CHS 10									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1024,80	447,70	43,69	896,30	394,10	43,97	-53,60	-11,97
	1996	366	772,20	250,40	32,43	770,50	187,30	24,31	-63,10	-25,20
	1997	365	952,40	338,80	35,57	839,00	243,80	29,06	-95,00	-28,04
	1998	365	929,80	406,10	43,68	800,20	275,30	34,40	-130,80	-32,21
	1999	365	978,60	436,40	44,59	912,90	372,20	40,77	-64,20	-14,71
Sans données estimées	1995	66	192,40	60,60	31,50	153,60	46,30	30,14	-14,30	-23,60
	1996	366	772,20	250,40	32,43	770,50	187,30	24,31	-63,10	-25,20
	1997	365	952,40	338,80	35,57	839,00	243,80	29,06	-95,00	-28,04
	1998	341	901,00	404,70	44,92	772,80	274,00	35,46	-130,70	-32,30
	1999	338	893,80	432,40	48,38	832,20	368,60	44,29	-63,80	-14,75

	CHS 35									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	907,70	385,20	42,44	806,10	342,00	42,43	-43,20	-11,21
	1996	366	699,20	237,40	33,95	601,10	130,80	21,76	-106,60	-44,90
	1997	365	708,20	142,00	20,05	607,80	81,50	13,41	-60,50	-42,61
	1998	365	986,80	372,40	37,74	900,30	250,70	27,85	-121,70	-32,68
	1999	365	947,40	414,10	43,71	884,90	331,70	37,48	-82,40	-19,90
Sans données estimées	1995	352	846,00	327,00	38,65	747,40	286,70	38,36	-40,30	-12,32
	1996	366	699,20	237,40	33,95	601,10	130,80	21,76	-106,60	-44,90
	1997	357	690,80	141,80	20,53	592,90	81,20	13,70	-60,60	-42,74
	1998	365	986,80	372,40	37,74	900,30	250,70	27,85	-121,70	-32,68
	1999	347	905,80	401,30	44,30	851,00	321,10	37,73	-80,20	-19,99

	CHS 41									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	799,10	332,80	41,65	797,20	327,30	41,06	-5,50	-1,65
	1996	366	593,80	147,40	24,82	533,90	109,50	20,51	-37,90	-25,71
	1997	365	702,60	165,50	23,56	600,40	97,40	16,22	-68,10	-41,15
	1998	365	794,20	284,10	35,77	752,90	207,10	27,51	-77,00	-27,10
	1999	365	879,80	335,20	38,10	856,70	308,50	36,01	-26,70	-7,97
Sans données estimées	1995	302	554,00	113,10	20,42	564,90	118,60	20,99	5,50	4,86
	1996	366	593,80	147,40	24,82	533,90	109,50	20,51	-37,90	-25,71
	1997	365	702,60	165,50	23,56	600,40	97,40	16,22	-68,10	-41,15
	1998	364	794,20	284,10	35,77	752,90	207,10	27,51	-77,00	-27,10
	1999	365	879,80	335,20	38,10	856,70	308,50	36,01	-26,70	-7,97

	DOU 71									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1510,50	930,20	61,58	1489,40	826,60	55,50	-103,60	-11,14
	1996	366	1237,60	688,40	55,62	1203,00	623,30	51,81	-65,10	-9,46
	1997	365	1384,20	664,70	48,02	1364,10	558,50	40,94	-106,20	-15,98
	1998	365	1538,00	898,80	58,44	1438,90	794,90	55,24	-103,90	-11,56
	1999	365	1818,00	1162,30	63,93	1653,80	996,80	60,27	-165,50	-14,24
Sans données estimées	1995	292	983,60	481,10	48,91	983,10	390,90	39,76	-90,20	-18,75
	1996	362	1181,40	685,70	58,04	1157,00	621,20	53,69	-64,50	-9,41
	1997	359	1301,60	645,30	49,58	1281,00	539,40	42,11	-105,90	-16,41
	1998	364	1521,60	896,80	58,94	1422,90	792,60	55,70	-104,20	-11,62
	1999	365	1818,00	1162,30	63,93	1653,80	996,80	60,27	-165,50	-14,24

	EPC 08									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1699,60	1059,30	62,33	1563,20	846,20	54,13	-213,10	-20,12
	1996	366	934,40	365,50	39,12	1050,00	402,60	38,34	37,10	10,15
	1997	365	1317,80	587,20	44,56	1168,00	393,70	33,71	-193,50	-32,95
	1998	365	1473,80	836,30	56,74	1507,20	777,00	51,55	-59,30	-7,09
	1999	365	1519,40	856,10	56,34	1439,40	714,60	49,65	-141,50	-16,53
Sans données estimées	1995	335	1504,20	1002,90	66,67	1406,80	824,80	58,63	-178,10	-17,76
	1996	364	930,60	365,40	39,26	1046,40	402,50	38,47	37,10	10,15
	1997	362	1317,80	587,20	44,56	1168,00	393,70	33,71	-193,50	-32,95
	1998	357	1466,20	831,90	56,74	1501,20	773,20	51,51	-58,70	-7,06
	1999	329	1283,60	725,40	56,51	1214,40	590,90	48,66	-134,50	-18,54

	EPC 63									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1243,60	434,10	34,91	1024,60	230,20	22,47	-203,90	-46,97
	1996	366	1075,50	378,40	35,18	953,60	153,10	16,05	-225,30	-59,54
	1997	365	959,60	200,50	20,89	760,80	75,30	9,90	-125,20	-62,44
	1998	365	1067,90	427,60	40,04	883,30	133,70	15,14	-293,90	-68,73
	1999	365	1118,00	360,40	32,24	940,30	156,30	16,62	-204,10	-56,63
Sans données estimées	1995	0								
	1996	328	896,20	297,10	33,15	812,30	125,10	15,40	-172,00	-57,89
	1997	364	931,00	199,60	21,44	729,70	73,60	10,09	-126,00	-63,13
	1998	355	1015,80	425,50	41,89	837,50	131,70	15,73	-293,80	-69,05
	1999	305	853,60	315,10	36,91	719,90	146,60	20,36	-168,50	-53,48

	EPC 74									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1901,30	1133,30	59,61	1632,60	863,40	52,88	-269,90	-23,82
	1996	366	1215,60	549,20	45,18	1232,50	464,50	37,69	-84,70	-15,42
	1997	365	1332,40	591,90	44,42	1200,70	380,00	31,65	-211,90	-35,80
	1998	365	1176,80	488,10	41,48	1159,90	426,90	36,80	-61,20	-12,54
	1999	365	1606,40	866,00	53,91	1572,00	777,10	49,43	-88,90	-10,27
Sans données estimées	1995	109	296,20	197,80	66,78	309,70	188,00	60,70	-9,80	-4,95
	1996	366	1215,60	549,20	45,18	1232,50	464,50	37,69	-84,70	-15,42
	1997	365	1332,40	591,90	44,42	1200,70	380,00	31,65	-211,90	-35,80
	1998	365	1176,80	488,10	41,48	1159,90	426,90	36,80	-61,20	-12,54
	1999	332	1390,60	670,00	48,18	1376,20	611,00	44,40	-59,00	-8,81

	EPC 87									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1558,70	740,80	47,53	1330,10	601,00	45,18	-139,80	-18,87
	1996	366	1297,10	546,00	42,09	1107,20	410,30	37,06	-135,70	-24,85
	1997	365	1373,80	478,10	34,80	1198,70	315,60	26,33	-162,50	-33,99
	1998	365	1392,50	640,50	46,00	1292,50	557,70	43,15	-82,80	-12,93
	1999	365	1285,80	580,80	45,17	1391,70	644,90	46,34	64,10	11,04
Sans données estimées	1995	182	682,60	209,50	30,69	560,40	142,00	25,34	-67,50	-32,22
	1996	357	1244,60	544,20	43,72	1061,90	408,20	38,44	-136,00	-24,99
	1997	362	1331,00	471,80	35,45	1155,20	311,90	27,00	-159,90	-33,89
	1998	353	1340,60	638,50	47,63	1249,20	555,90	44,50	-82,60	-12,94
	1999	360	1234,60	564,50	45,72	1331,30	625,40	46,98	60,90	10,79

	HET 30									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	2546,40	2137,20	83,93	2184,40	1852,80	84,82	-284,40	-13,31
	1996	366	2851,50	2457,00	86,17	3521,20	3152,80	89,54	695,80	28,32
	1997	365	2023,10	1586,30	78,41	1954,40	1512,40	77,38	-73,90	-4,66
	1998	365	1847,80	1454,70	78,73	1454,80	1114,00	76,57	-340,70	-23,42
	1999	365	2364,80	1974,40	83,49	1667,00	1334,80	80,07	-639,60	-32,39
Sans données estimées	1995	120	1286,20	1209,90	94,07	1133,80	1036,20	91,39	-173,70	-14,36
	1996	314	1984,10	1621,50	81,72	2707,80	2369,30	87,50	747,80	46,12
	1997	364	2023,10	1586,30	78,41	1954,40	1512,40	77,38	-73,90	-4,66
	1998	272	1401,60	1171,70	83,60	1083,40	857,60	79,16	-314,10	-26,81
	1999	364	2364,70	1974,40	83,49	1667,00	1334,80	80,07	-639,60	-32,39

	HET 54a									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1047,80	511,00	48,77	1191,30	624,40	52,41	113,40	22,19
	1996	366	813,30	318,50	39,16	900,20	376,60	41,84	58,10	18,24
	1997	365	904,40	353,30	39,06	987,90	421,90	42,71	68,60	19,42
	1998	365	918,60	444,30	48,37	1028,80	500,30	48,63	56,00	12,60
	1999	365	1056,90	549,40	51,98	1346,60	744,90	55,32	195,50	35,58
Sans données estimées	1995	66	148,60	95,80	64,47	146,90	125,90	85,70	30,10	31,42
	1996	356	803,20	318,20	39,62	890,30	376,30	42,27	58,10	18,26
	1997	365	904,40	353,30	39,06	987,90	421,90	42,71	68,60	19,42
	1998	365	918,60	444,30	48,37	1028,80	500,30	48,63	56,00	12,60
	1999	354	986,80	480,20	48,66	1262,00	662,50	52,50	182,30	37,96

	HET 64									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1131,30	593,10	52,43	1199,10	652,70	54,43	59,60	10,05
	1996	366	1526,60	861,60	56,44	1510,00	857,70	56,80	-3,90	-0,45
	1997	365	1254,80	573,20	45,68	1331,80	617,70	46,38	44,50	7,76
	1998	365	1300,00	677,20	52,09	1320,50	706,40	53,49	29,20	4,31
	1999	365	1479,30	818,10	55,30	1496,50	835,70	55,84	17,60	2,15
Sans données estimées	1995	200	502,80	159,30	31,68	525,80	173,10	32,92	13,80	8,66
	1996	354	1448,20	853,90	58,96	1429,60	847,20	59,26	-6,70	-0,78
	1997	365	1254,80	573,20	45,68	1331,80	617,70	46,38	44,50	7,76
	1998	365	1300,00	677,20	52,09	1320,50	706,40	53,49	29,20	4,31
	1999	359	1452,80	793,40	54,61	1468,00	808,60	55,08	15,20	1,92

	PL 20									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1588,20	765,50	48,20	1576,60	673,50	42,72	-92,00	-12,02
	1996	366	2043,50	1350,60	66,09	1979,60	1217,50	61,50	-133,10	-9,85
	1997	365	1387,40	738,20	53,21	1350,20	641,60	47,52	-96,60	-13,09
	1998	365	1457,20	867,30	59,52	1438,70	756,30	52,57	-111,00	-12,80
	1999	365	1186,20	501,70	42,29	1514,60	783,80	51,75	282,10	56,23
Sans données estimées	1995	272	1223,20	568,70	46,49	1211,60	482,80	39,85	-85,90	-15,10
	1996	362	2008,00	1320,70	65,77	1944,10	1188,10	61,11	-132,60	-10,04
	1997	363	1292,40	670,60	51,89	1255,20	581,40	46,32	-89,20	-13,30
	1998	335	1199,20	701,70	58,51	1180,70	618,40	52,38	-83,30	-11,87
	1999	338	1042,00	435,60	41,80	1363,90	695,40	50,99	259,80	59,64

	PM 40c									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	841,40	275,30	32,72	753,40	261,80	34,75	-13,50	-4,90
	1996	366	990,60	412,80	41,67	822,10	221,80	26,98	-191,00	-46,27
	1997	365	1111,20	512,60	46,13	982,60	329,30	33,51	-183,30	-35,76
	1998	365	929,60	347,20	37,35	873,20	245,90	28,16	-101,30	-29,18
	1999	365	1008,60	437,70	43,40	1025,40	379,40	37,00	-58,30	-13,32
Sans données estimées	1995	201	424,60	66,20	15,59	368,30	55,50	15,07	-10,70	-16,16
	1996	366	990,60	412,80	41,67	822,10	221,80	26,98	-191,00	-46,27
	1997	365	1111,20	512,60	46,13	982,60	329,30	33,51	-183,30	-35,76
	1998	364	921,20	346,50	37,61	864,10	245,00	28,35	-101,50	-29,29
	1999	360	1003,40	437,70	43,62	1022,40	379,40	37,11	-58,30	-13,32

	PM 72									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	899,60	426,30	47,39	761,20	299,60	39,36	-126,70	-29,72
	1996	366	629,60	252,40	40,09	566,10	198,40	35,05	-54,00	-21,39
	1997	365	689,20	194,00	28,15	659,50	156,10	23,67	-37,90	-19,54
	1998	365	823,20	381,10	46,29	773,90	299,80	38,74	-81,30	-21,33
	1999	365	1020,30	487,00	47,73	992,40	418,30	42,15	-68,70	-14,11
Sans données estimées	1995	356	885,60	426,00	48,10	750,10	299,50	39,93	-126,50	-29,69
	1996	366	629,60	252,40	40,09	566,10	198,40	35,05	-54,00	-21,39
	1997	365	689,20	194,00	28,15	659,50	156,10	23,67	-37,90	-19,54
	1998	365	823,20	381,10	46,29	773,90	299,80	38,74	-81,30	-21,33
	1999	331	846,80	322,80	38,12	822,90	264,20	32,11	-58,60	-18,15

	PM 85									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	737,00	320,40	43,47	800,00	349,40	43,68	29,00	9,05
	1996	366	756,80	249,80	33,01	777,70	236,20	30,37	-13,60	-5,44
	1997	365	679,00	182,90	26,94	788,80	238,30	30,21	55,40	30,29
	1998	365	724,50	244,50	33,75	835,70	282,60	33,82	38,10	15,58
	1999	365	962,10	336,90	35,02	1117,50	489,20	43,78	152,30	45,21
Sans données estimées	1995	327	594,60	200,00	33,64	632,60	208,10	32,90	8,10	4,05
	1996	363	732,20	248,50	33,94	740,10	233,60	31,56	-14,90	-6,00
	1997	365	679,00	182,90	26,94	788,80	238,30	30,21	55,40	30,29
	1998	353	709,00	242,80	34,25	814,60	279,00	34,25	36,20	14,91
	1999	354	891,00	272,50	30,58	1029,00	409,60	39,81	137,10	50,31

	PS 44									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1038,10	434,70	41,87	917,80	406,20	44,26	-28,50	-6,56
	1996	366	725,40	142,80	19,69	691,80	85,40	12,34	-57,40	-40,20
	1997	365	774,80	103,70	13,38	717,90	109,00	15,18	5,30	5,11
	1998	365	936,80	214,50	22,90	872,10	118,90	13,63	-95,60	-44,57
	1999	365	1079,40	407,30	37,73	1032,70	231,30	22,40	-176,00	-43,21
Sans données estimées	1995	321	761,00	206,20	27,10	649,30	188,00	28,95	-18,20	-8,83
	1996	366	725,40	142,80	19,69	691,80	85,40	12,34	-57,40	-40,20
	1997	365	774,80	103,70	13,38	717,90	109,00	15,18	5,30	5,11
	1998	365	936,80	214,50	22,90	872,10	118,90	13,63	-95,60	-44,57
	1999	362	1078,80	407,30	37,75	1032,70	231,30	22,40	-176,00	-43,21

	PS 67a									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	898,30	279,80	31,15	881,40	234,80	26,64	-45,00	-16,08
	1996	366	737,20	194,70	26,41	670,60	142,00	21,18	-52,70	-27,07
	1997	365	789,00	216,50	27,44	699,90	167,40	23,92	-49,10	-22,68
	1998	365	738,00	185,90	25,19	745,90	117,20	15,71	-68,70	-36,96
	1999	365	887,90	313,50	35,31	880,30	212,60	24,15	-100,90	-32,19
Sans données estimées	1995	67	132,80	75,30	56,70	133,50	57,60	43,15	-17,70	-23,51
	1996	350	643,20	151,90	23,62	571,50	100,50	17,59	-51,40	-33,84
	1997	331	727,40	188,30	25,89	643,20	140,00	21,77	-48,30	-25,65
	1998	365	738,00	185,90	25,19	745,90	117,20	15,71	-68,70	-36,96
	1999	339	766,00	244,10	31,87	753,80	168,30	22,33	-75,80	-31,05

	PS 76									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	824,80	354,70	43,00	823,80	326,00	39,57	-28,70	-8,09
	1996	366	650,20	161,20	24,79	582,00	128,20	22,03	-33,00	-20,47
	1997	365	730,60	170,70	23,36	811,50	167,40	20,63	-3,30	-1,93
	1998	365	1023,20	376,10	36,76	904,80	271,90	30,05	-104,20	-27,71
	1999	365	1120,60	476,90	42,56	1117,40	484,70	43,38	7,80	1,64
Sans données estimées	1995	353	752,20	339,20	45,09	748,40	310,20	41,45	-29,00	-8,55
	1996	366	650,20	161,20	24,79	582,00	128,20	22,03	-33,00	-20,47
	1997	365	730,60	170,70	23,36	811,50	167,40	20,63	-3,30	-1,93
	1998	352	990,80	345,50	34,87	866,80	254,60	29,37	-90,90	-26,31
	1999	320	988,20	439,80	44,51	982,20	464,40	47,28	24,60	5,59

	SP 05									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1180,10	319,90	27,11	980,60	234,80	23,94	-85,10	-26,60
	1996	366	1102,80	333,90	30,28	1064,00	232,80	21,88	-101,10	-30,28
	1997	365	1002,00	228,20	22,77	835,40	150,20	17,98	-78,00	-34,18
	1998	365	969,10	143,00	14,76	680,00	69,80	10,26	-73,20	-51,19
	1999	365	889,40	175,70	19,75	805,60	100,80	12,51	-74,90	-42,63
Sans données estimées	1995	104	267,60	59,10	22,09	250,10	44,70	17,87	-14,40	-24,37
	1996	358	1072,00	330,70	30,85	1033,10	230,10	22,27	-100,60	-30,42
	1997	362	1002,00	228,20	22,77	835,40	150,20	17,98	-78,00	-34,18
	1998	365	969,10	143,00	14,76	680,00	69,80	10,26	-73,20	-51,19
	1999	365	889,40	175,70	19,75	805,60	100,80	12,51	-74,90	-42,63

	SP 11									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1305,60	412,60	31,60	1018,70	294,00	28,86	-118,60	-28,74
	1996	366	1597,80	826,30	51,71	1374,10	646,40	47,04	-179,90	-21,77
	1997	365	865,20	152,20	17,59	682,50	89,20	13,07	-63,00	-41,39
	1998	365	1249,90	421,70	33,74	982,90	181,30	18,45	-240,40	-57,01
	1999	365	1261,60	492,50	39,04	1074,40	264,10	24,58	-228,40	-46,38
Sans données estimées	1995	108	335,20	75,40	22,49	257,20	24,40	9,49	-51,00	-67,64
	1996	361	1591,00	822,40	51,69	1369,60	643,90	47,01	-178,50	-21,70
	1997	365	865,20	152,20	17,59	682,50	89,20	13,07	-63,00	-41,39
	1998	326	1116,40	395,80	35,45	879,00	176,40	20,07	-219,40	-55,43
	1999	360	1259,40	492,50	39,11	1069,30	264,00	24,69	-228,50	-46,40

	SP 25									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1790,40	1060,60	59,24	1898,50	1138,30	59,96	77,70	7,33
	1996	366	1430,20	743,30	51,97	1282,70	584,50	45,57	-158,80	-21,36
	1997	365	1422,50	691,60	48,62	1449,50	667,80	46,07	-23,80	-3,44
	1998	365	1210,30	598,30	49,43	1340,00	716,70	53,49	118,40	19,79
	1999	365	1800,00	1044,20	58,01	1945,90	1265,10	65,01	220,90	21,15
Sans données estimées	1995	183	801,40	403,00	50,29	879,30	424,60	48,29	21,60	5,36
	1996	356	1421,10	738,50	51,97	1278,10	581,00	45,46	-157,50	-21,33
	1997	315	1126,50	504,70	44,80	1143,80	471,30	41,20	-33,40	-6,62
	1998	365	1210,30	598,30	49,43	1340,00	716,70	53,49	118,40	19,79
	1999	344	1741,60	995,80	57,18	1882,50	1206,30	64,08	210,50	21,14

	SP 38									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1644,00	878,10	53,41	1334,00	629,50	47,19	-248,60	-28,31
	1996	366	1468,40	774,30	52,73	1214,70	468,80	38,59	-305,50	-39,45
	1997	365	1118,10	398,80	35,67	859,90	206,00	23,96	-192,80	-48,35
	1998	365	1298,00	586,20	45,16	1091,00	413,70	37,92	-172,50	-29,43
	1999	365	1561,50	827,20	52,97	1386,50	611,80	44,13	-215,40	-26,04
Sans données estimées	1995	108	310,00	167,30	53,97	234,10	73,60	31,44	-93,70	-56,01
	1996	361	1461,40	770,70	52,74	1212,50	468,80	38,66	-301,90	-39,17
	1997	365	1118,10	398,80	35,67	859,90	206,00	23,96	-192,80	-48,35
	1998	365	1298,00	586,20	45,16	1091,00	413,70	37,92	-172,50	-29,43
	1999	361	1547,70	813,80	52,58	1375,70	601,60	43,73	-212,20	-26,08

	SP 57									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1459,30	775,80	53,16	1196,70	451,20	37,70	-324,60	-41,84
	1996	366	1002,60	338,40	33,75	879,80	245,20	27,87	-93,20	-27,54
	1997	365	1285,90	568,20	44,19	964,30	238,90	24,77	-329,30	-57,95
	1998	365	1274,90	593,50	46,55	1051,40	329,60	31,35	-263,90	-44,47
	1999	365	1631,40	906,40	55,56	1301,10	533,10	40,97	-373,30	-41,18
Sans données estimées	1995	60	176,20	164,70	93,47	130,20	51,10	39,25	-113,60	-68,97
	1996	360	1002,60	338,40	33,75	879,50	245,20	27,88	-93,20	-27,54
	1997	358	1254,00	537,60	42,87	937,30	227,40	24,26	-310,20	-57,70
	1998	353	1221,20	545,80	44,69	1002,30	287,30	28,66	-258,50	-47,36
	1999	365	1631,40	906,40	55,56	1301,10	533,10	40,97	-373,30	-41,18

	SP 68									
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PM**	**DM**	**DM%**	**DM-DR**	**DM-DR%**
Avec données estimées	1995	365	1525,90	947,20	62,07	1733,00	1087,70	62,76	140,50	14,83
	1996	366	1124,10	509,70	45,34	1098,80	491,00	44,69	-18,70	-3,67
	1997	365	1336,60	643,90	48,17	1408,30	660,20	46,88	16,30	2,53
	1998	365	1161,30	655,40	56,44	1464,70	814,20	55,59	158,80	24,23
	1999	365	1448,60	854,90	59,02	1743,60	1072,90	61,53	218,00	25,50
Sans données estimées	1995	50	213,80	199,30	93,22	236,20	227,80	96,44	28,50	14,30
	1996	364	1118,00	509,40	45,56	1091,80	490,70	44,94	-18,70	-3,67
	1997	365	1336,60	643,90	48,17	1408,30	660,20	46,88	16,30	2,53
	1998	331	1033,00	637,60	61,72	1317,90	753,00	57,14	115,40	18,10
	1999	326	1327,00	846,70	63,81	1604,40	1063,60	66,29	216,90	25,62

Représentation graphique de l'annexe **bilan hydrique 3**.

Colonne «*Avec données estimées*»	Résultats incluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France
Colonne «*Sans données estimées*»	Résultats excluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France
n	nombre de jour avec données
Précipitations annuelles	cumul annuel des précipitations enregistrées sur le réseau RENECOFOR et par Météo-France
Drainages annuels	cumul annuel des drainages calculés à partir des données météorologique mesurée sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) et cumul annuel des drainages calculés à partir des seules données Météo-France (pluie, température, humidité relative, rayonnement, vitesse du vent)
Pourcentage de pluie drainée	rapport du volume d'eau drainé par rapport au volume d'eau incident
Différence	différence entre les volumes d'eau drainée calculés : ①à partir des données météorologiques de Météo-France et ② à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR
Différence relative	différence entre les volumes d'eau drainée (① - ②) par rapport aux volumes d'eau drainée calculés à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR

Placette CHP 40

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

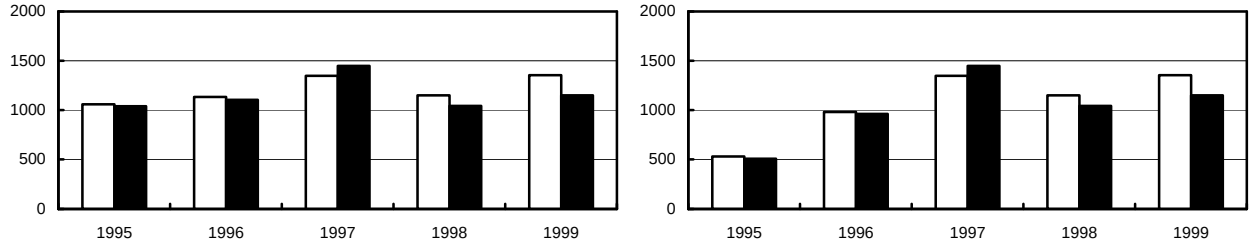
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

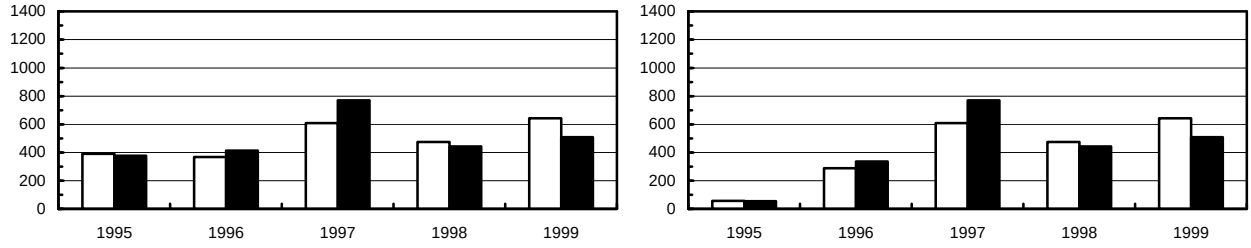
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	199	346	365	365	365

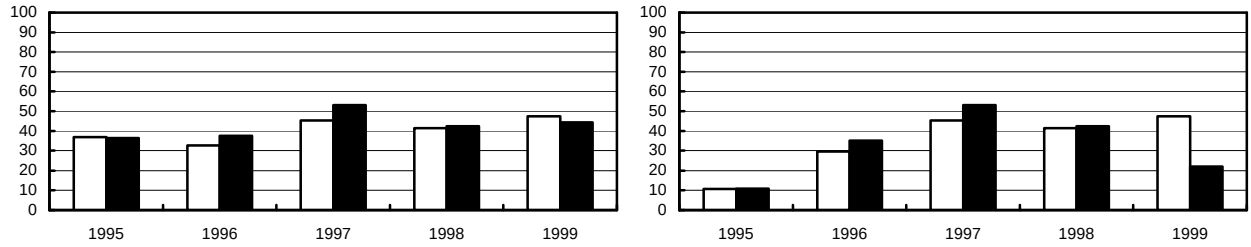
Précipitations annuelles (mm)



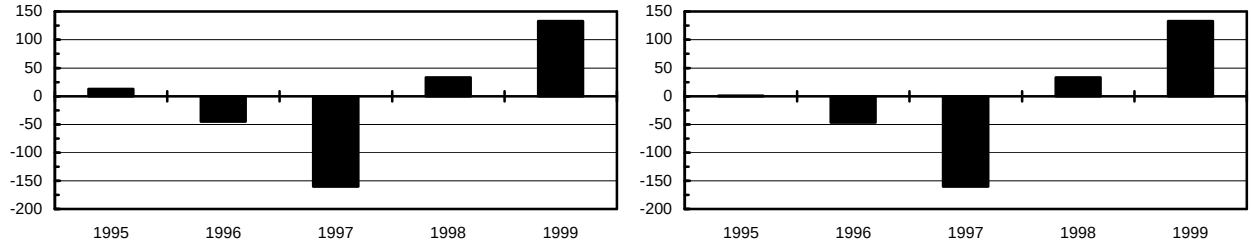
Drainages annuels (mm)



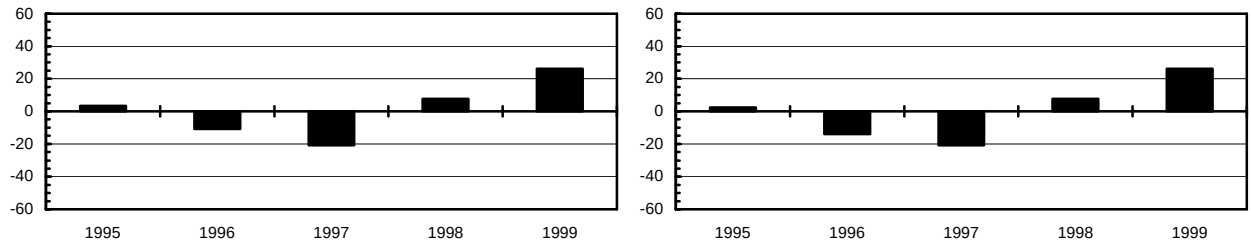
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette CHP 59

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

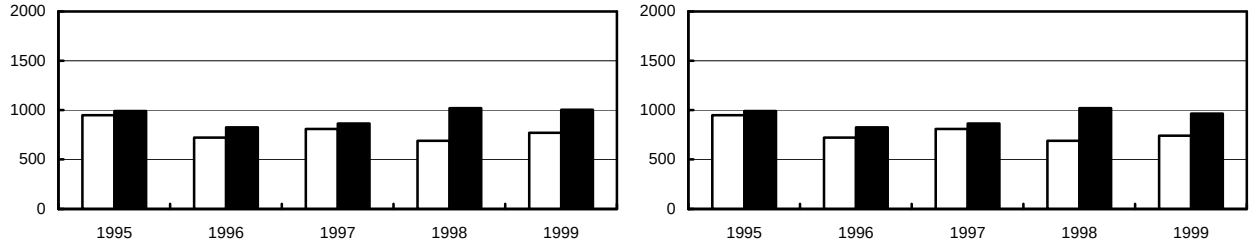
Avec données manquantes estimées

Année n =	1995 365	1996 366	1997 365	1998 365	1999 365

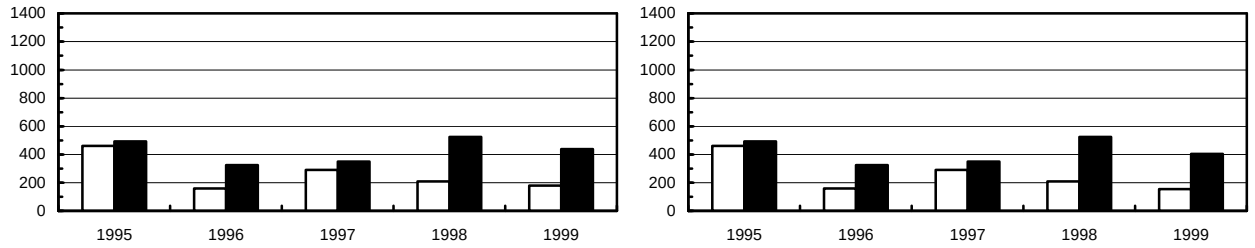
Sans données manquantes

Année n =	1995 365	1996 366	1997 365	1998 365	1999 341

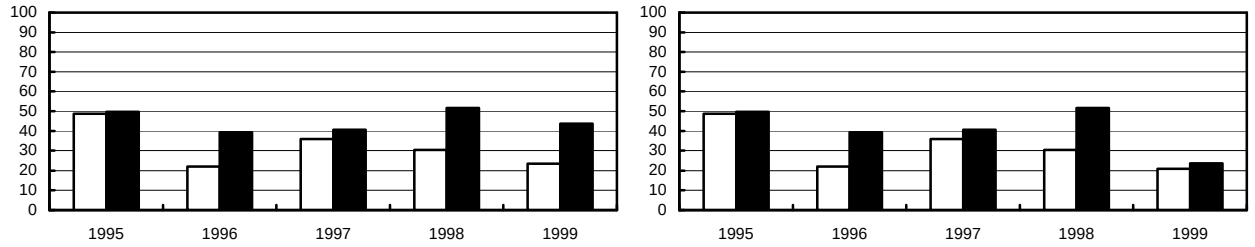
Précipitations annuelles (mm)



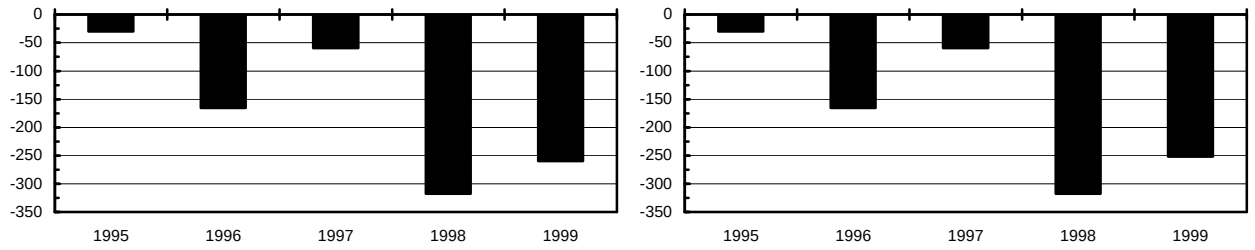
Drainages annuels (mm)



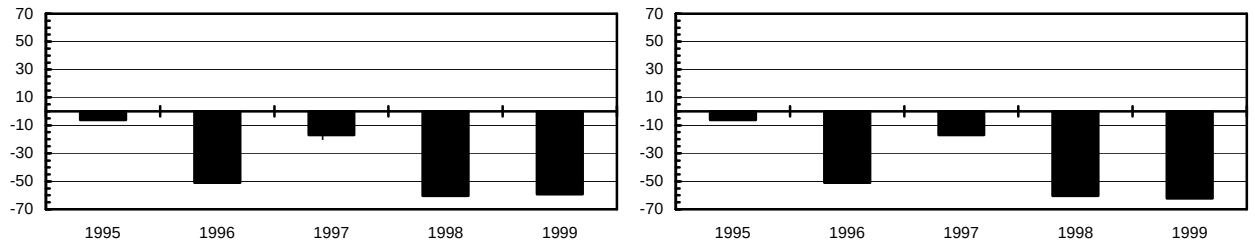
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette CHS 10

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

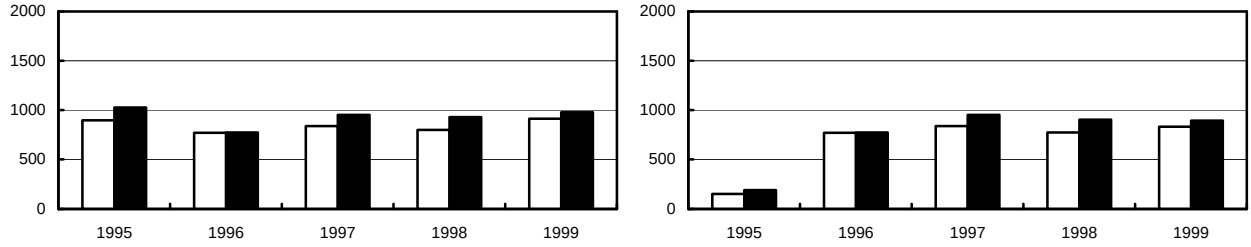
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

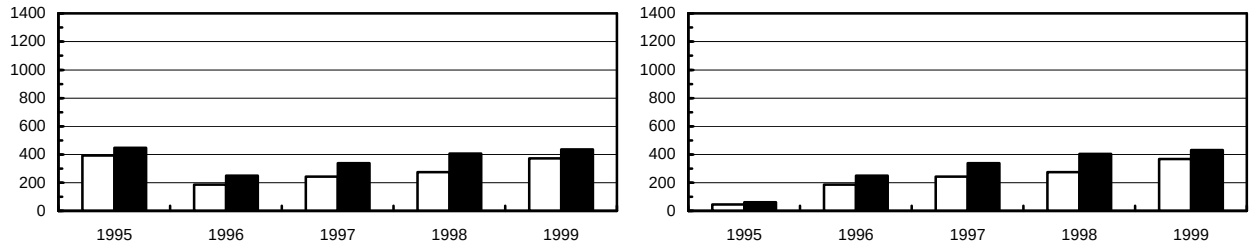
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	66	366	365	341	338

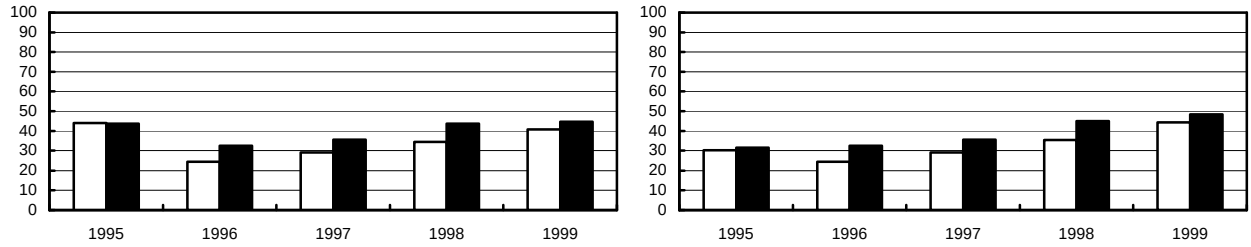
Précipitations annuelles (mm)



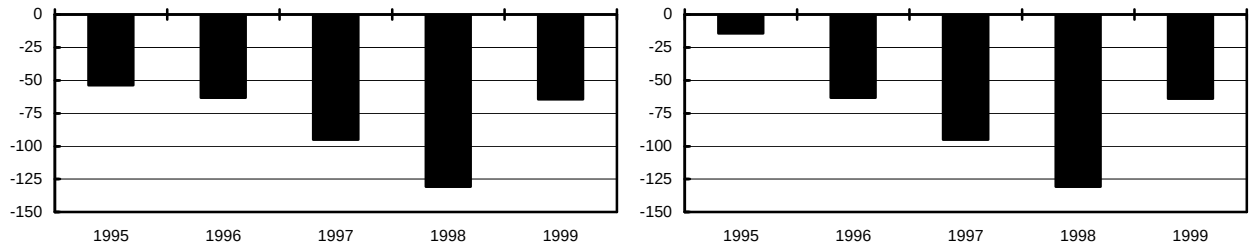
Drainages annuels (mm)



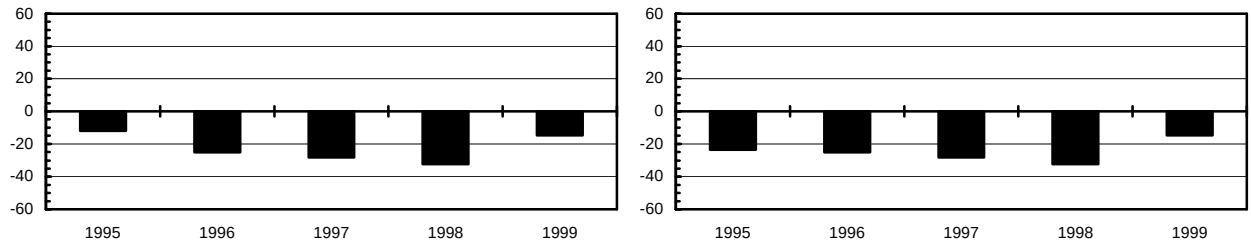
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette CHS 35

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

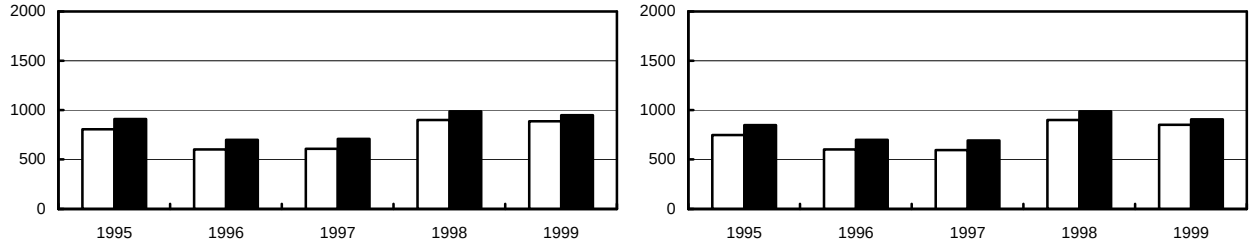
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

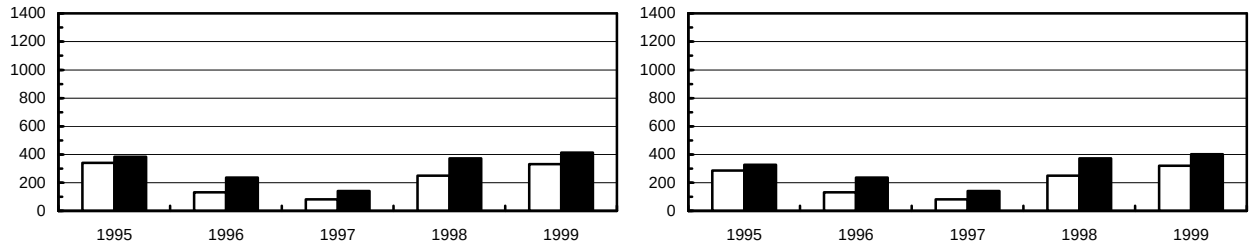
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	352	366	357	365	347

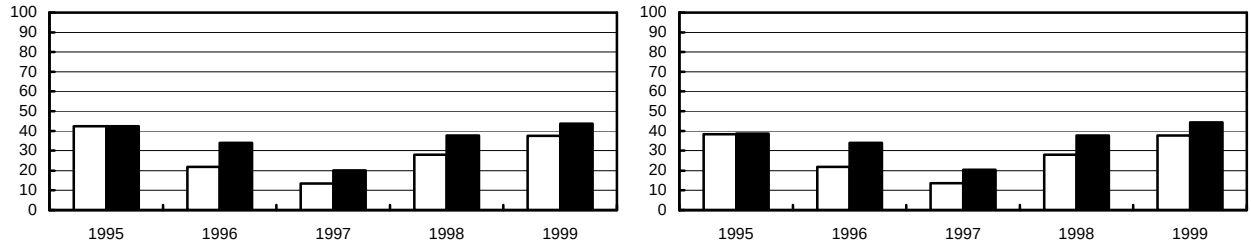
Précipitations annuelles (mm)



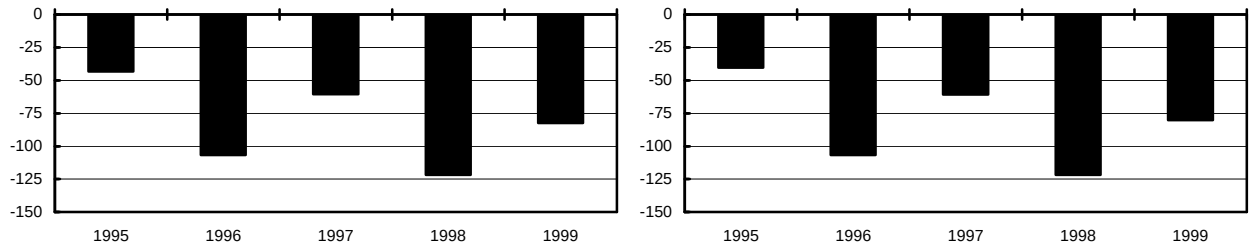
Drainages annuels (mm)



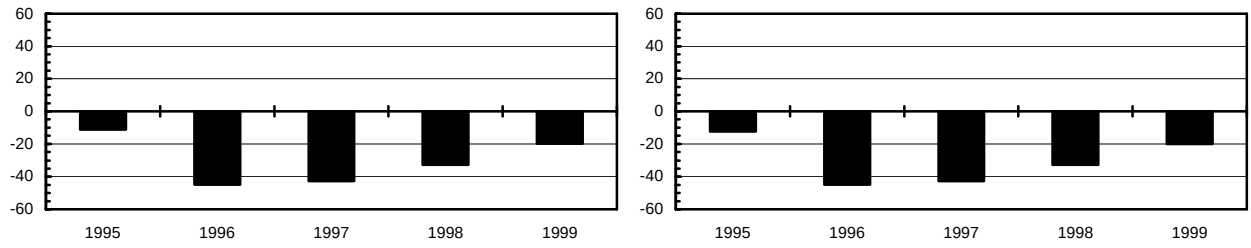
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette CHS 41

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

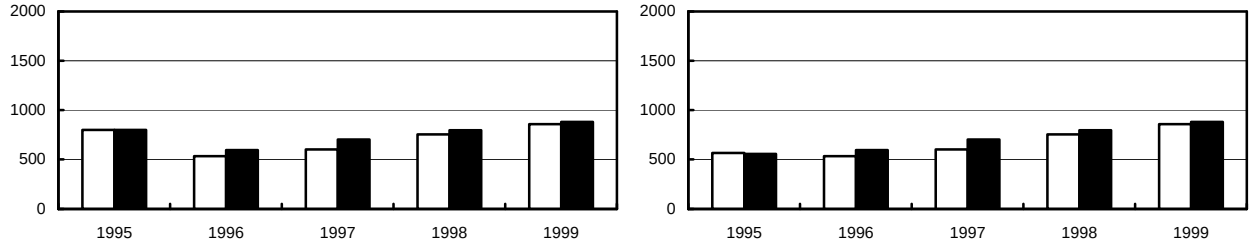
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

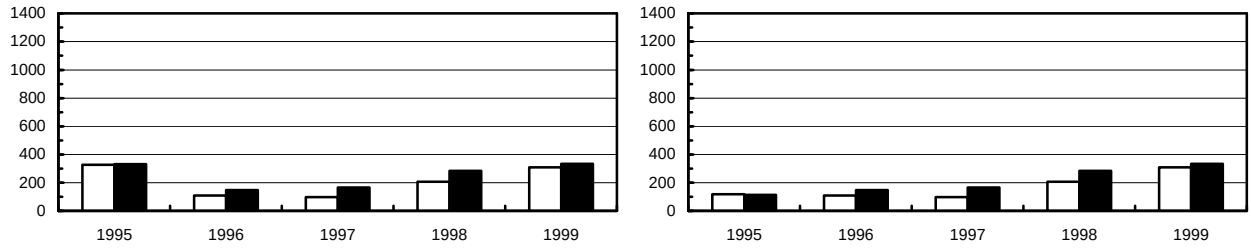
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	302	366	365	364	365

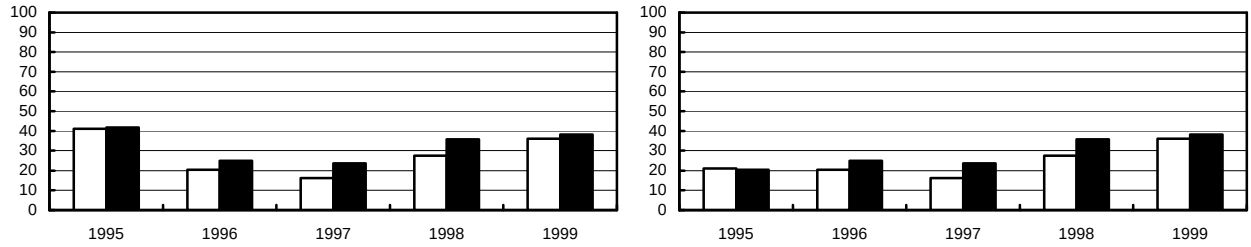
Précipitations annuelles (mm)



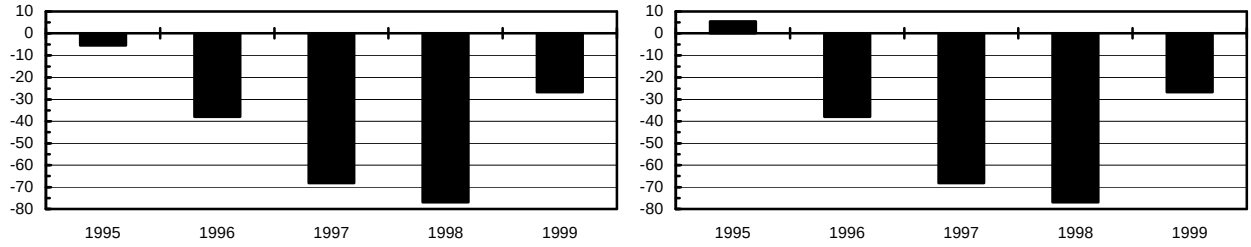
Drainages annuels (mm)



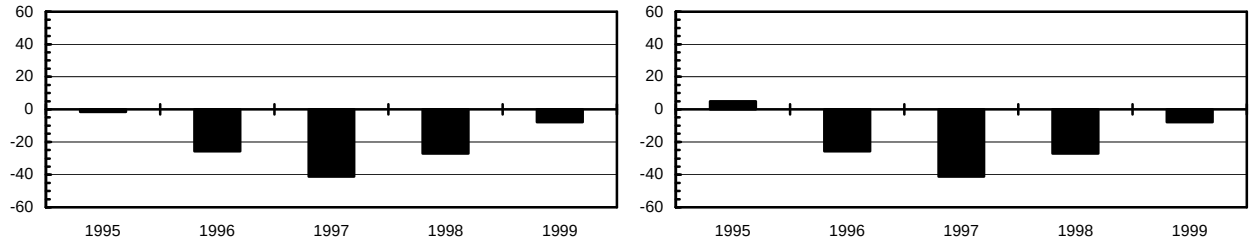
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette DOU 71

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

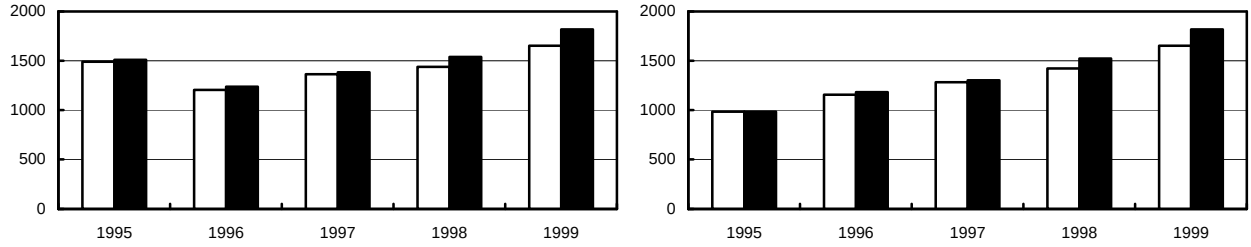
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

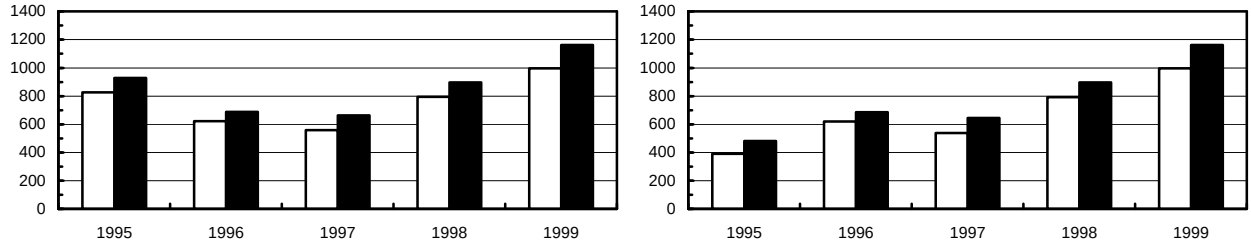
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	292	362	359	364	365

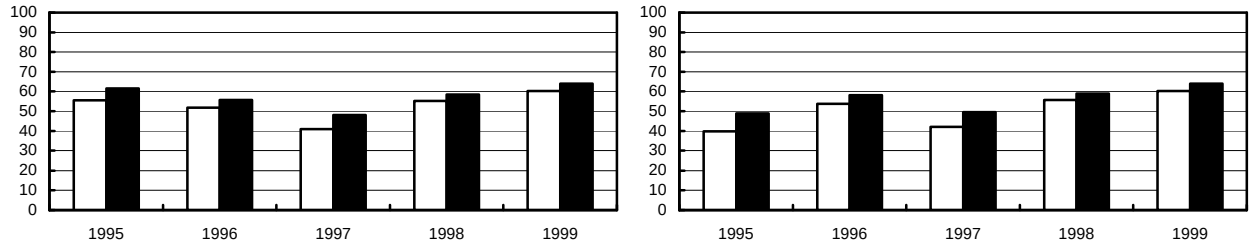
Précipitations annuelles (mm)



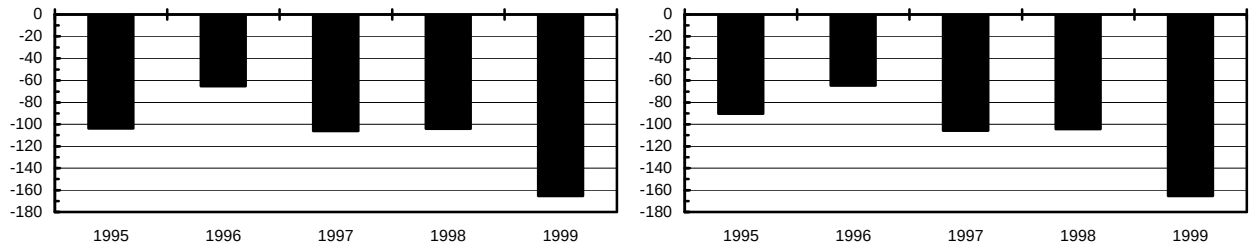
Drainages annuels (mm)



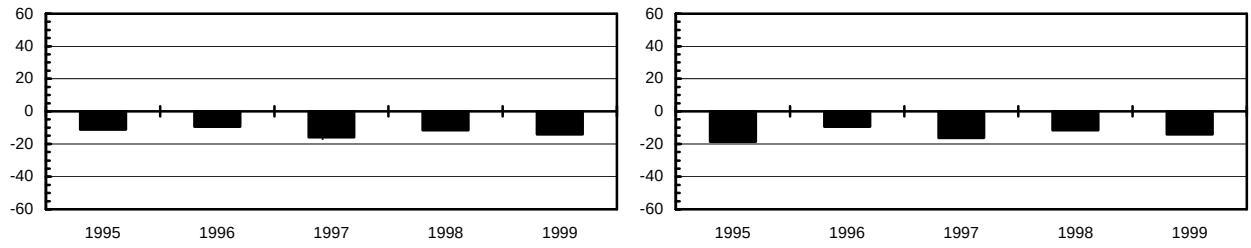
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette EPC 08

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

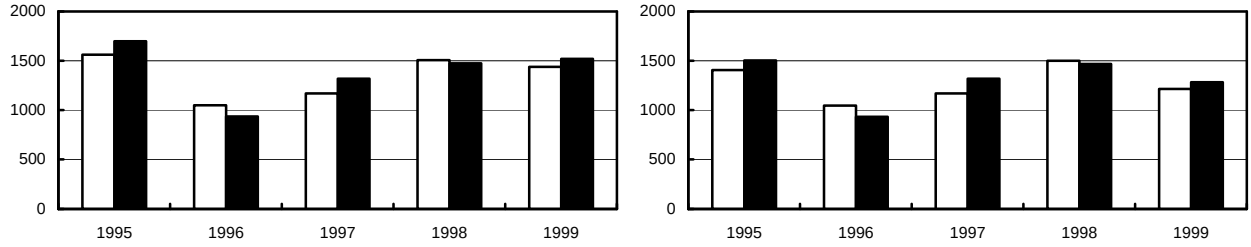
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

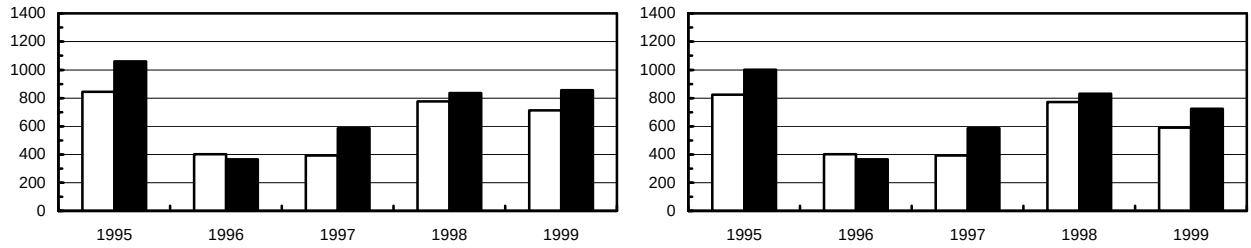
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	335	364	362	357	329

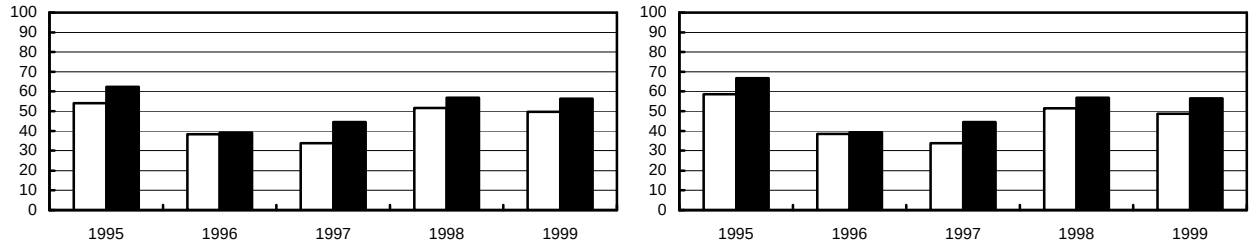
Précipitations annuelles (mm)



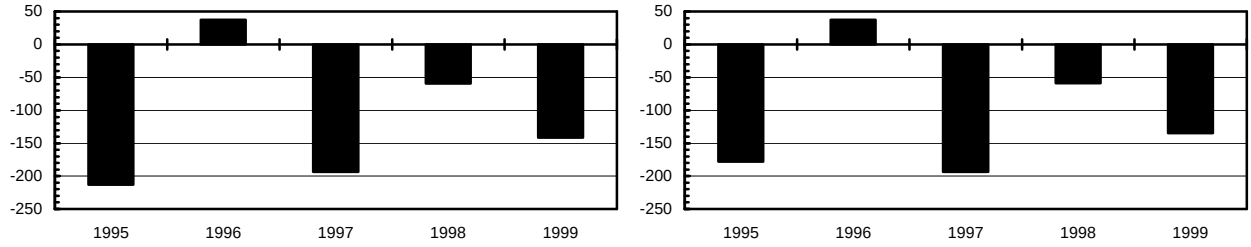
Drainages annuels (mm)



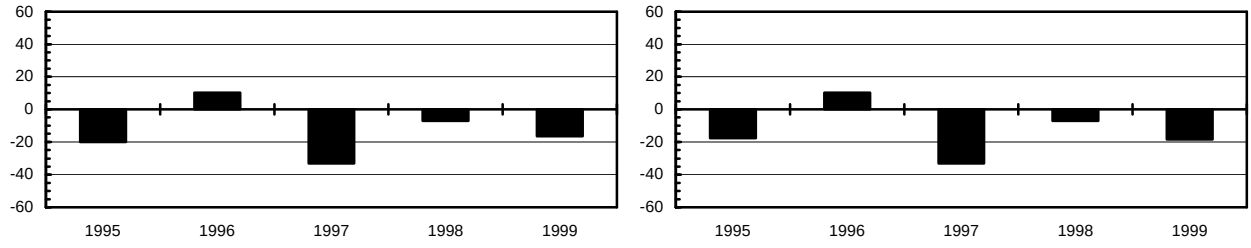
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette EPC 63

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

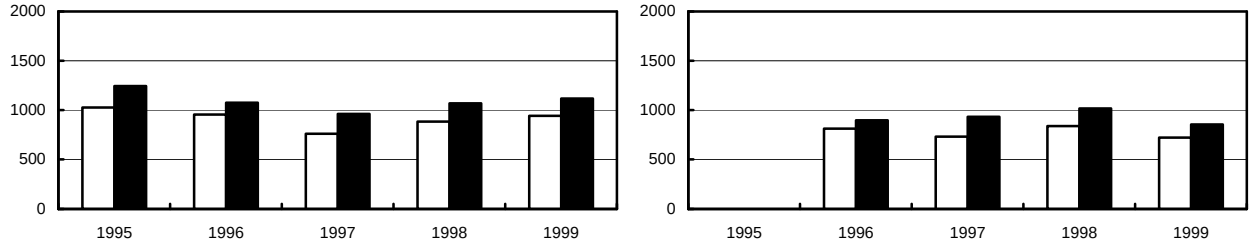
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

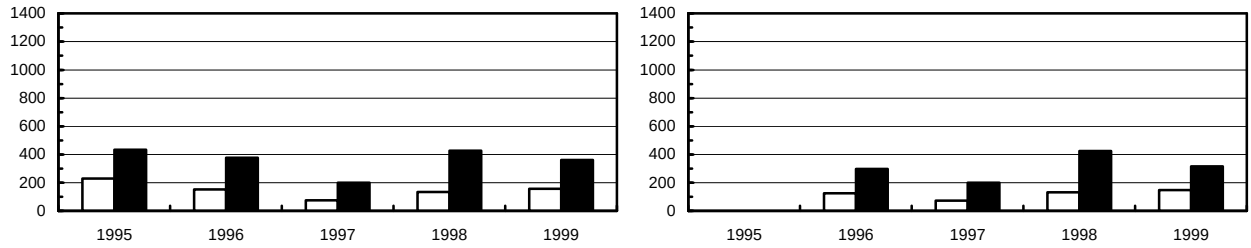
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	0	328	364	355	305

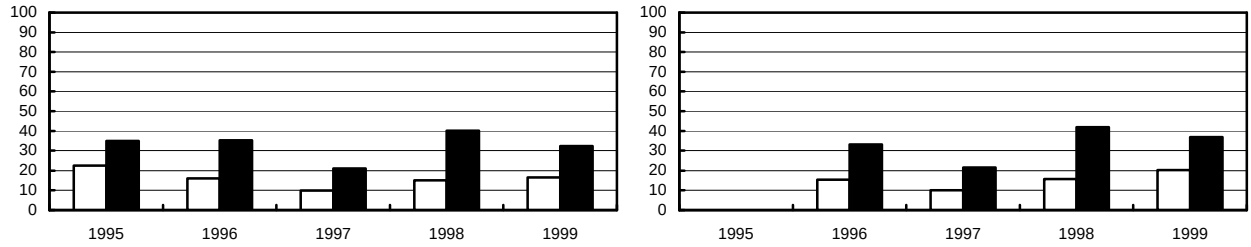
Précipitations annuelles (mm)



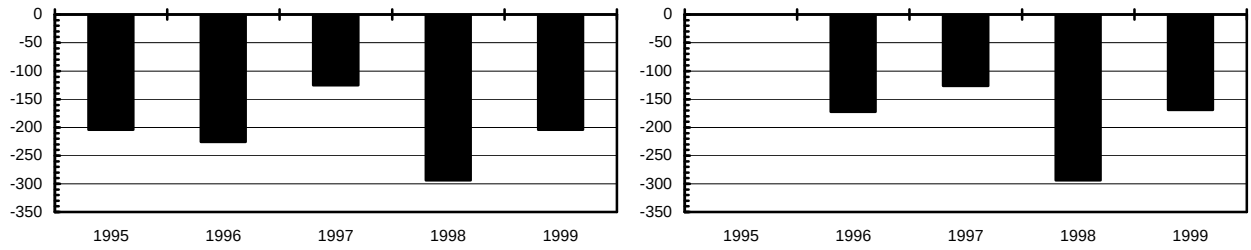
Drainages annuels (mm)



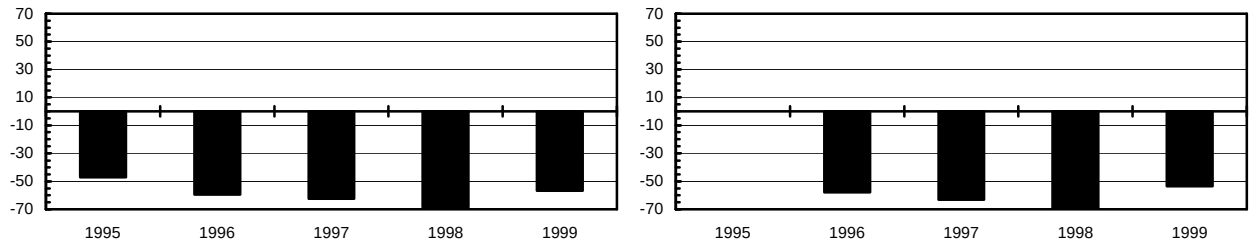
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette EPC 74

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

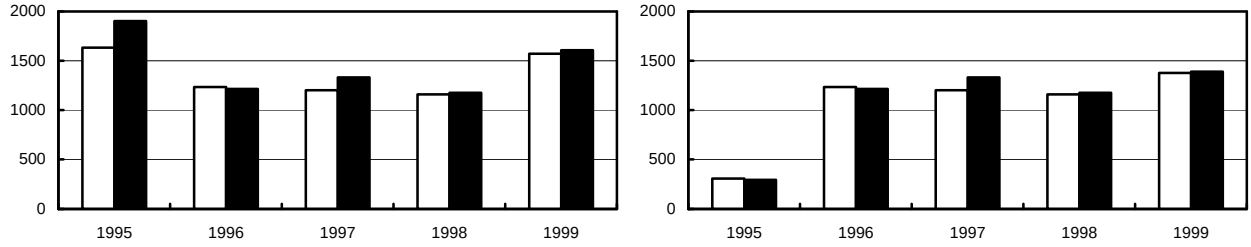
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

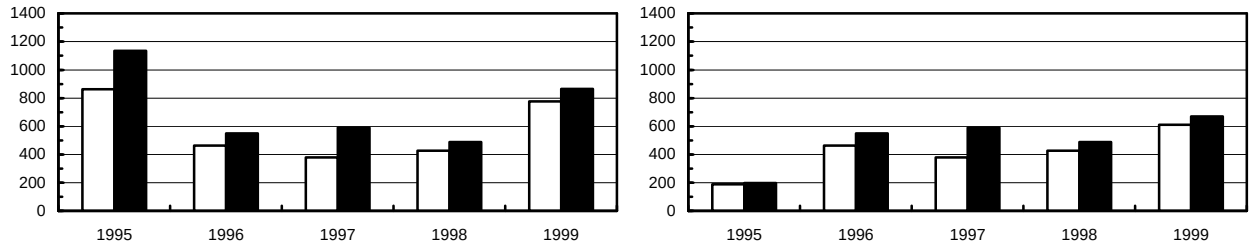
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	109	366	365	365	332

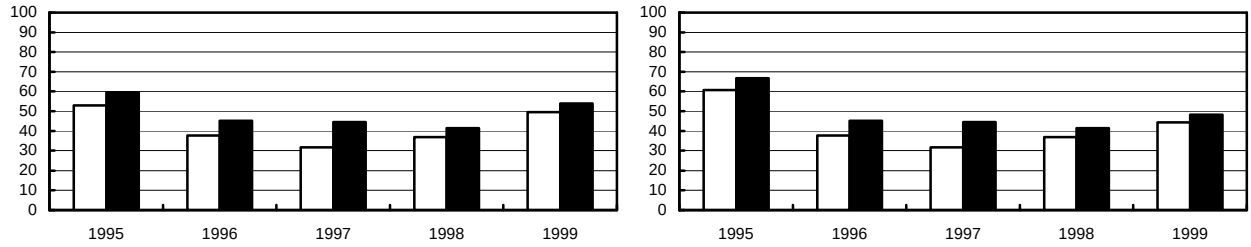
Précipitations annuelles (mm)



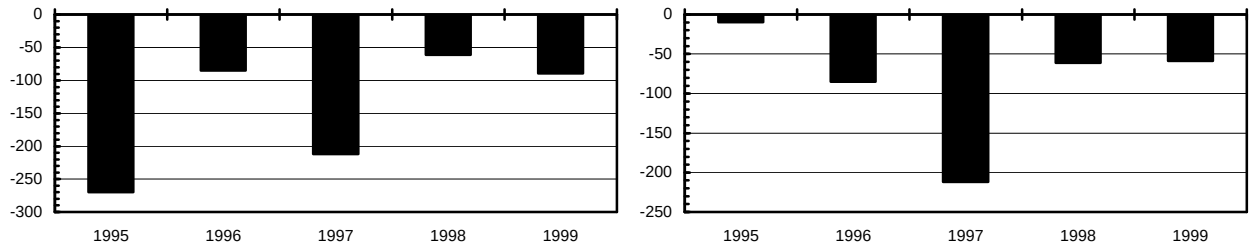
Drainages annuels (mm)



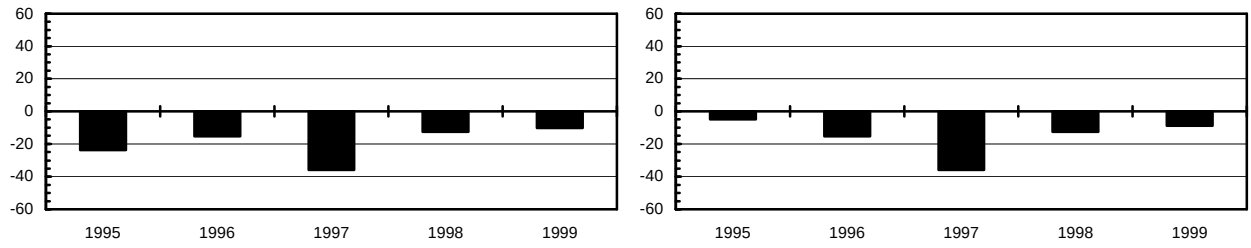
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette EPC 87

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

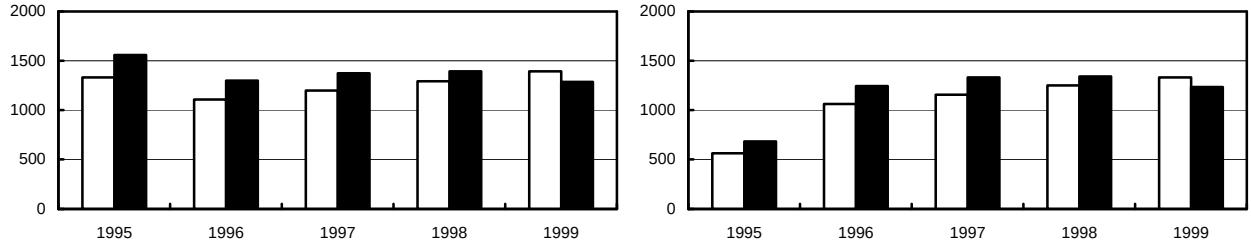
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

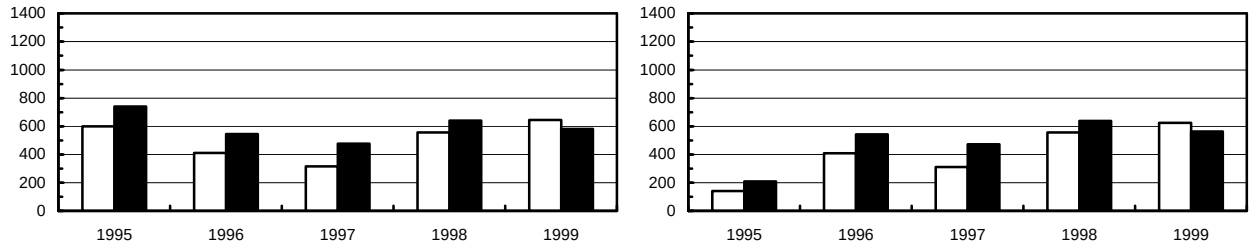
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	182	357	362	353	360

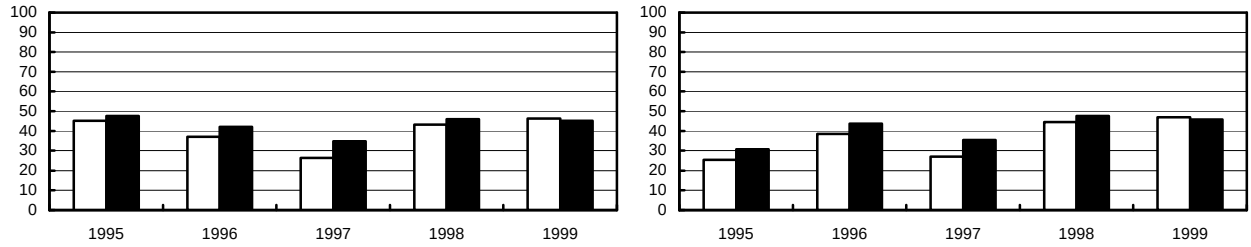
Précipitations annuelles (mm)



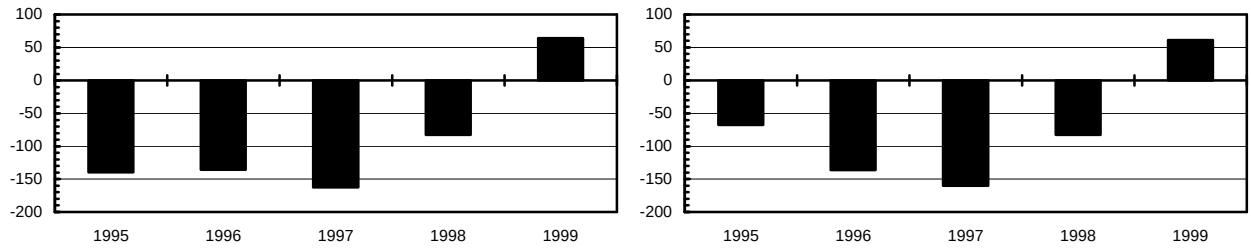
Drainages annuels (mm)



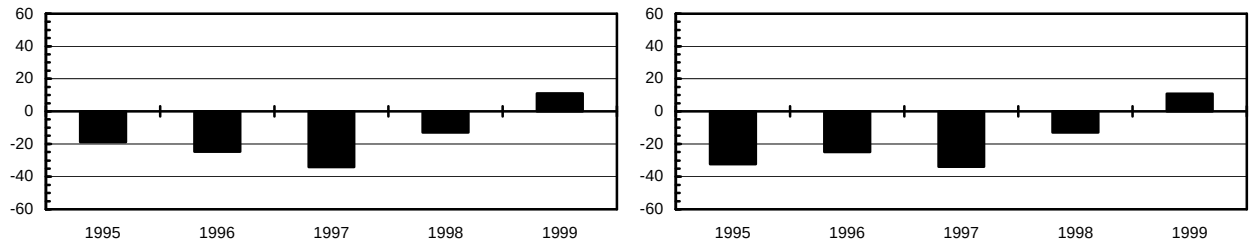
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette HET 30

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

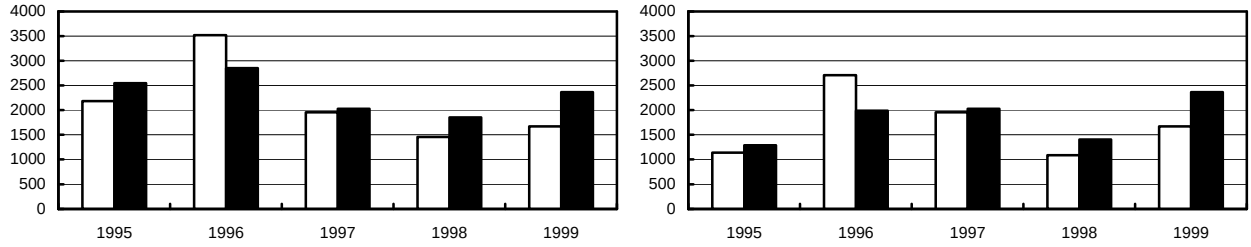
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

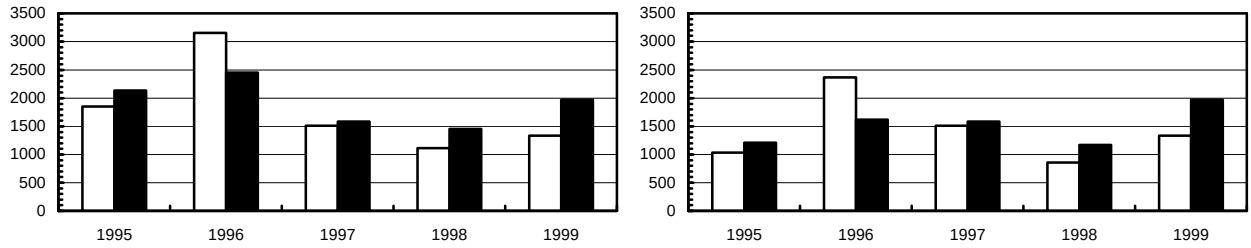
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	120	314	364	272	364

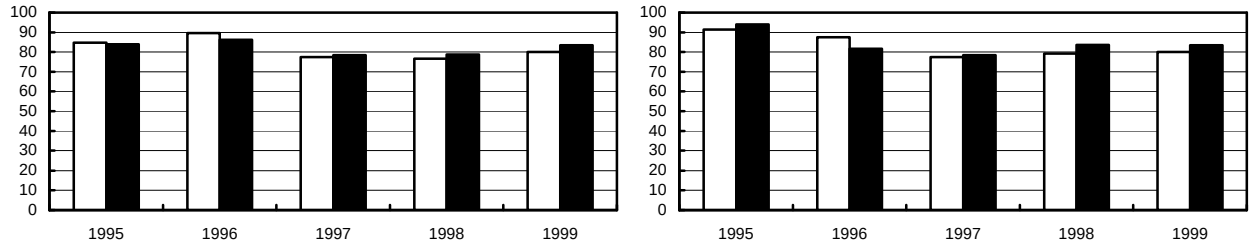
Précipitations annuelles (mm)



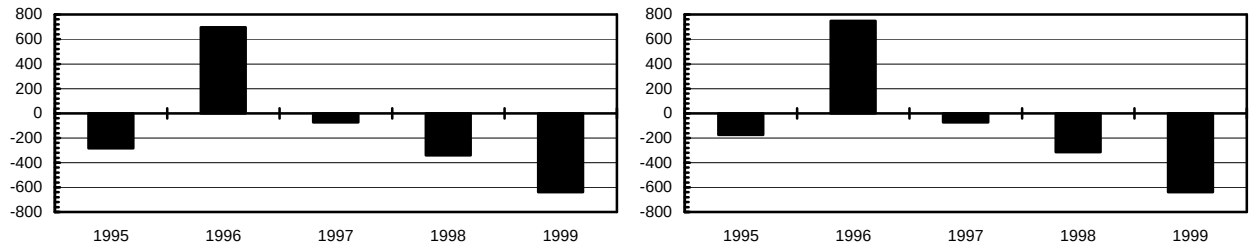
Drainages annuels (mm)



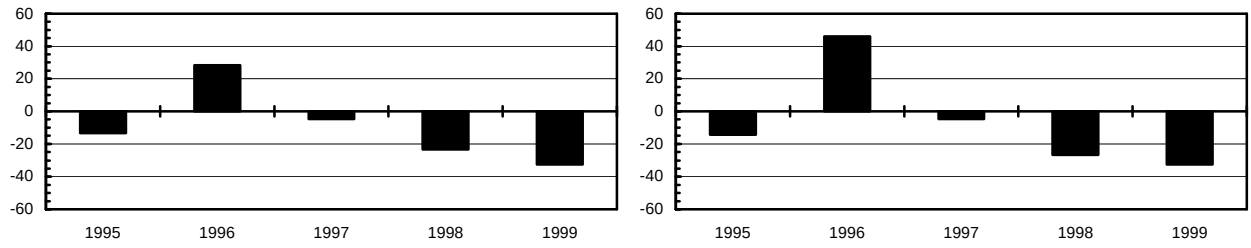
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette HET 54a

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

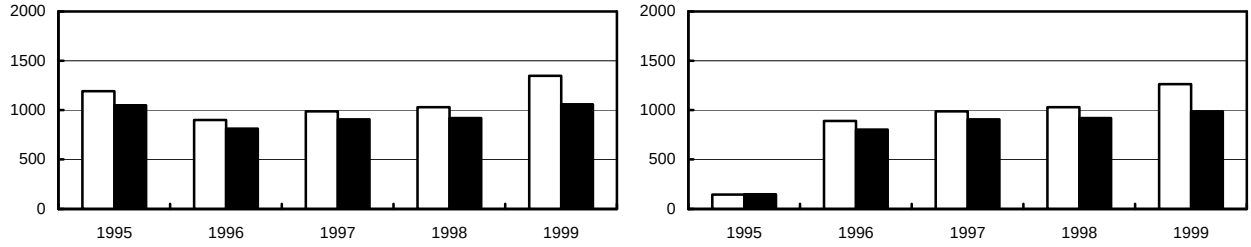
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

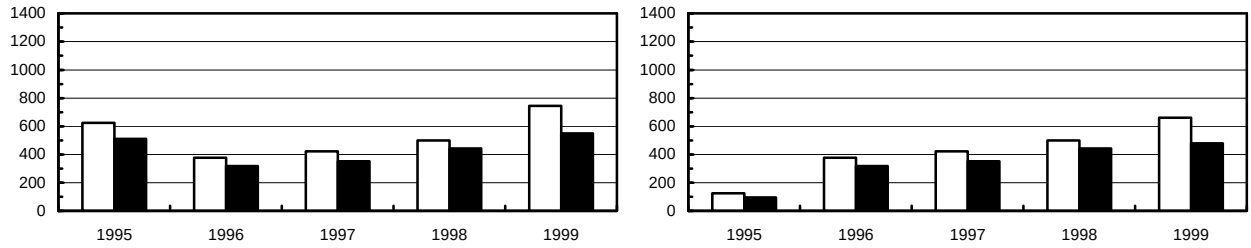
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	66	356	365	365	354

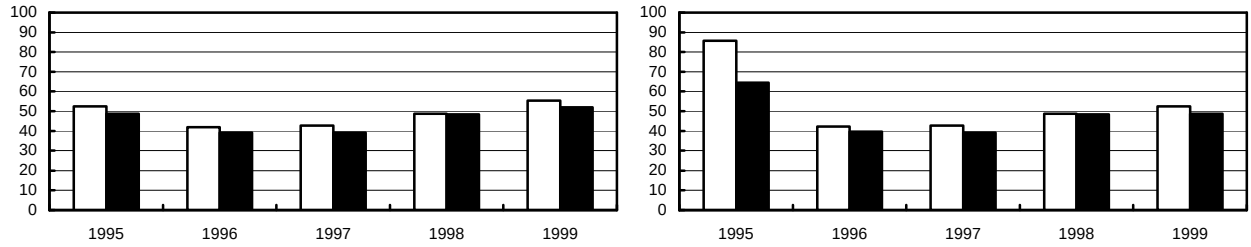
Précipitations annuelles (mm)



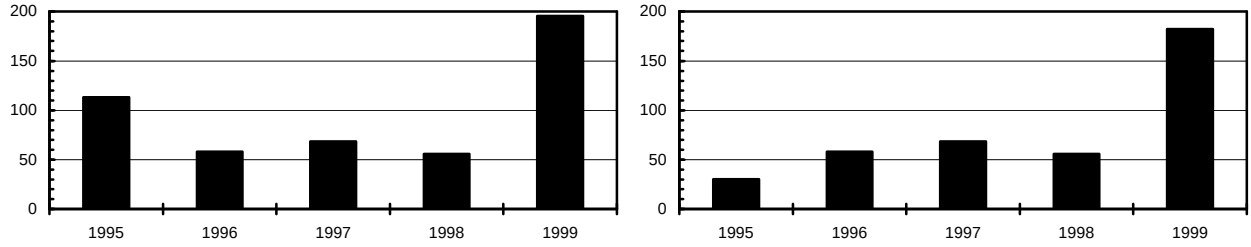
Drainages annuels (mm)



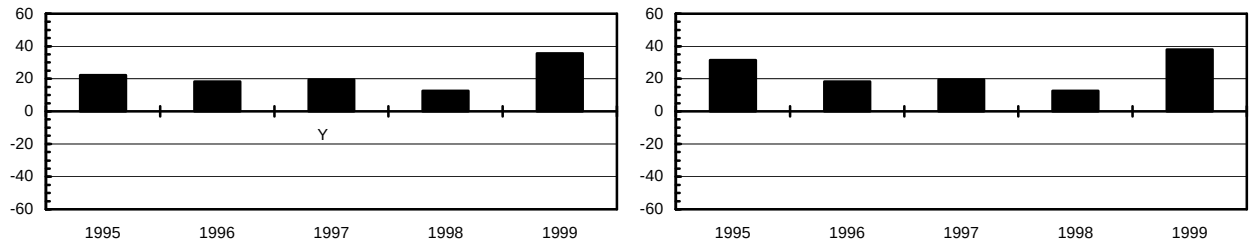
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette HET 64

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

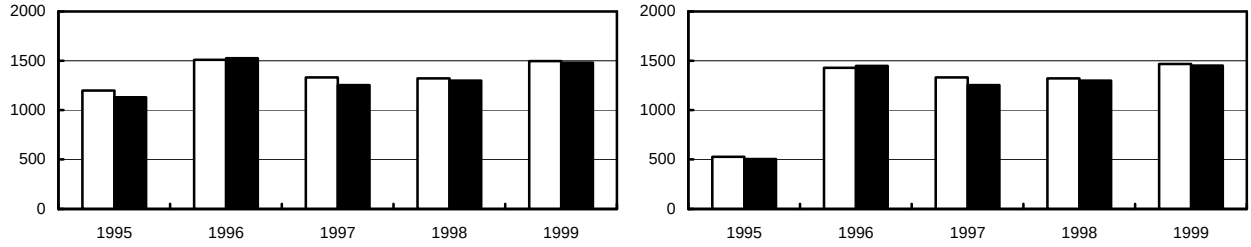
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

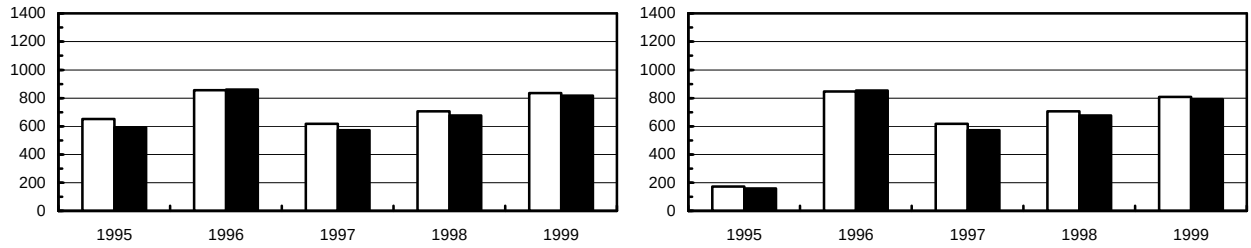
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	200	354	365	365	359

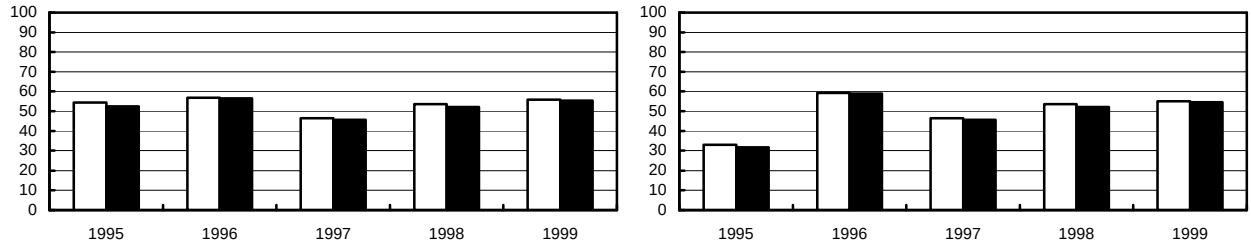
Précipitations annuelles (mm)



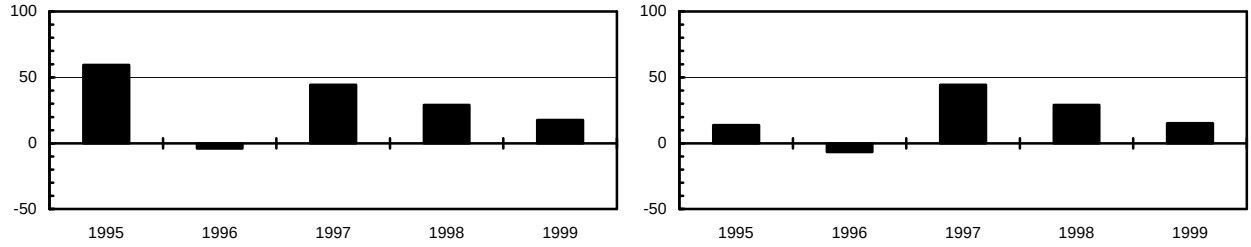
Drainages annuels (mm)



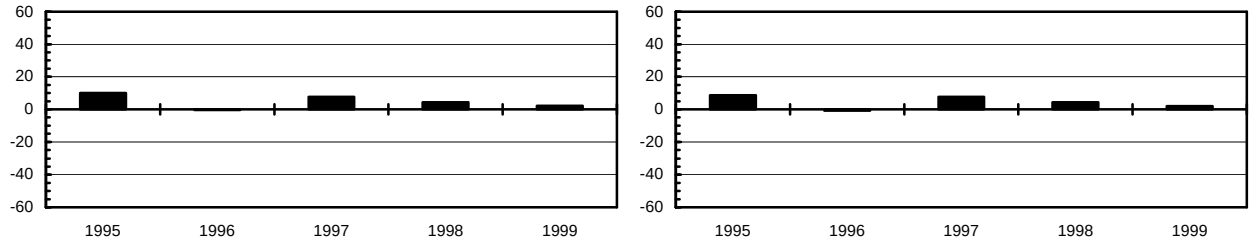
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PL 20

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

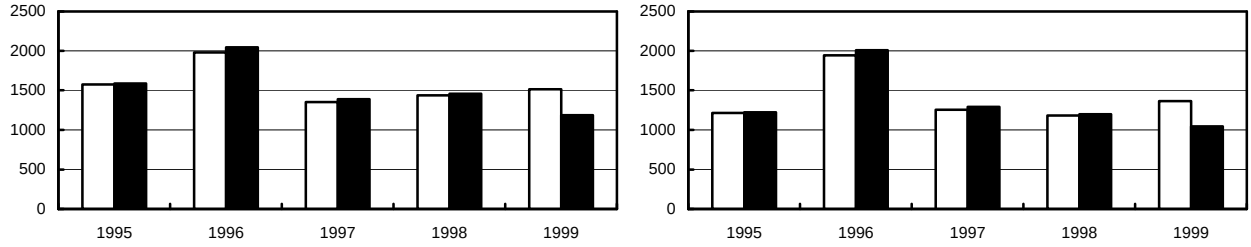
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

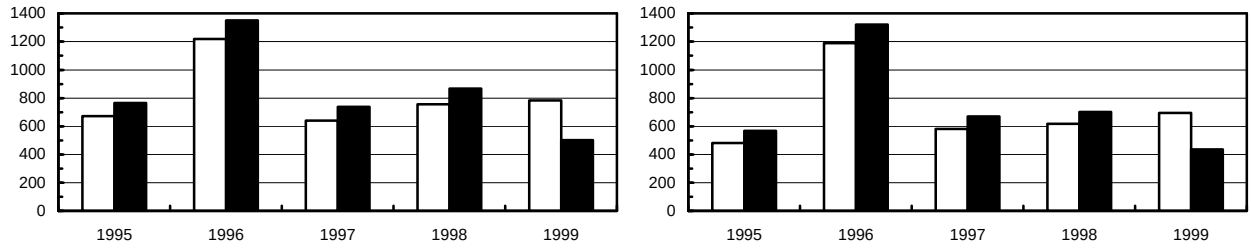
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	272	362	363	335	338

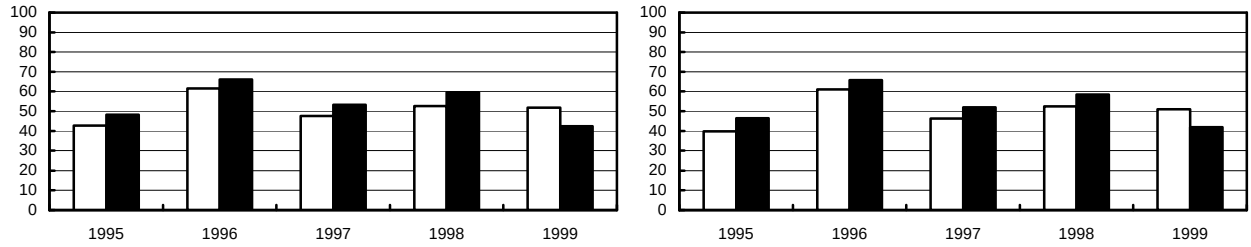
Précipitations annuelles (mm)



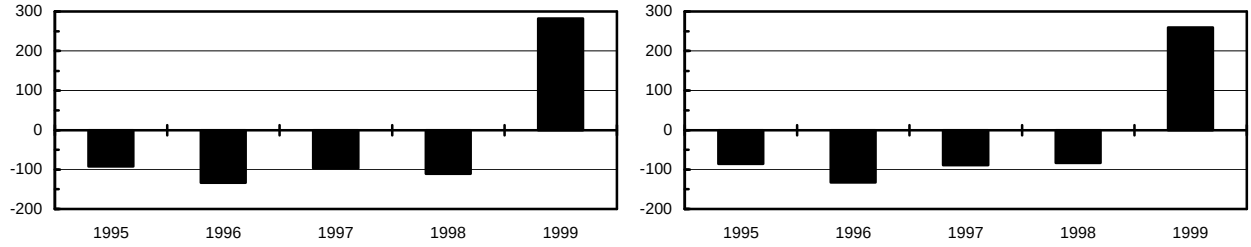
Drainages annuels (mm)



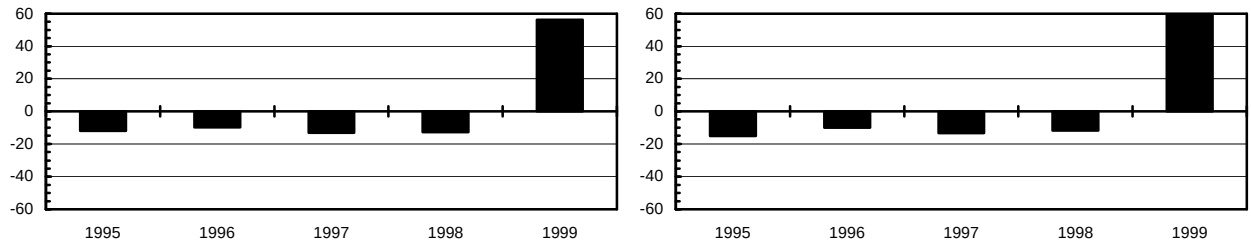
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PM 40c

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

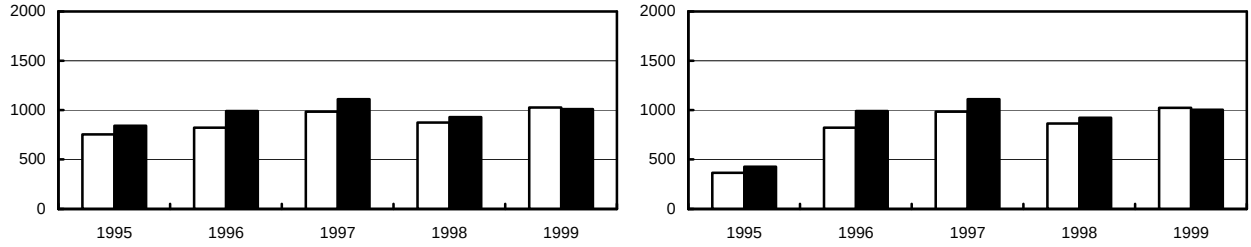
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

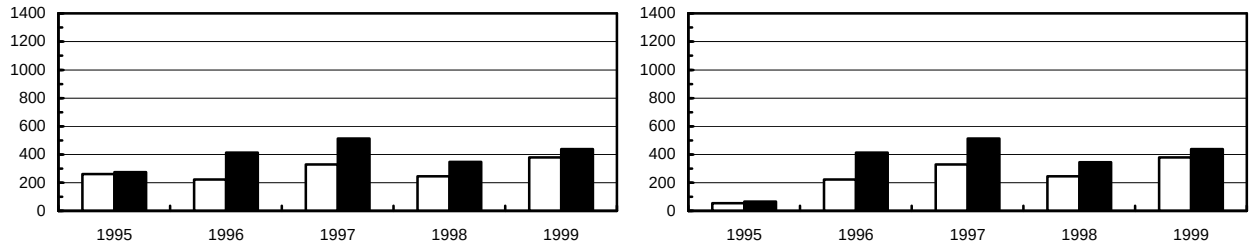
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	201	366	365	364	360

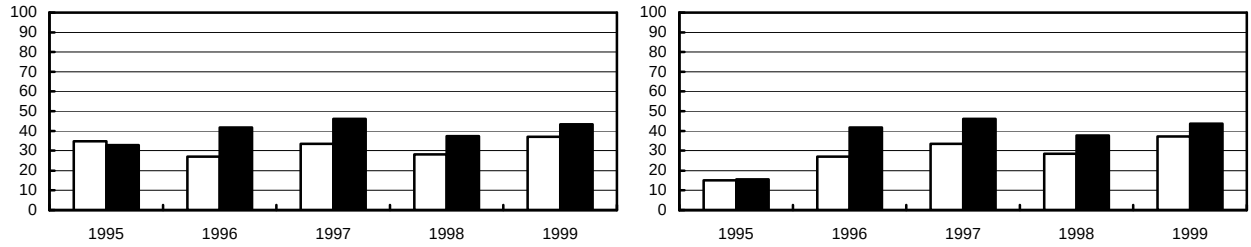
Précipitations annuelles (mm)



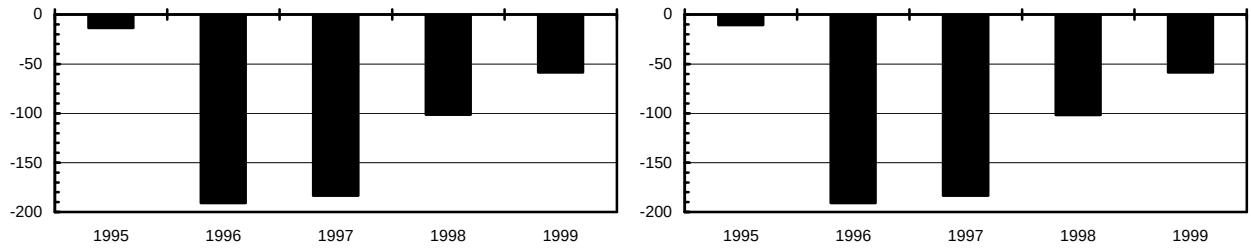
Drainages annuels (mm)



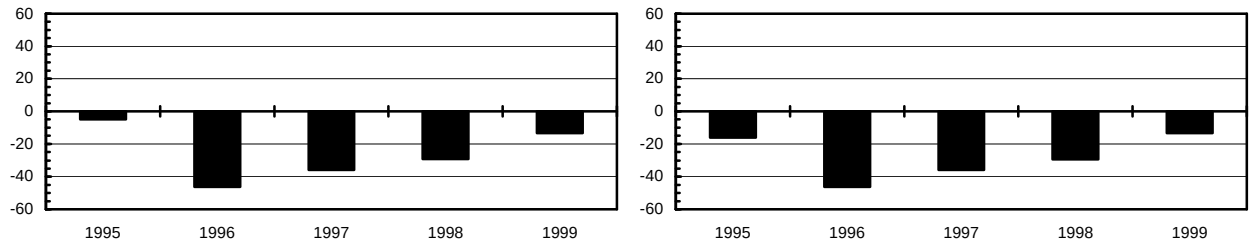
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PM 72

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

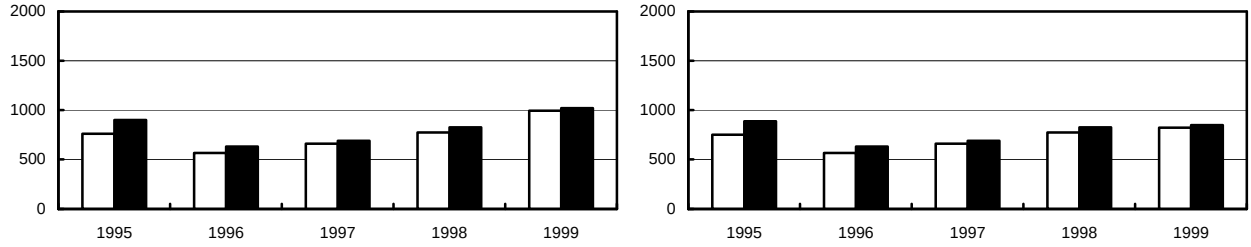
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

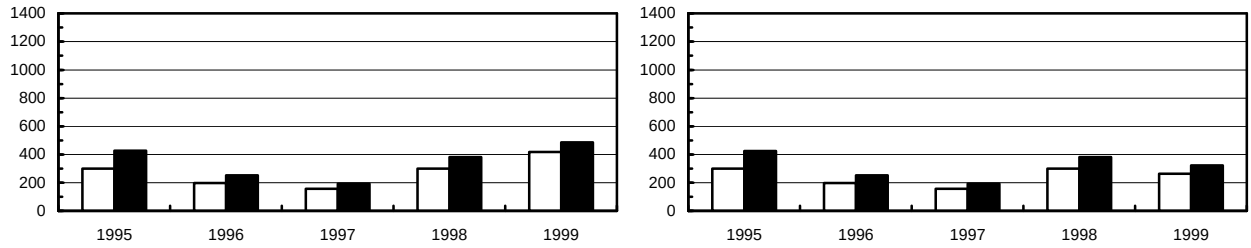
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	356	366	365	365	331

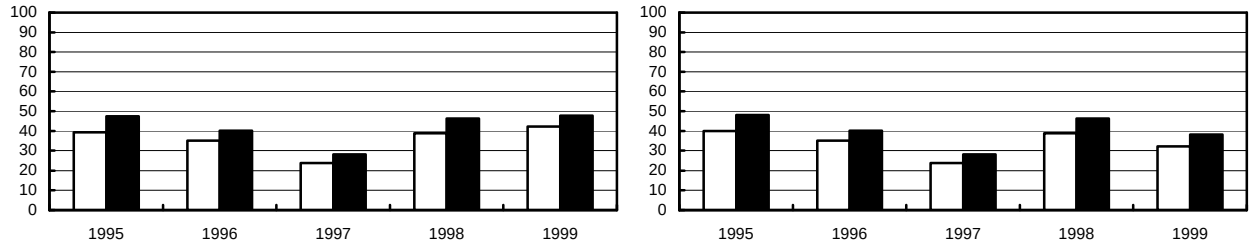
Précipitations annuelles (mm)



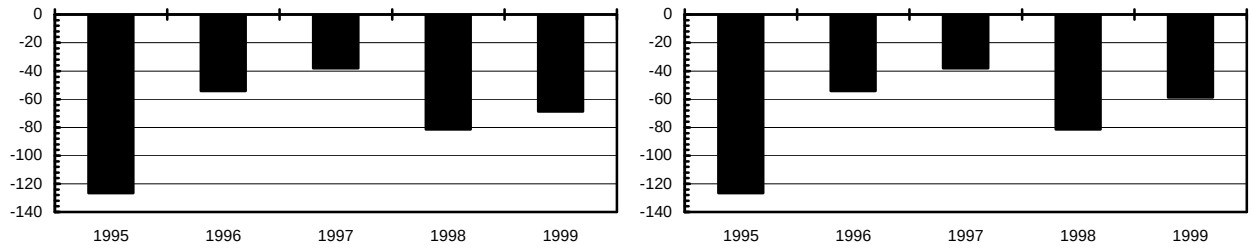
Drainages annuels (mm)



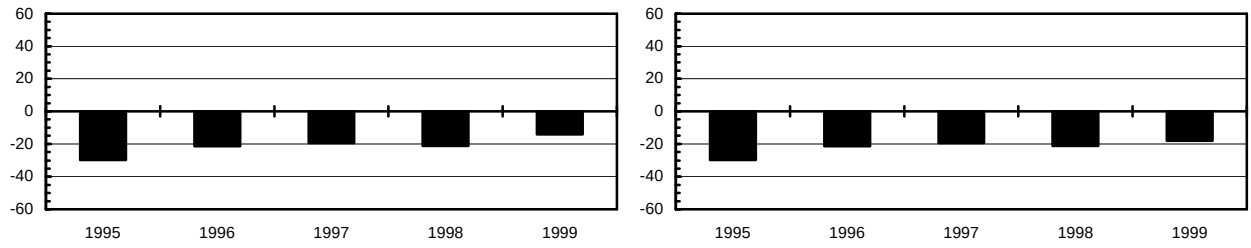
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PM 85

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

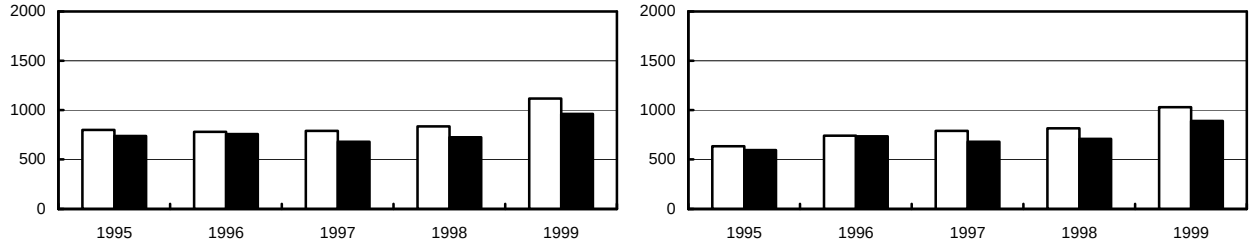
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

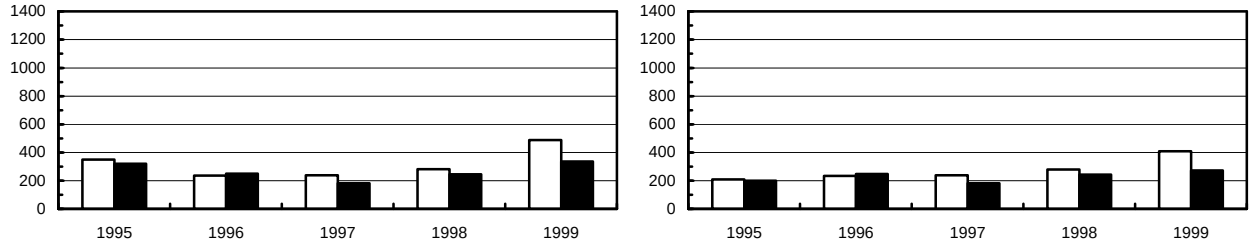
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	327	363	365	353	354

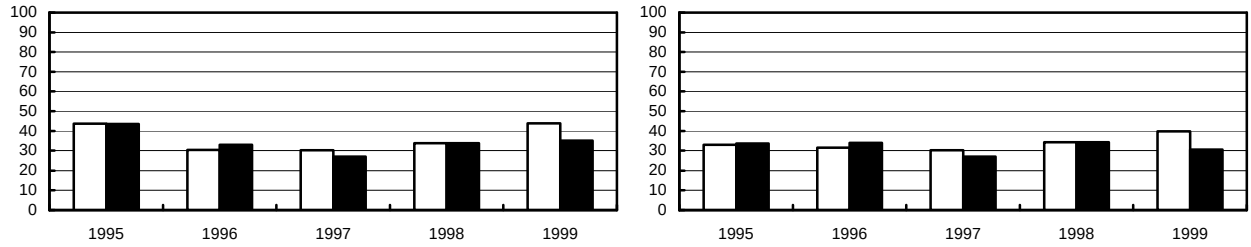
Précipitations annuelles (mm)



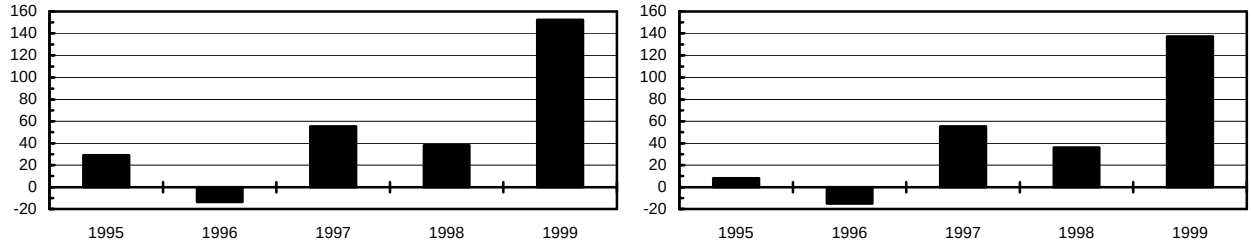
Drainages annuels (mm)



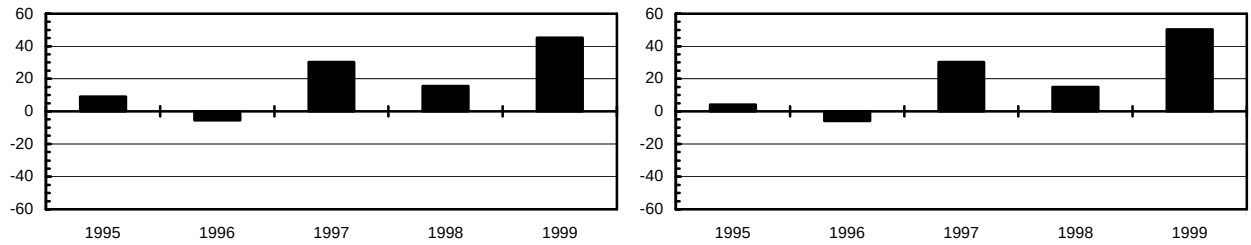
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PS 44

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

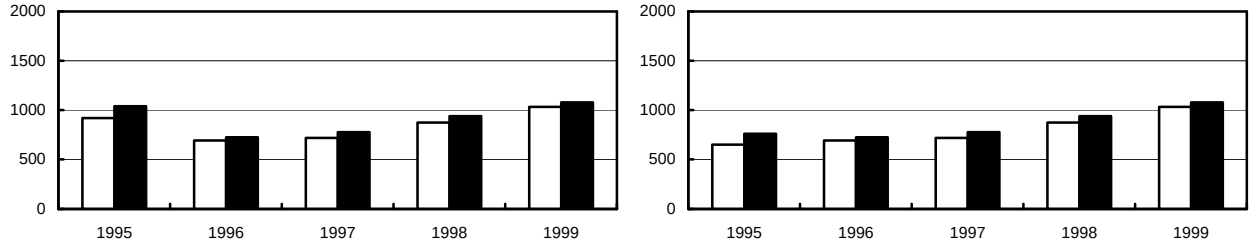
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

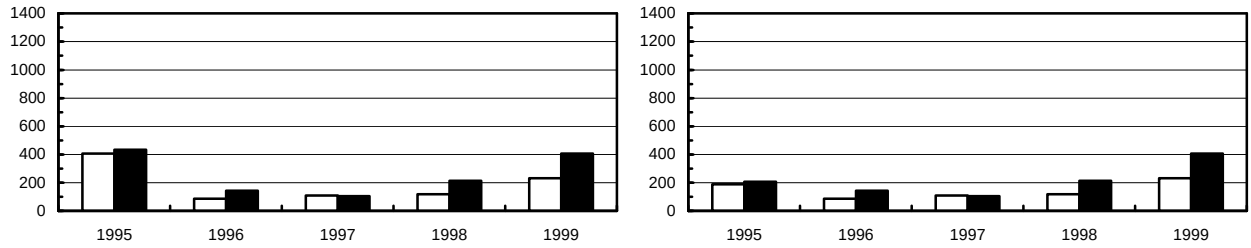
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	321	366	365	365	362

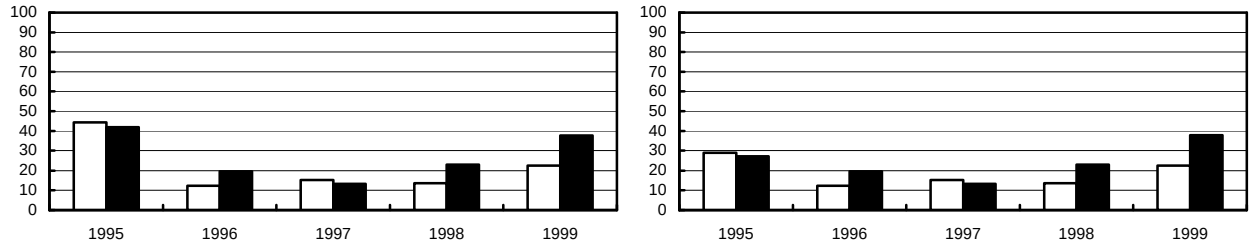
Précipitations annuelles (mm)



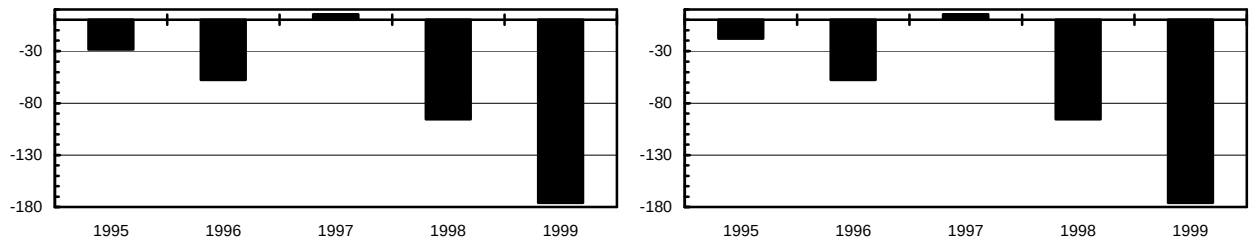
Drainages annuels (mm)



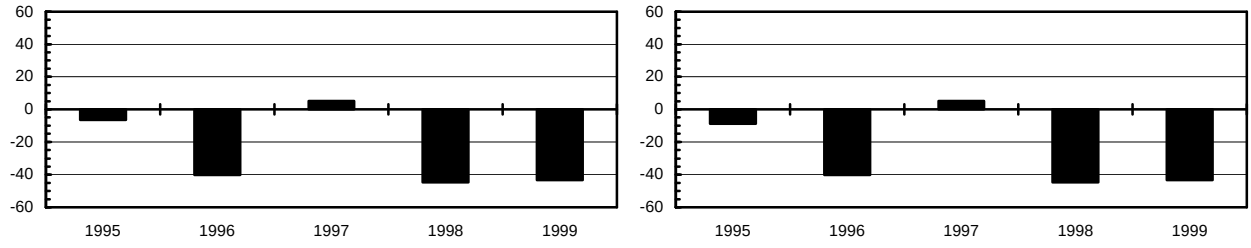
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PS 67a

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

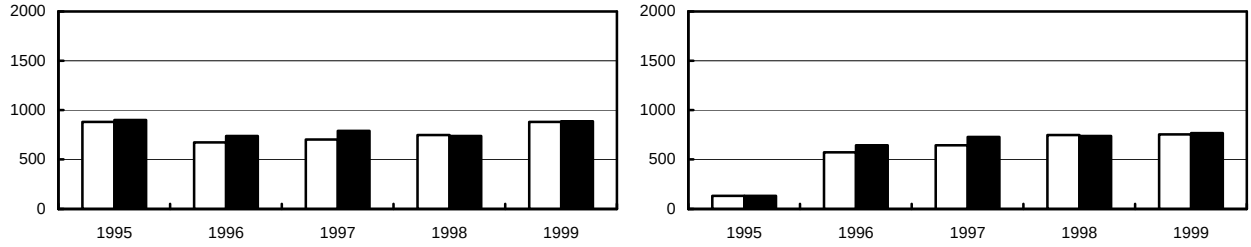
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

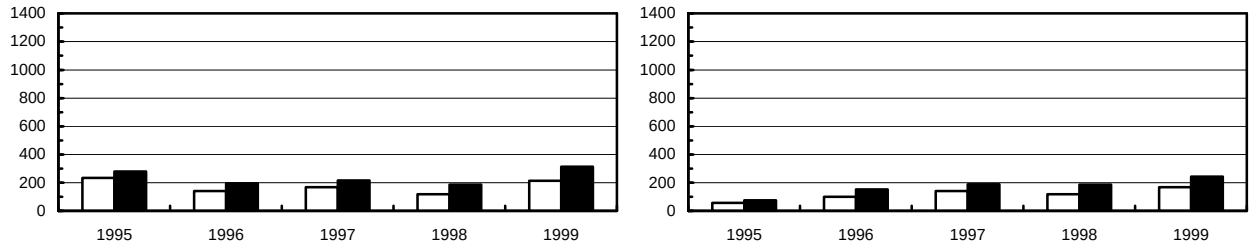
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	67	350	331	365	339

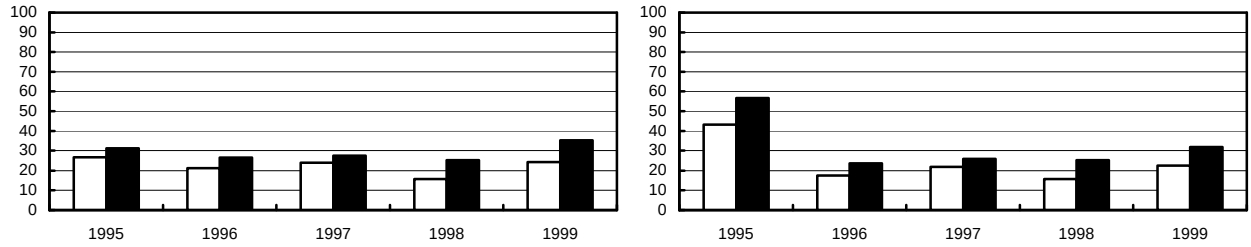
Précipitations annuelles (mm)



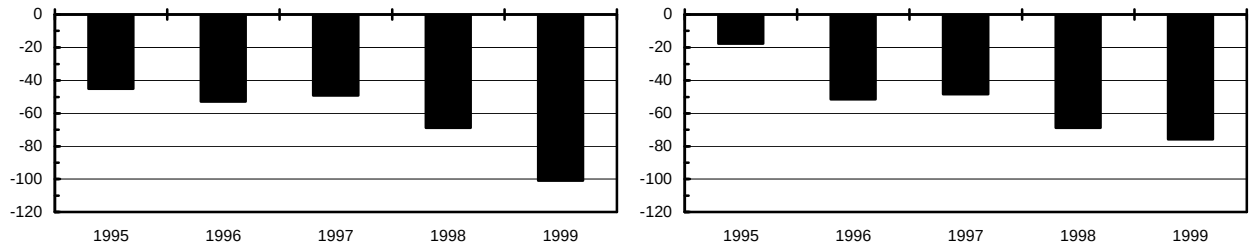
Drainages annuels (mm)



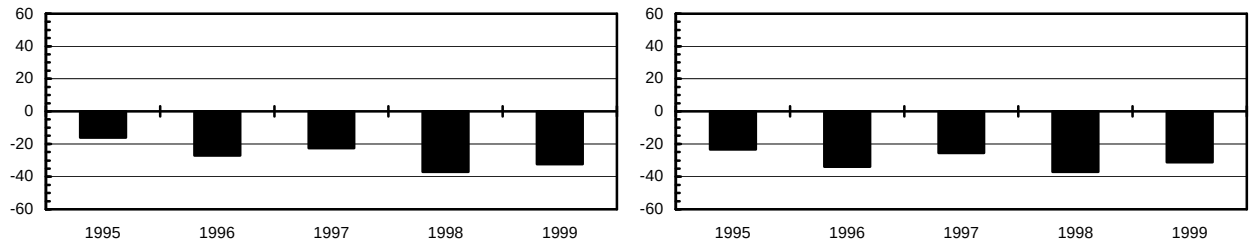
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette PS 76

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

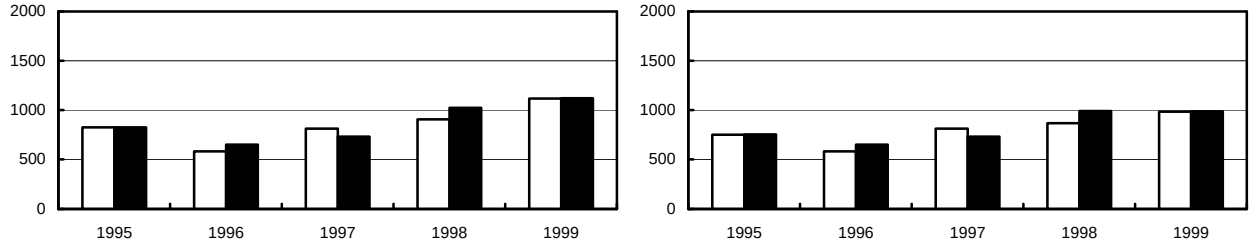
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

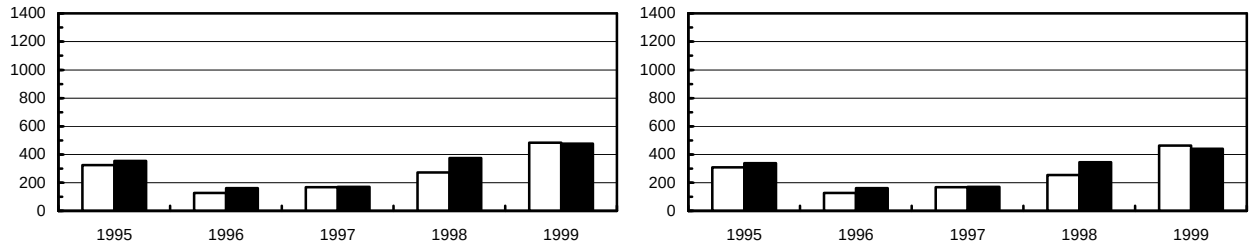
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	353	366	365	352	320

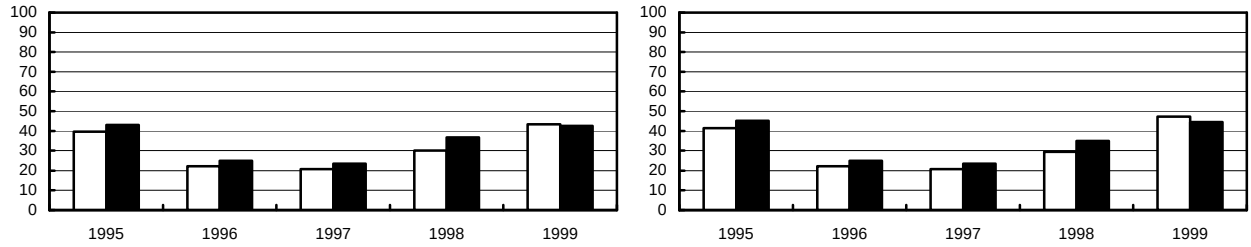
Précipitations annuelles (mm)



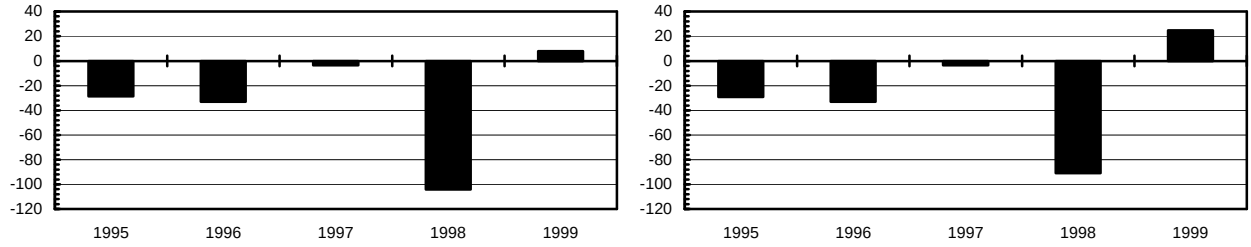
Drainages annuels (mm)



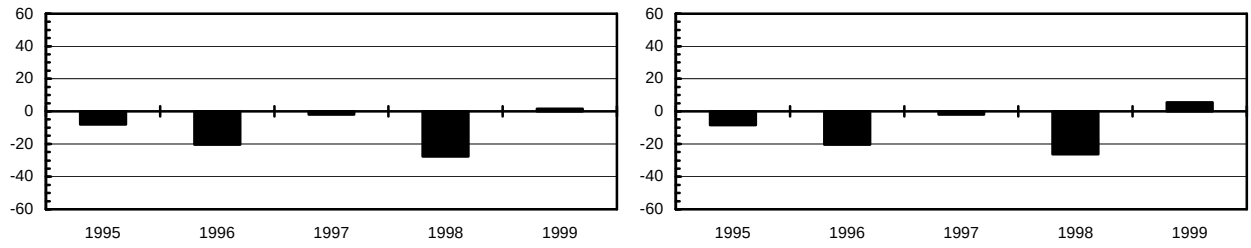
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 05

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

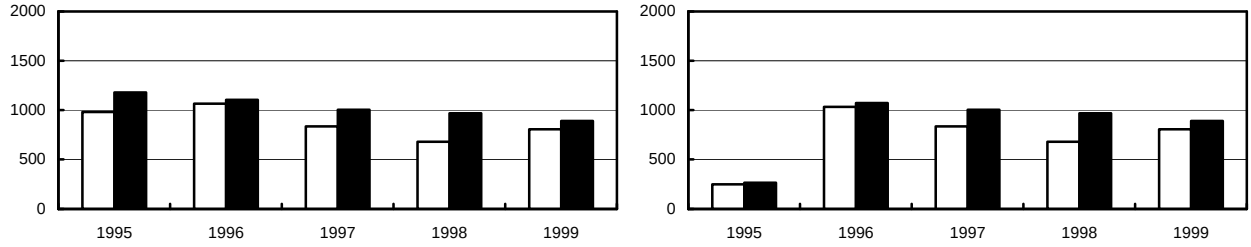
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

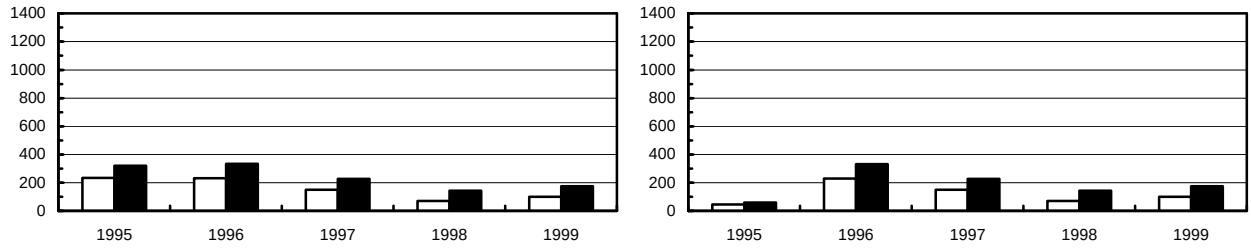
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	104	358	362	365	365

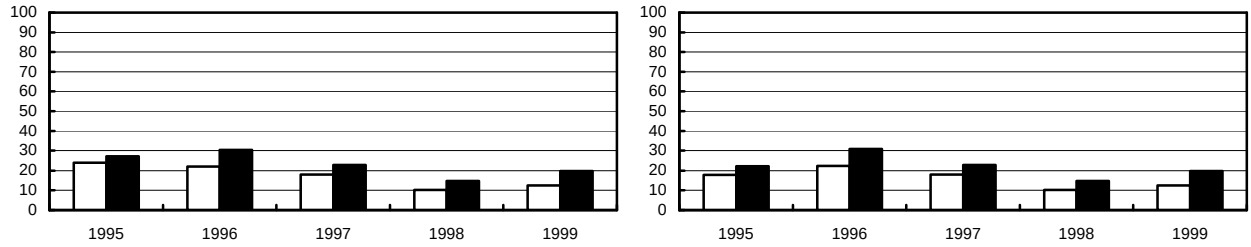
Précipitations annuelles (mm)



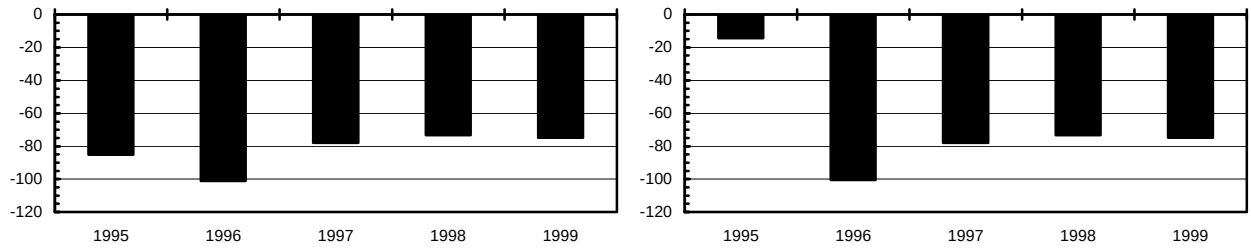
Drainages annuels (mm)



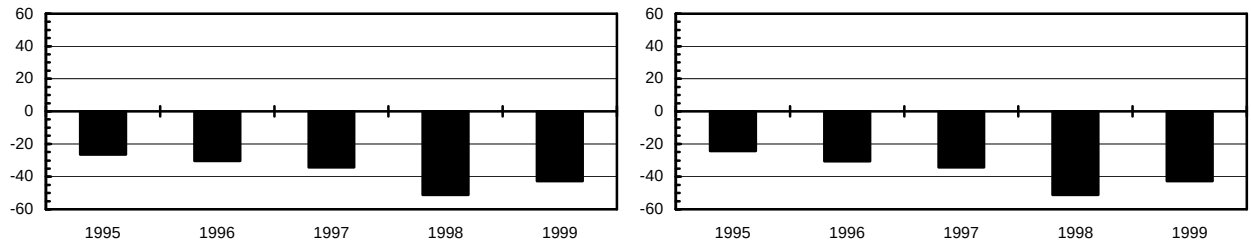
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 11

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

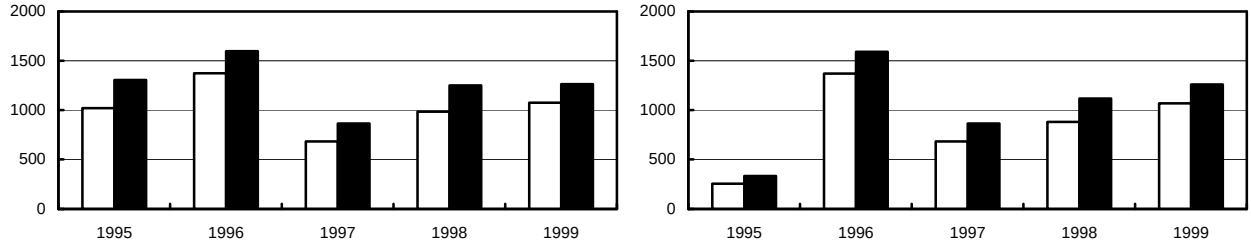
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

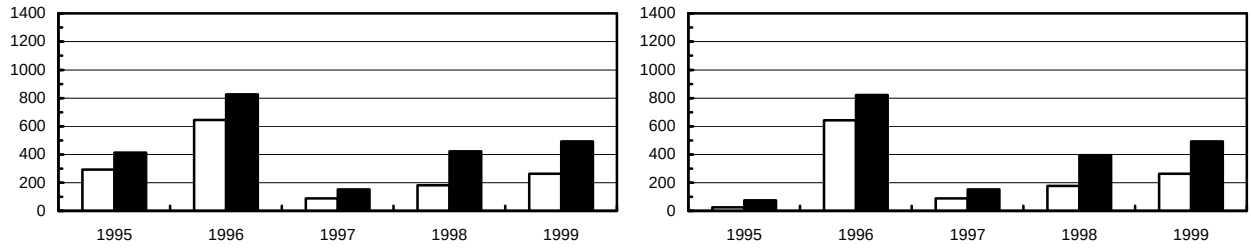
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	108	361	365	326	360

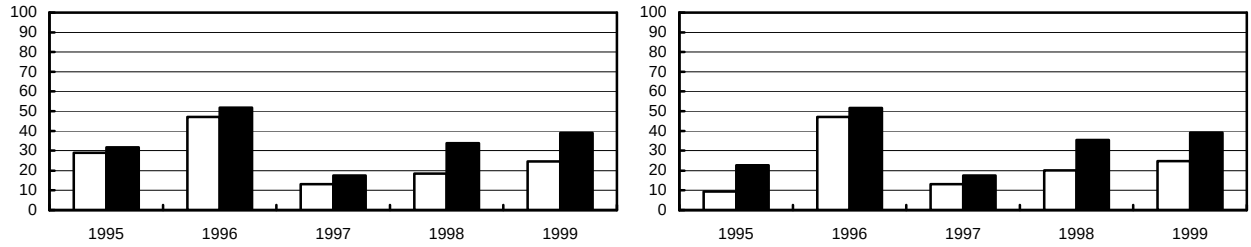
Précipitations annuelles (mm)



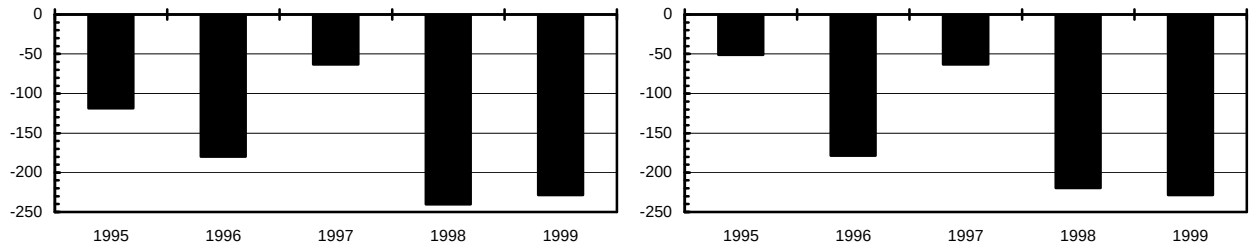
Drainages annuels (mm)



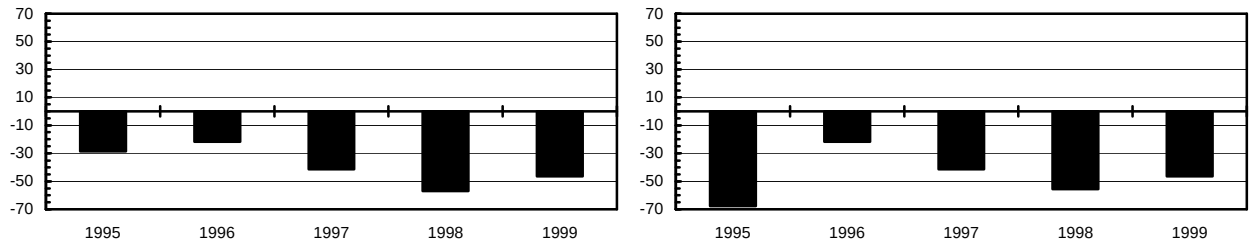
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 25

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

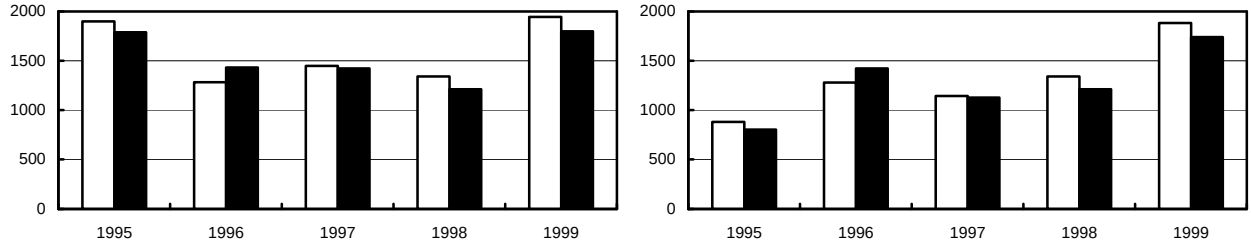
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

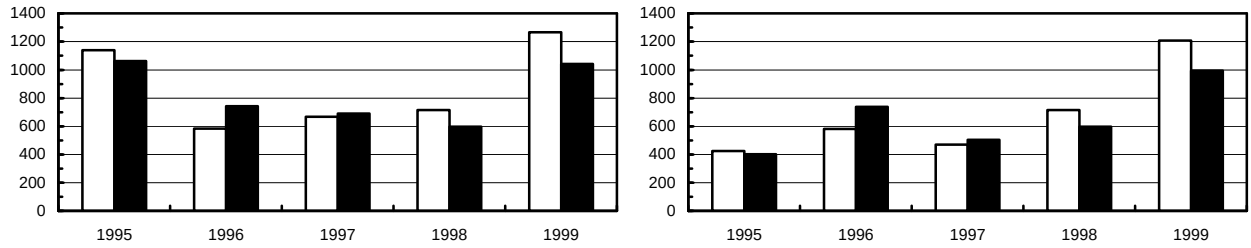
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	183	356	315	365	344

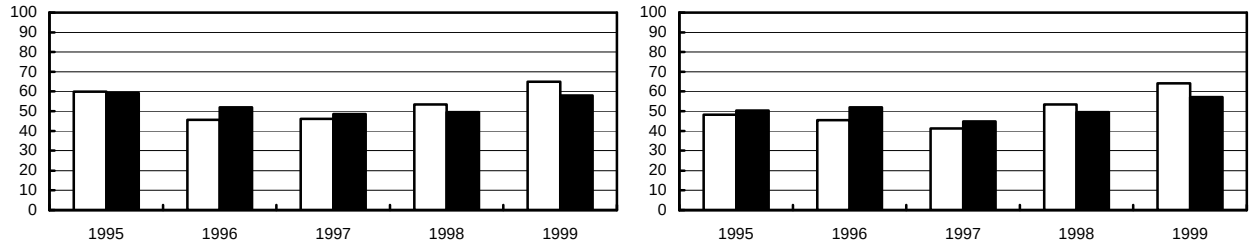
Précipitations annuelles (mm)



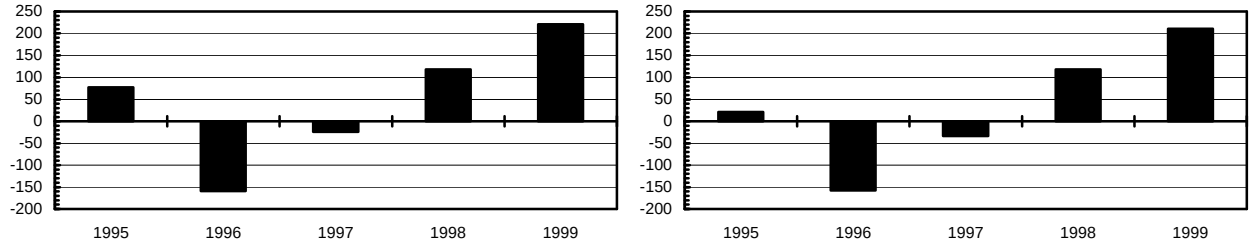
Drainages annuels (mm)



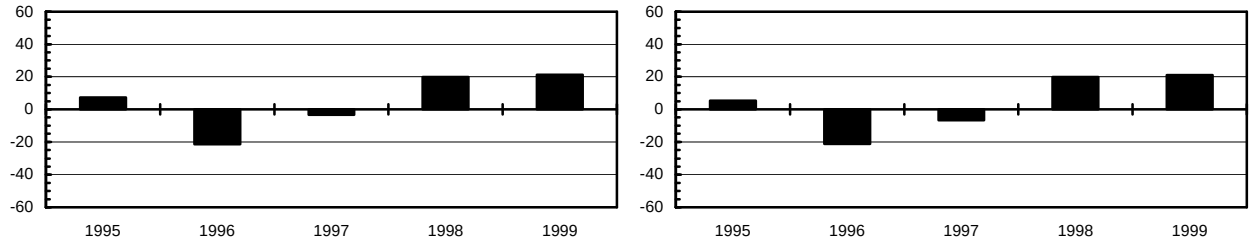
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 38

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

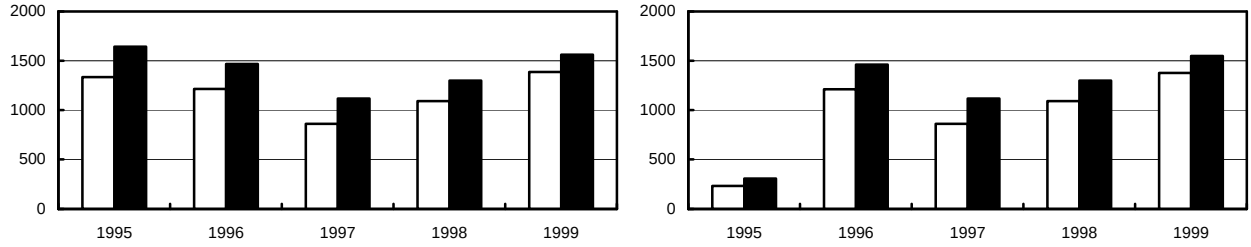
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

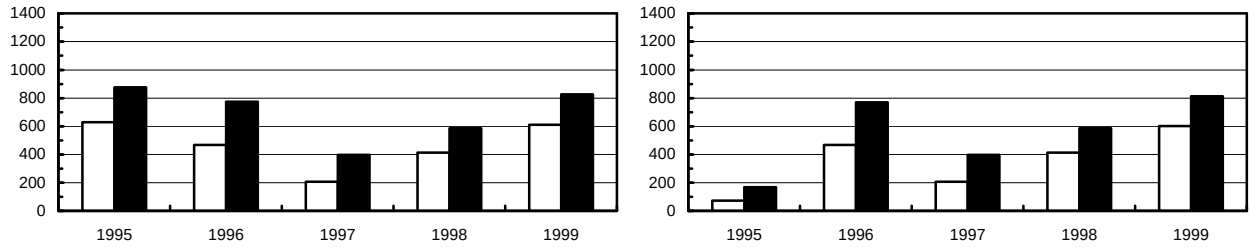
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	108	361	365	365	361

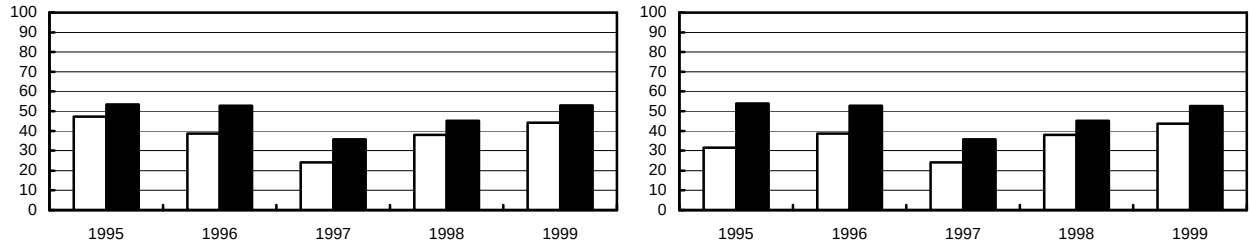
Précipitations annuelles (mm)



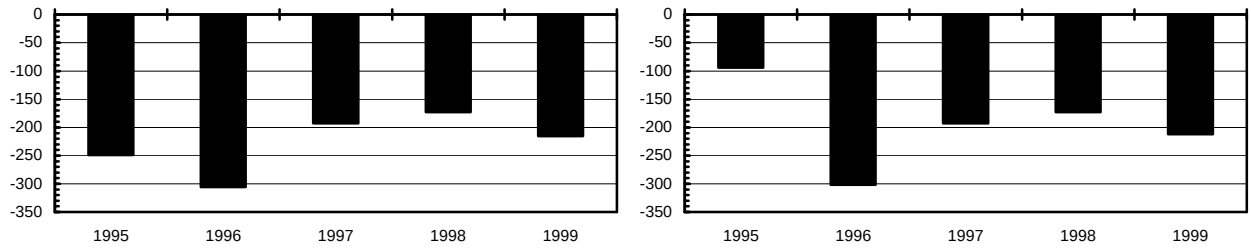
Drainages annuels (mm)



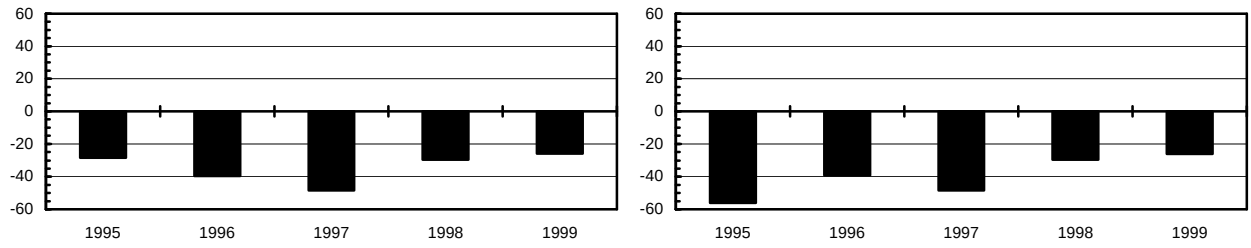
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 57

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

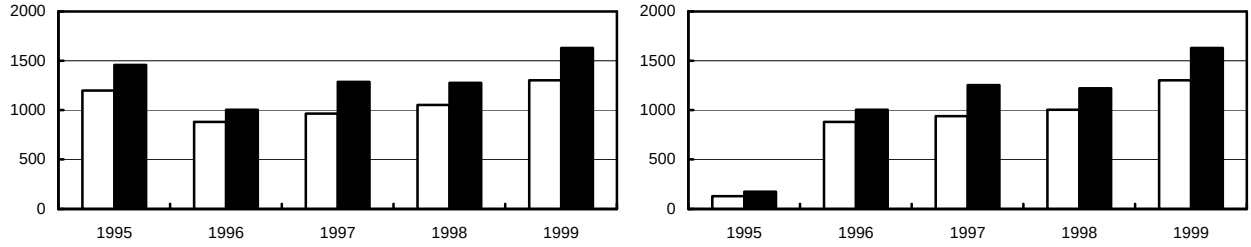
Avec données manquantes estimées

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	365	366	365	365	365

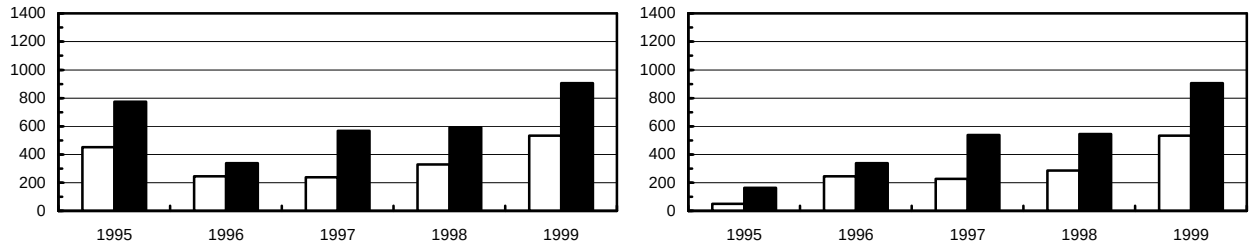
Sans données manquantes

Année	1995	1996	1997	1998	1999
n =	60	360	358	353	365

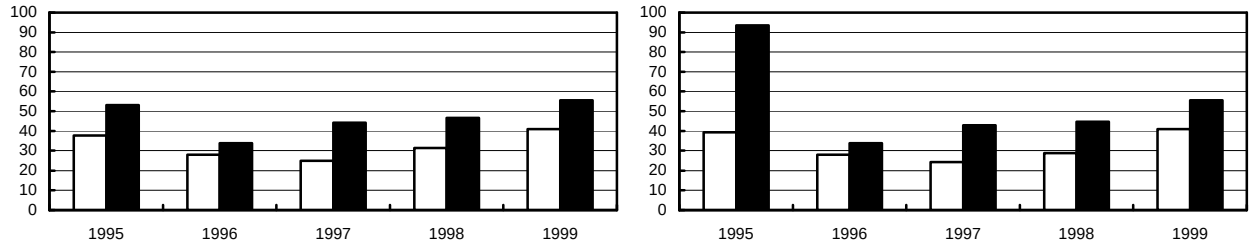
Précipitations annuelles (mm)



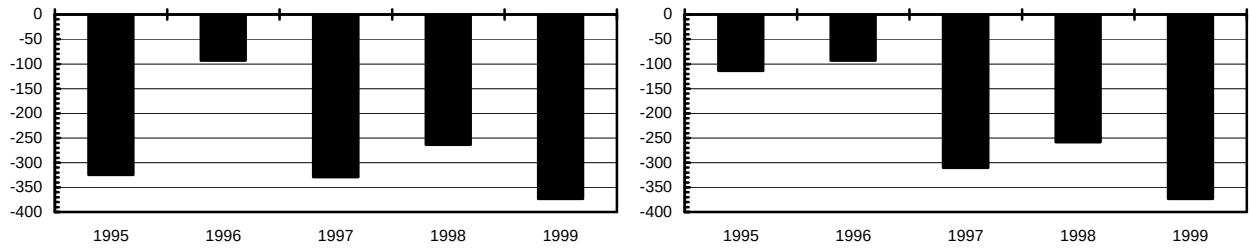
Drainages annuels (mm)



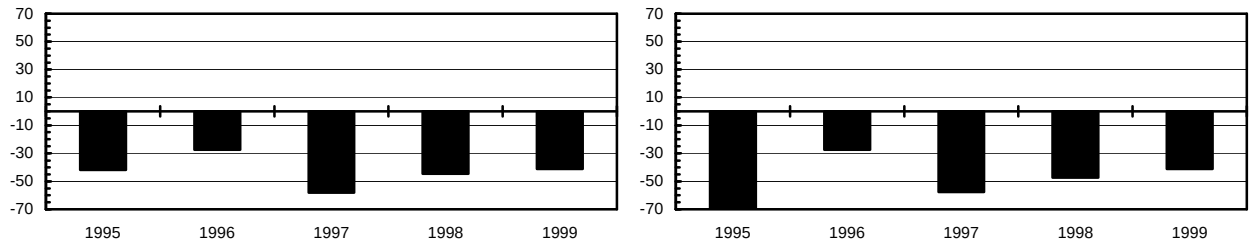
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



Placette SP 68

Paramètres climatiques Météo-France

Pluie, température, humidité relative RENECOFOR + rayonnement, vitesse du vent Météo-France

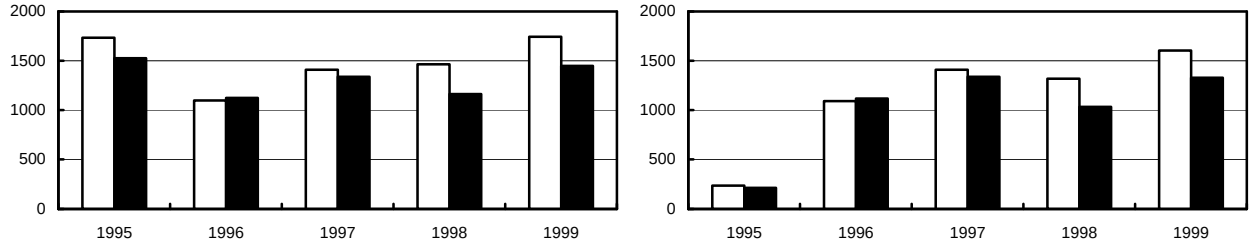
Avec données manquantes estimées

Année n =	1995 365	1996 366	1997 365	1998 365	1999 365

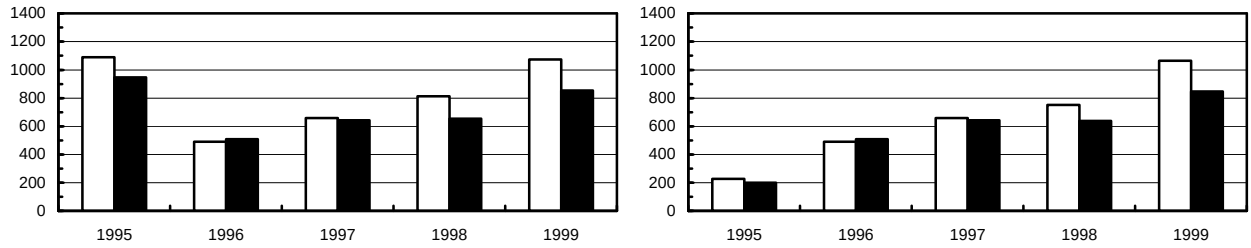
Sans données manquantes

Année n =	1995 50	1996 364	1997 365	1998 331	1999 326

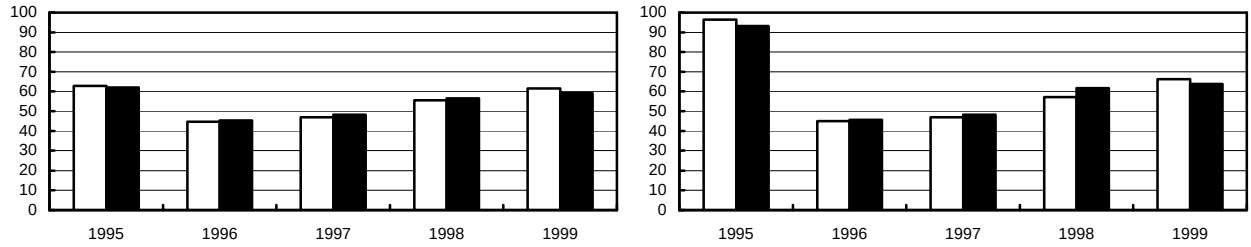
Précipitations annuelles (mm)



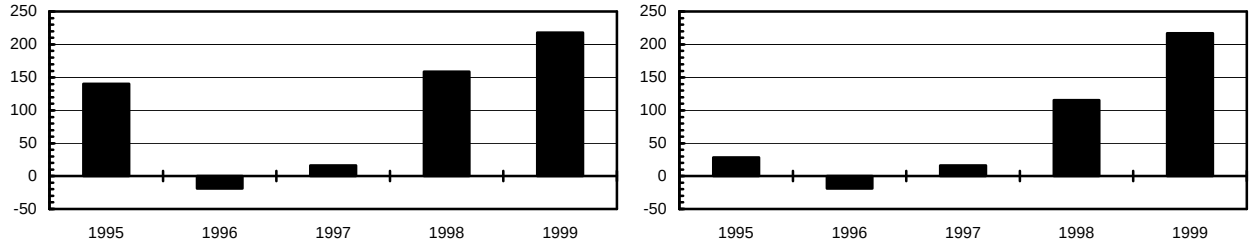
Drainages annuels (mm)



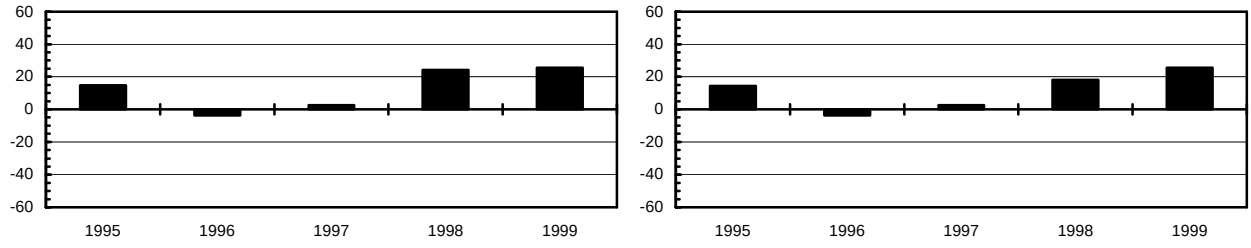
Pourcentage de pluie drainée (%)



Différence (mm) : drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR"



Différence relative (%) : (drainage "Météo-France" - drainage "RENECOFOR") / drainage "RENECOFOR"



VOLUMES ANNUELS D'EAU DRAINEE PAR TRANCHES DE PROFONDEUR

Volumes annuels d'eau drainée par couches de profondeurs sur les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier.

Année — année de mesure
N — nombre de jour avec données
PluieR — cumul annuel des précipitations enregistrées sur le réseau RENECOFOR - (données en mm)
DR-20 cm — cumul annuel des drainages à une profondeur de 20 cm
DR-70 cm — cumul annuel des drainages à une profondeur de 70 cm
DR- fin — cumul annuel des drainages à la profondeur maximale d'enracinement.
Tous ces drainages sont calculés à partir des données météorologiques mesurées sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)

PluieM — cumul annuel des précipitations enregistrées par Méto-France- (données en mm)
DR-20 cm — cumul annuel des drainages à une profondeur de 20 cm
DR-70 cm — cumul annuel des drainages à une profondeur de 70 cm
DR- fin — cumul annuel des drainages à la profondeur maximale d'enracinement.
Tous ces drainages sont calculés à partir des seules données Météo-France (pluie, température, humidité relative, rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)

Fosse — profondeur maximale d'enracinement
RU — réserve utile en eau

Sous tableau «*Avec données estimées*» — Résultats incluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

Sous tableau «*Sans données estimées*» — Résultats excluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

Fosse = 200 cm RU = 297 mm	CHP 40									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1039,5	667,3	490,6	377,6	1059,2	685,0	501,2	390,4
	1996	366	1103,4	742,6	573,5	414,1	1134,1	734,3	561,2	369,3
	1997	365	1449,6	1062,3	818,8	769,6	1347,0	925,2	662,4	609,2
	1998	365	1043,0	752,1	590,1	442,2	1148,1	752,4	572,5	475,9
	1999	365	1148,2	804,5	621,7	509,3	1355,1	937,3	726,4	642,3
Sans données estimées	1995	199	507,6	287,9	157,3	55,1	528,9	292,5	153,2	56,4
	1996	346	959,6	601,6	440,0	335,9	979,7	586,7	413,6	289,1
	1997	365	1449,6	1062,3	818,8	769,6	1347,0	925,2	662,4	609,2
	1998	365	1043,0	752,1	590,1	442,2	1148,1	752,4	572,5	475,9
	1999	365	1148,2	804,5	621,7	509,3	1355,1	937,3	726,4	642,3

Fosse = 200 cm RU = 386 mm	CHP 59									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	991,2	711,7	559,9	492,5	948,6	669,4	510,5	462,4
	1996	366	824,4	574,1	437,3	324,4	722,2	466,5	308,8	158,8
	1997	365	862,4	593,1	444,0	350,5	809,8	528,9	382,9	291,1
	1998	365	1018,2	741,6	608,7	525,4	687,0	428,7	286,4	208,0
	1999	365	1004,7	707,2	542,0	438,9	768,7	473,4	324,2	179,5
Sans données estimées	1995	365	991,2	711,7	559,9	492,5	948,6	669,4	510,5	462,4
	1996	366	824,4	574,1	437,3	324,4	722,2	466,5	308,8	158,8
	1997	365	862,4	593,1	444,0	350,5	809,8	528,9	382,9	291,1
	1998	365	1018,2	741,6	608,7	525,4	687,0	428,7	286,4	208,0
	1999	341	965,8	673,6	508,4	405,3	739,1	447,4	298,2	153,5

Annexe bilan hydrique 5

Fosse = 175 cm RU = 230 mm	CHS 10									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1024,8	708,8	586,4	447,7	896,3	613,8	486,2	394,1
	1996	366	772,2	521,3	402,2	250,4	770,5	512,8	389,9	187,3
	1997	365	952,4	631,0	513,9	338,8	839,0	513,7	383,6	243,8
	1998	365	929,8	655,8	543,5	406,1	800,2	543,5	438,9	275,3
	1999	365	978,6	688,4	578,2	436,4	912,9	628,7	518,6	372,2
Sans données estimées	1995	66	192,4	181,6	169,5	60,6	153,6	143,1	114,9	46,3
	1996	366	772,2	521,3	402,2	250,4	770,5	512,8	389,9	187,3
	1997	365	952,4	631,0	513,9	338,8	839,0	513,7	383,6	243,8
	1998	341	901,0	646,6	540,4	404,7	772,8	535,6	436,2	274,0
	1999	338	893,8	648,0	559,4	432,4	832,2	592,3	504,7	368,6

Fosse = 200 cm RU = 251 mm	CHS 35									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	907,7	645,9	508,4	385,2	806,1	555,6	439,5	342,0
	1996	366	699,2	497,4	385,5	237,4	601,1	390,1	282,5	130,8
	1997	365	708,2	401,4	294,1	142,0	607,8	329,4	229,1	81,5
	1998	365	986,8	679,1	558,5	372,4	900,3	604,0	491,4	250,7
	1999	365	947,4	673,5	561,7	414,1	884,9	601,0	490,7	331,7
Sans données estimées	1995	352	846,0	587,7	450,2	327,0	747,4	500,3	384,2	286,7
	1996	366	699,2	497,4	385,5	237,4	601,1	390,1	282,5	130,8
	1997	357	690,8	398,0	292,5	141,8	592,9	326,7	227,8	81,2
	1998	365	986,8	679,1	558,5	372,4	900,3	604,0	491,4	250,7
	1999	347	905,8	637,7	526,0	401,3	851,0	573,9	463,8	321,1

Fosse = 150 cm RU = 207 mm	CHS 41									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	799,1	545,1	398,2	332,8	797,2	540,3	390,9	327,3
	1996	366	593,8	405,1	299,6	147,4	533,9	348,6	247,6	109,5
	1997	365	702,6	411,1	231,6	165,5	600,4	307,5	168,6	97,4
	1998	365	794,2	565,8	449,2	284,1	752,9	510,7	389,9	207,1
	1999	365	879,8	594,7	449,3	335,2	856,7	567,1	424,4	308,5
Sans données estimées	1995	302	554,0	325,4	178,5	113,1	564,9	331,6	182,2	118,6
	1996	366	593,8	405,1	299,6	147,4	533,9	348,6	247,6	109,5
	1997	365	702,6	411,1	231,6	165,5	600,4	307,5	168,6	97,4
	1998	364	794,2	565,8	449,2	284,1	752,9	510,7	389,9	207,1
	1999	365	879,8	594,7	449,3	335,2	856,7	567,1	424,4	308,5

Fosse = 200 cm RU = 115 mm	DOU 71									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1510,5	1186,9	1037,4	930,2	1489,4	1108,9	940,6	826,6
	1996	366	1237,6	925,1	779,7	688,4	1203,0	857,7	709,6	623,3
	1997	365	1384,2	1034,9	801,5	664,7	1364,1	946,2	689,3	558,5
	1998	365	1538,0	1165,4	997,8	898,8	1438,9	1035,8	887,4	794,9
	1999	365	1818,0	1422,0	1259,4	1162,3	1653,8	1239,4	1090,2	996,8
Sans données estimées	1995	292	983,6	724,2	584,9	481,1	983,1	660,8	501,4	390,9
	1996	362	1181,4	910,8	774,8	685,7	1157,0	846,7	705,8	621,2
	1997	359	1301,6	982,6	764,4	645,3	1281,0	895,1	652,5	539,4
	1998	364	1521,6	1153,3	994,2	896,8	1422,9	1024,1	883,3	792,6
	1999	365	1818,0	1422,0	1259,4	1162,3	1653,8	1239,4	1090,2	996,8

Fosse = 150 cm RU = 161 mm	EPC 08									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1699,6	1373,5	1199,0	1140,9	1563,2	1091,4	907,5	846,2
	1996	366	934,4	619,4	462,3	409,4	1050,0	636,2	463,6	402,6
	1997	365	1317,8	955,4	756,9	690,4	1168,0	677,4	463,3	393,7
	1998	365	1473,8	1152,8	1002,0	951,6	1507,2	1001,9	833,2	777,0
	1999	365	1519,4	1167,3	987,7	931,3	1439,4	948,4	775,5	714,6
Sans données estimées	1995	335	1504,2	1270,5	1122,4	1067,3	1406,8	1033,5	873,0	824,8
	1996	364	930,6	619,0	462,2	409,3	1046,4	635,8	463,4	402,5
	1997	362	1317,8	955,4	756,9	690,4	1168,0	677,4	463,3	393,7
	1998	357	1466,2	1148,0	997,3	947,0	1501,2	997,8	829,3	773,2
	1999	329	1283,6	999,9	850,8	799,5	1214,4	803,9	647,9	590,9

Fosse = 200 cm RU = 187 mm	EPC 63									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1243,6	724,3	595,0	434,1	1024,6	491,4	285,6	230,2
	1996	366	1075,5	704,6	556,0	378,4	953,6	486,1	291,5	153,1
	1997	365	959,6	521,7	313,2	200,5	760,8	296,8	144,7	75,3
	1998	365	1067,9	707,3	561,7	427,6	883,3	399,0	244,3	133,7
	1999	365	1118,0	685,5	510,5	360,4	940,3	465,0	298,6	156,3
Sans données estimées	1995	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	1996	328	896,2	596,8	466,4	297,1	812,3	419,2	239,3	125,1
	1997	364	931,0	515,5	311,6	199,6	729,7	289,6	141,7	73,6
	1998	355	1015,8	698,0	558,2	425,5	837,5	390,4	240,8	131,7
	1999	305	853,6	554,6	433,8	315,1	719,9	396,6	281,0	146,6

Fosse = 150 cm RU = 157 mm	EPC 74									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1901,3	1345,1	1177,0	1133,3	1632,6	1136,5	940,1	863,4
	1996	366	1215,6	775,8	594,6	549,2	1232,5	744,9	528,8	464,5
	1997	365	1332,4	862,5	646,2	591,9	1200,7	707,7	472,1	380,0
	1998	365	1176,8	760,7	555,0	488,1	1159,9	686,6	505,8	426,9
	1999	365	1606,4	1084,1	909,2	866,0	1572,0	1052,2	847,6	777,1
Sans données estimées	1995	109	296,2	228,0	204,1	197,8	309,7	233,4	203,4	188,0
	1996	366	1215,6	775,8	594,6	549,2	1232,5	744,9	528,8	464,5
	1997	365	1332,4	862,5	646,2	591,9	1200,7	707,7	472,1	380,0
	1998	365	1176,8	760,7	555,0	488,1	1159,9	686,6	505,8	426,9
	1999	332	1390,6	887,9	713,2	670,0	1376,2	878,8	680,2	611,0

Fosse = 200 cm RU = 215 mm	EPC 87									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1558,7	1117,4	918,6	740,8	1330,1	972,2	773,1	601,0
	1996	366	1297,1	949,9	726,8	546,0	1107,2	758,6	573,0	410,3
	1997	365	1373,8	1000,7	705,6	478,1	1198,7	812,0	532,9	315,6
	1998	365	1392,5	1027,6	813,4	640,5	1292,5	917,6	727,0	557,7
	1999	365	1285,8	928,6	740,7	580,8	1391,7	1004,3	796,0	644,9
Sans données estimées	1995	182	682,6	452,4	333,7	209,5	560,4	372,3	268,1	142,0
	1996	357	1244,6	935,3	722,7	544,2	1061,9	746,1	568,7	408,2
	1997	362	1331,0	967,8	692,4	471,8	1155,2	778,9	525,1	311,9
	1998	353	1340,6	1017,4	809,1	638,5	1249,2	908,8	723,3	555,9
	1999	360	1234,6	902,3	719,4	564,5	1331,3	974,1	773,5	625,4

Fosse = 200 cm RU = 139 mm	HET 30									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	2546,4	2275,7	2202,2	2137,2	2184,4	1986,0	1916,8	1852,8
	1996	366	2851,5	2621,3	2530,2	2457,0	3521,2	3304,0	3223,4	3152,8
	1997	365	2023,1	1772,0	1664,0	1586,3	1954,4	1704,8	1594,2	1512,4
	1998	365	1847,8	1601,1	1525,0	1454,7	1454,8	1258,7	1184,4	1114,0
	1999	365	2364,8	2145,6	2049,5	1974,4	1667,0	1470,5	1399,5	1334,8
Sans données estimées	1995	120	1286,2	1232,7	1215,3	1209,9	1133,8	1064,2	1042,8	1036,2
	1996	314	1984,1	1785,0	1694,5	1621,5	2707,8	2520,0	2439,8	2369,3
	1997	364	2023,1	1772,0	1664,0	1586,3	1954,4	1704,8	1594,2	1512,4
	1998	272	1401,6	1290,3	1233,1	1171,7	1083,4	975,2	919,0	857,6
	1999	364	2364,7	2145,6	2049,5	1974,4	1667,0	1470,5	1399,5	1334,8

Fosse = 150 cm RU = 202 mm	HET 54a									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1047,8	734,6	585,3	511,0	1191,3	862,9	699,8	624,4
	1996	366	813,3	536,7	410,3	318,5	900,2	609,6	469,3	376,6
	1997	365	904,4	612,4	433,0	353,3	987,9	683,7	511,9	421,9
	1998	365	918,6	656,8	542,1	444,3	1028,8	726,0	600,5	500,3
	1999	365	1056,9	774,0	646,1	549,4	1346,6	987,1	839,7	744,9
Sans données estimées	1995	66	148,6	145,2	116,5	95,8	146,9	141,9	135,1	125,9
	1996	356	803,2	534,8	409,4	318,2	890,3	607,4	468,4	376,3
	1997	365	904,4	612,4	433,0	353,3	987,9	683,7	511,9	421,9
	1998	365	918,6	656,8	542,1	444,3	1028,8	726,0	600,5	500,3
	1999	354	986,8	704,8	576,9	480,2	1262,0	904,7	757,3	662,5

Fosse = 110 cm RU = 100 mm	HET 64									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1131,3	776,8	632,4	593,1	1199,1	844,4	694,9	652,7
	1996	366	1526,6	1093,2	908,3	861,6	1510,0	1080,5	904,3	857,7
	1997	365	1254,8	818,5	623,0	573,2	1331,8	884,3	670,8	617,7
	1998	365	1300,0	869,6	718,4	677,2	1320,5	891,6	747,7	706,4
	1999	365	1479,3	1058,5	866,5	818,1	1496,5	1077,5	884,5	835,7
Sans données estimées	1995	200	502,8	290,9	190,0	159,3	525,8	309,6	204,7	173,1
	1996	354	1448,2	1047,4	896,9	853,9	1429,6	1025,3	889,4	847,2
	1997	365	1254,8	818,5	623,0	573,2	1331,8	884,3	670,8	617,7
	1998	365	1300,0	869,6	718,4	677,2	1320,5	891,6	747,7	706,4
	1999	359	1452,8	1033,8	841,8	793,4	1468,0	1050,4	857,4	808,6

Fosse = 175 cm RU = 167 mm	PL 20									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1588,2	1086,6	894,7	765,5	1576,6	1023,9	813,9	673,5
	1996	366	2043,5	1614,7	1455,1	1350,6	1979,6	1499,3	1328,8	1217,5
	1997	365	1387,4	1071,9	871,3	738,2	1350,2	979,6	776,6	641,6
	1998	365	1457,2	1126,1	973,2	867,3	1438,7	1032,6	869,8	756,3
	1999	365	1186,2	793,5	618,5	501,7	1514,6	1069,5	898,7	783,8
Sans données estimées	1995	272	1223,2	851,1	681,5	568,7	1211,6	788,4	600,7	482,8
	1996	362	2008,0	1584,2	1425,1	1320,7	1944,1	1469,1	1299,2	1188,1
	1997	363	1292,4	978,9	778,3	670,6	1255,2	886,6	683,6	581,4
	1998	335	1199,2	933,0	795,5	701,7	1180,7	856,9	712,7	618,4
	1999	338	1042,0	690,0	525,4	435,6	1363,9	963,6	802,7	695,4

Fosse = 200 cm RU = 178 mm	PM 40c									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	841,4	455,9	355,1	275,3	753,4	425,8	324,0	261,8
	1996	366	990,6	602,2	478,7	412,8	822,1	453,8	344,6	221,8
	1997	365	1111,2	702,6	570,0	512,6	982,6	547,6	395,1	329,3
	1998	365	929,6	519,9	402,6	347,2	873,2	447,6	331,5	245,9
	1999	365	1008,6	599,6	486,7	437,7	1025,4	566,0	435,1	379,4
Sans données estimées	1995	201	424,6	220,1	139,9	66,2	368,3	188,9	110,0	55,5
	1996	366	990,6	602,2	478,7	412,8	822,1	453,8	344,6	221,8
	1997	365	1111,2	702,6	570,0	512,6	982,6	547,6	395,1	329,3
	1998	364	921,2	515,1	400,9	346,5	864,1	442,5	329,6	245,0
	1999	360	1003,4	599,4	486,6	437,7	1022,4	566,0	435,1	379,4

Fosse = 150 cm RU = 145 mm	PM 72									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	899,6	633,6	541,0	451,7	761,2	471,0	381,2	299,6
	1996	366	629,6	412,7	331,5	259,2	566,1	350,9	273,0	198,4
	1997	365	689,2	386,0	279,6	202,4	659,5	336,7	233,2	156,1
	1998	365	823,2	573,7	491,8	410,8	773,9	469,7	384,8	299,8
	1999	365	1020,3	696,5	605,4	513,3	992,4	606,1	510,9	418,3
Sans données estimées	1995	356	885,6	628,4	539,9	451,3	750,1	469,0	380,7	299,5
	1996	366	629,6	412,7	331,5	259,2	566,1	350,9	273,0	198,4
	1997	365	689,2	386,0	279,6	202,4	659,5	336,7	233,2	156,1
	1998	365	823,2	573,7	491,8	410,8	773,9	469,7	384,8	299,8
	1999	331	846,8	529,6	438,9	347,0	822,9	450,0	355,8	264,2

Fosse = 200 cm RU = 175 mm	PM 85									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	737,0	499,1	424,4	330,7	800,0	515,9	436,9	349,4
	1996	366	756,8	507,2	413,6	268,5	777,7	497,3	396,6	236,2
	1997	365	679,0	404,0	323,0	203,0	788,8	456,9	363,2	238,3
	1998	365	724,5	437,0	349,8	248,7	835,7	502,3	409,4	282,6
	1999	365	962,1	582,9	468,2	321,8	1117,5	718,3	604,6	489,2
Sans données estimées	1995	327	594,6	373,7	300,9	208,7	632,6	370,8	293,9	208,1
	1996	363	732,2	495,9	409,7	267,0	740,1	478,8	389,9	233,6
	1997	365	679,0	404,0	323,0	203,0	788,8	456,9	363,2	238,3
	1998	353	709,0	429,8	345,7	246,8	814,6	490,6	401,3	279,0
	1999	354	891,0	516,7	402,2	256,1	1029,0	638,2	524,7	409,6

Fosse = 200 cm
RU = 313 mm

PS 44

	Année	N	PluieR	DR 20cm	DR 70cm	DR fin	PluieM	DM 20cm	DM 70cm	DM fin
Avec données estimées	1995	365	1038,1	687,9	557,0	434,7	917,8	600,6	486,5	406,2
	1996	366	725,4	431,1	304,1	142,8	691,8	374,9	247,4	85,4
	1997	365	774,8	437,1	313,3	103,7	717,9	367,1	261,7	109,0
	1998	365	936,8	590,7	470,3	214,5	872,1	500,7	375,9	118,9
	1999	365	1079,4	723,1	594,7	407,3	1032,7	629,0	491,2	231,3
Sans données estimées	1995	321	761,0	450,7	325,2	206,2	649,3	372,5	264,0	188,0
	1996	366	725,4	431,1	304,1	142,8	691,8	374,9	247,4	85,4
	1997	365	774,8	437,1	313,3	103,7	717,9	367,1	261,7	109,0
	1998	365	936,8	590,7	470,3	214,5	872,1	500,7	375,9	118,9
	1999	362	1078,8	723,1	594,7	407,3	1032,7	629,0	491,2	231,3

Fosse = 200 cm
RU = 175 mm

PS 67a

	Année	N	PluieR	DR 20cm	DR 70cm	DR fin	PluieM	DM 20cm	DM 70cm	DM fin
Avec données estimées	1995	365	898,3	497,1	371,0	279,8	881,4	487,6	347,7	234,8
	1996	366	737,2	417,9	297,4	194,7	670,6	351,9	251,6	142,0
	1997	365	789,0	445,7	319,3	216,5	699,9	351,3	251,7	167,4
	1998	365	738,0	413,2	305,4	185,9	745,9	374,3	249,9	117,2
	1999	365	887,9	530,7	418,9	313,5	880,3	461,1	328,7	212,6
Sans données estimées	1995	67	132,8	117,5	112,3	75,3	133,5	115,7	108,8	57,6
	1996	350	643,2	326,9	206,7	151,9	571,5	256,4	170,9	100,5
	1997	331	727,4	412,7	289,7	188,3	643,2	318,1	222,4	140,0
	1998	365	738,0	413,2	305,4	185,9	745,9	374,3	249,9	117,2
	1999	339	766,0	431,2	323,1	244,1	753,8	359,5	231,3	168,3

Fosse = 200 cm
RU = 176 mm

PS 76

	Année	N	PluieR	DR 20cm	DR 70cm	DR fin	PluieM	DM 20cm	DM 70cm	DM fin
Avec données estimées	1995	365	824,8	577,8	472,9	408,6	823,8	510,4	384,5	326,0
	1996	366	650,2	461,9	362,7	189,9	582,0	339,9	247,0	128,2
	1997	365	730,6	458,8	342,1	208,3	811,5	467,6	321,9	167,4
	1998	365	1023,2	724,6	626,2	513,7	904,8	560,7	443,0	271,9
	1999	365	1120,6	804,8	694,4	568,8	1117,4	756,3	629,5	484,7
Sans données estimées	1995	353	752,2	545,5	452,8	392,8	748,4	478,8	364,2	310,2
	1996	366	650,2	461,9	362,7	189,9	582,0	339,9	247,0	128,2
	1997	365	730,6	458,8	342,1	208,3	811,5	467,6	321,9	167,4
	1998	352	990,8	693,1	594,7	482,3	866,8	524,4	406,9	254,6
	1999	320	988,2	710,3	607,2	526,2	982,2	678,5	590,6	464,4

Fosse = 165 cm
RU = 181 mm

SP 05

	Année	N	PluieR	DR 20cm	DR 70cm	DR fin	PluieM	DM 20cm	DM 70cm	DM fin
Avec données estimées	1995	365	1180,1	694,8	435,0	319,9	980,6	575,2	329,4	234,8
	1996	366	1102,8	762,3	511,0	333,9	1064,0	665,0	412,3	232,8
	1997	365	1002,0	655,9	359,4	228,2	835,4	461,5	243,5	150,2
	1998	365	969,1	608,7	288,3	143,0	680,0	366,0	150,3	69,8
	1999	365	889,4	533,3	317,7	175,7	805,6	444,5	202,7	100,8
Sans données estimées	1995	104	267,6	216,6	121,0	59,1	250,1	186,3	88,5	44,7
	1996	358	1072,0	745,8	504,8	330,7	1033,1	651,9	407,3	230,1
	1997	362	1002,0	655,9	359,4	228,2	835,4	461,5	243,5	150,2
	1998	365	969,1	608,7	288,3	143,0	680,0	366,0	150,3	69,8
	1999	365	889,4	533,3	317,7	175,7	805,6	444,5	202,7	100,8

Fosse = 110 cm
RU = 131 mm

SP 11

	Année	N	PluieR	DR 20cm	DR 70cm	DR fin	PluieM	DM 20cm	DM 70cm	DM fin
Avec données estimées	1995	365	1305,6	751,4	542,3	462,0	1018,7	552,7	363,7	294,0
	1996	366	1597,8	1181,1	975,6	887,0	1374,1	947,1	738,6	646,4
	1997	365	865,2	481,2	246,4	162,5	682,5	278,4	135,6	89,2
	1998	365	1249,9	814,9	557,0	454,8	982,9	520,0	285,7	181,3
	1999	365	1261,6	846,7	611,7	516,8	1074,4	579,1	358,0	264,1
Sans données estimées	1995	108	335,2	247,4	134,8	85,5	257,2	150,1	64,4	24,4
	1996	361	1591,0	1176,6	971,8	883,5	1369,6	943,7	735,8	643,9
	1997	365	865,2	481,2	246,4	162,5	682,5	278,4	135,6	89,2
	1998	326	1116,4	762,5	525,5	428,5	879,0	475,0	273,3	176,4
	1999	360	1259,4	846,5	611,7	516,8	1069,3	578,4	357,7	264,0

Annexe bilan hydrique 5

Fosse = 100 cm RU = 97 mm	SP 25									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1790,4	1309,5	1133,2	1061,5	1898,5	1437,5	1224,0	1138,3
	1996	366	1430,2	1044,7	842,1	757,4	1282,7	874,3	659,0	584,5
	1997	365	1422,5	986,5	755,9	665,7	1449,5	983,1	757,9	667,8
	1998	365	1210,3	804,2	638,6	575,8	1340,0	943,8	778,7	716,7
	1999	365	1800,0	1326,9	1114,0	1027,2	1945,9	1514,0	1336,2	1265,1
Sans données estimées	1995	183	801,4	561,9	448,9	405,3	879,3	614,9	477,4	424,6
	1996	356	1421,1	1040,8	838,2	753,5	1278,1	870,2	655,3	581,0
	1997	315	1126,5	746,5	557,3	486,6	1143,8	721,2	540,5	471,3
	1998	365	1210,3	804,2	638,6	575,8	1340,0	943,8	778,7	716,7
	1999	344	1741,6	1275,7	1066,0	980,9	1882,5	1453,1	1276,9	1206,3

Fosse = 200 cm RU = 122 mm	SP 38									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1644,0	1194,8	1053,4	898,7	1334,0	923,2	766,5	629,5
	1996	366	1468,4	1124,0	976,5	777,8	1214,7	791,5	605,1	468,8
	1997	365	1118,1	784,6	596,1	403,2	859,9	498,4	319,4	206,0
	1998	365	1298,0	939,7	771,4	592,3	1091,0	695,9	546,6	413,7
	1999	365	1561,5	1179,2	1015,0	832,6	1386,5	941,0	775,8	611,8
Sans données estimées	1995	108	310,0	253,5	231,3	166,6	234,1	170,5	139,0	73,6
	1996	361	1461,4	1118,9	971,4	773,5	1212,5	791,5	605,1	468,8
	1997	365	1118,1	784,6	596,1	403,2	859,9	498,4	319,4	206,0
	1998	365	1298,0	939,7	771,4	592,3	1091,0	695,9	546,6	413,7
	1999	361	1547,7	1165,4	1001,2	818,8	1375,7	930,8	765,6	601,6

Fosse = 200 cm RU = 221 mm	SP 57									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1459,3	1010,0	859,8	775,8	1196,7	778,8	583,0	451,2
	1996	366	1002,6	657,0	474,9	338,4	879,8	518,2	385,1	245,2
	1997	365	1285,9	887,4	686,8	568,2	964,3	560,9	383,7	238,9
	1998	365	1274,9	892,3	729,7	593,5	1051,4	647,2	492,8	329,6
	1999	365	1631,4	1211,1	1015,3	906,4	1301,1	851,3	676,9	533,1
Sans données estimées	1995	60	176,2	167,5	165,7	164,7	130,2	117,6	89,6	51,1
	1996	360	1002,6	657,0	474,9	338,4	879,5	518,2	385,1	245,2
	1997	358	1254,0	856,8	656,2	537,6	937,3	535,7	358,6	227,4
	1998	353	1221,2	844,4	682,0	545,8	1002,3	604,1	450,3	287,3
	1999	365	1631,4	1211,1	1015,3	906,4	1301,1	851,3	676,9	533,1

Fosse = 200 cm RU = 79 mm	SP 68									
	Année	**N**	**PluieR**	**DR 20cm**	**DR 70cm**	**DR fin**	**PluieM**	**DM 20cm**	**DM 70cm**	**DM fin**
Avec données estimées	1995	365	1525,9	1129,6	1022,6	947,2	1733,0	1288,0	1169,6	1087,7
	1996	366	1124,1	725,7	599,4	509,7	1098,8	696,0	571,1	491,0
	1997	365	1336,6	866,3	732,7	643,9	1408,3	895,0	753,8	660,2
	1998	365	1161,3	817,1	722,5	655,4	1464,7	987,0	883,9	814,2
	1999	365	1448,6	1019,8	921,1	854,9	1743,6	1247,7	1142,3	1072,9
Sans données estimées	1995	50	213,8	207,1	206,0	199,3	236,2	232,2	231,1	227,8
	1996	364	1118,0	724,7	598,9	509,4	1091,8	694,7	570,5	490,7
	1997	365	1336,6	866,3	732,7	643,9	1408,3	895,0	753,8	660,2
	1998	331	1033,0	766,9	692,5	637,6	1317,9	907,0	815,4	753,0
	1999	326	1327,0	985,9	906,2	846,7	1604,4	1207,9	1125,8	1063,6

INFLUENCE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES SUR LES DRAINAGES (part 1/2)

Influence globale des paramètres météorologiques sur les volumes d'eau drainée.

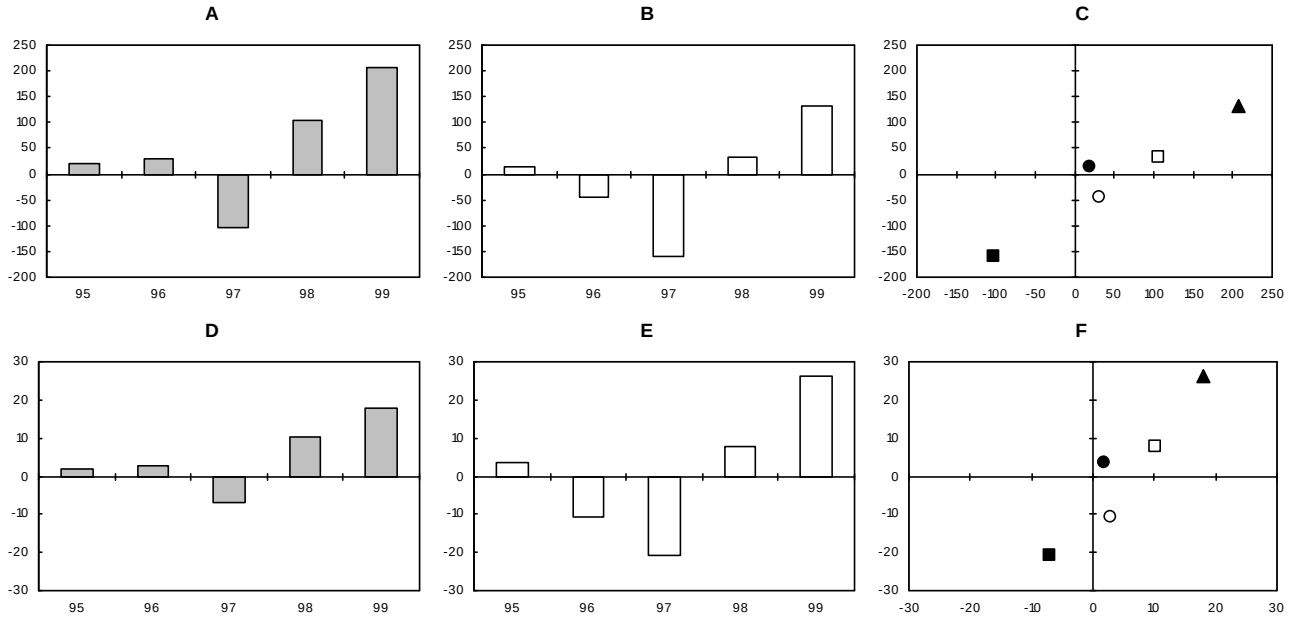
A Différence (mm) : (Pluie Météo-France – Pluie RENECOFOR)
B Différence (mm) : (Drainage Météo-France – Drainage RENECOFOR)
C Différence des drainages (ordonnées) x différence des pluies (abscisses)

●: 1995 o : 1996 ■ : 1997 □ : 1998 ▲ : 1999

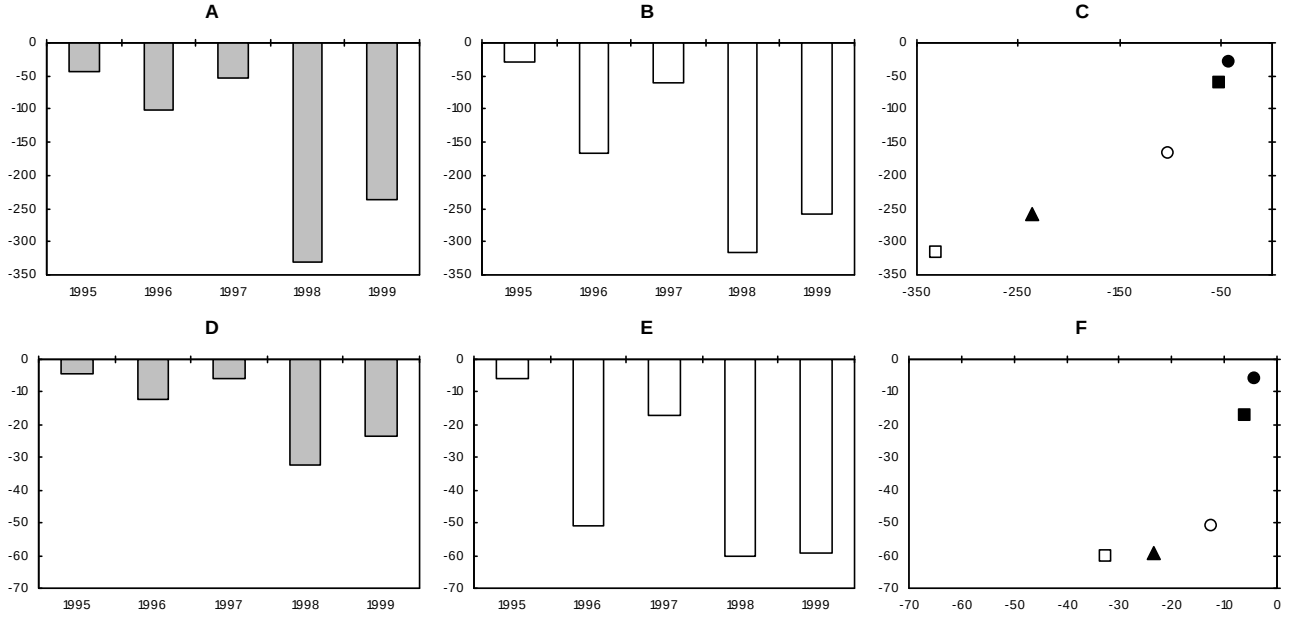
D Différence relative (%) : (Pluie Météo-France – Pluie RENECOFOR) x 100 / Pluie RENECOFOR
E Différence relative (%) : (Drainage Météo-France – Drainage RENECOFOR) x 100 / Drainage RENECOFOR
F Différence relative des drainages (ordonnées) x différence relative des pluies (abscisses)

●: 1995 o : 1996 ■ : 1997 □ : 1998 ▲ : 1999

CHP 40

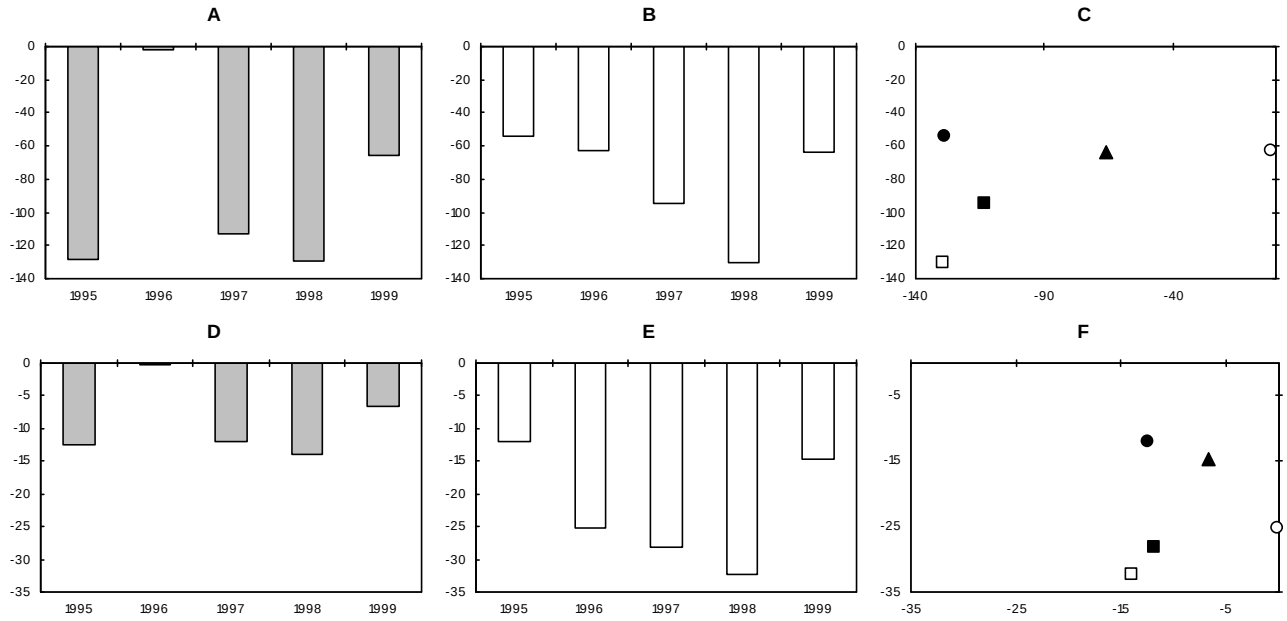


CHP 59

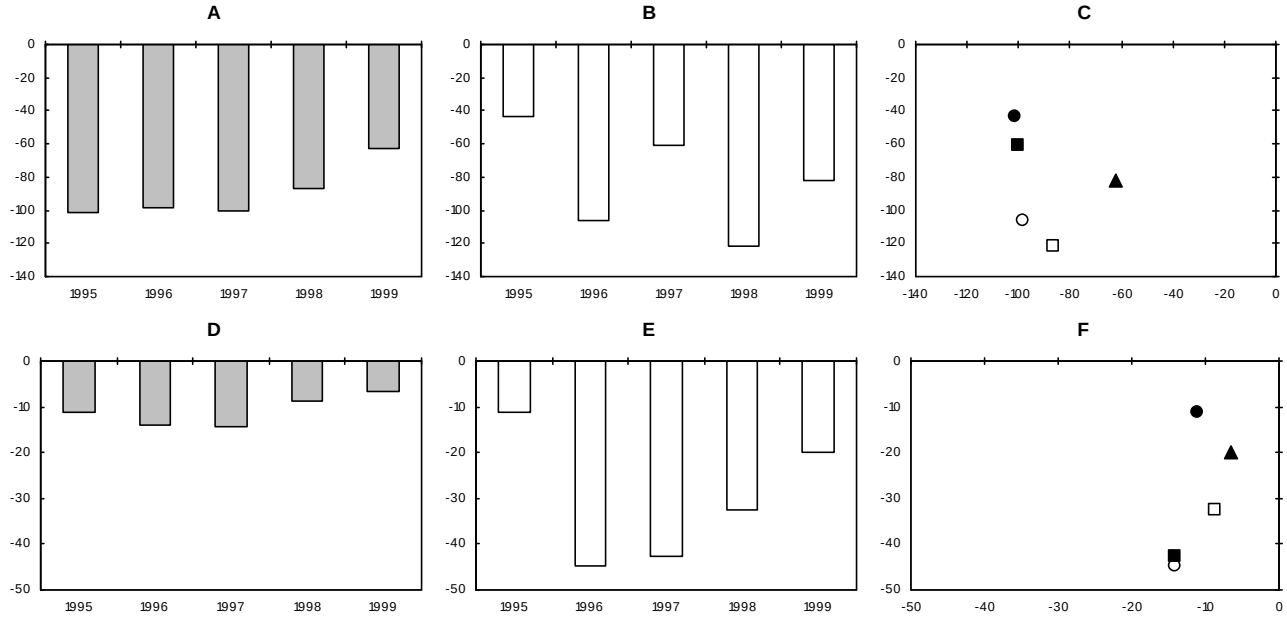


Annexe bilan hydrique 6

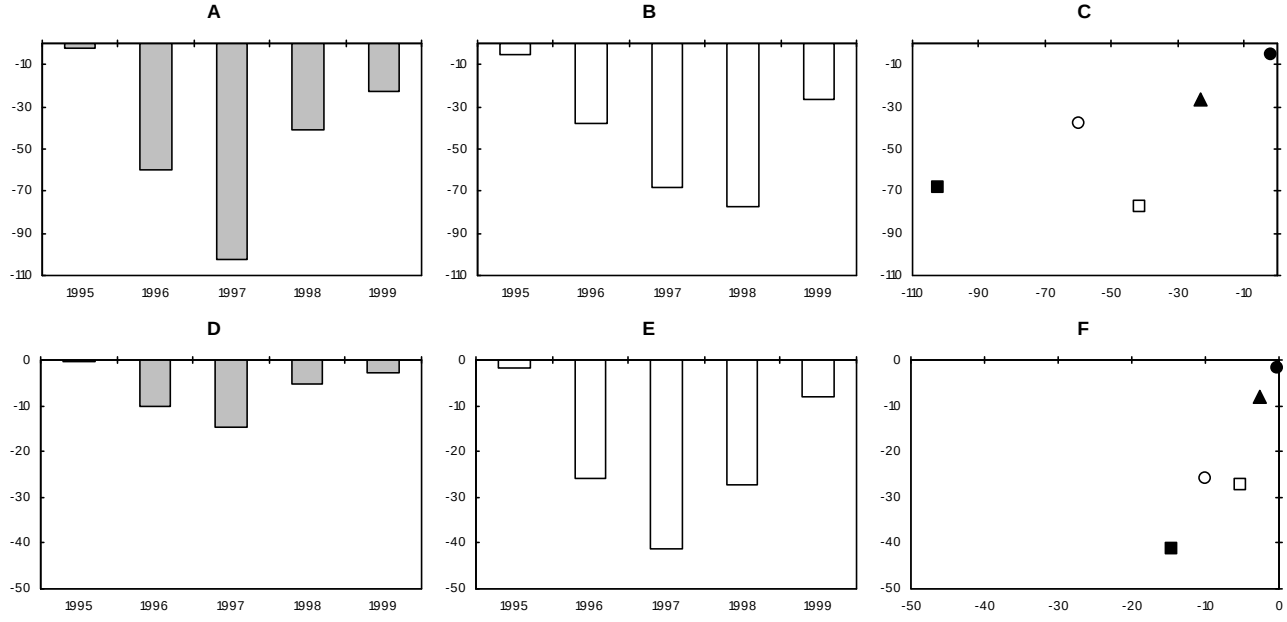
CHS 10



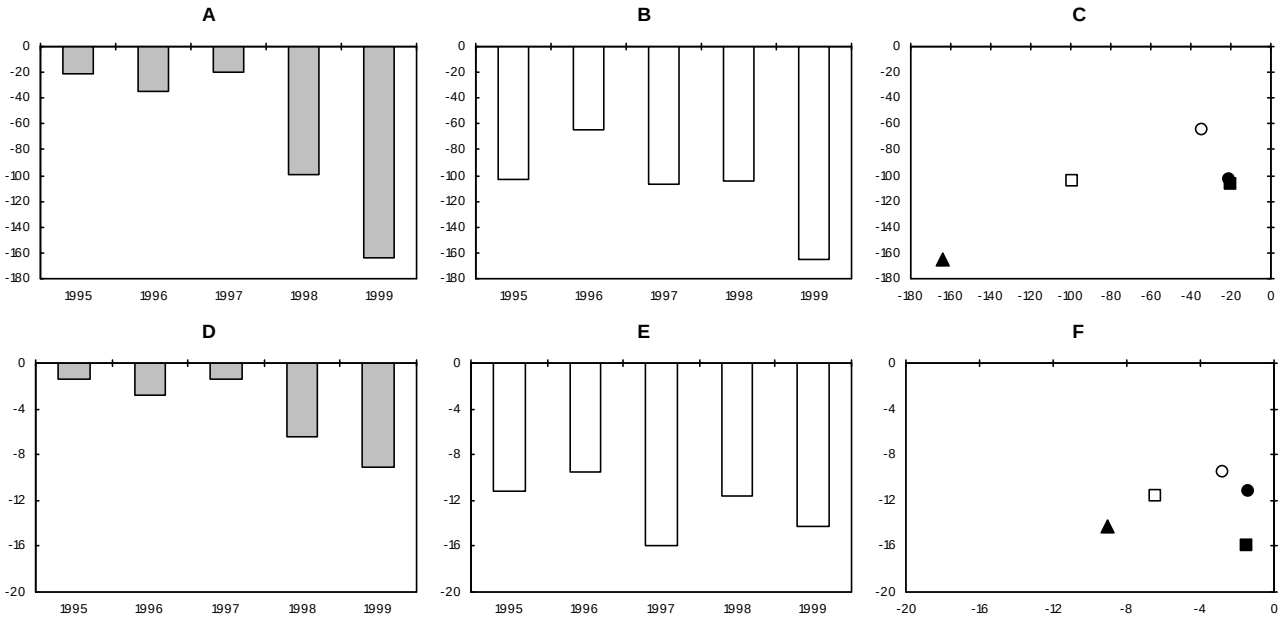
CHS 35



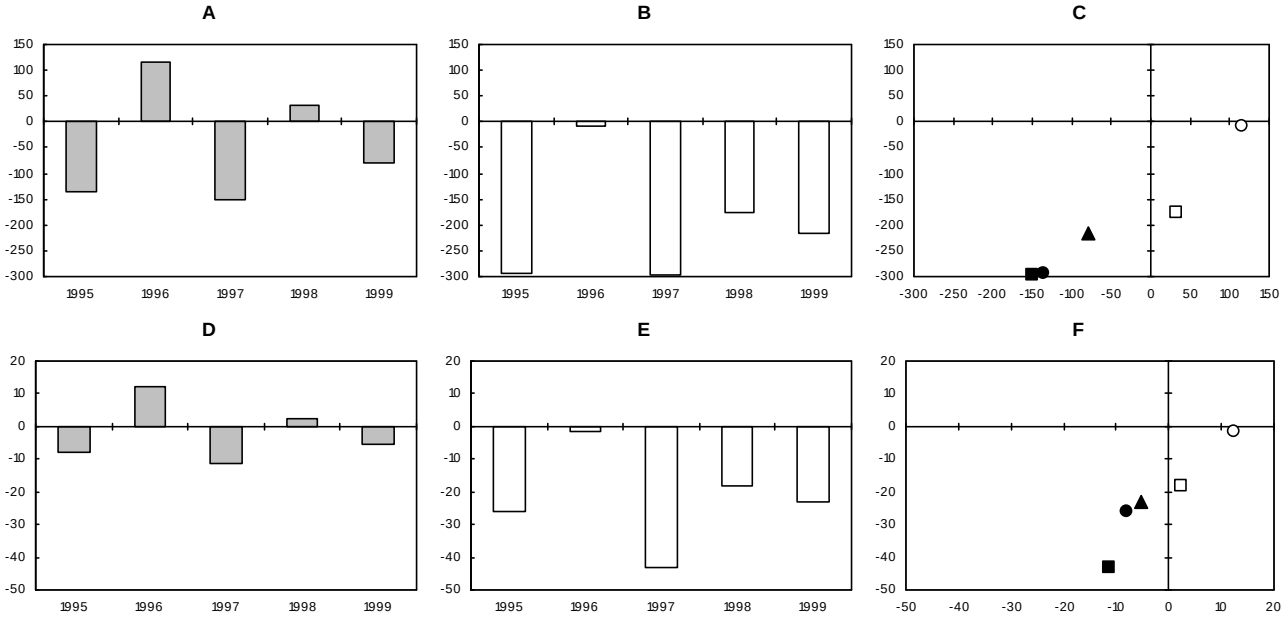
CHS 41



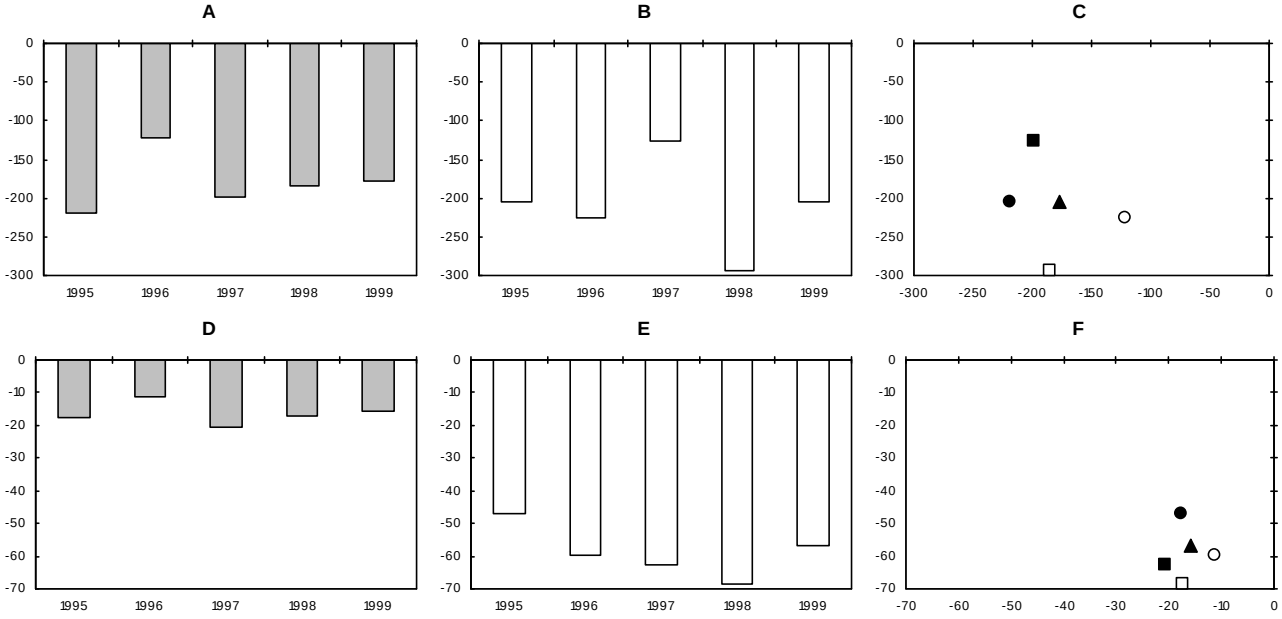
DOU 71



EPC 08

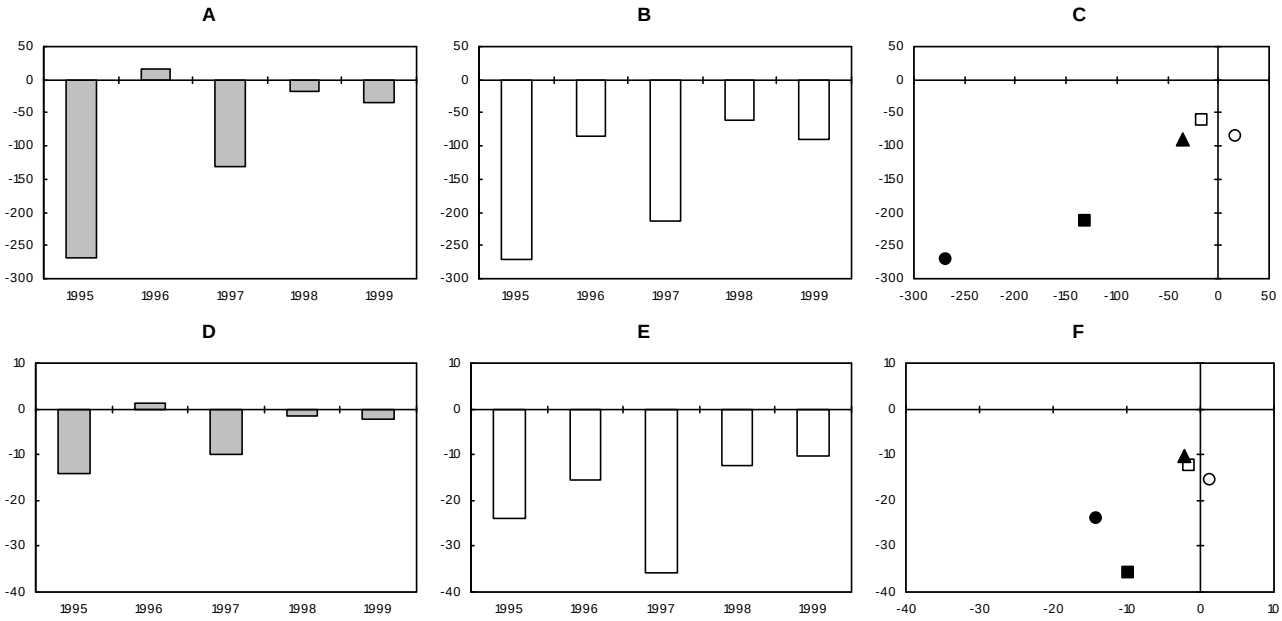


EPC 63

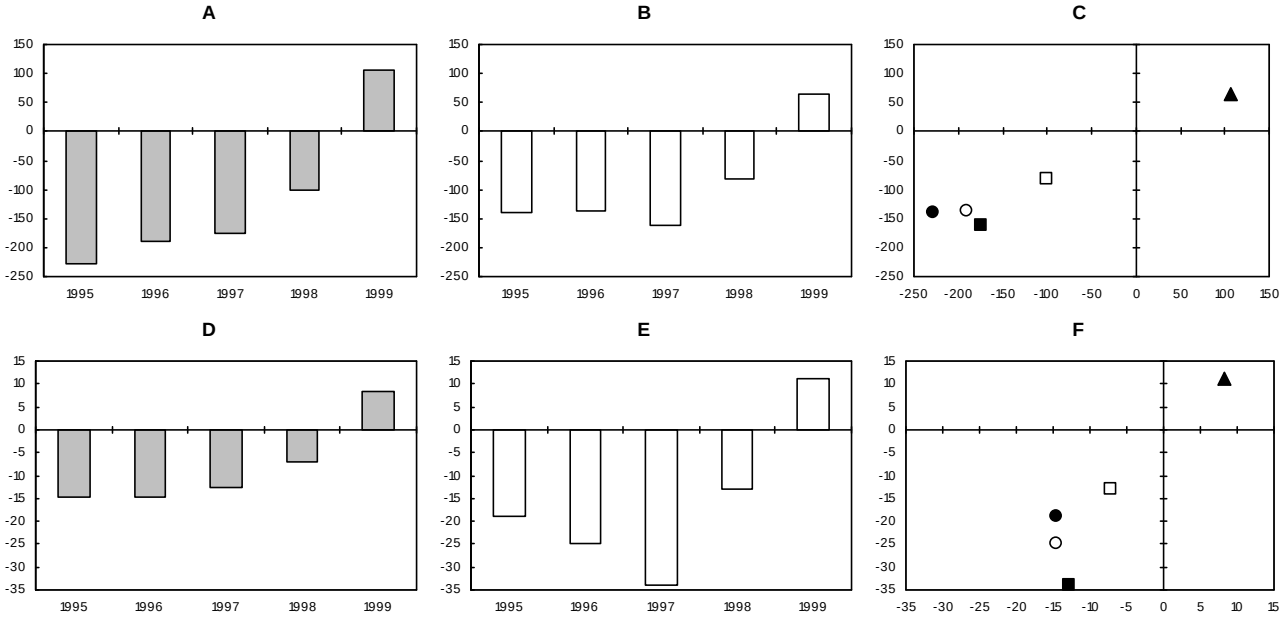


Annexe bilan hydrique 6

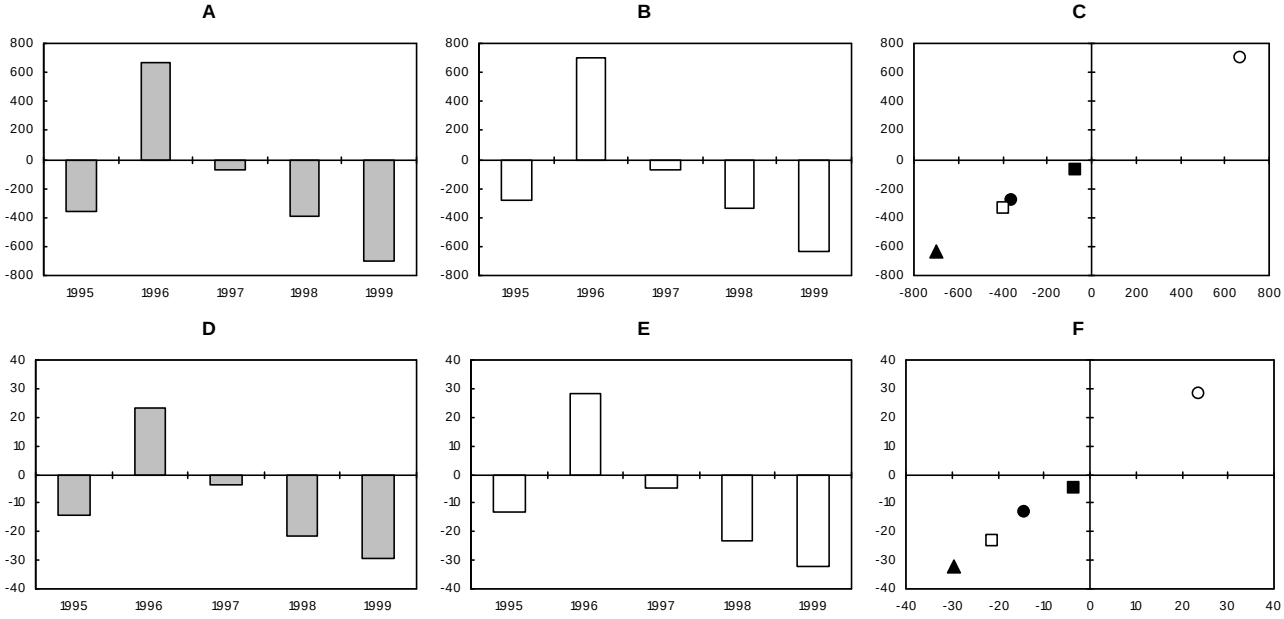
EPC 74



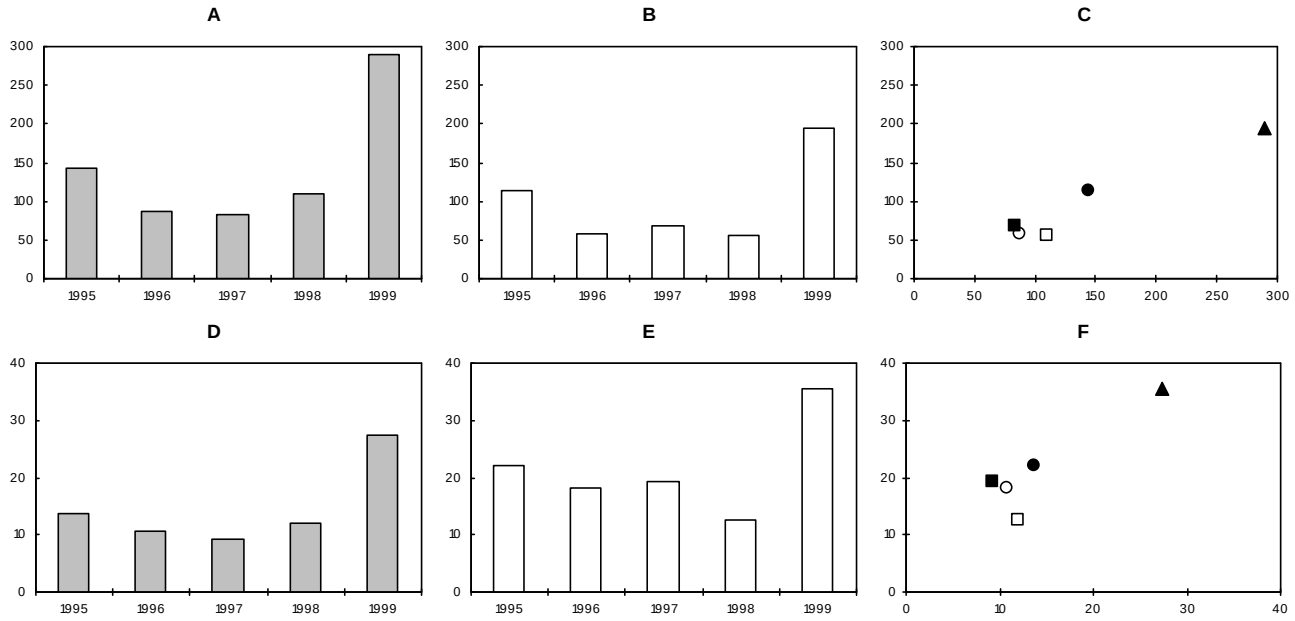
EPC 87



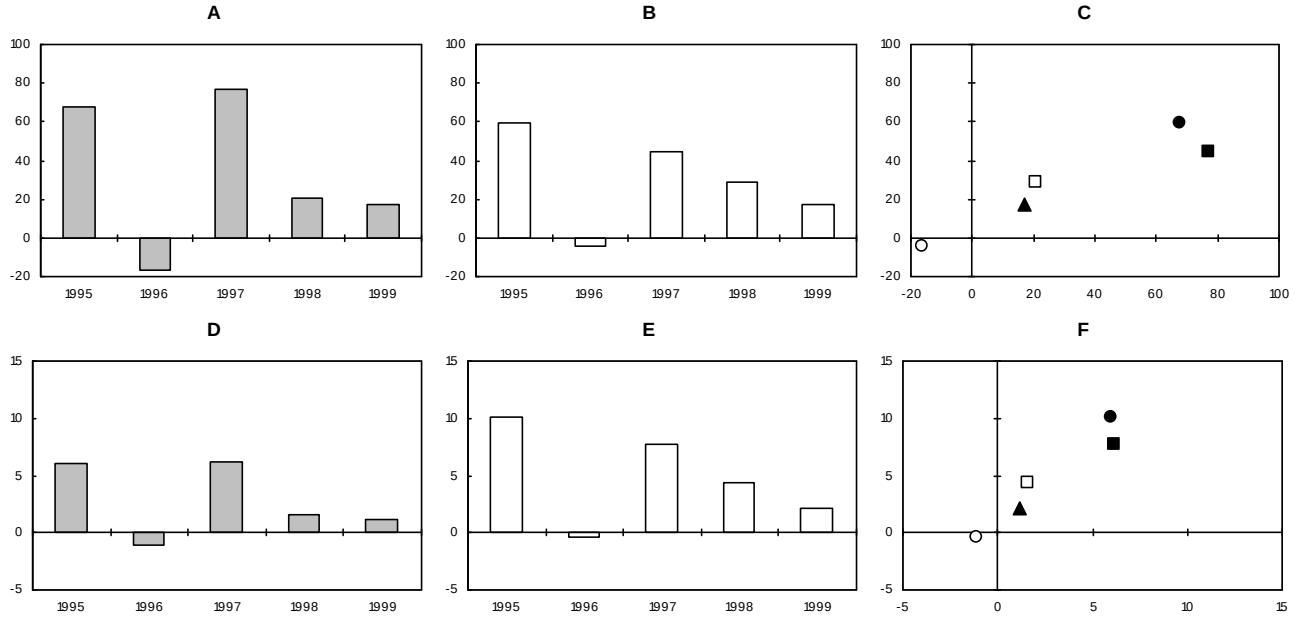
HET 30



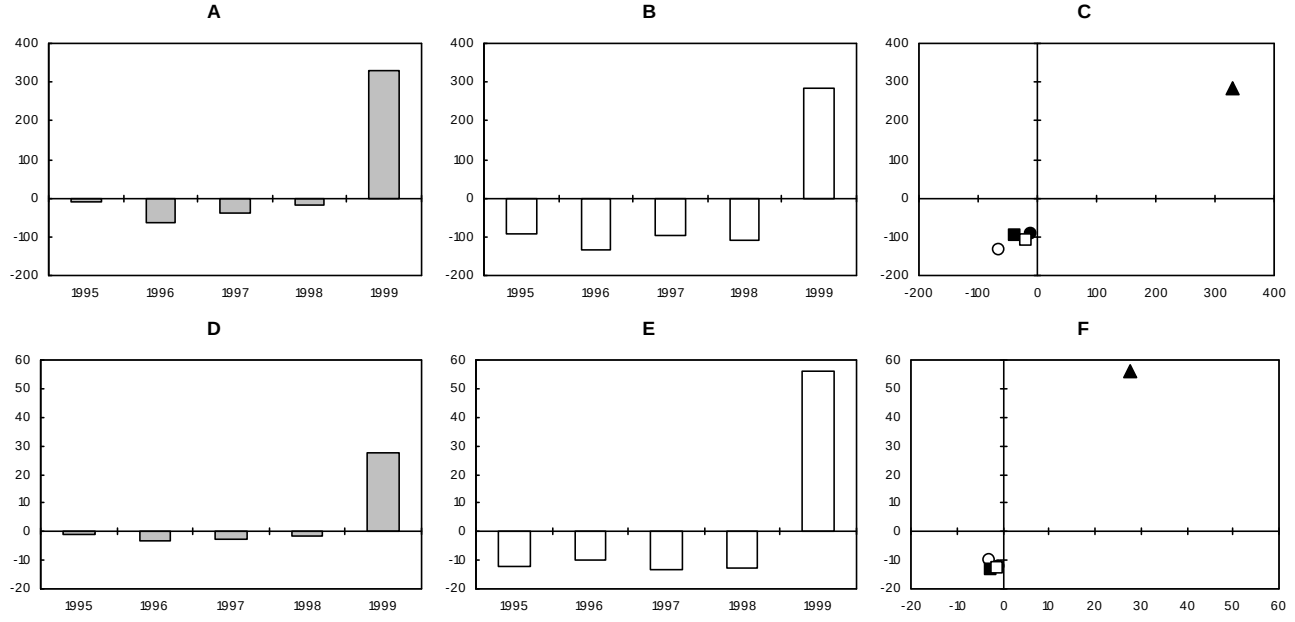
HET 54a



HET 64

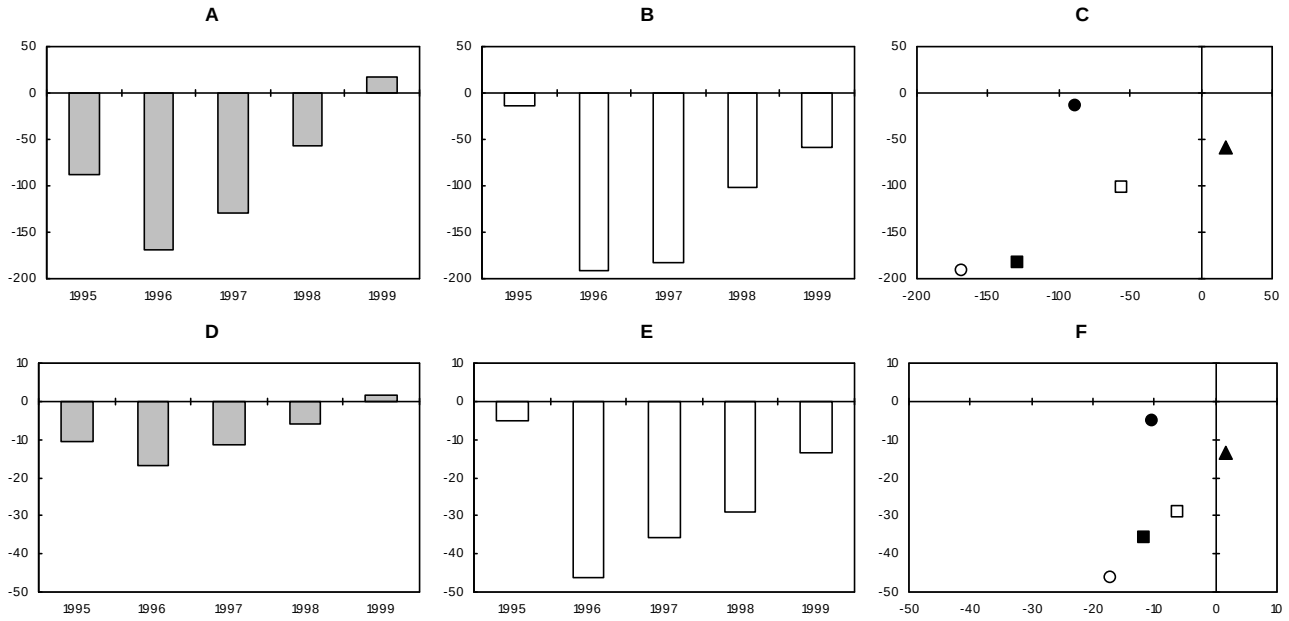


Pl 20

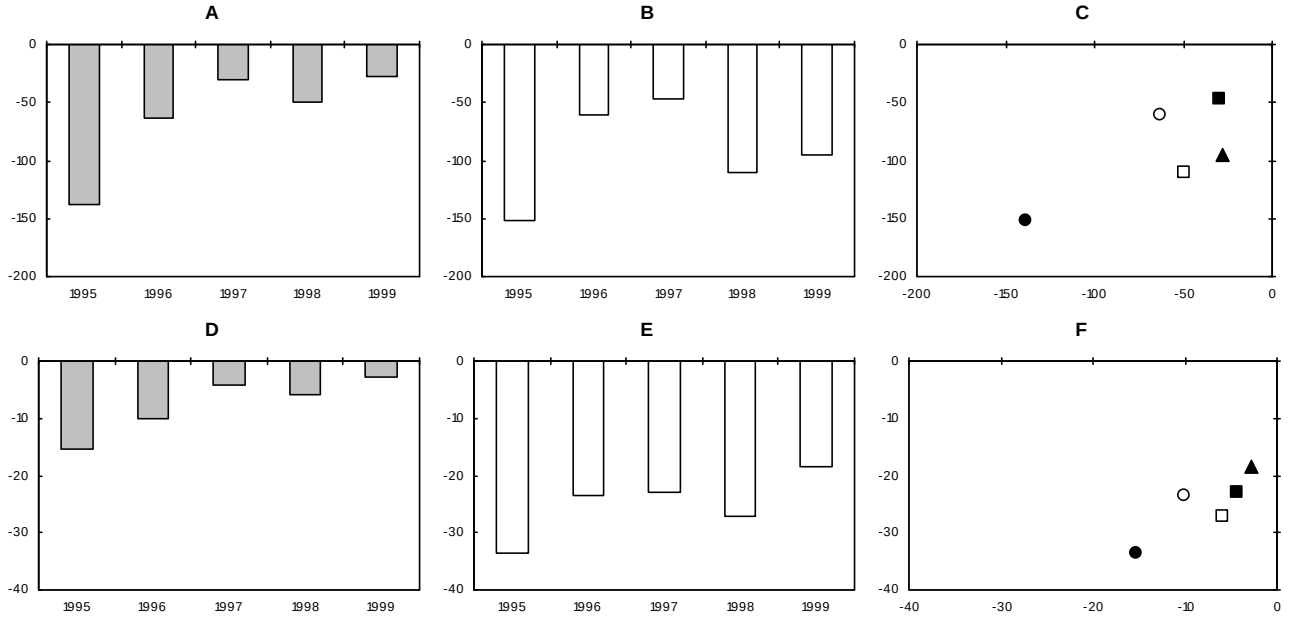


Annexe bilan hydrique 6

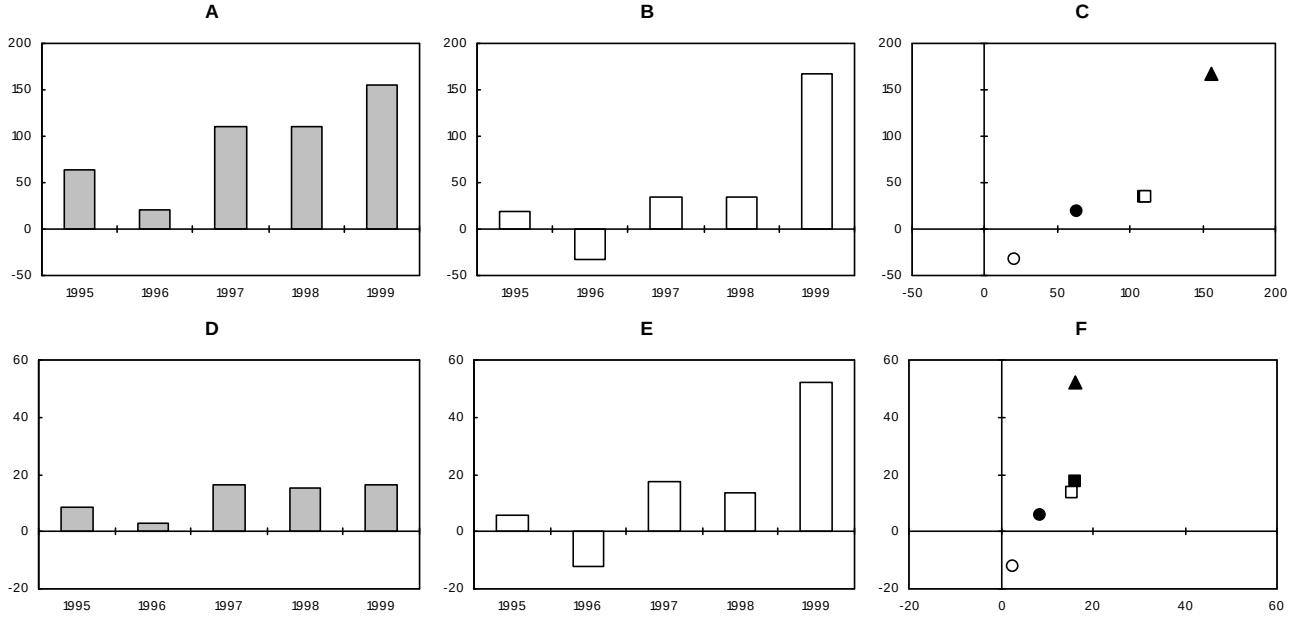
PM 40c



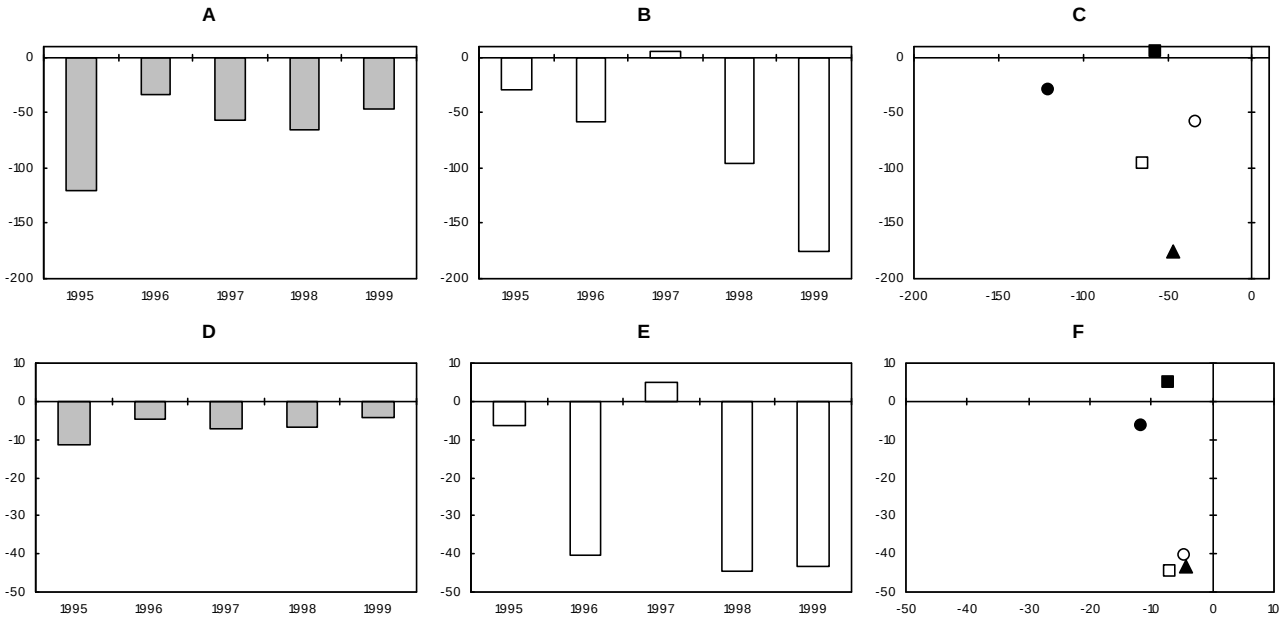
PM 72



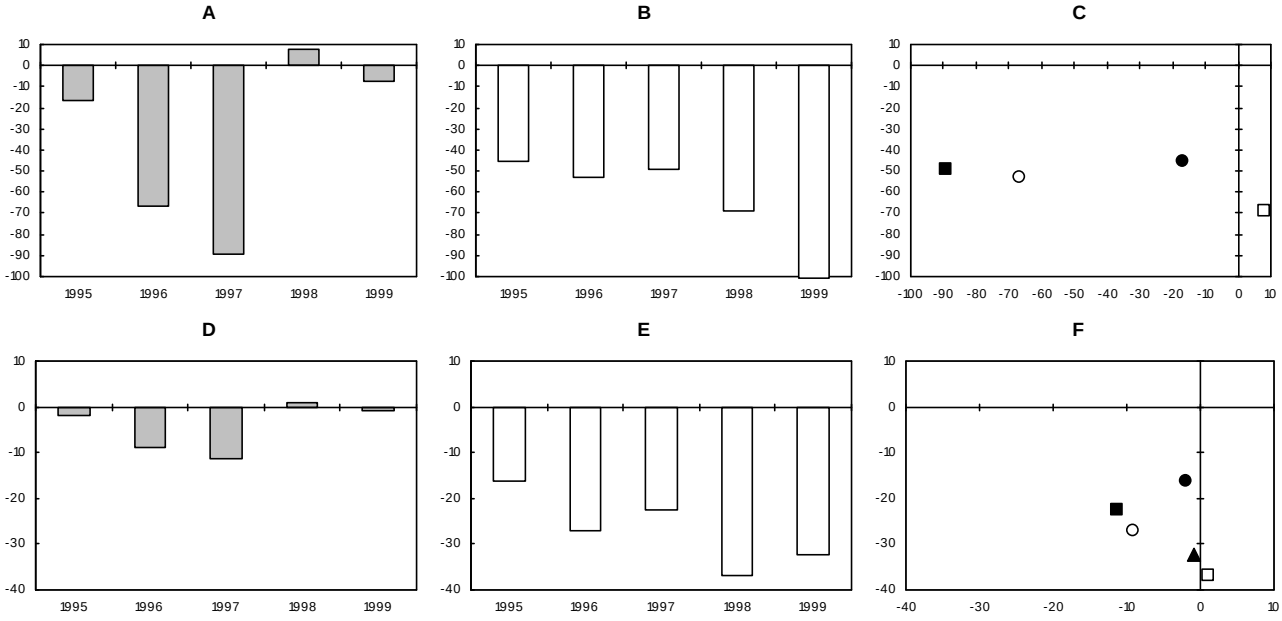
PM 85



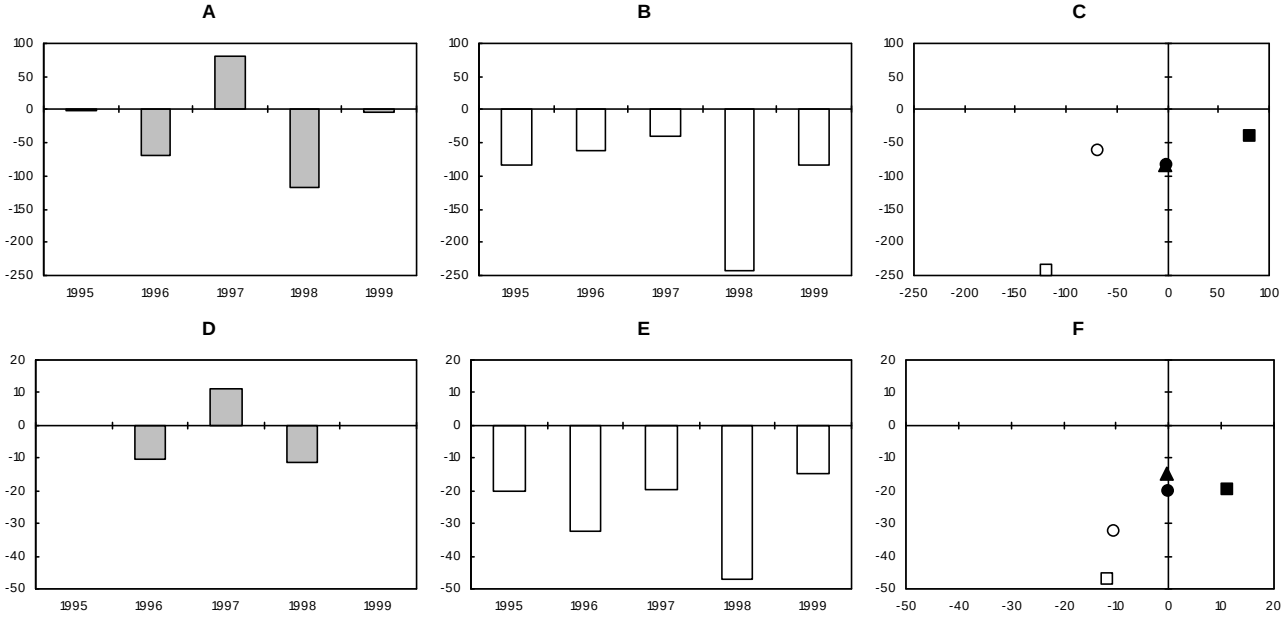
PS 44



PS 67a

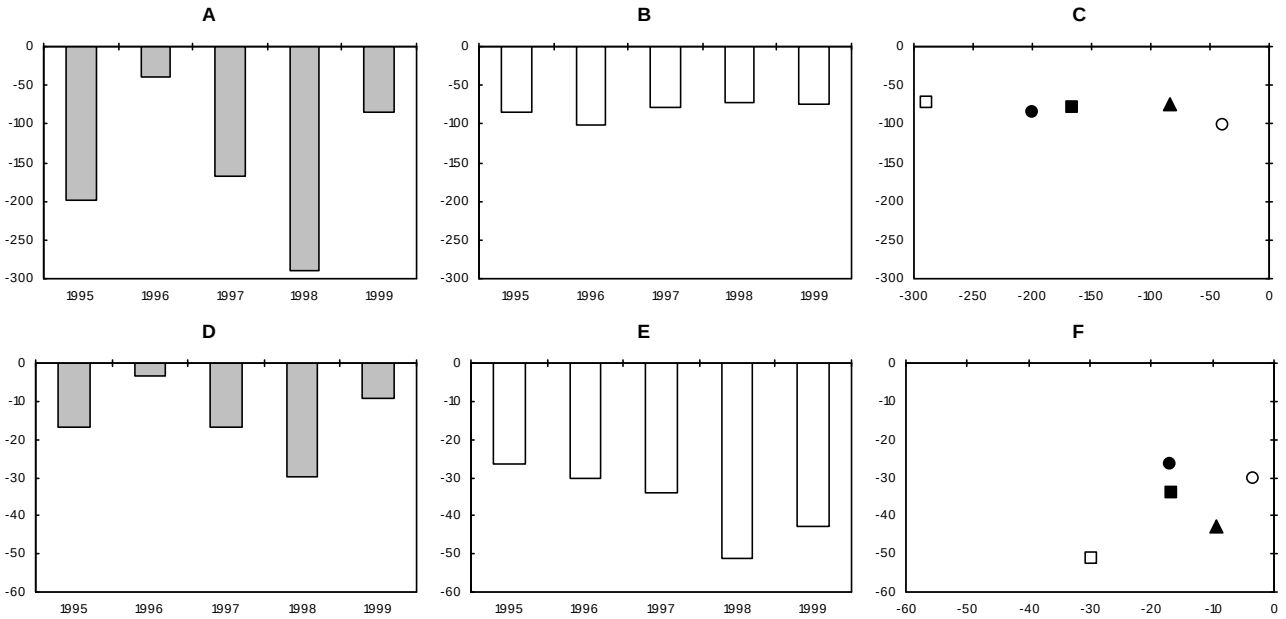


PS 76

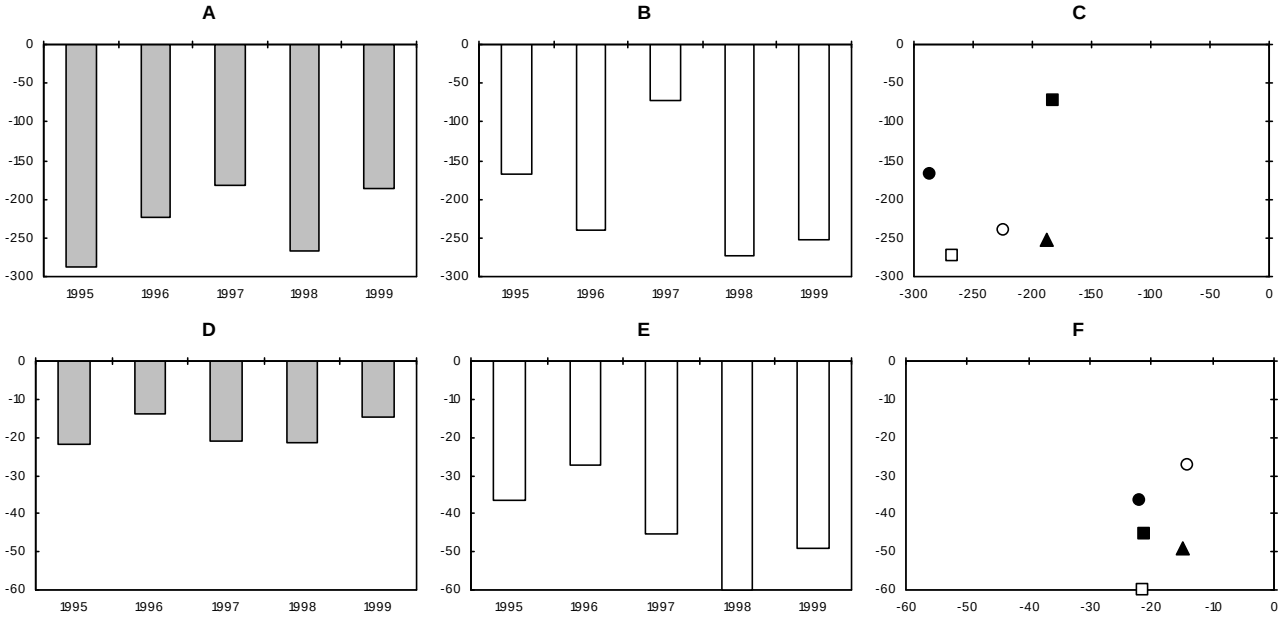


Annexe bilan hydrique 6

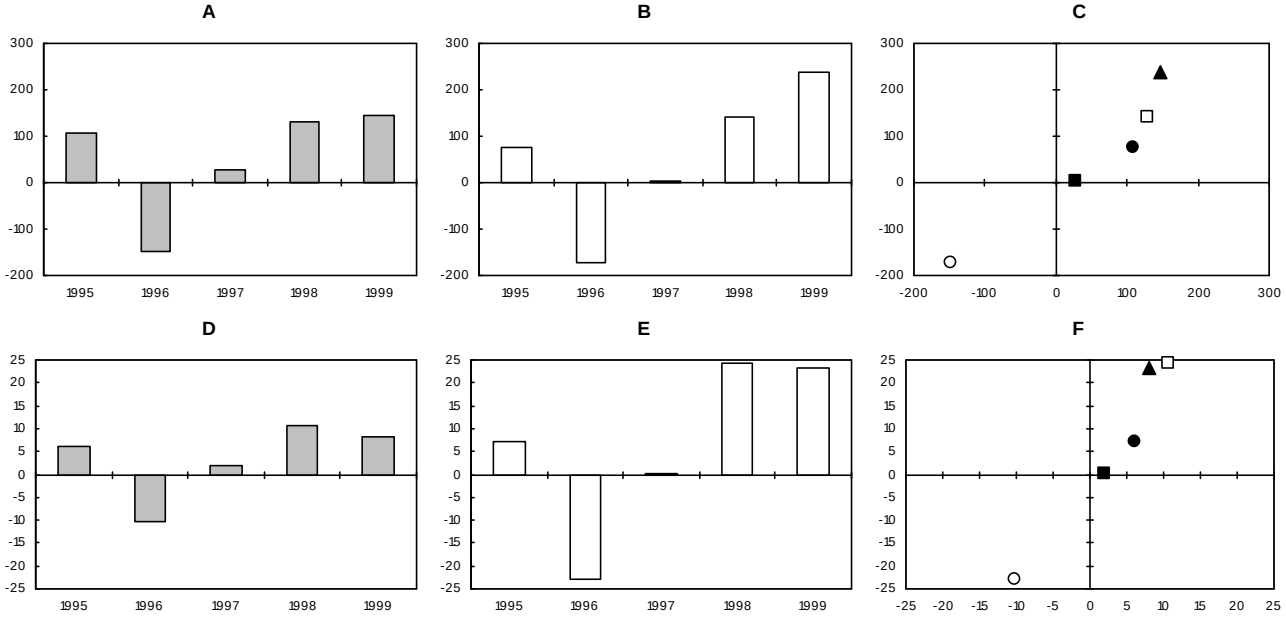
SP 05



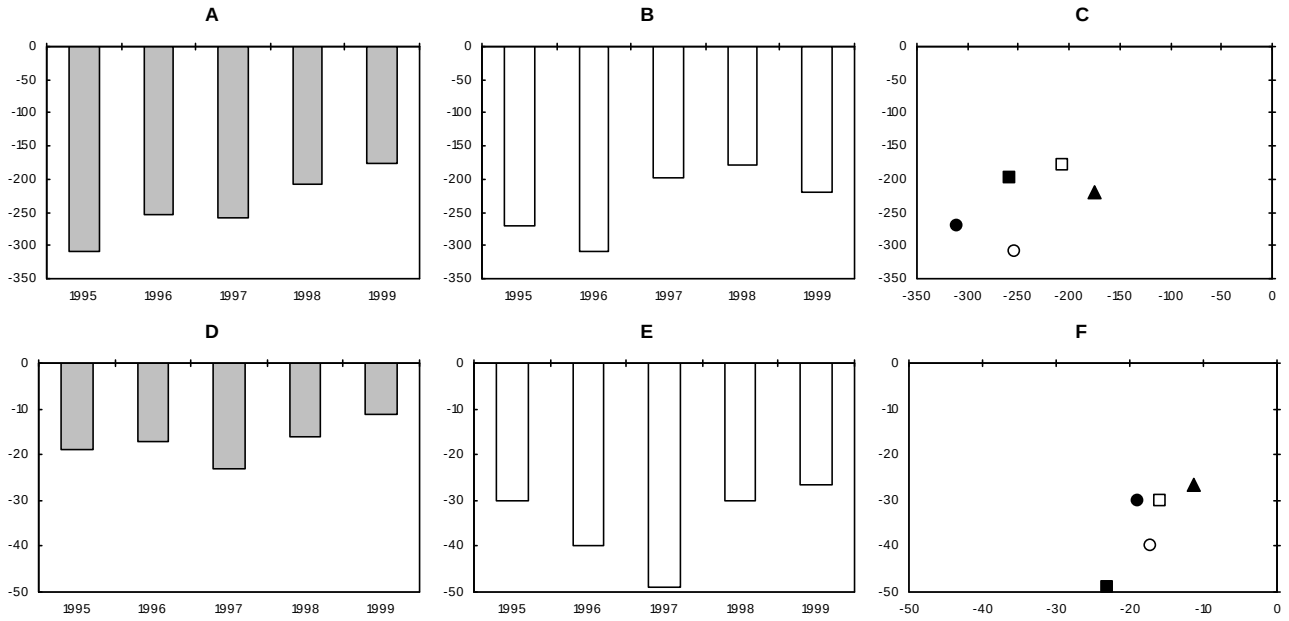
SP 11



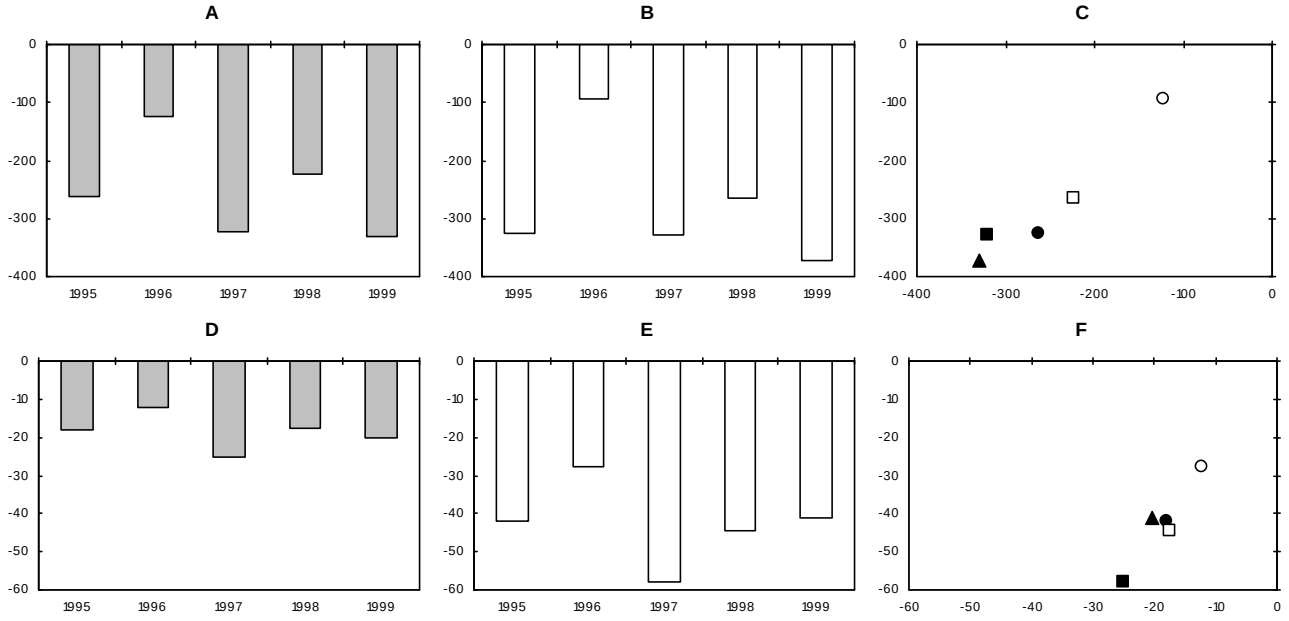
SP 25



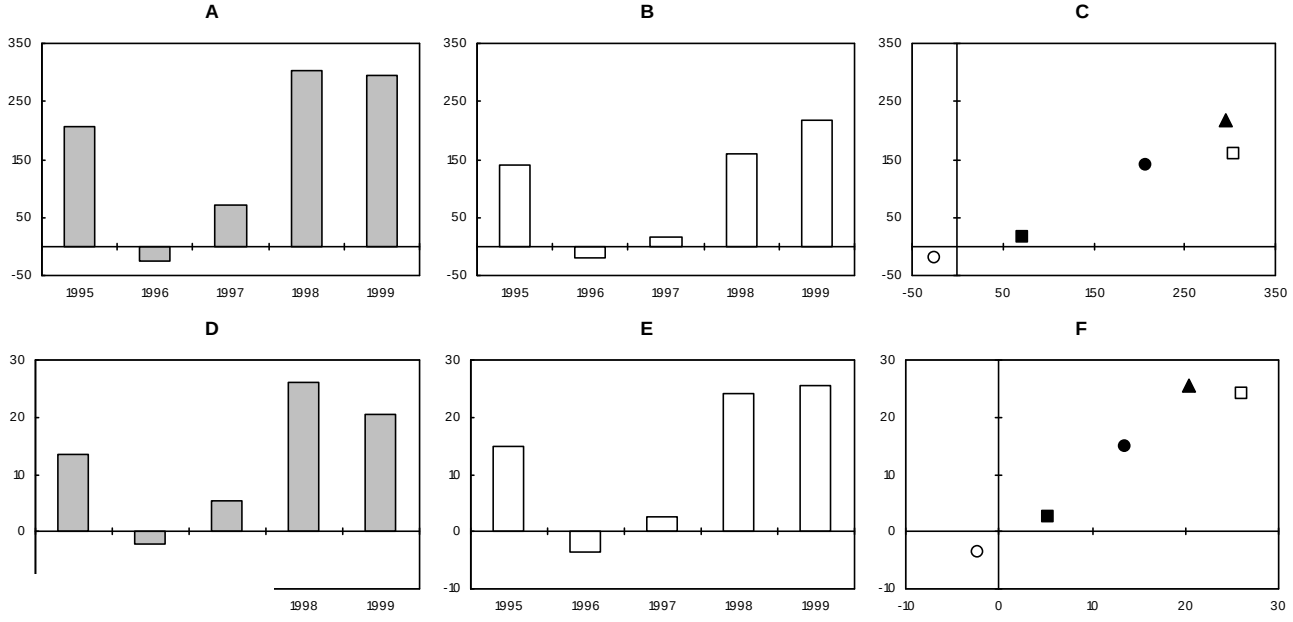
SP 38



SP 57



SP 68



INFLUENCE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES SUR LES DRAINAGES (part. 2/2)

Volumes annuels d'eau drainée sur les 7 placettes du sous-réseau météorologique forestier où sont mesurés le rayonnement global et la vitesse du vent

Année année de mesure
N nombre de jour avec données

PR cumul annuel des précipitations enregistrées sur le réseau RENECOFOR - (données en mm)
DR cumul annuel des drainages calculés à partir des seules données RENECOFOR (pluie, température, humidité relative, rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)
DR% rapport du volume d'eau drainé par rapport au volume d'eau incident - (données en %)

PRM cumul annuel des précipitations enregistrées sur le réseau RENECOFOR - (données en mm)
DRM cumul annuel des drainages calculés à partir des données météorologique mesurée sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)
DRM% rapport du volume d'eau drainée par rapport au volume d'eau incident - (données en %)

PM cumul annuel des précipitations enregistrées par Méto-France- (données en mm)
DM cumul annuel des drainages calculés à partir des seules données Météo-France (pluie, température, humidité relative, rayonnement, vitesse du vent) – (données en mm)
DM% rapport du volume d'eau drainé par rapport au volume d'eau incident - (données en %)

Sous tableau «*Avec données estimées*» Résultats incluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

Sous tableau «*Sans données estimées*» Résultats excluant les estimations de données manquantes sur le réseau RENECOFOR à partir des observations Météo-France

	EPC 08										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	1700	1141	67,1	1700	1059	62,3	1563	846	54,1
	1996	366	934	409	43,8	934	366	39,1	1050	403	38,3
	1997	365	1318	690	52,4	1318	587	44,6	1168	394	33,7
	1998	365	1474	952	64,6	1474	836	56,7	1507	777	51,6
	1999	365	1519	931	61,3	1519	856	56,3	1439	715	49,6
Sans données estimées	1995	335	1504	1067	71,0	1504	1003	66,7	1407	825	58,6
	1996	364	931	409	44,0	931	365	39,3	1046	403	38,5
	1997	362	1318	690	52,4	1318	587	44,6	1168	394	33,7
	1998	357	1466	947	64,6	1466	832	56,7	1501	773	51,5
	1999	329	1284	800	62,3	1284	725	56,5	1214	591	48,7

	PM 72										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	900	452	50,2	900	426	47,4	761	300	39,4
	1996	366	630	259	41,2	630	252	40,1	566	198	35,0
	1997	365	689	202	29,4	689	194	28,1	660	156	23,7
	1998	365	823	411	49,9	823	381	46,3	774	300	38,7
	1999	365	1020	513	50,3	1020	487	47,7	992	418	42,2
Sans données estimées	1995	356	886	451	51,0	886	426	48,1	750	300	39,9
	1996	366	630	259	41,2	630	252	40,1	566	198	35,0
	1997	365	689	202	29,4	689	194	28,1	660	156	23,7
	1998	365	823	411	49,9	823	381	46,3	774	300	38,7
	1999	331	847	347	41,0	847	323	38,1	823	264	32,1

	PM 85										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	737	331	44,9	737	320	43,5	800	349	43,7
	1996	366	757	269	35,5	757	250	33,0	778	236	30,4
	1997	365	679	203	29,9	679	183	26,9	789	238	30,2
	1998	365	725	249	34,3	725	245	33,7	836	283	33,8
	1999	365	962	322	33,4	962	337	35,0	1118	489	43,8
Sans données estimées	1995	327	595	209	35,1	595	200	33,6	633	208	32,9
	1996	363	732	267	36,5	732	249	33,9	740	234	31,6
	1997	365	679	203	29,9	679	183	26,9	789	238	30,2
	1998	353	709	247	34,8	709	243	34,2	815	279	34,2
	1999	354	891	256	28,7	891	273	30,6	1029	410	39,8

	PS 76										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	825	409	49,5	825	355	43,0	824	326	39,6
	1996	366	650	190	29,2	650	161	24,8	582	128	22,0
	1997	365	731	208	28,5	731	171	23,4	812	167	20,6
	1998	365	1023	514	50,2	1023	376	36,8	905	272	30,1
	1999	365	1121	569	50,8	1121	477	42,6	1117	485	43,4
Sans données estimées	1995	353	752	393	52,2	752	339	45,1	748	310	41,4
	1996	366	650	190	29,2	650	161	24,8	582	128	22,0
	1997	365	731	208	28,5	731	171	23,4	812	167	20,6
	1998	352	991	482	48,7	991	346	34,9	867	255	29,4
	1999	320	988	526	53,2	988	440	44,5	982	464	47,3

	SP 11										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	1306	462	35,4	1306	413	31,6	1019	294	28,9
	1996	366	1598	887	55,5	1598	826	51,7	1374	646	47,0
	1997	365	865	163	18,8	865	152	17,6	683	89	13,1
	1998	365	1250	455	36,4	1250	422	33,7	983	181	18,4
	1999	365	1262	517	41,0	1262	493	39,0	1074	264	24,6
Sans données estimées	1995	108	335	86	25,5	335	75	22,5	257	24	9,5
	1996	361	1591	884	55,5	1591	822	51,7	1370	644	47,0
	1997	365	865	163	18,8	865	152	17,6	683	89	13,1
	1998	326	1116	429	38,4	1116	396	35,5	879	176	20,1
	1999	360	1259	517	41,0	1259	493	39,1	1069	264	24,7

	SP 25										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	1790	1062	59,3	1790	1061	59,2	1899	1138	60,0
	1996	366	1430	757	53,0	1430	743	52,0	1283	585	45,6
	1997	365	1423	666	46,8	1423	692	48,6	1450	668	46,1
	1998	365	1210	576	47,6	1210	598	49,4	1340	717	53,5
	1999	365	1800	1027	57,1	1800	1044	58,0	1946	1265	65,0
Sans données estimées	1995	183	801	405	50,6	801	403	50,3	879	425	48,3
	1996	356	1421	754	53,0	1421	739	52,0	1278	581	45,5
	1997	315	1127	487	43,2	1127	505	44,8	1144	471	41,2
	1998	365	1210	576	47,6	1210	598	49,4	1340	717	53,5
	1999	344	1742	981	56,3	1742	996	57,2	1883	1206	64,1

	SP 38										
	Année	**N**	**PR**	**DR**	**DR%**	**PRM**	**DRM**	**DRM%**	**PM**	**DM**	**DM%**
Avec données estimées	1995	365	1644	899	54,7	1644	878	53,4	1334	630	47,2
	1996	366	1468	778	53,0	1468	774	52,7	1215	469	38,6
	1997	365	1118	403	36,1	1118	399	35,7	860	206	24,0
	1998	365	1298	592	45,6	1298	586	45,2	1091	414	37,9
	1999	365	1562	833	53,3	1562	827	53,0	1387	612	44,1
Sans données estimées	1995	108	310	167	53,7	310	167	54,0	234	74	31,4
	1996	361	1461	774	52,9	1461	771	52,7	1213	469	38,7
	1997	365	1118	403	36,1	1118	399	35,7	860	206	24,0
	1998	365	1298	592	45,6	1298	586	45,2	1091	414	37,9
	1999	361	1548	819	52,9	1548	814	52,6	1376	602	43,7

INFLUENCE DES PARAMETRES PEDOLOGIQUES SUR LES DRAINAGES

Influence de la réserve utile des sols sur les volumes annuels d'eau drainée pour les 26 placettes du sous-météorologique forestier.

Les drainages sont calculés :

- à partir des données météorologiques mesurée sur les placettes RENECOFOR (pluie, température, humidité relative) et les données Météo-France (rayonnement, vitesse du vent) ou à partir des seules données RENECOFOR pour les placettes EPC 08, PM 72, PM 85, PS 76, SP 11, SP 25 et SP 38 ;

- en utilisant les réserves utiles minimales, maximale et médiane ainsi que les centiles 10, 25, 75 et 90%.

	CHP 40								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1039,5	426,9	412,3	391,0	377,6	354,1	328,7	335,0
	1996	1103,4	501,9	458,4	419,0	414,1	420,6	444,7	454,3
	1997	1449,6	775,5	773,4	771,4	769,6	768,5	771,9	771,7
	1998	1043,0	520,1	490,0	455,3	442,2	422,4	410,1	413,5
	1999	1148,2	556,9	530,9	515,3	509,3	507,3	507,8	513,3
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		13,1	9,2	3,5		-6,2	-13,0	-11,3
	1996		21,2	10,7	1,2		1,6	7,4	9,7
	1997		0,8	0,5	0,2		-0,1	0,3	0,3
	1998		17,6	10,8	3,0		-4,5	-7,3	-6,5
	1999		9,3	4,2	1,2		-0,4	-0,3	0,8

	CHP 59								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	991,2	518,3	506,2	495,9	492,5	480,2	475,5	499,4
	1996	824,4	313,3	315,4	322,6	324,4	340,6	355,3	377,7
	1997	862,4	350,6	350,6	350,7	350,5	351,6	357,1	386,0
	1998	1018,2	526,1	525,4	525,4	525,4	527,9	533,7	558,8
	1999	1004,7	444,3	439,7	439,6	438,9	440,0	447,9	476,2
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		5,2	2,8	0,7		-2,5	-3,5	1,4
	1996		-3,4	-2,8	-0,6		5,0	9,5	16,4
	1997		0,0	0,0	0,1		0,3	1,9	10,1
	1998		0,1	0,0	0,0		0,5	1,6	6,4
	1999		1,2	0,2	0,2		0,3	2,1	8,5

	CHS 10								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1024,8	523,7	490,1	465,2	447,7	440,1	436,9	389,9
	1996	772,2	344,4	310,3	285,3	250,4	193,8	137,1	178,8
	1997	952,4	362,3	342,4	336,8	338,8	338,3	338,2	368,0
	1998	929,8	490,9	458,3	433,8	406,1	372,2	335,5	305,1
	1999	978,6	526,2	489,6	463,6	436,4	400,6	366,9	355,2
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		17,0	9,5	3,9		-1,7	-2,4	-12,9
	1996		37,5	23,9	13,9		-22,6	-45,2	-28,6
	1997		6,9	1,1	-0,6		-0,1	-0,2	8,6
	1998		20,9	12,9	6,8		-8,3	-17,4	-24,9
	1999		20,6	12,2	6,2		-8,2	-15,9	-18,6

	CHS 35								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	907,7	427,0	402,2	395,0	385,2	371,4	352,4	333,6
	1996	699,2	315,5	288,7	266,9	237,4	209,8	185,3	166,1
	1997	708,2	224,9	201,7	175,1	142,0	105,3	60,6	33,7
	1998	986,8	485,6	448,4	414,3	372,4	332,2	305,1	298,1
	1999	947,4	493,3	466,1	444,0	414,1	382,7	348,8	326,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		10,9	4,4	2,5		-3,6	-8,5	-13,4
	1996		32,9	21,6	12,4		-11,6	-21,9	-30,0
	1997		58,4	42,0	23,3		-25,8	-57,3	-76,3
	1998		30,4	20,4	11,3		-10,8	-18,1	-20,0
	1999		19,1	12,6	7,2		-7,6	-15,8	-21,1

	CHS 41								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	799,1	353,0	344,4	342,0	332,8	325,3	313,2	304,6
	1996	593,8	268,5	222,8	190,6	147,4	116,0	88,8	33,2
	1997	702,6	196,0	176,9	173,0	165,5	142,6	107,4	25,2
	1998	794,2	404,9	365,5	332,3	284,1	232,4	202,5	163,6
	1999	879,8	412,1	380,9	361,8	335,2	306,8	248,9	159,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		6,1	3,5	2,8		-2,3	-5,9	-8,5
	1996		82,2	51,2	29,3		-21,3	-39,8	-77,5
	1997		18,4	6,9	4,5		-13,8	-35,1	-84,8
	1998		42,5	28,7	17,0		-18,2	-28,7	-42,4
	1999		22,9	13,6	7,9		-8,5	-25,7	-52,4

	DOU 71								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1510,5	987,2	968,1	955,9	930,2	898,8	867,4	829,2
	1996	1237,6	771,3	744,5	724,2	688,4	657,6	630,0	590,7
	1997	1384,2	790,1	744,0	714,2	664,7	628,7	609,7	605,1
	1998	1538,0	951,0	933,1	921,8	898,8	870,2	842,0	807,8
	1999	1818,0	1216,4	1200,5	1187,7	1162,3	1131,6	1098,9	1062,0
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		6,1	4,1	2,8		-3,4	-6,8	-10,9
	1996		12,0	8,1	5,2		-4,5	-8,5	-14,2
	1997		18,9	11,9	7,4		-5,4	-8,3	-9,0
	1998		5,8	3,8	2,6		-3,2	-6,3	-10,1
	1999		4,7	3,3	2,2		-2,6	-5,5	-8,6

	EPC 08								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1699,6	1195,5	1192,9	1178,2	1140,9	1131,3	1108,8	1099,0
	1996	934,4	465,9	461,3	446,3	409,4	398,3	368,9	346,1
	1997	1317,8	732,6	727,9	712,3	690,4	686,0	682,8	690,8
	1998	1473,8	985,9	982,8	972,6	951,6	952,7	952,8	965,8
	1999	1519,4	988,2	984,3	968,8	931,3	920,1	902,1	916,4
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		4,8	4,6	3,3		-0,8	-2,8	-3,7
	1996		13,8	12,7	9,0		-2,7	-9,9	-15,5
	1997		6,1	5,4	3,2		-0,6	-1,1	0,1
	1998		3,6	3,3	2,2		0,1	0,1	1,5
	1999		6,1	5,7	4,0		-1,2	-3,1	-1,6

	EPC 63								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1243,6	467,1	454,5	443,7	434,1	434,2	433,3	434,1
	1996	1075,5	451,9	432,8	414,1	378,4	360,6	359,0	359,2
	1997	959,6	301,2	273,5	255,0	200,5	189,2	189,1	192,3
	1998	1067,9	521,0	491,3	473,7	427,6	353,0	332,5	319,9
	1999	1118,0	452,4	418,7	401,1	360,4	363,5	348,3	336,1
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		7,6	4,7	2,2		0,0	-0,2	0,0
	1996		19,4	14,4	9,4		-4,7	-5,1	-5,1
	1997		50,2	36,4	27,2		-5,6	-5,7	-4,1
	1998		21,8	14,9	10,8		-17,4	-22,2	-25,2
	1999		25,5	16,2	11,3		0,9	-3,4	-6,7

EPC 74

	Date	Pluie	RU-min	RU-C10	RU-C25	RU-méd	RU-C75	RU-C90	RU-max
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1901,3	1182,0	1155,6	1142,5	1133,3	1127,4	1124,0	1123,3
	1996	1215,6	574,6	557,8	551,8	549,2	547,5	547,2	545,3
	1997	1332,4	647,5	612,7	600,7	591,9	589,5	588,6	587,8
	1998	1176,8	569,0	525,4	506,5	488,1	473,8	458,3	441,8
	1999	1606,4	873,6	867,7	867,3	866,0	865,1	864,6	866,3
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		4,3	2,0	0,8		-0,5	-0,8	-0,9
	1996		4,6	1,6	0,5		-0,3	-0,4	-0,7
	1997		9,4	3,5	1,5		-0,4	-0,6	-0,7
	1998		16,6	7,6	3,8		-2,9	-6,1	-9,5
	1999		0,9	0,2	0,2		-0,1	-0,2	0,0

EPC 87

	Date	Pluie	RU-min	RU-C10	RU-C25	RU-méd	RU-C75	RU-C90	RU-max
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1558,7	888,7	819,0	789,4	740,8	687,8	648,9	641,3
	1996	1297,1	683,5	625,8	597,5	546,0	488,1	447,2	453,6
	1997	1373,8	706,2	583,0	539,0	478,1	448,6	443,6	459,4
	1998	1392,5	771,1	713,7	687,5	640,5	593,5	561,3	566,6
	1999	1285,8	698,9	642,6	618,2	580,8	553,0	545,9	557,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		20,0	10,6	6,6		-7,2	-12,4	-13,4
	1996		25,2	14,6	9,4		-10,6	-18,1	-16,9
	1997		47,7	21,9	12,7		-6,2	-7,2	-3,9
	1998		20,4	11,4	7,3		-7,3	-12,4	-11,5
	1999		20,3	10,6	6,4		-4,8	-6,0	-4,0

HET 30

	Date	Pluie	RU-min	RU-C10	RU-C25	RU-méd	RU-C75	RU-C90	RU-max
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	2546,4	2235,9	2204,4	2180,6	2137,2	2072,4	2006,1	1963,3
	1996	2851,5	2548,7	2519,4	2497,3	2457,0	2399,9	2346,7	2354,7
	1997	2023,1	1675,0	1638,6	1618,1	1586,3	1565,2	1562,9	1568,4
	1998	1847,8	1548,7	1517,8	1495,5	1454,7	1392,1	1325,5	1302,3
	1999	2364,8	2062,7	2029,9	2010,8	1974,4	1915,4	1856,9	1862,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		4,6	3,1	2,0		-3,0	-6,1	-8,1
	1996		3,7	2,5	1,6		-2,3	-4,5	-4,2
	1997		5,6	3,3	2,0		-1,3	-1,5	-1,1
	1998		6,5	4,3	2,8		-4,3	-8,9	-10,5
	1999		4,5	2,8	1,8		-3,0	-6,0	-5,7

HET 54a

	Date	Pluie	RU-min	RU-C10	RU-C25	RU-méd	RU-C75	RU-C90	RU-max
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1047,8	548,3	534,1	524,3	511,0	505,1	505,4	509,0
	1996	813,3	372,8	355,6	341,9	318,5	295,6	275,3	259,8
	1997	904,4	389,3	374,0	365,8	353,3	345,7	344,1	345,1
	1998	918,6	499,5	482,6	469,0	444,3	419,7	397,1	368,4
	1999	1056,9	607,2	589,4	575,3	549,4	524,2	504,2	477,3
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		7,3	4,5	2,6		-1,2	-1,1	-0,4
	1996		17,0	11,6	7,3		-7,2	-13,6	-18,4
	1997		10,2	5,9	3,5		-2,2	-2,6	-2,3
	1998		12,4	8,6	5,6		-5,5	-10,6	-17,1
	1999		10,5	7,3	4,7		-4,6	-8,2	-13,1

HET 64

	Date	Pluie	RU-min	RU-C10	RU-C25	RU-méd	RU-C75	RU-C90	RU-max
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1131,3	633,2	618,6	606,5	593,1	578,6	557,7	508,1
	1996	1526,6	895,9	882,9	871,8	861,6	848,9	829,7	801,5
	1997	1254,8	610,8	591,3	580,0	573,2	567,2	561,8	561,3
	1998	1300,0	709,9	697,3	687,1	677,2	664,8	646,6	613,9
	1999	1479,3	870,4	848,8	832,3	818,1	800,7	781,3	763,7
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		6,8	4,3	2,3		-2,4	-6,0	-14,3
	1996		4,0	2,5	1,2		-1,5	-3,7	-7,0
	1997		6,6	3,2	1,2		-1,0	-2,0	-2,1
	1998		4,8	3,0	1,5		-1,8	-4,5	-9,3
	1999		6,4	3,8	1,7		-2,1	-4,5	-6,6

	PL 20								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1588,2	854,1	826,1	796,0	765,5	728,3	702,4	677,2
	1996	2043,5	1433,7	1411,0	1381,1	1350,6	1307,8	1275,9	1237,3
	1997	1387,4	885,1	844,2	789,1	738,2	677,6	642,3	610,6
	1998	1457,2	954,9	933,2	900,7	867,3	817,6	773,2	691,2
	1999	1186,2	582,1	560,4	532,1	501,7	467,9	458,4	425,1
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		11,6	7,9	4,0		-4,9	-8,2	-11,5
	1996		6,2	4,5	2,3		-3,2	-5,5	-8,4
	1997		19,9	14,4	6,9		-8,2	-13,0	-17,3
	1998		10,1	7,6	3,9		-5,7	-10,8	-20,3
	1999		16,0	11,7	6,1		-6,7	-8,6	-15,3

	PM 40c								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	841,4	364,0	330,1	305,5	275,3	253,9	230,3	219,6
	1996	990,6	490,7	455,8	436,9	412,8	396,8	394,0	401,1
	1997	1111,2	570,5	533,0	519,8	512,6	505,6	500,6	499,3
	1998	929,6	420,8	386,2	365,9	347,2	337,4	331,1	330,3
	1999	1008,6	497,8	466,1	450,3	437,7	429,1	424,7	423,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		32,2	19,9	11,0		-7,8	-16,3	-20,2
	1996		18,9	10,4	5,8		-3,9	-4,6	-2,8
	1997		11,3	4,0	1,4		-1,4	-2,3	-2,6
	1998		21,2	11,2	5,4		-2,8	-4,6	-4,9
	1999		13,7	6,5	2,9		-2,0	-3,0	-3,2

	PM 72								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	899,6	509,5	491,1	468,3	451,7	425,1	406,8	395,5
	1996	629,6	318,4	301,5	276,8	259,2	227,7	201,5	193,0
	1997	689,2	263,5	245,1	220,1	202,4	174,6	166,1	150,2
	1998	823,2	462,4	446,6	426,5	410,8	387,1	358,0	341,0
	1999	1020,3	559,1	541,5	523,4	513,3	502,9	498,9	496,9
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		12,8	8,7	3,7		-5,9	-9,9	-12,4
	1996		22,8	16,3	6,8		-12,2	-22,3	-25,5
	1997		30,2	21,1	8,7		-13,7	-17,9	-25,8
	1998		12,6	8,7	3,8		-5,8	-12,9	-17,0
	1999		8,9	5,5	2,0		-2,0	-2,8	-3,2

	PM 85								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	737,0	445,1	382,3	340,1	330,7	316,4	294,5	273,2
	1996	756,8	442,5	364,7	321,5	268,5	207,1	167,2	124,8
	1997	679,0	358,6	282,9	238,5	203,0	145,3	115,7	97,5
	1998	724,5	362,3	295,6	257,8	248,7	233,5	200,4	178,4
	1999	962,1	505,0	414,5	368,0	321,8	276,2	260,0	254,3
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		34,6	15,6	2,8		-4,3	-10,9	-17,4
	1996		64,8	35,8	19,7		-22,9	-37,7	-53,5
	1997		76,7	39,4	17,5		-28,4	-43,0	-52,0
	1998		45,7	18,9	3,7		-6,1	-19,4	-28,3
	1999		56,9	28,8	14,4		-14,2	-19,2	-21,0

	PS 44								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1038,1	477,8	455,4	445,1	434,7	425,3	403,4	394,6
	1996	725,4	225,2	179,3	162,1	142,8	109,3	93,1	89,6
	1997	774,8	188,7	138,3	118,5	103,7	94,1	60,7	47,5
	1998	936,8	348,7	269,6	240,8	214,5	172,9	125,0	91,2
	1999	1079,4	481,9	442,4	425,3	407,3	387,0	389,9	399,4
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		9,9	4,8	2,4		-2,2	-7,2	-9,2
	1996		57,7	25,6	13,5		-23,5	-34,8	-37,3
	1997		82,0	33,4	14,3		-9,3	-41,5	-54,2
	1998		62,6	25,7	12,3		-19,4	-41,7	-57,5
	1999		18,3	8,6	4,4		-5,0	-4,3	-1,9

	PS 67a								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	898,3	432,3	332,9	303,2	279,8	275,0	273,5	273,5
	1996	737,2	352,0	273,7	235,8	194,7	148,7	143,1	142,6
	1997	789,0	394,1	293,7	252,6	216,5	176,3	149,5	148,8
	1998	738,0	336,6	269,1	234,3	185,9	118,8	121,3	121,9
	1999	887,9	458,7	390,8	353,8	313,5	263,0	252,8	252,9
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		54,5	19,0	8,4		-1,7	-2,3	-2,3
	1996		80,8	40,6	21,1		-23,6	-26,5	-26,8
	1997		82,0	35,7	16,7		-18,6	-30,9	-31,3
	1998		81,1	44,8	26,0		-36,1	-34,7	-34,4
	1999		46,3	24,7	12,9		-16,1	-19,4	-19,3

	PS 76								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	824,8	446,5	431,9	419,1	408,6	394,9	388,5	383,5
	1996	650,2	334,6	278,4	228,9	189,9	144,2	125,6	115,4
	1997	730,6	297,6	251,2	220,4	208,3	197,8	188,1	194,5
	1998	1023,2	570,4	540,4	523,1	513,7	511,3	510,2	510,1
	1999	1120,6	646,8	609,2	583,6	568,8	559,5	559,8	560,2
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		9,3	5,7	2,6		-3,4	-4,9	-6,1
	1996		76,2	46,6	20,5		-24,1	-33,9	-39,2
	1997		42,9	20,6	5,8		-5,0	-9,7	-6,6
	1998		11,0	5,2	1,8		-0,5	-0,7	-0,7
	1999		13,7	7,1	2,6		-1,6	-1,6	-1,5

	SP 05								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1180,1	371,3	351,8	336,6	319,9	310,2	306,0	266,4
	1996	1102,8	467,1	446,6	434,0	333,9	233,6	196,1	134,4
	1997	1002,0	325,4	285,1	261,4	228,2	207,0	193,1	182,5
	1998	969,1	248,3	199,8	179,4	143,0	125,8	112,8	112,9
	1999	889,4	282,8	261,4	246,6	175,7	125,0	124,9	112,8
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		16,1	10,0	5,2		-3,0	-4,3	-16,7
	1996		39,9	33,8	30,0		-30,0	-41,3	-59,7
	1997		42,6	24,9	14,5		-9,3	-15,4	-20,0
	1998		73,6	39,7	25,5		-12,0	-21,1	-21,0
	1999		61,0	48,8	40,4		-28,9	-28,9	-35,8

	SP 11								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1305,6	491,2	489,3	473,5	462,0	447,7	416,3	404,6
	1996	1597,8	923,1	916,6	900,5	887,0	871,1	836,5	778,7
	1997	865,2	197,8	191,8	176,3	162,5	145,7	124,4	113,3
	1998	1249,9	496,3	489,2	470,5	454,8	437,6	382,8	313,9
	1999	1261,6	551,1	544,2	529,5	516,8	502,0	470,9	436,3
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		6,3	5,9	2,5		-3,1	-9,9	-12,4
	1996		4,1	3,3	1,5		-1,8	-5,7	-12,2
	1997		21,7	18,0	8,5		-10,3	-23,4	-30,3
	1998		9,1	7,6	3,5		-3,8	-15,8	-31,0
	1999		6,6	5,3	2,5		-2,9	-8,9	-15,6

	SP 25								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1790,4	1150,2	1124,3	1112,6	1061,5	1030,4	1024,8	1025,4
	1996	1430,2	870,5	840,2	825,4	757,4	746,1	745,5	750,7
	1997	1422,5	802,6	766,4	746,8	665,7	654,7	654,4	655,0
	1998	1210,3	653,2	625,5	617,2	575,8	528,8	513,5	473,0
	1999	1800,0	1132,3	1104,9	1090,5	1027,2	1010,1	1009,6	1009,6
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		8,4	5,9	4,8		-2,9	-3,5	-3,4
	1996		14,9	10,9	9,0		-1,5	-1,6	-0,9
	1997		20,6	15,1	12,2		-1,7	-1,7	-1,6
	1998		13,4	8,6	7,2		-8,2	-10,8	-17,9
	1999		10,2	7,6	6,2		-1,7	-1,7	-1,7

	SP 38								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1644,0	994,8	994,8	923,9	898,7	867,2	838,4	822,2
	1996	1468,4	863,8	863,8	787,5	777,8	775,7	774,2	775,6
	1997	1118,1	574,9	574,9	454,5	403,2	355,1	321,8	303,0
	1998	1298,0	721,9	721,9	623,1	592,3	552,7	521,0	507,8
	1999	1561,5	921,8	921,8	855,3	832,6	810,5	804,0	806,1
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		10,7	10,7	2,8		-3,5	-6,7	-8,5
	1996		11,1	11,1	1,2		-0,3	-0,5	-0,3
	1997		42,6	42,6	12,7		-11,9	-20,2	-24,9
	1998		21,9	21,9	5,2		-6,7	-12,0	-14,3
	1999		10,7	10,7	2,7		-2,7	-3,4	-3,2

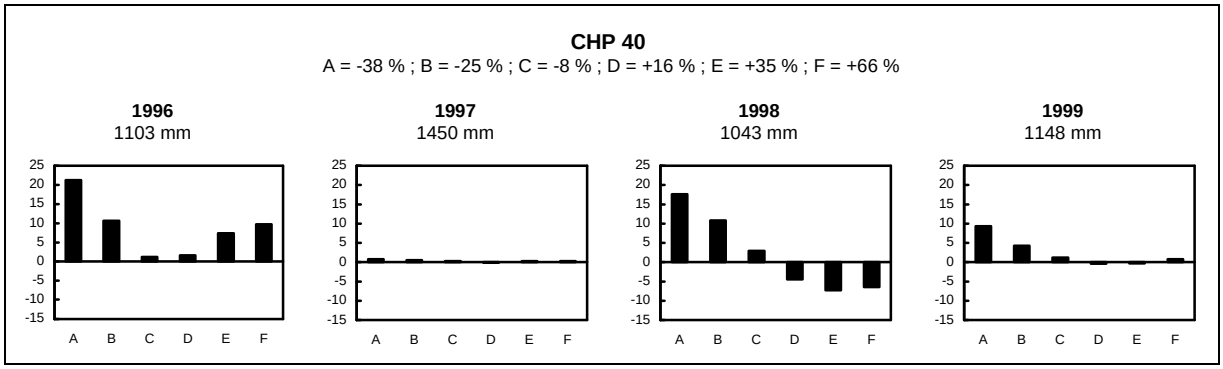
	SP 57								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1459,3	832,4	782,5	778,2	775,8	775,5	773,7	772,8
	1996	1002,6	498,5	403,7	382,8	338,4	318,5	311,8	310,8
	1997	1285,9	673,8	597,6	582,6	568,2	564,8	562,5	561,7
	1998	1274,9	727,5	661,6	638,8	593,5	573,6	566,7	564,4
	1999	1631,4	1004,2	933,1	918,6	906,4	903,2	901,0	900,9
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		7,3	0,9	0,3		0,0	-0,3	-0,4
	1996		47,3	19,3	13,1		-5,9	-7,9	-8,2
	1997		18,6	5,2	2,5		-0,6	-1,0	-1,1
	1998		22,6	11,5	7,6		-3,4	-4,5	-4,9
	1999		10,8	2,9	1,3		-0,4	-0,6	-0,6

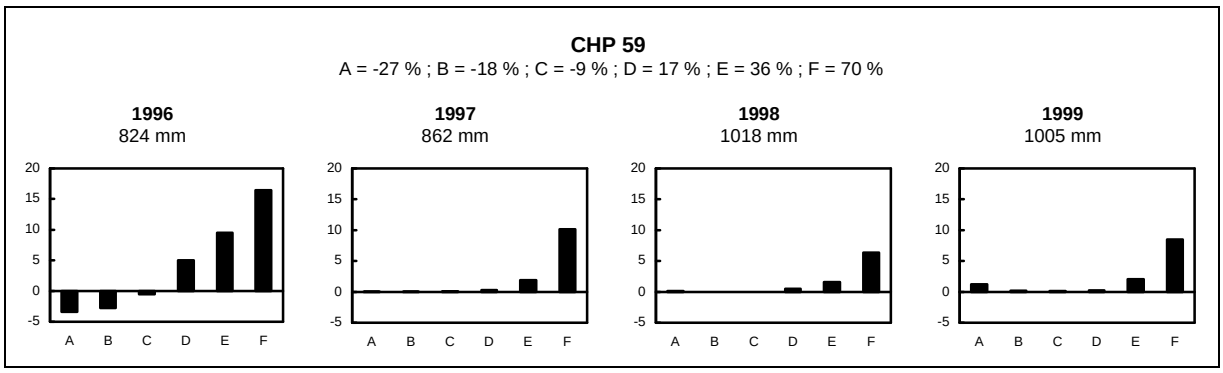
	SP 68								
	Date	**Pluie**	**RU-min**	**RU-C10**	**RU-C25**	**RU-méd**	**RU-C75**	**RU-C90**	**RU-max**
Volumes d'eau Drainée (mm)	1995	1525,9	995,5	980,6	966,6	947,2	929,9	918,0	884,8
	1996	1124,1	588,8	565,9	543,8	509,7	481,6	464,6	427,6
	1997	1336,6	721,1	697,5	677,3	643,9	620,6	605,3	589,0
	1998	1161,3	692,6	681,3	670,8	655,4	641,8	631,0	596,3
	1999	1448,6	890,0	878,2	869,9	854,9	839,0	826,9	787,9
Ecart relatif par rapport à la RU médiane (%)	1995		5,1	3,5	2,0		-1,8	-3,1	-6,6
	1996		15,5	11,0	6,7		-5,5	-8,8	-16,1
	1997		12,0	8,3	5,2		-3,6	-6,0	-8,5
	1998		5,7	4,0	2,3		-2,1	-3,7	-9,0
	1999		4,1	2,7	1,8		-1,9	-3,3	-7,8

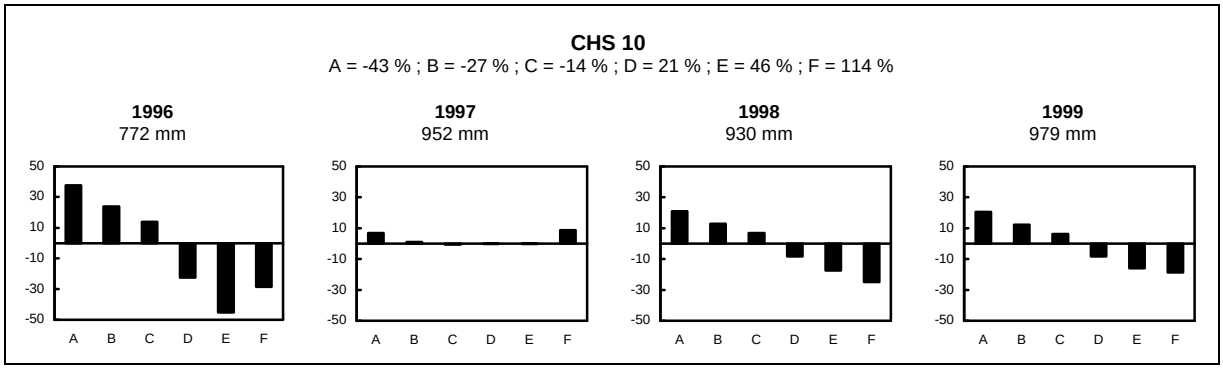
Influence de la réserve utile des sols sur les volumes annuels d'eau drainée pour les 26 placettes du sous-réseau météorologique forestier.

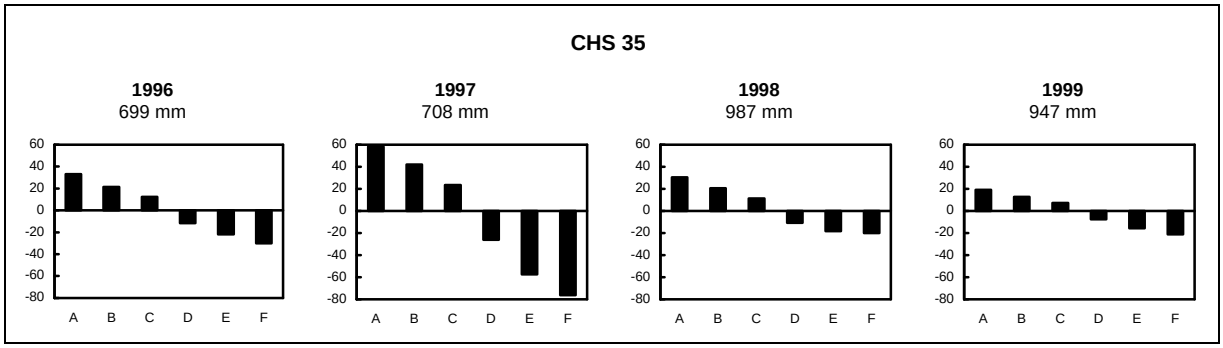
Cette annexe est une illustration des données de l'*Annexe bilan hydrique 8*. Les figures donnent, pour chaque placette et chaque année, les écarts relatifs annuels (%) des drainages par rapport aux drainages calculés à partir de la réserve utile médiane : A = réserve utile minimum, B = centile 10%, C = centile 25%, D = centile 75%, E = centile 90%, F = réserve utile maximum.

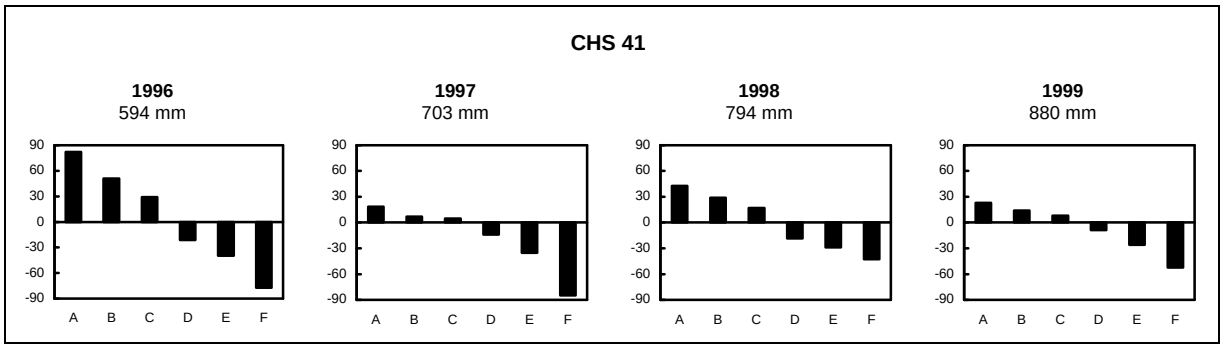
Les hauteurs annuelles des précipitations (mm) sont données à titre indicatif.

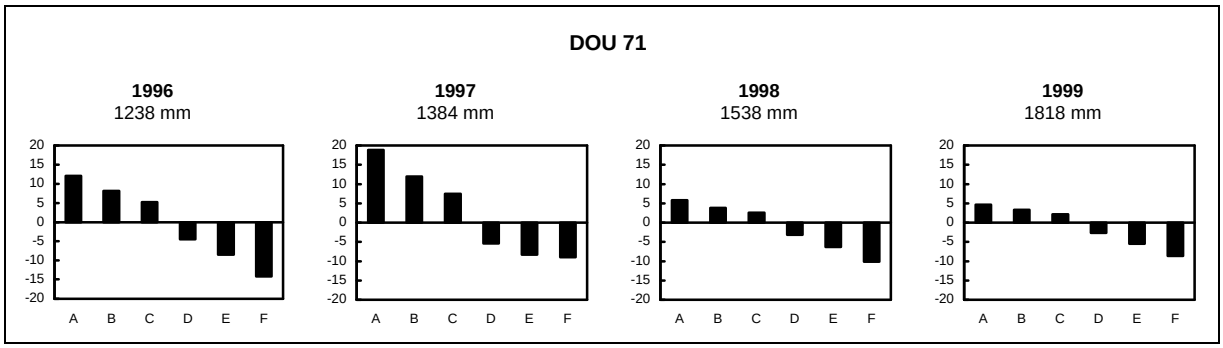


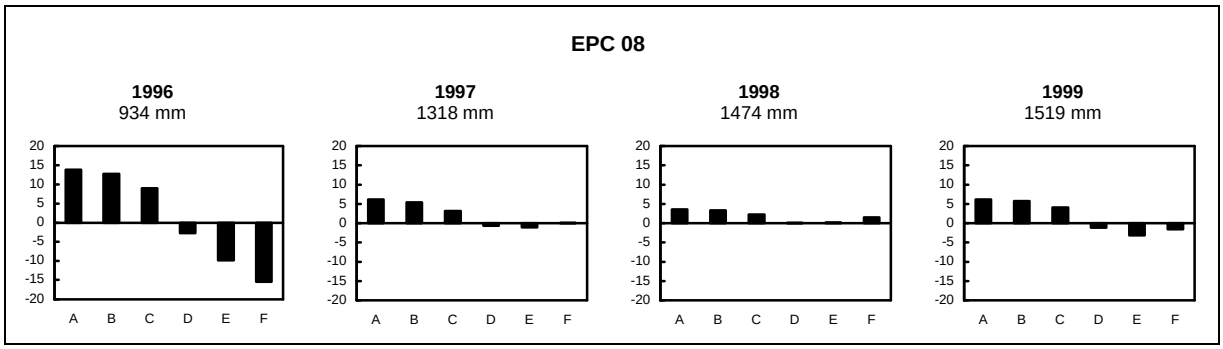


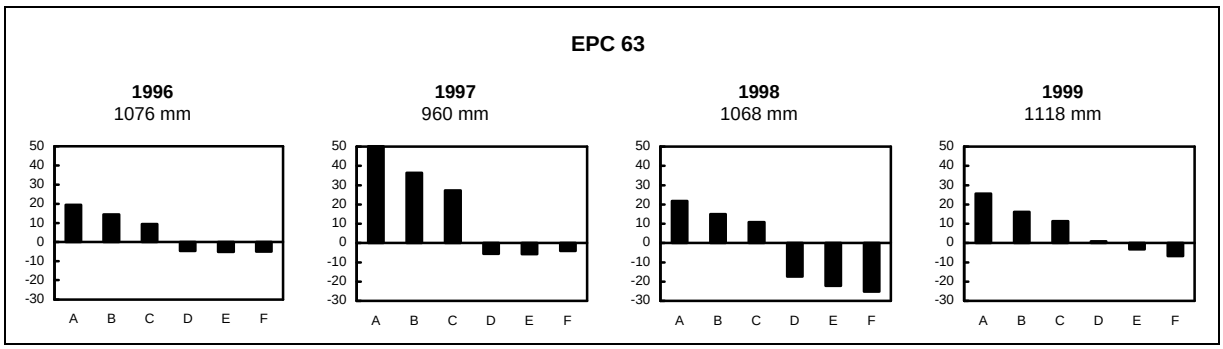


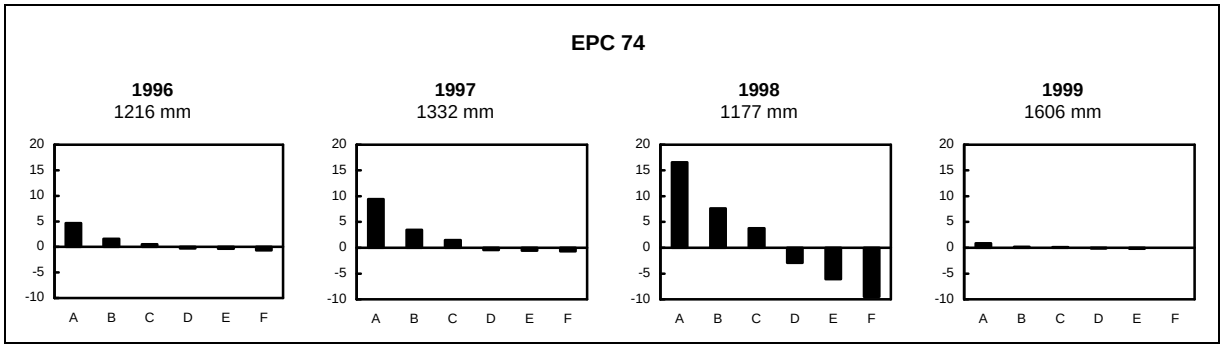

CHS 35
1996
699 mm
1997
708 mm
1998
987 mm
1999
947 mm
60 40 20 0 -20 -40 -60 -80
A B C D E F

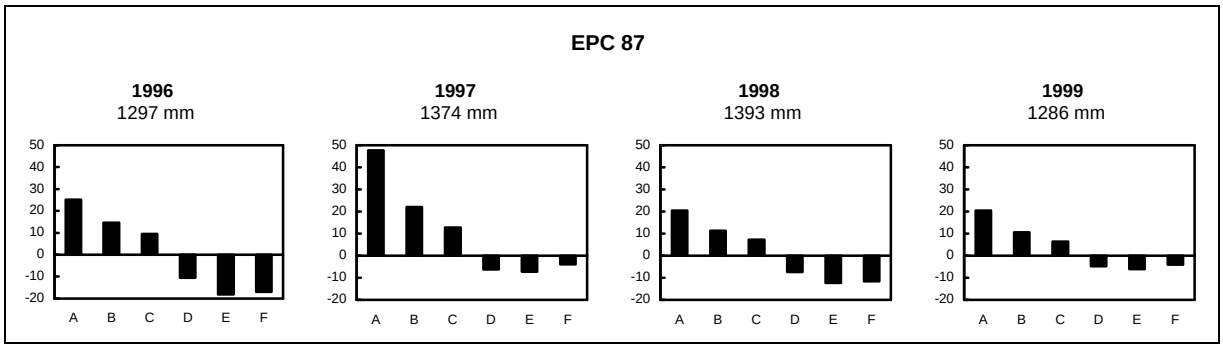

CHS 41
1996
594 mm
1997
703 mm
1998
794 mm
1999
880 mm
90 60 30 0 -30 -60 -90
A B C D E F

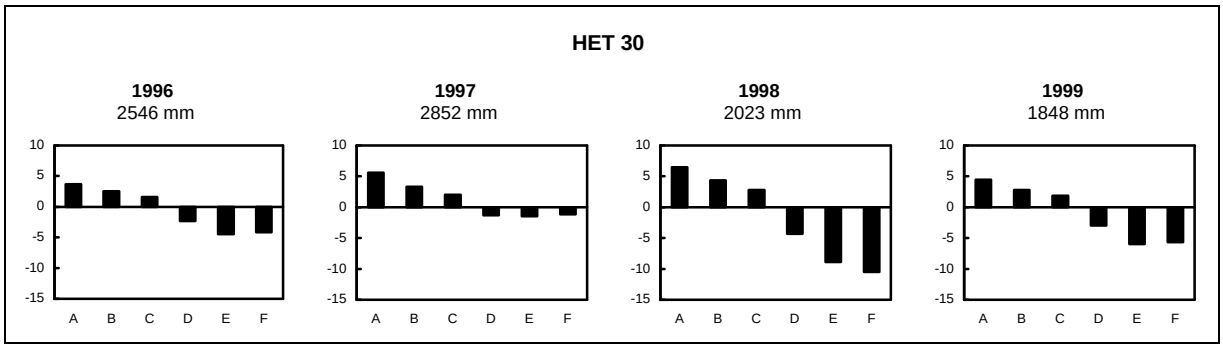

DOU 71
1996
1238 mm
1997
1384 mm
1998
1538 mm
1999
1818 mm
20 15 10 5 0 -5 -10 -15 -20
A B C D E F

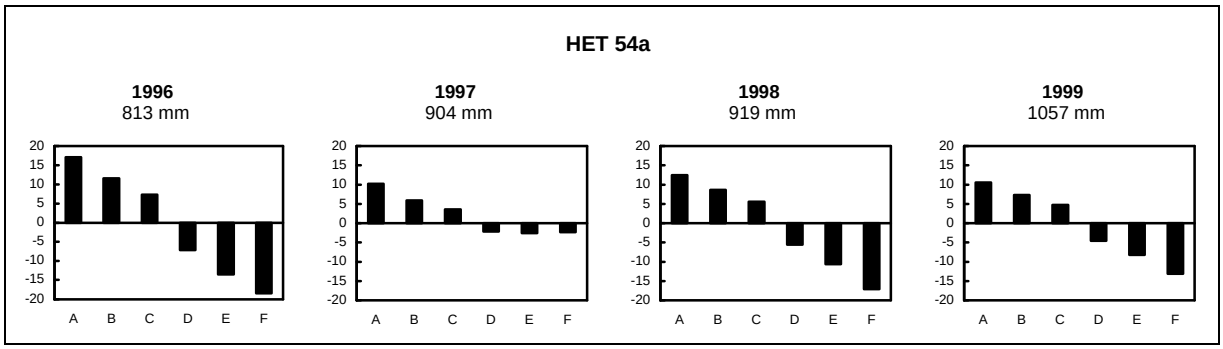

EPC 08
1996
934 mm
1997
1318 mm
1998
1474 mm
1999
1519 mm
20 15 10 5 0 -5 -10 -15 -20
A B C D E F

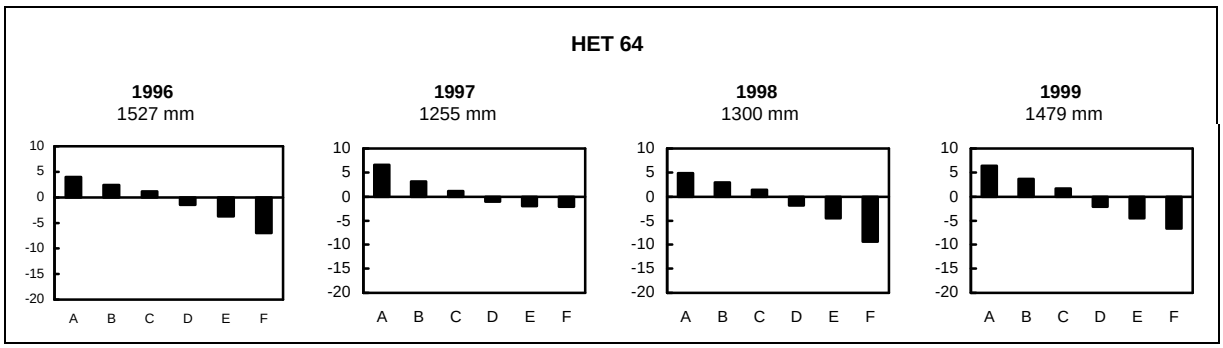

EPC 63
1996
1076 mm
1997
960 mm
1998
1068 mm
1999
1118 mm
50 40 30 20 10 0 -10 -20 -30
A B C D E F

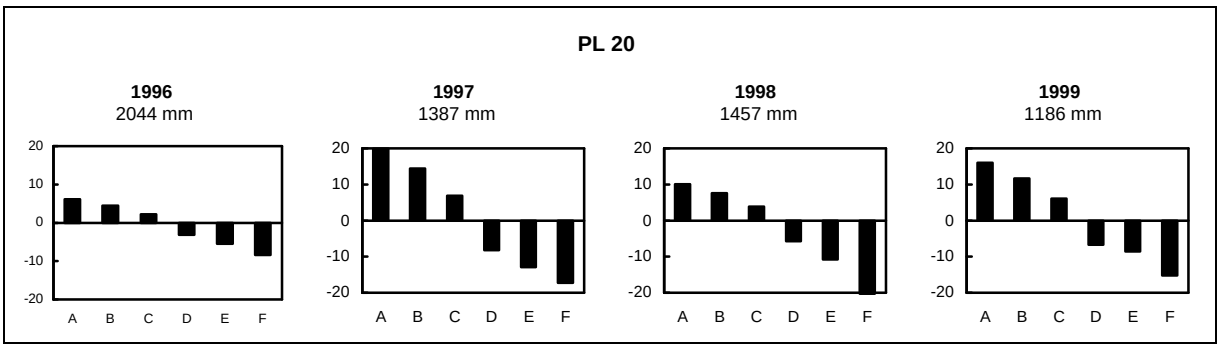

EPC 74
1996
1216 mm
1997
1332 mm
1998
1177 mm
1999
1606 mm
20 15 10 5 0 -5 -10
A B C D E F

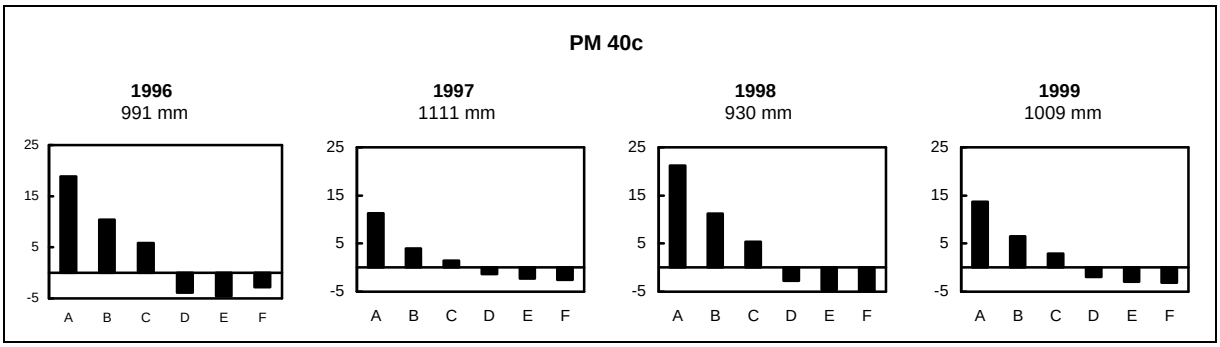

EPC 87
1996
1297 mm
1997
1374 mm
1998
1393 mm
1999
1286 mm
50 40 30 20 10 0 -10 -20
A B C D E F

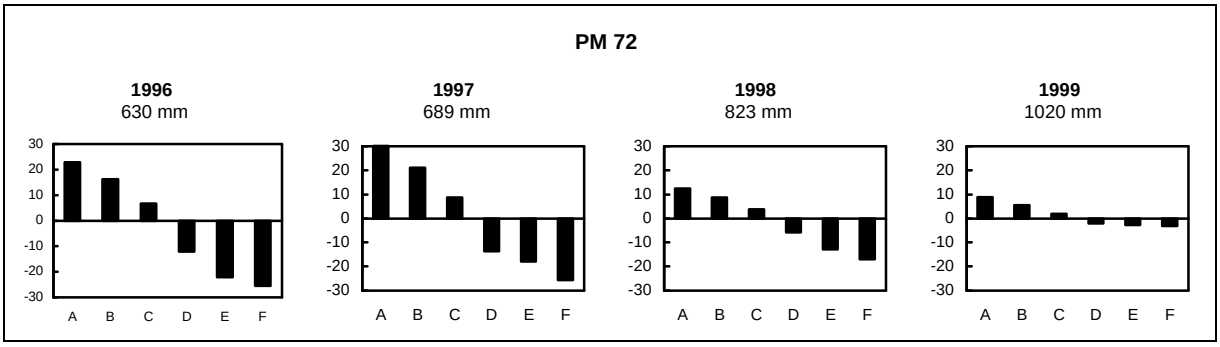

HET 30
1996
2546 mm
1997
2852 mm
1998
2023 mm
1999
1848 mm
10 5 0 -5 -10 -15
A B C D E F

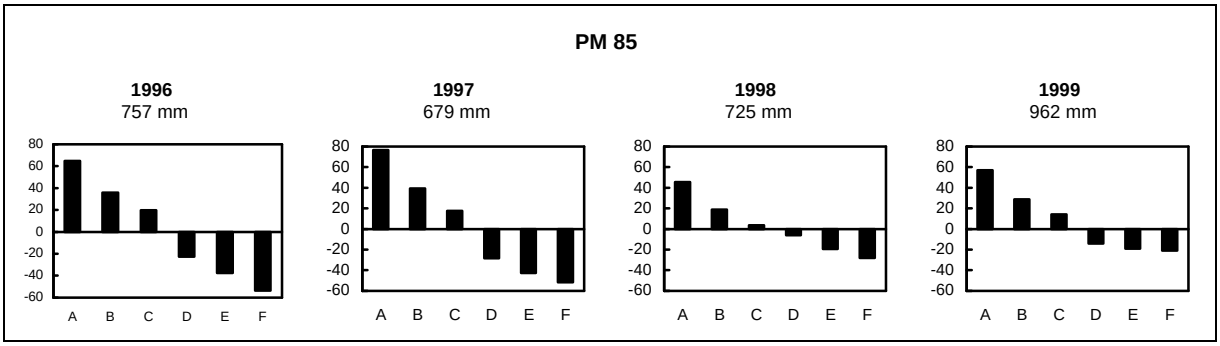

HET 54a
1996
813 mm
1997
904 mm
1998
919 mm
1999
1057 mm
20 15 10 5 0 -5 -10 -15 -20
A B C D E F

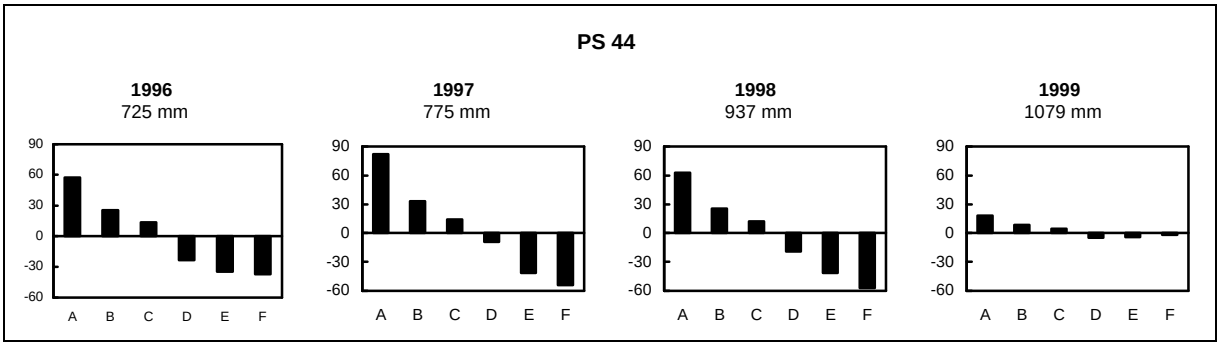

HET 64
1996
1527 mm
1997
1255 mm
1998
1300 mm
1999
1479 mm
10 5 0 -5 -10 -15 -20
A B C D E F


PL 20
1996
2044 mm
1997
1387 mm
1998
1457 mm
1999
1186 mm
20
10
0
-10
-20
A B C D E F

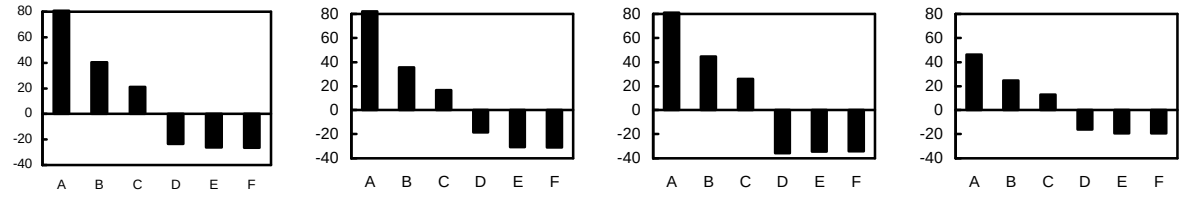

PM 40c
1996
991 mm
1997
1111 mm
1998
930 mm
1999
1009 mm
25
15
5
-5
A B C D E F


PM 72
1996
630 mm
1997
689 mm
1998
823 mm
1999
1020 mm
30
20
10
0
-10
-20
-30
A B C D E F

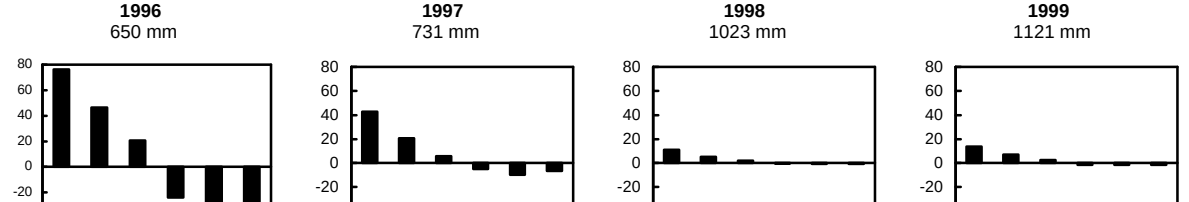

PM 85
1996
757 mm
1997
679 mm
1998
725 mm
1999
962 mm
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
A B C D E F


PS 44
1996
725 mm
1997
775 mm
1998
937 mm
1999
1079 mm
90
60
30
0
-30
-60
A B C D E F

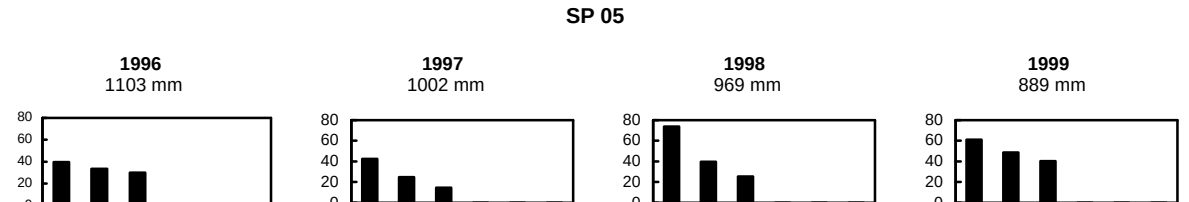
PS 67a



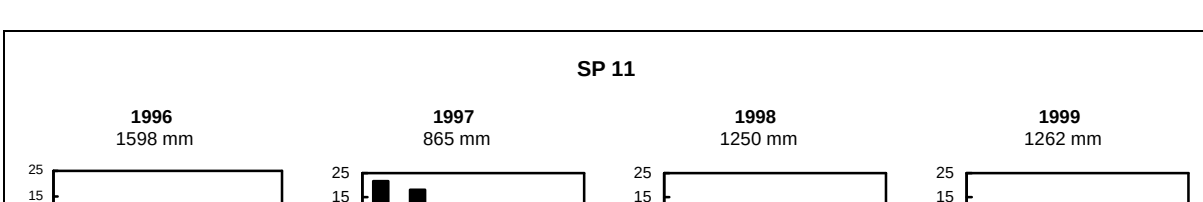
PS 76



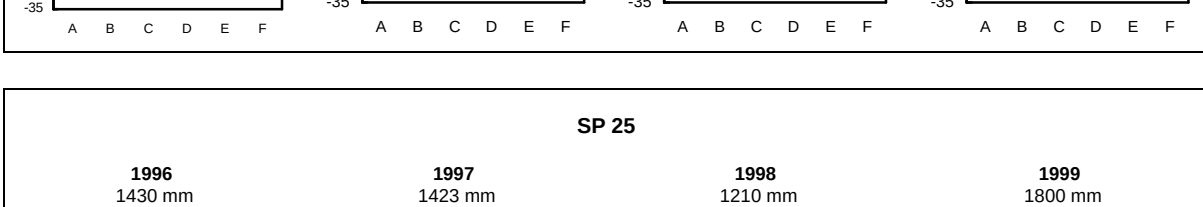
SP 05

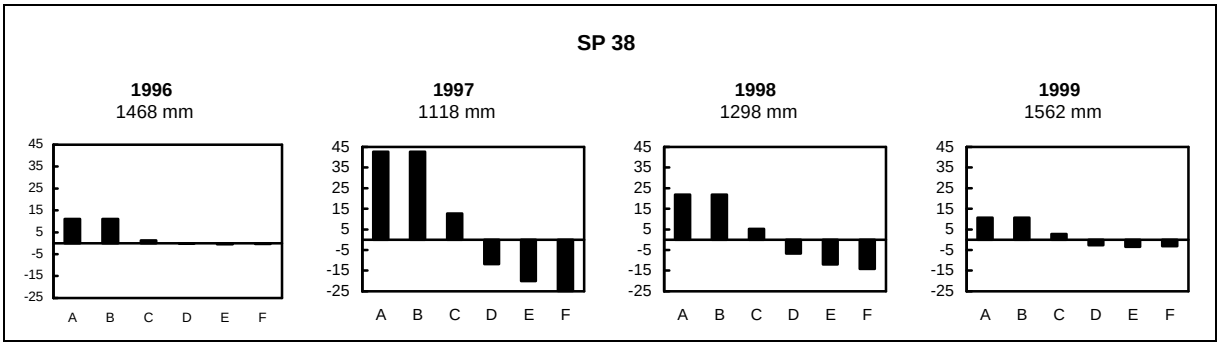


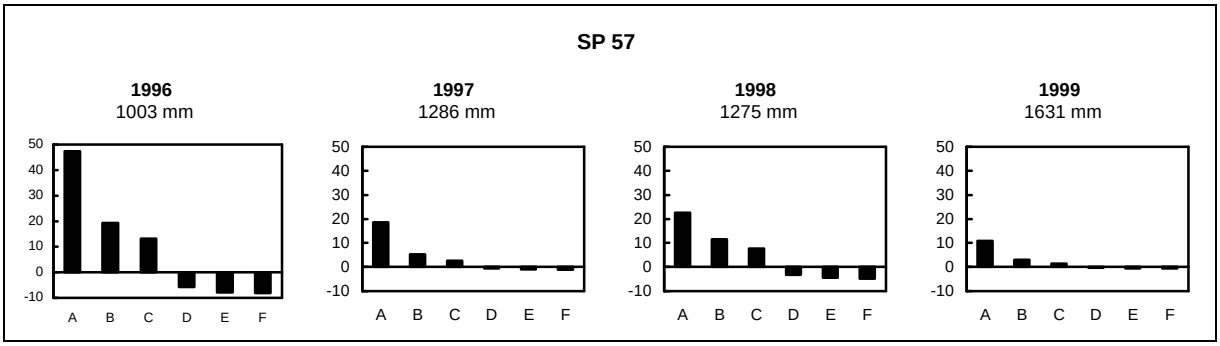
SP 11

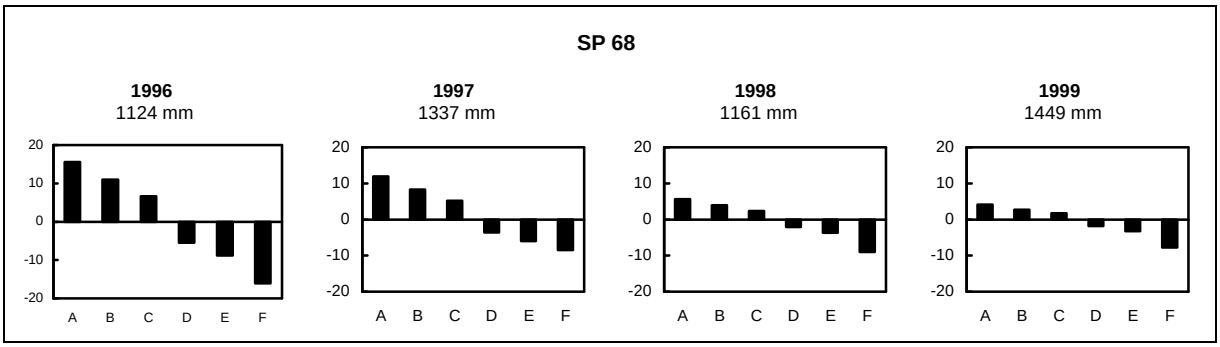


SP 25




SP 38
1996
1468 mm
1997
1118 mm
1998
1298 mm
1999
1562 mm
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
A B C D E F


SP 57
1996
1003 mm
1997
1286 mm
1998
1275 mm
1999
1631 mm
50
40
30
20
10
0
-10
A B C D E F


SP 68
1996
1124 mm
1997
1337 mm
1998
1161 mm
1999
1449 mm
20
10
0
-10
-20
A B C D E F

Crédit photographique (couverture)

Luc Croisé (station météo), Michel Clausse (profil de sol)

Exemplaires imprimés : 1000

Imprimerie ONF – Fontainebleau

Étude critique de faisabilité sur :
la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée

ISBN 978 – 2 – 84207 – 323 – 7
Dépôt légal 2ème semestre 2008

Office National des Forêts

Direction Technique et Commercial Bois
Département Recherche
Réseau RENECOFOR
Boulevard de Constance – 77300 Fontainebleau
Tél. : +33 (0) 1 60 74 92 22 – Fax : +33 (0) 1 64 22 49 73
Méls : erwin.ulrich@onf.fr ; marc.lanier@onf.fr ; luc.croise@onf.fr ;
sebastien.cecchini@onf.fr ; valerie.trevedy@onf.fr
Site Web : www.onf.fr/pro/renecofor/index.htm