

# LA PLACETTE D'OBSERVATION RENECOFOR EN FORÊT DE BROTONNE (PS 76)

Période d'observation 1992-1998

## 1. Situation et sylviculture du peuplement

La placette PS 76 est composée d'un peuplement de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) mélangé avec quelques rares hêtres (*Fagus sylvatica*) de sous étage. Cette futaie régulière, âgée de 49 ans (âge moyen à 1,3 m de l'étage dominant en 2000), est issue d'une régénération naturelle. Elle est située dans la zone atlantique, en forêt domaniale de Brotonne, à 70 m d'altitude sur un terrain possédant une pente de 3%.

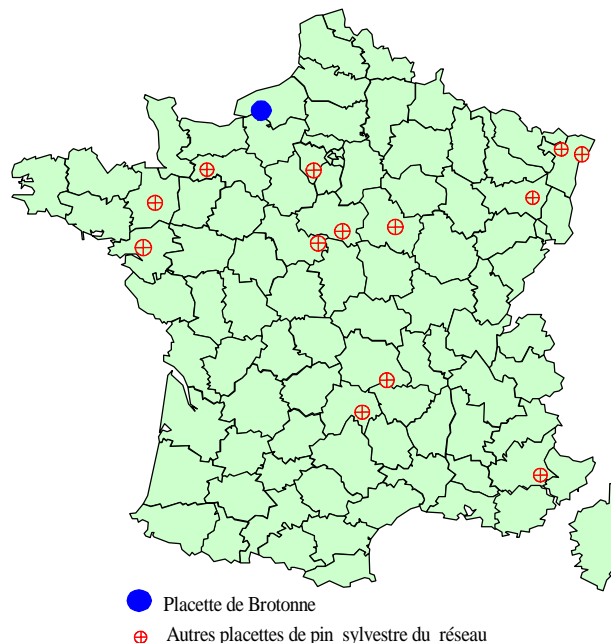
## 2. La station

Du point de vue phytosociologique le peuplement se rattache au *Quercenion robori-petraeae*. L'inventaire floristique réalisé en 1994/95 recense 30 espèces. Il faut noter la forte abondance de la fougère aigle. La diversité floristique totale de la placette est dans la moyenne des autres peuplements de pin sylvestre du réseau.

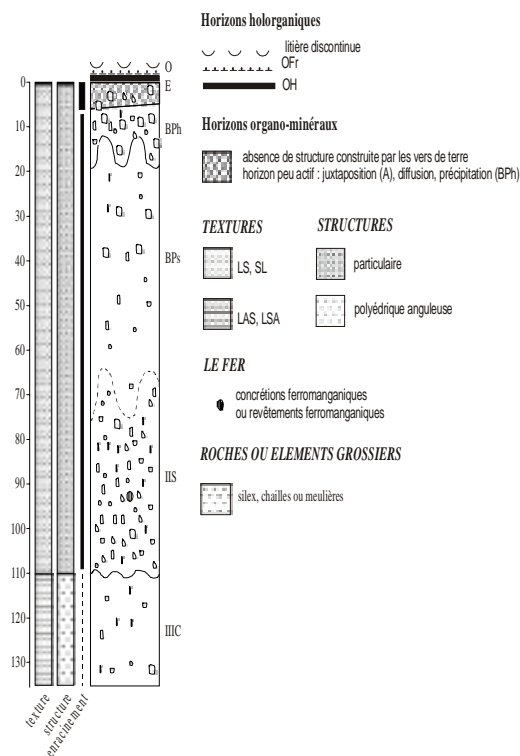
Le substrat géologique se compose d'une formation de sables limoneux sur argiles à silex. Le sol se caractérise par une texture sablo-limoneuse relativement caillouteuse en surface, suivie par une formation très caillouteuse et enfin par la présence d'argile sableuse à silex. Nous sommes donc en présence d'un sol brun lessivé à micropodzol (selon Duchaufour). Le rapport carbone organique sur azote (C/N), est de 30 pour l'horizon 0-10 cm. Cela se traduit par une très mauvaise décomposition de l'humus (mor) et indique une faible minéralisation de l'azote. En 1995, les stocks de carbone organique (45,8 t/ha), d'azote (1,5 t/ha) et de calcium (52,2 kg/ha) dans la couche minérale (0-40 cm) sont parmi les plus faibles du réseau. Les teneurs en bases échangeables sont très faibles pour le calcium, le magnésium et le potassium. Cela est dû à une très faible capacité d'échange cationique (CEC), et un mauvais taux de saturation (<60%). Ce sol possède donc des potentialités faibles. La réserve utile maximale, qui indique les possibilités de stockage du sol en eau disponible pour les plantes, varie de 75 et 120 mm selon la profondeur prospectée par les racines (1,10 à 1,20 m), ce qui représente des potentialités moyennes. En comparant cette réserve au déficit de pluviométrie pour la forêt de Brotonne pendant la période de végétation (environ 150 mm hors couvert), nous découvrons qu'il existe dans l'année une ou plusieurs périodes de stress hydrique pour la végétation.

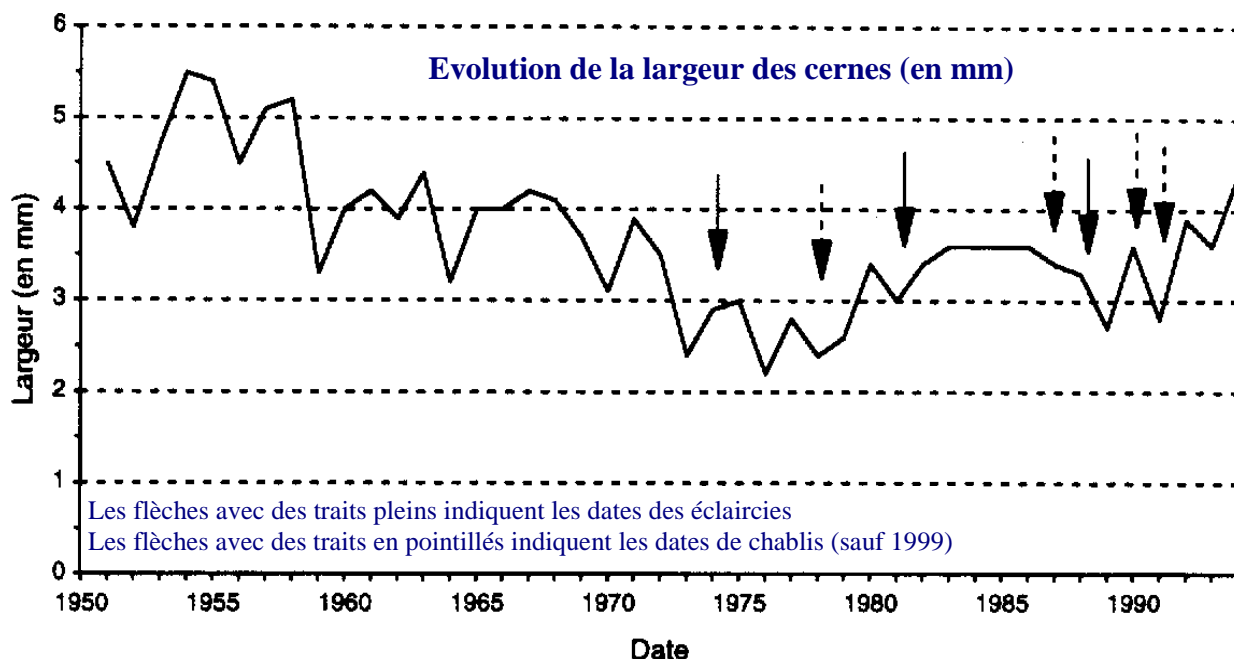
## 3. Le peuplement d'un point de vue sylvicole

Depuis son origine le peuplement a connu 3 éclaircies et 5 années de chablis d'ampleur très variable (1978, 1987, 1990, 1991 et 1999), le dernier événement ayant anéanti environ 50 % du peuplement. Après une période de fort accroissement radial de 1951 à 1958, le peuplement a subi une phase de croissance plus limitée jusqu'à la fin des années 1970. Sans exclure le rôle d'autres facteurs, l'augmentation des largeurs des cernes depuis 1979 semble être le résultat des éclaircies réalisées. L'accroissement radial moyen pour la période 1951-1994 est de 3,7 mm/an et de 3,5 mm/an pour la période 1985-1994. Ce sont les accroissements les plus élevés des peuplements de pin sylvestre (de plaine et du même âge) du réseau.

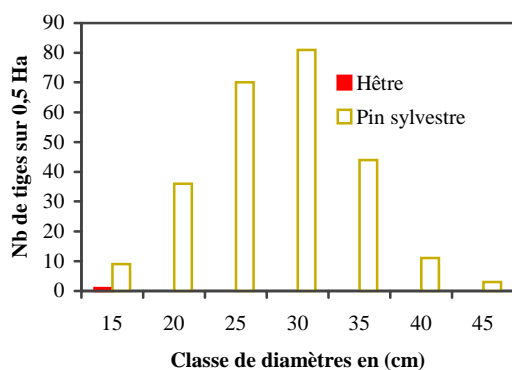


### Profil de sol





#### Distribution des diamètres par essence en 1995



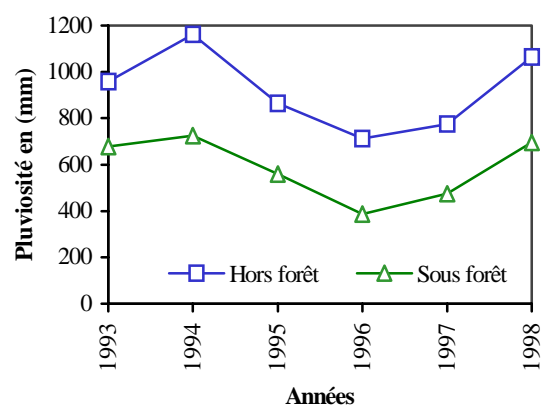
Dans sa globalité ce peuplement régulier possédait en 1995, 520 tiges/ha, la surface terrière était de 34 m<sup>2</sup>/ha, et le diamètre moyen de 28 cm.

Pour les 36 arbres « observations » le diamètre moyen est de 31 cm en 1995, avec une hauteur moyenne de 24 m. Nous obtenons un coefficient d'élanement (H/d) de 77 en 1995, qui indique une certaine stabilité vis à vis des risques de chablis. Cela n'a pas empêché à la tempête du 26 décembre 1999 de détruire, plus 50 % du peuplement.

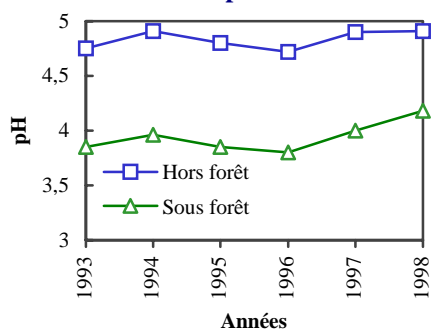
#### Pluviosité hors et sous couvert forestier de 1993 à 1998

### 4. Les retombées atmosphériques entre 1993 et 1998

La **pluviosité** moyenne de 1993 à 1998 est de 923 mm hors couvert forestier et de 587 mm sous couvert forestier. La différence entre ces pluviosités est dû au fait que les cimes des arbres jouent le rôle d'un filtre, en raison de leur surface réceptrice sur laquelle les faibles pluies restent et s'évaporent. L'interception moyenne des cimes de ce peuplement avoisine les 35 %. L'année 1996 a été la plus sèche de la période de collecte avec 713 mm hors couvert et 387 mm sous couvert.



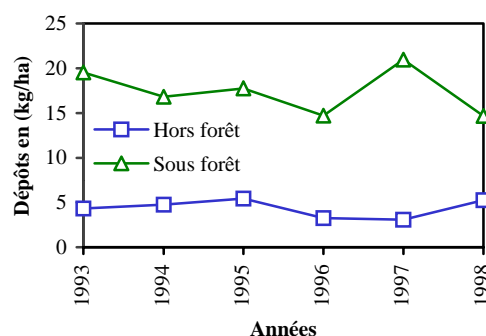
## Evolution du pH de 1993 à 1998



En absence de toute pollution, l'eau de pluie a un pH proche de 5,5. Le pH des précipitations hors couvert forestier (pH = 4,83) et celui des précipitations sous couvert forestier (pH = 3,94) sont les plus acides du réseau. Ces faibles pH proviennent des dépôts acidifiants de sulfate émis par les raffineries du Havre et de Rouen. Le pH des précipitations sous couvert forestier est plus acide que celui hors couvert forestier en raison du rôle de filtre joué par les houppiers. Les dépôts secs acidifiants se posent sur le feuillage puis intègrent l'eau qui traverse les cimes.

Parmi les cations basiques, le **calcium** est l'élément phare, car il domine dans la majorité des sols forestiers et joue un rôle essentiel dans leur capacité à résister à l'acidification. Son apport par les précipitations est donc un grand avantage. L'apport en calcium dans les précipitations hors forêt représente 4,4 kg/ha/an. Le rôle de filtre joué par les houppiers explique les teneurs plus élevées pour les dépôts sous forêt avec 17,4 kg/ha/an. Malgré des apports importants le stock de calcium dans le sol reste faible. Pour l'ensemble des autres éléments nous observons ce même rôle de filtre joué par les houppiers, avec des ampleurs différentes.

## Dépôts annuels en calcium de 1993 à 1998

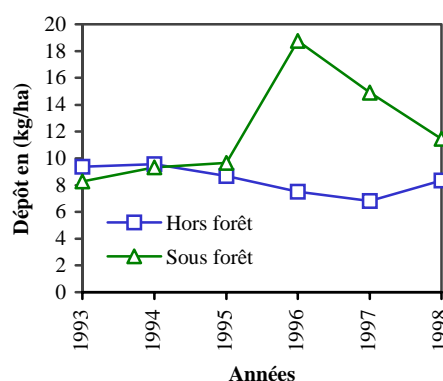


## Dépôts de 1993 à 1998

	Dépôts hors couvert	Dépôts sous couvert
Potassium (kg/ha/an)	1,7	27,3
Magnésium (kg/ha/an)	1,8	7,6
Chlorure (kg/ha/an)	24,8	90,8
Sodium (kg/ha/an)	14,7	49,8
Aluminium (g/ha/an)		907
Fer (g/ha/an)		108
Manganèse (g/ha/an)		2516

Pour le **potassium** et le **magnésium**, les dépôts hors forêt font partie de la moyenne du réseau, ceux sous forêt sont parmi les plus forts. Les **chlorures** et le **sodium** proviennent surtout de la mer. Cela explique les dépôts importants à Brotonne. Le chlorure d'origine marine associé généralement au sodium ou au potassium n'a pas d'effet acidifiant. Par contre s'il est émis seul (incinération de PVC par exemple) il se combine avec l'eau pour donner de l'acide chlorhydrique. L'**aluminium**, le **manganèse** et le **fer** sont exclusivement analysés dans les précipitations sous couvert forestier. Ce site possède les plus fortes teneurs d'aluminium et de manganèse du réseau et la deuxième plus élevée pour le fer après EPC 08 (Ardennes). Ces dépôts sont certainement liés à l'activité industrielle de la région.

Les dépôts en **azote** sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sont supérieurs à ceux sous forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Les dépôts des pluies hors forêt représentent 8,4 kg/ha/an et les dépôts sous forêt s'élèvent à 12,1 kg/ha/an. 60 % des dépôts azotés sous forêt sont apportés durant la période de végétation. Ces dépôts sont donc à disposition des végétaux et risquent moins d'être lessivés par le drainage. Entre 1995 (9,7 kg/ha) et 1996 (18,8 kg/ha) les dépôts sous forêt ont pratiquement doublé, alors que ceux hors forêt sont restés stables. Cette augmentation est survenue aussi bien chez le nitrate (source : automobile, industrie) que chez l'ammonium (source : agriculture) qui proviennent pourtant de sources différentes. Les valeurs définissant la gamme des dépôts azotés ne causant pas d'eutrophisation ou de déséquilibre nutritif sont de 2,8 et 14 kg/ha/an, en fonction de la richesse des sols. Les apports mesurés à Brotonne (12,1 kg/ha/an) sont compris dans cette gamme, il y a donc un risque d'eutrophisation<sup>2</sup>.

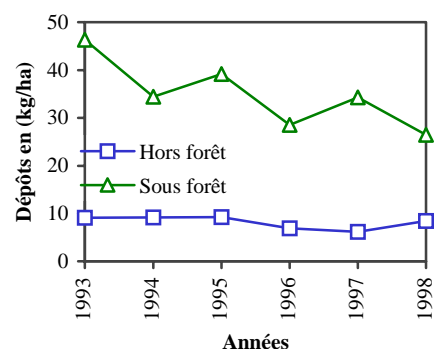
Dépôts annuels en azote total<sup>1</sup> de 1993 à 1998

<sup>1</sup> azote sous forme d'ammoniac + azote sous forme de nitrate

<sup>2</sup> Enrichissement des milieux en éléments nutritifs (phosphate, nitrate, etc) pouvant entraîner un dysfonctionnement de l'écosystème en cas d'excès

Les dépôts en **soufre** sous forme de sulfate proviennent essentiellement de sources industrielles, ils contribuent à l'acidification des milieux. Il existe deux seuils, qui correspondent aux limites haute et basse des charges critiques<sup>3</sup> pour le soufre en France, selon la sensibilité de l'écosystème (3,2 kg/ha/an et 16 kg/ha/an). Les dépôts hors forêt (8,2 kg/ha/an) sont compris entre ces valeurs seuils, ceux sous forêt les dépassent largement (34,9 kg/ha/an), ce sont les plus élevés du réseau. Dans cet écosystème des effets nocifs à long terme peuvent être attendus. Il faut noter la tendance à la baisse des apports soufrés sous forêt de 1993 à 1998, mais ils restent tout de même très élevés.

### Dépôts annuels en soufre de 1993 à 1998



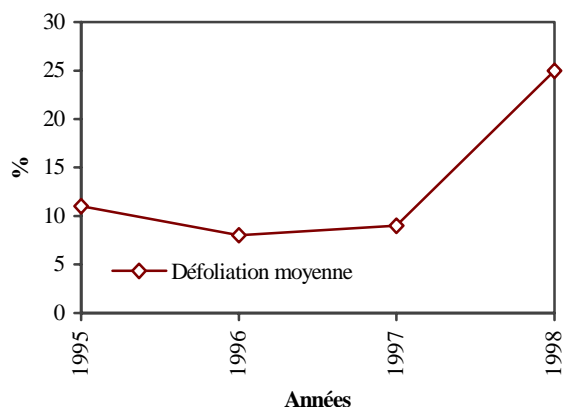
En 1996, une étude sur les concentrations de dix métaux lourds (**arsenic, cadmium, chrome, cuivre, fer, mercure, nickel, plomb, vanadium, zinc**) et d'un radio élément (le **césium 137**<sup>4</sup>) dans les mousses, a été réalisée. Aucune pollution aux métaux lourds n'a été observée sur ce site. Le césium 137 est un élément radioactif produit par l'industrie nucléaire. Il n'est pas présent à l'origine dans notre environnement, mais on le trouve dans les mousses de PS 76 (123 Bq/Kg ms).

## 5. Les concentrations en ozone

Durant la période de végétation 1999, nous avons mesuré lors d'une première campagne les concentrations d'**ozone** à l'aide de capteurs passifs, avec en moyenne  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (calculées à partir de 13 périodes d'échantillonnage de 15 jours). Aucun seuil sur 15 jours n'est disponible pour le moment. Mais il existe des seuils limites de toxicité pour la végétation selon le conseil européen, qui sont de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 1 heure et de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 24 heures.

## 6. L'état sanitaire, les chutes de litière et les teneurs foliaires en nutriments

### Perte foliaire



Les défoliations observées sur les 36 arbres « observations » étaient proches de 10 % de 1995 à 1997. En 1998, elles ont augmenté (25 %) en raison d'une attaque du Lophyre du pin (*Diprion pini*) dès l'automne 1997. Le Lophyre du pin est un insecte présentant deux générations par an en plaine. Les adultes émergent en avril - mai. Les femelles pondent dans les houppiers en incisant les aiguilles à l'aide de leur tarière pour déposer une vingtaine d'œufs par aiguille qu'elles recouvrent d'une substance brunâtre. L'éclosion des larves a lieu 3 à 4 semaines plus tard. Les larves qui restent groupées au début de leur développement consomment les aiguilles des années antérieures exclusivement. Elles se dispersent au bout d'un mois environ pour tisser leur cocon. Le vol des adultes qui engendreront la seconde génération en plaine a lieu vers la fin juillet. Le développement larvaire s'étale généralement de début septembre à mi-octobre (consommation de tous les types d'aiguilles, même celles de

l'années en cours) et se termine par le tissage d'un cocon qui passera l'hiver dans la litière. Aucune coloration anormale n'a été observée durant ces 4 années. Cela est dû à l'état nutritionnel des arbres qui est globalement satisfaisant. Les teneurs en calcium (2,5 mg/g entre 1993 et 1997) sont supérieures aux seuils optimaux, malgré les faibles stocks dans le sol. Les valeurs en azote (16,6 mg/g entre 1993 et 1997) et en soufre (1,3 mg/g entre 1993 et 1997, valeur la plus élevée des peuplements de pin sylvestre du réseau) sont proches du seuil indicatif optimal. Le magnésium (0,8 mg/g entre 1993 et 1997), le phosphore (1,6 mg/g entre 1993 et 1997, valeur la plus élevée des peuplements de pin sylvestre du réseau) et le potassium (7 mg/g entre 1993 et 1997) se situent entre les seuils d'alimentation critique et optimal.

Les retombées totales de litière varient de 3,3 t/ha à 3,5 t/ha. Près de 60 % de cette masse provient des aiguilles de pin (1,5 à 2,5 t/ha). Les faibles retombées foliaires de 1998 sont dues à l'attaque du Lophyre du pin. La masse restante est composée des branches de pin (0,6 à 1,1 t/ha), des cônes (0,4 à 0,9 t/ha) et des éléments des essences secondaires (6 à 136 kg/ha).

<sup>3</sup> Si ces charges sont dépassées, il y a un risque de déstabilisation des écosystèmes.

<sup>4</sup> = métal rare, dont l'un des isotopes (élément dont le noyau atomique diffère par le nombre de neutrons, mais ayant le même nombre de protons, d'électrons et possédant les mêmes propriétés chimiques), le césium 137 est produit par la fission nucléaire (division d'un noyau d'atome lourd en plusieurs fragments).

Bq = unité de mesure de la radioactivité, 1 Becquerel = 1 désintégration d'atome par seconde.

## Conclusion

Actuellement le peuplement ne semble pas souffrir (accroissement radial moyen pour la période 1951-1994 = 3,7 mm/an, absence de colorations anormales, alimentation foliaire correcte en nutriments) du fait d'être installé sur une station possédant des réserves limitées en eau et de faibles richesses chimiques dans le sol. La raison est que le pin sylvestre résiste à la sécheresse estivale et tolère la pauvreté minérale des sols. Des risques existent tout de même car des dépôts excessifs de soufre retombent au sol. Ces apports sont issus de sources industrielles (Le Havre, Rouen), ils contribuent à l'acidification du milieu. De plus, le pin sylvestre (pur) produit une litière à décomposition lente qui accentue l'acidification du sol. A cela s'ajoute les dépôts importants d'azote qui interviennent dans le processus d'eutrophisation des milieux et des teneurs élevées en aluminium, manganèse et fer dans les précipitations sous forêt. Il faut suivre attentivement l'évolution de la flore, des défoliations et des attaques entomologiques et pathologiques afin d'observer la réaction du milieu. Cet écosystème est donc soumis à une forte pollution. La question que l'on peut se poser est : combien de plantes et d'animaux (du sol) pourront supporter ces forts apports et comment va évoluer la diversité biologique de ce milieu ?

La tempête du 26 décembre 1999 a détruit le peuplement à plus de 50 %. Cela fera évoluer différemment le suivi de ce peuplement, par rapport aux actions initialement prévues.

La deuxième campagne d'analyse des sols prévue pour 2003-2005 est une étape importante pour juger de l'évolution des sols. De même, le nombre d'années de suivi dans les autres domaines (retombées atmosphériques, analyses foliaires, état sanitaire, ...) est encore trop faible pour évaluer une tendance réelle. Ceci prouve l'importance d'un suivi à long terme.

## Comment se situe la placette par rapport au reste du réseau ?

	Valeur minimum du réseau	Placette de Brotonne	Valeur maximum du réseau
Nb d'espèces végétales (peuplements de pin sylvestre)	18	30	74
Stocks de carbone organique dans le sol (0-40 cm)	7,8 t/ha	45,8 t/ha	188,9 t/ha
Stocks d'azote dans le sol (0-40 cm)	0,6 t/ha	1,5 t/ha	15,7 t/ha
Stocks de calcium dans le sol (0-40 cm)	18,1 kg/ha	52,2 kg/ha	21085,4 kg/ha
Pluviosité moyenne hors forêt (de 1993 à 1998)	720 mm	923 mm	2766 mm
Pluviosité moyenne sous forêt (de 1993 à 1998)	508 mm	587 mm	2450 mm
pH des précipitations totales hors forêt (de 1993 à 1998)	4,83	4,83	5,71
pH des précipitations sous forêt (de 1993 à 1998)	3,94	3,94	6,19
Apport en calcium dans les précipitations hors forêt (de 1993 à 1998)	2,6 kg/ha/an	4,4 kg/ha/an	15,1 kg/ha/an
Apport en calcium dans les précipitations sous forêt (de 1993 à 1998)	5,8 kg/ha/an	17,4 kg/ha/an	20,6 kg/ha/an
Apport en azote dans les précipitations hors forêt (de 1993 à 1998)	3,7 kg/ha/an	8,4 kg/ha/an	15,8 kg/ha/an
Apport en azote dans les précipitations sous forêt (de 1993 à 1998)	0,7 kg/ha/an	12,1 kg/ha/an	23,8 kg/ha/an
Apport en soufre dans les précipitations totales hors forêt (de 1993 à 1998)	3,7 kg/ha/an	8,2 kg/ha/an	15,9 kg/ha/an
Apport en soufre dans les précipitations sous forêt (de 1993 à 1998)	4,5 kg/ha/an	34,9 kg/ha/an	34,9 kg/ha/an
Concentration en ozone (en 1998)	52 µg/m <sup>3</sup>	59 µg/m <sup>3</sup>	92 µg/m <sup>3</sup>
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en azote (de 1993 à 1997)	11,7 mg/g	16,6 mg/g	20,3 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en potassium (de 1993 à 1997)	5,2 mg/g	7 mg/g	7,1 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en phosphore (de 1993 à 1997)	1,1 mg/g	1,6 mg/g	1,6 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en magnésium (de 1993 à 1997)	0,6 mg/g	0,8 mg/g	1,2 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en soufre (de 1993 à 1997)	0,7 mg/g	1,3 mg/g	1,3 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin sylvestre en calcium (de 1993 à 1997)	1,6 mg/g	2,5 mg/g	3,5 mg/g
(g ms = gramme de matière sèche) (Bq/Kg ms = becquerel par kilogramme de matière sèche)	<b>Valeur minimum en Europe</b>	<b>Placette de Brotonne</b>	<b>Valeur maximum en Europe</b>
Teneurs en arsenic dans les mousses (en 1996)	0,001 µg/g ms	0,15 µg/g ms	17,6 µg/g ms
Teneurs en cadmium dans les mousses (en 1996)	0,01 µg/g ms	0,2 µg/g ms	8,4 µg/g ms
Teneurs en chrome dans les mousses (en 1996)	0,04 µg/g ms	3 µg/g ms	438 µg/g ms
Teneurs en cuivre dans les mousses (en 1996)	0,4 µg/g ms	5,2 µg/g ms	650 µg/g ms
Teneurs en fer dans les mousses (en 1996)	18,2 µg/g ms	273 µg/g ms	18600 µg/g ms
Teneurs en mercure dans les mousses (en 1996)	0,001 µg/g ms	0,03 µg/g ms	1,33 µg/g ms
Teneurs en nickel dans les mousses (en 1996)	0,03 µg/g ms	4,27 µg/g ms	235 µg/g ms
Teneurs en plomb dans les mousses (en 1996)	0,22 µg/g ms	11,1 µg/g ms	443 µg/g ms
Teneurs en vanadium dans les mousses (en 1996)	0,14 µg/g ms	8,8 µg/g ms	54,2 µg/g ms
Teneurs en zinc dans les mousses (en 1996)	1 µg/g ms	24 µg/g ms	850 µg/g ms
Teneurs en césium dans les mousses (en 1996, en France)	0 Bq/Kg ms	123 Bq/Kg ms	726 Bq/Kg ms

**Mesures réalisées et périodicité**

Type de mesures	Périodicité	Réalisation	Nombre de données recueillies sur la placette de Brotonne
Analyses foliaires	Années impaires	STIR + INRA	595
Pédologie et Chimie des sols	10 ans	Pédologue + STIR + INRA	1 319
Santé des arbres	Annuel	DSF	923
Dendrométrie	5 ans	STIR	5 081
Inventaire floristique	10 ans	Botaniste	758
Mesure de l'ozone durant la saison de végétation	2 semaines	Responsable + Labo	12
Mesure des dépôts atmosphériques	Mensuel	Responsable + Labo	3980
Phénologie	Annuel	Responsable	10
Chutes de litières	4 fois par an	Responsable + STIR	260
Météorologie	Semi-horaire	Station météo	1 406 510

**Pour en savoir plus:**

- A. Brêthes, E. Ulrich (coordinateurs), 1997 : RENECOFOR - Caractéristiques pédologiques des 102 peuplements du réseau, observations de 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 112 - 3, 573 p.
- C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, F. Garnier, 1998 : RENECOFOR - Interprétation des mesures dendrométriques de 1991 à 1995 des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 151 - 4, 309 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, 1996 : RENECOFOR - Notice de présentation du Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 021 - 6, 38 p.
- E. Ulrich, M. Lanier, D. Combes, 1998 : RENECOFOR - Dépôts atmosphériques, concentrations dans les brouillards et dans les solutions du sol (sous-réseau CATAENAT) - Rapport scientifique sur les années 1993 à 1996. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 134 - 4, 135 p.
- F. Lebourgeois, 1997 : RENECOFOR - Etude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 075 - 5, 307 p.
- F. Poulin, E. Ulrich, M. Lanier, 1999 : RENECOFOR - Evolution des densités du gibier de 1980 à 1994. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-188-3, 319p.
- J.-F. Dobremez, S. Camaret, L. Bourjot, E. Ulrich, A. Brêthes, P. Coquillard, G. Dumé, J.-L. Dupouey, F. Forgeard, C. Gauberville, J. Gueugnot, J.-F. Picard, J.-M. Savoie, A. Schmitt, J. Timbal, J. Touffet, M. Trémolières, 1997 : RENECOFOR - Inventaire et interprétation de la composition floristique des 101 peuplements - campagne 1994/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 111 - 5, 513 p.
- L. Croisé, C. Cluzeau, E. Ulrich, M. Lanier, A. Gomez, 1999 : RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau de 1993 à 1997 et premières évolutions interdisciplinaires. Editeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, ISBN 2-84207-189 - 1, 413 p.
- L. Galsomies, D. Savanne, M.-A. Letrouit, S. Ayrault, B. Charre, 1999°: ADEME - Retombées atmosphériques de métaux en France : estimation par dosage dans des mousses , ISBN 2-86817-349-7, 187 p.
- Q. Ponette, Ulrich, E., Brêthes, A., Bonneau, M., Lanier, M., 1997 : RENECOFOR - Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau, campagne de mesures 1993/95. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 100 - X, 427 p.
- R. Ponce, E. Ulrich, F. Garnier, 1998 : RENECOFOR - Essai de synthèse sur l'histoire des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2 - 84207 - 133 - 6, 237 p.