

LA PLACETTE D'OBSERVATION RENECOFOR EN FORÊT DE NOTRE DAME DE MONTS (PM 85)

Période d'observation 1992-1998

1. Situation et sylviculture du peuplement

La placette PM 85 est installée dans un peuplement pur de pin maritime (*Pinus pinaster*). Cette futaie régulière, âgée de 69 ans (âge moyen à 1,3 m de l'étage principal en 2000), est issue d'un boisement de dunes (semis). Elle est située dans la zone atlantique, en forêt domaniale de Notre Dame de Monts, à 5 m d'altitude sur un terrain plat.

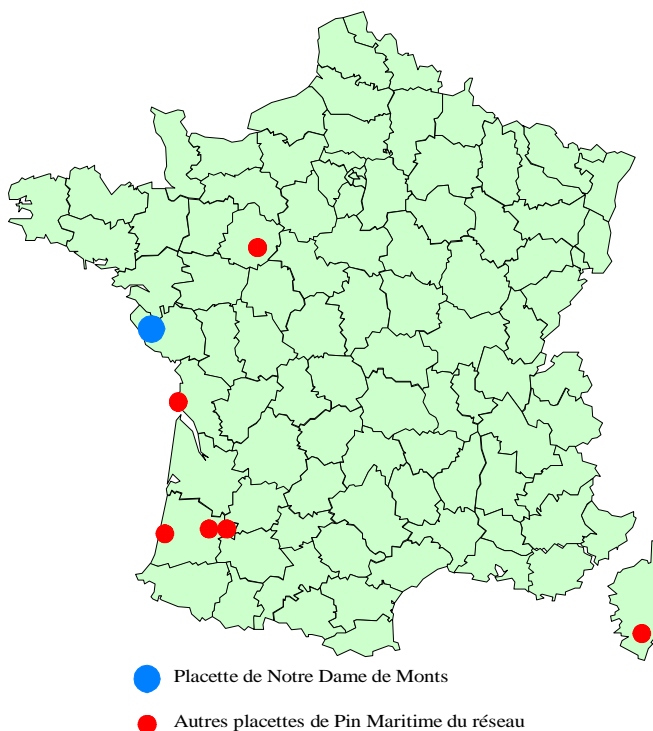
2. Histoire de la forêt et du peuplement

En 1741 un ouragan provoqua l'ensevelissement d'une partie du bourg de Notre Dame de Monts avec du sable. C'est en 1810 qu'un décret impérial ordonne l'ensemencement des dunes afin de les fixer, mais les propriétaires de l'époque (privés) ne pouvaient pas supporter une charge financière aussi forte. Ils cédèrent petit à petit leurs terrains à l'Etat, et c'est l'Administration des Ponts et Chaussées, qui entreprit les boisements sur le littoral Vendéen. Depuis son installation vers 1931, le peuplement a connu un dépressage (en 1954).

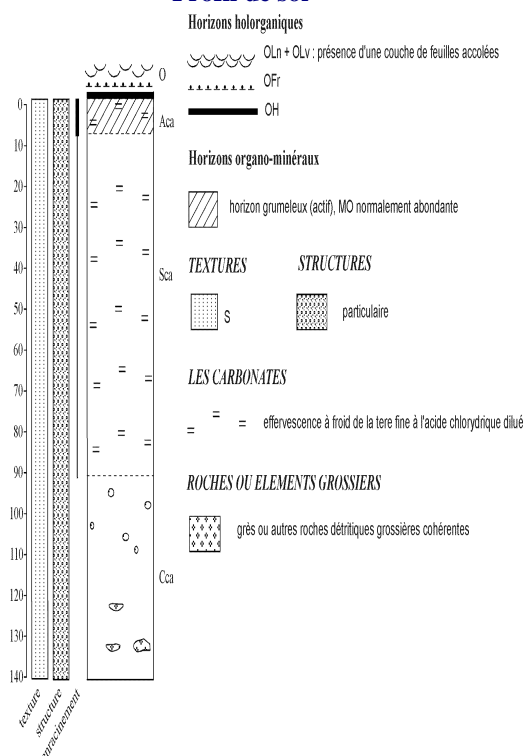
3. La station

Du point de vue phytosociologique le peuplement se rattache au *Rubio-Prunion spinosae*. L'inventaire floristique réalisé en 1994/95 recense 37 espèces. La diversité floristique totale de la placette est dans la moyenne des autres peuplements de pin maritime du réseau. Il faut attendre le prochain inventaire floristique, afin d'observer l'influence du gibier sur la flore (chevreuils : 2 animaux pour 100 ha en 1994, sangliers : 1 animal pour 100 ha en 1994, le lapin est aussi présent dans ce secteur).

Le substrat géologique se compose de sables dunaires carbonatés. Le sol se caractérise par la présence d'une texture sableuse à sables grossiers, accompagnée de coquilles. Nous sommes en présence d'un Arenosol calcaire (selon le Référentiel Pédologique). Le rapport carbone organique sur azote (C/N) est de 18 pour l'horizon 0-10 cm. Cela se traduit par une faible décomposition de l'humus (Amphimull carbonaté) et indique une relativement faible minéralisation de l'azote. En 1995, les stocks de carbone organique dans la couche minérale (0-40 cm) sont les troisièmes plus faibles du réseau (28,5 t/ha) après PM 17 (Charente Maritime) et PM 40a (Landes). Ceux en azote représentent 2 t/ha (parmi les plus faibles du réseau). Le calcium atteint 4838,5 kg/ha, il s'agit des plus forts stocks des peuplements de pin maritime du réseau. Les teneurs en bases échangeables sont satisfaisantes pour le calcium, et le magnésium, mais pas pour ce qui concerne le potassium. La capacité d'échange cationique (CEC) est faible, mais elle possède un taux de saturation de 100 %. La réserve utile maximale, qui indique les possibilités de stockage du sol en eau disponible pour les plantes, avoisine 70 mm pour une profondeur prospectée par les racines de 90 cm ; ce qui représente des potentialités faibles. En comparant cette réserve au déficit de pluviométrie de St Jean de Monts pendant la période de végétation (environ 235 mm hors couvert), nous découvrons qu'il existe dans l'année une ou plusieurs périodes de stress hydrique pour la végétation.

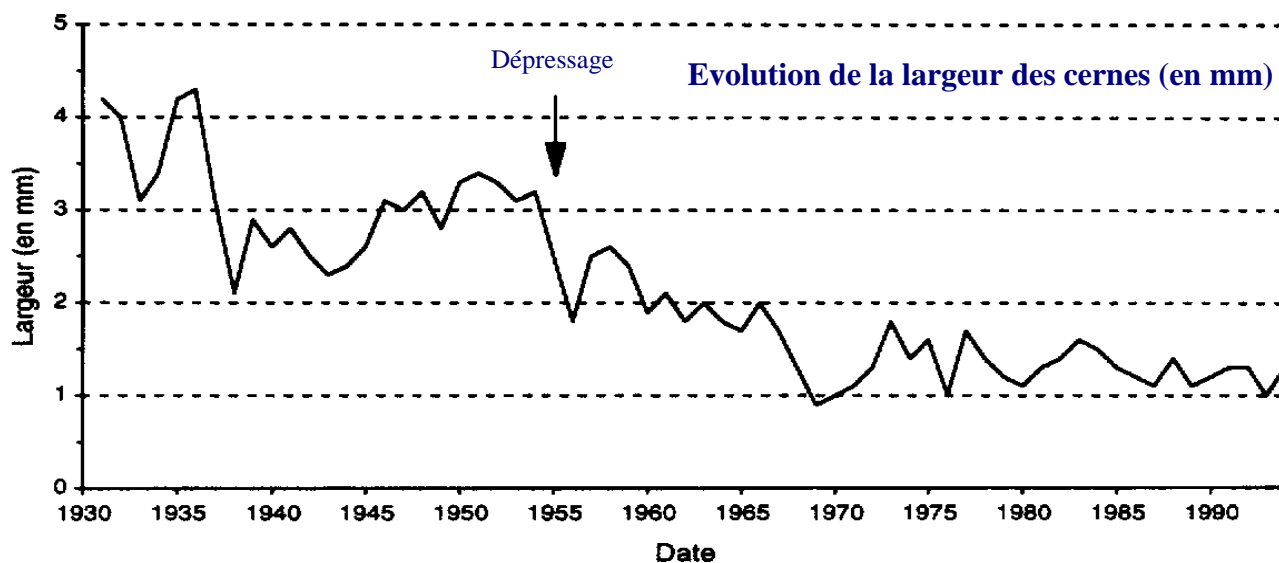


Profil de sol

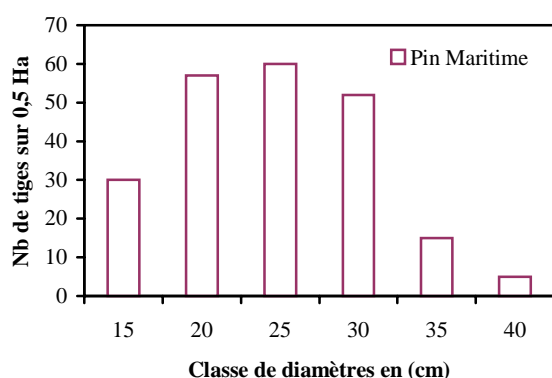


4. Le peuplement d'un point de vue sylvicole

Ce peuplement possède le plus faible accroissement radial moyen des peuplements de pin maritime du réseau (2,08 mm/an pour la période 1931-1994). On observe une diminution en trois phases de l'accroissement radial moyen. Les années 1938, 1956 et 1969 présentent de fortes chutes de croissance, suivies de périodes de stagnation. L'accroissement radial moyen pour la période 1880-1994 est de 1,27 mm/an et de 1,22 mm/an pour la période 1980-1994.



Distribution des diamètres par essence en 1995

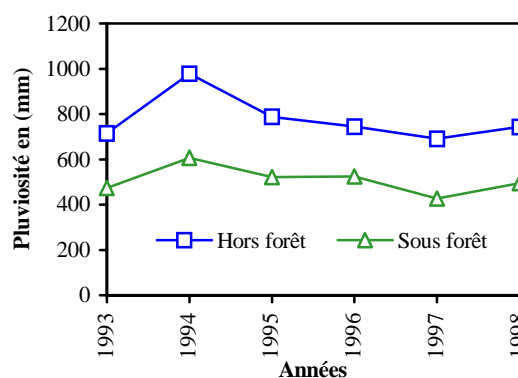


Dans sa globalité le peuplement possédait en 1995, 480 tiges/ha, la surface terrière était de 23 m²/ha, et le diamètre moyen de 24 cm. Pour les 36 arbres « observations » le diamètre moyen était de 29 cm en 1995, avec une hauteur moyenne de 12 m. Depuis le dépressage de 1954 aucune coupe n'a été signalée dans le peuplement, pourtant la densité (480 tiges/ha en 1995) et la surface terrière (23 m²/ha en 1995) ne sont pas élevées, le coefficient d'élanement est faible ($H/d = 41$ en 1995). Un coefficient d'élanement aussi faible indique la présence d'arbres à port trapu et une très bonne stabilité du peuplement vis à vis des risques de chablis. Les tempêtes du 25-26 et du 27-28 décembre 1999 n'ont pas fait de dégâts sur le peuplement. Tout comme la croissance en diamètre, la croissance en hauteur est très restreinte.

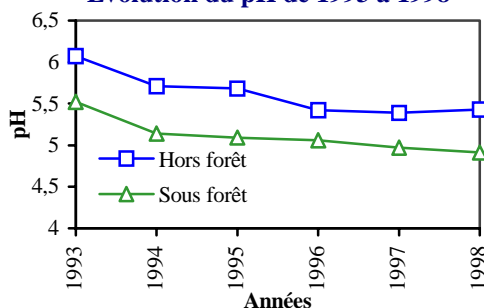
5. Les retombées atmosphériques entre 1993 et 1998

La **pluviosité** moyenne hors couvert forestier (776 mm entre 1993 et 1998) est la troisième plus faible du réseau après CPS 77 (Seine et Marne) et CHS 41 (Loir et Cher). La pluviosité moyenne sous couvert (508 mm entre 1993 et 1998) est la moins importante du réseau à égalité avec PS 67a (Alsace). 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 donc les 35 %.

Pluviosité hors et sous couvert forestier de 1993 à 1998



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 = 5,62) est supérieur à celui de l'eau en absence de pollution, il s'agit même du deuxième pH le plus « basique » du réseau après SP 05 (Hautes Alpes). Ce pH élevé est dû aux embruns carbonatés venant de l'Océan Atlantique. Le pH des précipitations sous couvert forestier est plus acide (pH = 5,11). L'eau s'enrichit au contact des houppiers d'ions de nature acide. Depuis le début des mesures on constate une tendance à la diminution progressive des pH hors (1993 : pH = 6,07, 1998 : pH = 5,43) et sous (1993 : pH = 5,52, 1998 pH = 4,91) couvert forestier.

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 11,7 kg/ha/an. Cette placette possède l'une des quatre plus fortes teneurs du réseau. Le rôle de filtre joué par les houppiers explique les apports plus élevés pour les dépôts sous forêt avec 15,4 kg/ha/an.

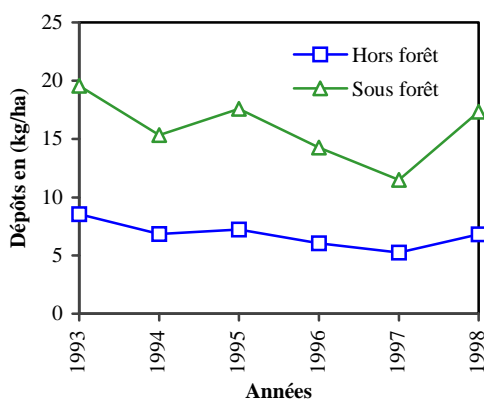
Dépôts de 1993 à 1998

	Dépôts hors couvert	Dépôts sous couvert
Potassium (kg/ha/an)	2,9	14
Magnésium (kg/ha/an)	6,6	17,7
Chlorure (kg/ha/an)	79,6	235,1
Sodium (kg/ha/an)	45,3	128,8
Aluminium (g/ha/an)		63
Fer (g/ha/an)		45
Manganèse (g/ha/an)		82

forte du réseau hors couvert après PL 20 (Corse) et la plus élevée sous couvert) proviennent surtout de la mer. Cela explique les dépôts très élevés à Notre Dame de Monts. L'**aluminium**, le **manganèse** et le **fer** sont exclusivement analysés dans les précipitations sous couvert forestier.

Les dépôts en **azote** sous forme d'ammonium (NH_4^+) sont supérieurs à ceux sous forme de nitrate (NO_3^-) sous forêt et presque en proportion égale hors forêt. Les dépôts hors forêt représentent 3,7 kg/ha/an et les dépôts sous forêt s'élèvent à 13,5 kg/ha/an. 50 % des dépôts 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, bien que nous observons régulièrement du nitrate dans les solutions de sol à 70 cm. Les valeurs définissant la gamme des dépôts azotés ne causant pas d'eutrophisation² ou de déséquilibre nutritif sont de 2,8 et 14 kg/ha/an, en fonction de la richesse des sols. Les apports mesurés à Notre Dame de Monts (13,5 kg/ha/an) sont proches de la limite de cette gamme; il y a donc un risque d'eutrophisation.

Dépôts annuels en soufre de 1993 à 1998



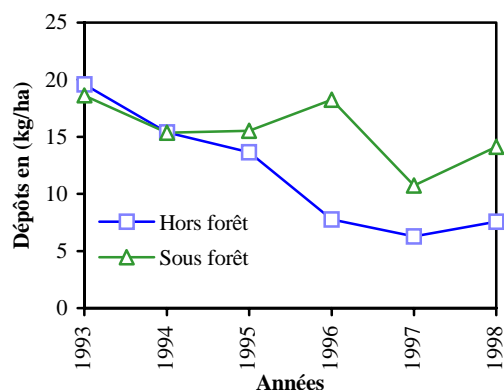
Les dépôts en **soufre** sous forme de sulfate proviennent essentiellement de sources industrielles, ils contribuent à l'acidification des milieux. Il existe deux seuils, qui correspondent aux limites haute et basse des charges critiques³ pour le soufre en France, selon la sensibilité de l'écosystème (3,2 kg/ha/an et 16 kg/ha/an). Les dépôts hors (6,8 kg/ha/an) sont compris entre ces valeurs seuils et ceux sous forêt (15,9 kg/ha/an) sont proches de la limite de cette gamme. Les forts dépôts soufrés sous forêt sont dus aux concentrations élevées dans l'eau qui a traversé les houppiers (3,2mg/l).

¹ azote sous forme d'ammoniac + azote sous forme de nitrate

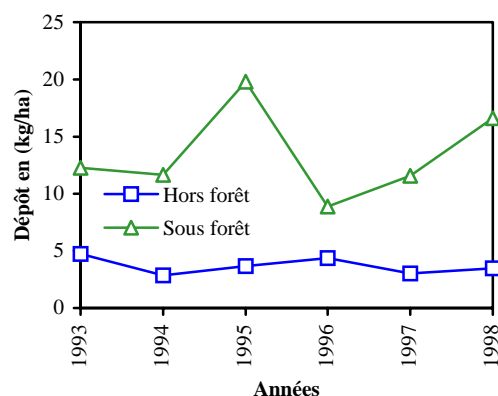
² Enrichissement des milieux en éléments nutritifs (phosphate, nitrate, etc) pouvant entraîner un dysfonctionnement de l'écosystème en cas d'excès

³ Si ces charges sont dépassées, il y a un risque de déstabilisation des écosystèmes

Dépôts annuels en calcium de 1993 à 1998

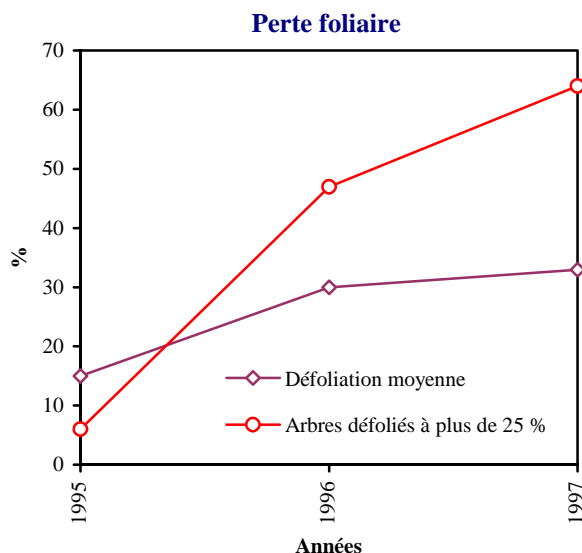


Pour le **potassium** et le **magnésium**, les dépôts hors forêt sont les deuxièmes plus forts du réseau après PL 20 (Corse). Ceux sous forêt sont enrichis lors du lessivage des houppiers (teneur en magnésium la plus forte du réseau). Les **chlorures** (teneur en chlorure la plus forte du réseau sous couvert, et la deuxième plus élevée hors couvert après PL 20 (Corse)) et le **sodium** (teneur en sodium la deuxième plus

Dépôts annuels en azote total¹ 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 **césium⁴ 137**) 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 ce site (59 Bq/Kg ms). La limite européenne pour la commercialisation des denrées alimentaires est fixée à 600 Bq/kg de matière fraîche.

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



Les défoliations observées sur les 36 arbres « observations » n'ont cessé d'augmenter depuis le début de la surveillance. En 1995, la défoliation moyenne représente 15 %, avec 6 % d'arbres défoliés à plus de 25 %. En 1996, la défoliation moyenne s'élève à 30 %, avec 47 % d'arbres défoliés à plus de 25 %. En 1997, la défoliation moyenne atteint 33 % avec 64 % d'arbres défoliés à plus de 25 %. Ces défoliations peuvent être liées au problème de carence en azote dans les feuilles (6,7 mg/g entre 1993 et 1997). Les teneurs en potassium (4,5 mg/g entre 1993 et 1997), en soufre (0,8 mg/g entre 1993 et 1997) et en phosphore (0,7 mg/g entre 1993 et 1997) sont entre les seuils indicatifs de carence et critique. Seul le calcium (2 mg/g entre 1993 et 1997) et le magnésium (1,6 mg/g entre 1993 et 1997) se situent aux alentours du seuil optimal. Pour tous ces éléments les teneurs restent constantes dans le temps. En 1996, la pyrale du tronc (*Dioryctria sylvestrella*) fait son apparition sur quelques arbres du peuplement. Cet insecte vole de mi-juin à fin juillet. Les femelles déposent leurs œufs isolément dans les fissures de

l'écorce. Après éclosion, la chenille s'introduit dans les zones internes du liber et fore une galerie dans laquelle elle s'alimente jusqu'à l'automne. Cette pénétration s'accompagne d'une abondante sécrétion de résine formant une praline en entonnoir. La chenille hiverne généralement dans la galerie. Son développement reprend au printemps jusqu'à la nymphose qui intervient en début d'été. Aucune coloration anormale n'a été observée durant ces 4 années. En 1998, la pyrale du tronc est accompagnée de la cochenille du pin maritime (*Matsucoccus feytaudi*) et de l'hylésine du pin (*Tomicus piniperda*). Chez la cochenille, l'éclosion des œufs, fin mars, donne des larves mobiles facilement dispersées par le vent. Elles vont se fixer dans les fissures de l'écorce et enfonce leurs pièces buccales piqueuses suceuses dans le liber pour se nourrir. Les adultes apparaîtront fin janvier. Pour l'hylésine du pin, l'essaimage des adultes a lieu en fin d'hiver. La ponte dure jusqu'au début de l'été. Les jeunes adultes émergent 65 à 100 jours après la ponte et gagnent alors les houppiers pour leur repas de maturation effectué dans les pousses de pin. Dans la plupart des cas la cochenille ne provoque pas la mortalité, mais l'affaiblissement des arbres. Ceci est propice à l'installation de la pyrale du tronc, puis à l'attaque d'hylésine du pin.

Les retombées totales de litière varient de 2,9 t/ha à 4,9 t/ha. Près de 70 % de cette masse provient des aiguilles de pin maritime (2,3 à 2,5 t/ha). La masse restante est composée des branches (0,3 à 1,4 t/ha), des cônes (190 à 730 kg/ha) et des éléments des essences secondaires (50 à 180 kg/ha). Les fortes retombées de branches en 1996 (1,4 t/ha) sont dues aux vents de février (une pointe à 115 Km/h), et de novembre (une pointe à 86 Km/h).

Conclusion

La station sur laquelle le peuplement est implanté n'est pas adaptée au pin maritime, car le sol est carbonaté. Cela se caractérise par une faible croissance en diamètre et en hauteur des arbres. A ceci s'ajoute la carence foliaire en azote et les faibles teneurs en potassium, soufre et phosphore. Des dépôts importants en calcium, potassium, magnésium, chlorure et sodium provenant des embruns marins retombent sur ce site, mais peu d'éléments sont retenus car la capacité d'échange cationique du sol est faible. Les déficits hydriques ont peu d'incidence sur les pins maritimes, car ils supportent la sécheresse estivale. Il faut suivre attentivement l'évolution de la flore, des défoliations et des attaques entomologiques et pathologiques afin d'observer la réaction du milieu. Presque chaque année l'azote est présent dans les solutions de sol à 70 cm, cela indique un lessivage de cet élément. Ce phénomène intervient dans le processus d'eutrophisation des milieux. Le soufre qui intervient dans les mécanismes d'acidification des sols, est présent dans les pluies. Il perturbe le fonctionnement des sols d'un point de vue chimique et biologique. En raison de la baisse des émissions industrielles, les dépôts soufrés devraient dans l'avenir diminuer.

⁴ = 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

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 Notre dame de Monts	Valeur maximum du réseau
Nb d'espèces végétales (peuplements de pin maritime)	23	37	51
Stocks de carbone organique dans le sol (0-40 cm)	7,8 t/ha	28,5 t/ha	188,9 t/ha
Stocks d'azote dans le sol (0-40 cm)	0,6 t/ha	2 t/ha	15,7 t/ha
Stocks de calcium dans le sol (0-40 cm)	18,1 kg/ha	4838,5 kg/ha	21085,4 kg/ha
Pluviosité moyenne hors forêt (de 1993 à 1998)	720 mm	776 mm	2766 mm
Pluviosité moyenne sous forêt (de 1993 à 1998)	508 mm	508 mm	2450 mm
pH des précipitations hors forêt (de 1993 à 1998)	4,83	5,62	5,71
pH des précipitations sous forêt (de 1993 à 1998)	3,94	5,11	6,19
Apport en calcium dans les précipitations hors forêt (de 1993 à 1998)	2,6 kg/ha/an	11,7 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	15,4 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	3,7 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	13,5 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	6,8 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	15,9 kg/ha/an	34,9 kg/ha/an
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en azote (de 1993 à 1997)	6,7 mg/g	6,7 mg/g	11,5 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en potassium (de 1993 à 1997)	3,8 mg/g	4,5 mg/g	6,1 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en phosphore (de 1993 à 1997)	0,6 mg/g	0,7 mg/g	1 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en magnésium (de 1993 à 1997)	1,2 mg/g	1,6 mg/g	1,7 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en soufre (de 1993 à 1997)	0,8 mg/g	0,8 mg/g	1 mg/g
Teneurs foliaires des peuplements de pin maritime en calcium (de 1993 à 1997)	2 mg/g	2 mg/g	2,7 mg/g
(g ms = gramme de matière sèche) (Bq/Kg ms = becquerel par Kilogramme de matière sèche)	Valeur minimum en Europe	Placette de Notre Dame de Monts	Valeur maximum en Europe
Teneurs en arsenic dans les mousses (en 1996)	0,001 µg/g ms	0,4 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	4,2 µg/g ms	438 µg/g ms
Teneurs en cuivre dans les mousses (en 1996)	0,4 µg/g ms	4,1 µg/g ms	650 µg/g ms
Teneurs en fer dans les mousses (en 1996)	18,2 µg/g ms	510 µg/g ms	18600 µg/g ms
Teneurs en mercure dans les mousses (en 1996)	0,001 µg/g ms	0,04 µg/g ms	1,33 µg/g ms
Teneurs en nickel dans les mousses (en 1996)	0,03 µg/g ms	1,3 µg/g ms	235 µg/g ms
Teneurs en plomb dans les mousses (en 1996)	0,22 µg/g ms	5,75 µg/g ms	443 µg/g ms
Teneurs en vanadium dans les mousses (en 1996)	0,14 µg/g ms	2,4 µg/g ms	54,2 µg/g ms
Teneurs en zinc dans les mousses (en 1996)	1 µg/g ms	34 µg/g ms	850 µg/g ms
Teneurs en césium dans les mousses (en 1996, en France)	0 Bq/Kg ms	59 Bq/Kg ms	726 Bq/Kg ms

Mesures réalisées et périodicité

Type de mesures	Périodicité	Réalisation	Nombre de données recueillies sur la placette de Notre Dame de Monts
Analyses foliaires	Années impaires	STIR + INRA	1 224
Pédologie et Chimie des sols	10 ans	Pédologue + STIR + INRA	1 005
Santé des arbres	Annuel	DSF	794
Dendrométrie	5 ans	STIR	6 320
Inventaire floristique	10 ans	Botaniste	966
Mesure des dépôts atmosphériques et solution de sol	Mensuel	Responsable + Labo	5 956
Phénologie	Annuel	Responsable	10
Récolte des chutes de litières	4 fois par an	Responsable + STIR	257
Evolution de la grande faune	Annuel	Responsable	295
Météorologie	Semi-horaire	Station météo	1 371 300

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.