

LA PLACETTE D'OBSERVATION RENECOFOR EN FORÊT DE CALLONG-MIRAILLES (SP 11)

Période d'observation 1992-2001

1. Situation de la placette

La placette SP 11 est située dans l'Aude, en forêt domaniale de Callong-Mirailles, commune de Belvis, à mi-versant d'un terrain en pente (40 %) exposé au nord. Cette zone de montagne (950 m d'altitude) appartient à la région IFN¹ du pays de Sault.

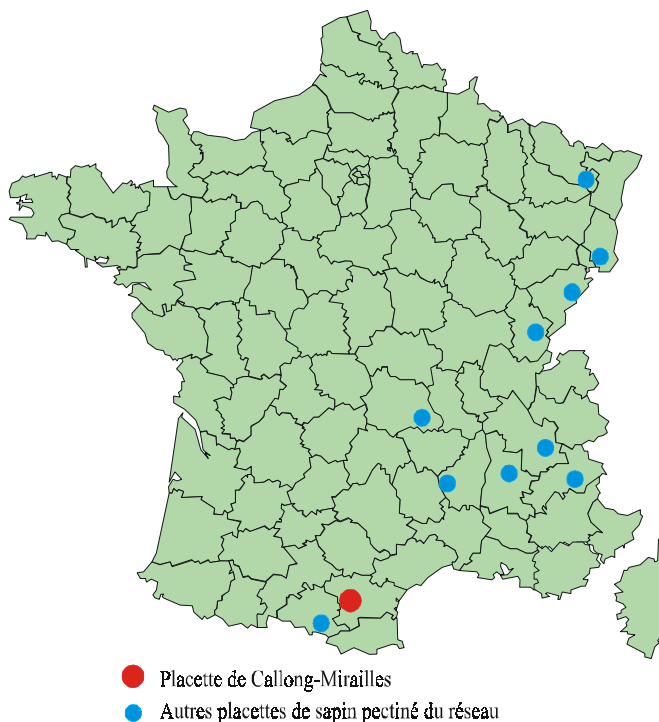
2. Description du peuplement

Le peuplement est composé essentiellement de sapin pectiné (*Abies alba*) mélangé à des feuillus: alisier blanc (*Sorbus aria*), sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*), tilleul à grandes feuilles (*Tilia platyphyllos*), orme de montagne (*Ulmus glabra*) et hêtre (*Fagus sylvatica*). Cette futaie régulière âgée de 88 ans (âge moyen à 1,3 m du sol, en 2002), est issue d'une régénération naturelle.

3. La station

Du point de vue phytosociologique le peuplement se rattache au *Fagion sylvaticae*. L'inventaire floristique réalisé en 1994/95 recense 80 espèces, dont 6 dans la strate arborée et 14 dans la strate muscinale. La diversité floristique totale de la placette est parmi les plus riches du réseau. Il faut noter la présence dans la strate herbacée de la néottie nid-d'oiseau (*Nettia nidus-avis*) qui ne possède pas de chlorophylle. Elle tire ses nutriments de la matière organique en décomposition.

Le substrat géologique se compose d'argile de décarbonatation sur marne dure. Le sol se caractérise par une texture² limono-argilo-sableuse jusqu'à 80 cm pour le profil n°1 et jusqu'à 40 cm pour le profil n°2, puis on trouve une couche argileuse. Ces éléments fins sont accompagnés de graviers et de pierres de calcaire. Des traces d'hydromorphie et des taches de réoxydation du fer sont présentes sur l'ensemble du profil. Nous sommes donc en présence d'un sol brun calcique hydromorphe (selon Duchaufour). Le rapport carbone organique sur azote (C/N), est de 15 pour l'horizon 0-10 cm. Cela se traduit par une bonne décomposition de l'humus (mésomull pour le profil n°1 et oligomull pour le profil n°2) et indique une minéralisation rapide de l'azote. En 1995, les stocks en carbone organique dans la couche minérale (0-40 cm) sont de 102,6 t/ha, ceux en azote de 8,5 t/ha, et ceux en calcium de 17,9 t/ha. Les stocks en calcium sont les plus élevés des peuplements de sapin pectiné du réseau. Les teneurs en bases échangeables³ sont élevées pour le calcium et le magnésium. Mais elles sont moyennes pour le potassium. Cela est dû à une capacité d'échange cationique⁴ (CEC) très importante, et un taux de saturation⁵ élevé ($\approx 100\%$). Ce sol possède donc des potentialités élevées.



Profil de sol

Horizons holorganiques

OLn + OLv : présence d'une couche de feuilles accolées
OFr

Horizons organo-minéraux

horizon grumeleux (actif), humifère, couleur noire (sauf anmoor)

TEXTURES

LAS, LSA

A, AS, AL

STRUCTURES

grumeleuse ou grenue

polyédrique subanguleuse

massive ou continue

LE FER

taches blanchies

taches ocre ou rouilles

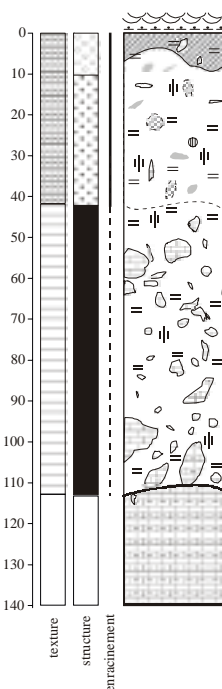
concrétions ferromanganiques ou revêtements ferromanganiques

= effervescence à froid de la terre fine à l'acide chlorhydrique dilué

ROCHES OU ELEMENTS GROSSIERS

roches carbonatées

calcaires marneux



¹ = division territoriale, si possible traditionnellement reconnue, où règnent des conditions similaires d'un point de vue forestier.

² = classement des particules de sol en fonction de leur taille.

³ = quantité de cations basiques échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) contenus dans le sol.

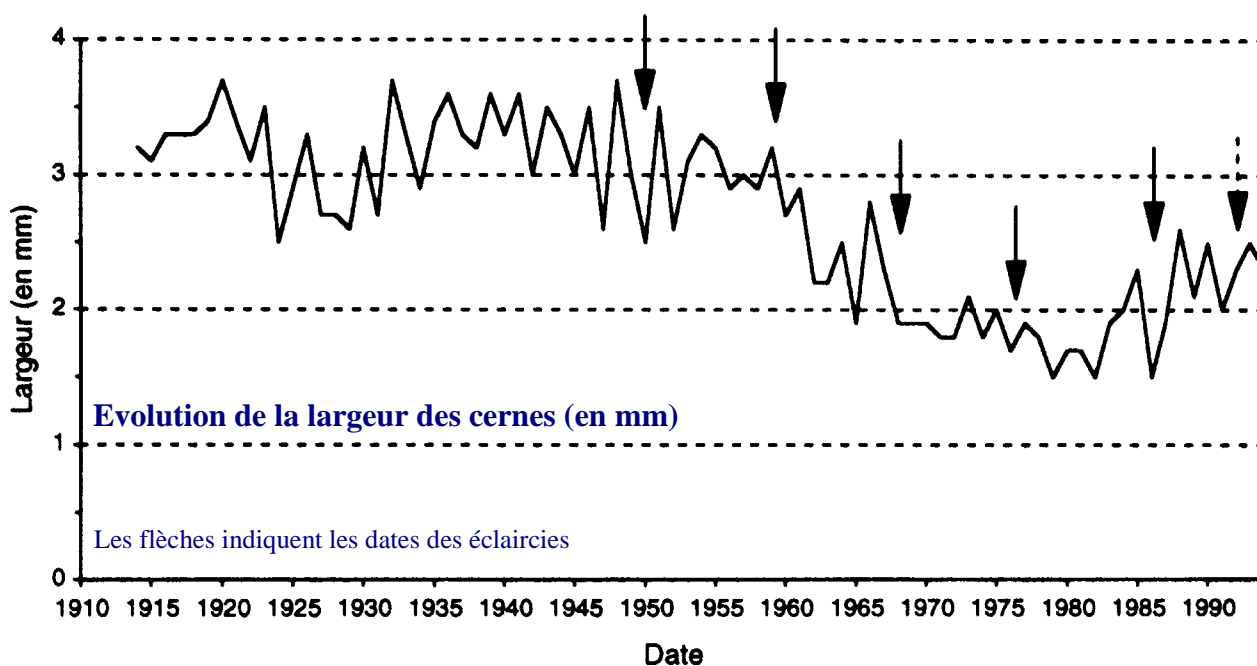
⁴ = capacité du sol à retenir des cations (Ca, Mg, K, H, AL, Mn).

⁵ = rapport entre la somme des bases échangeables (Ca, Mg, K) et la capacité d'échange cationique (en %).

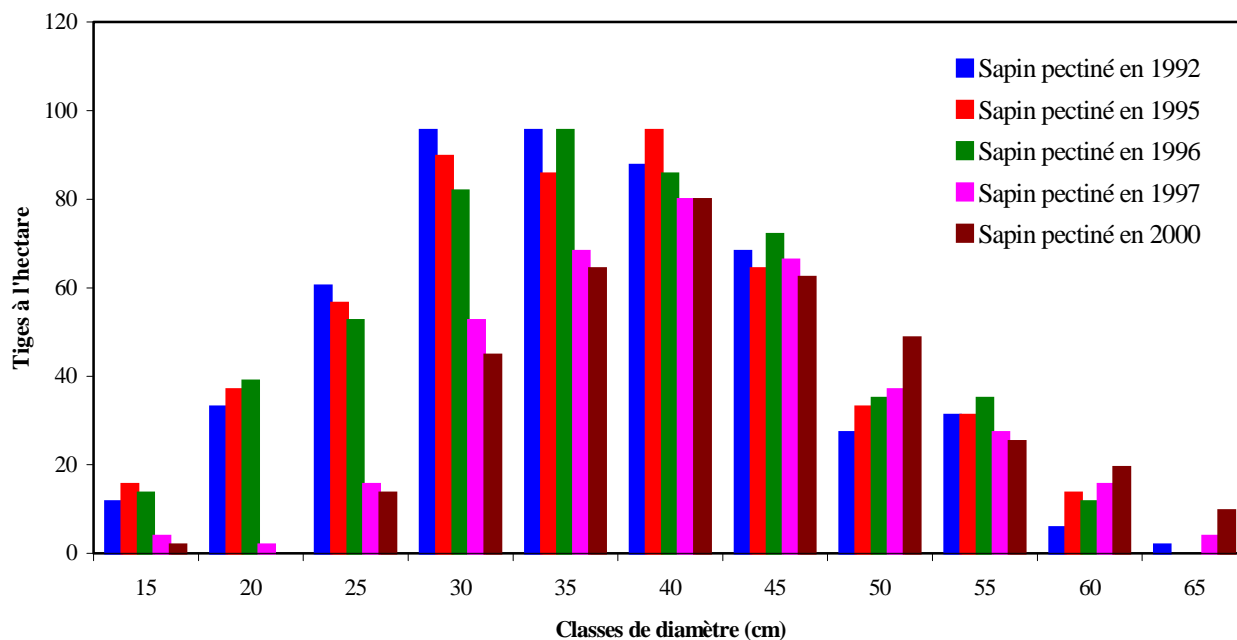
La réserve utile maximale, qui indique les possibilités de stockage du sol en eau disponible pour les plantes, est d'environ 120 mm pour une profondeur prospectée par les racines de 80 à 110 cm, ce qui représente des potentialités moyennes. Il faudrait comparer cette réserve au déficit de pluviométrie local pendant la période de végétation afin d'observer ou non l'existence dans l'année d'une ou plusieurs périodes de stress hydrique pour la végétation.

4. Le peuplement d'un point de vue sylvicole

Depuis son origine, le peuplement présente un accroissement radial moyen de 2,7 mm/an. On constate que l'évolution de l'accroissement en diamètre du peuplement se décompose en trois phases. Entre 1914 et 1959 le peuplement possédait un accroissement en diamètre correct (2,5 à 3,7 mm/an). Ensuite, de 1959 à 1982 l'accroissement en diamètre diminue jusqu'à 1,6 mm/an. Puis de 1982 à 1994 la largeur des cernes augmente. Sans exclure le rôle d'autres facteurs, il semble que les éclaircies de 1976 et de 1986 ont contribué à ce regain de croissance.



Distribution des diamètres par essence en 1992, 1995, 1996, 1997 et en 2000



En 1992, le peuplement possédait dans sa globalité 530 tiges/ha dont 520 tiges/ha de sapin pectiné et 10 tiges/ha de feuillus divers. Vu le faible nombre de tiges de feuillus divers, ils n'apparaissent pas sur le graphique précédent. La surface terrière totale était de 58 m²/ha, celle du sapin pectiné s'élevait à 57 m²/ha (≈ 98 % de la surface terrière totale), le diamètre moyen (de l'ensemble du peuplement et du sapin pectiné) était de 37 cm (calculé à partir de la surface terrière).

En 1995, le peuplement possédait dans sa globalité 540 tiges/ha dont 520 tiges/ha de sapin pectiné et 20 tiges/ha de feuillus divers. La surface terrière totale était de 60 m²/ha, celle du sapin pectiné s'élevait à 59 m²/ha (≈ 98 % de la surface terrière totale), le diamètre moyen (de l'ensemble du peuplement et du sapin pectiné) était de 38 cm.

En 1996, les données dendrométriques avant éclaircie sont identiques à celles de 1995. Seule la répartition par classes de diamètre est différente, en raison de la croissance annuelle.

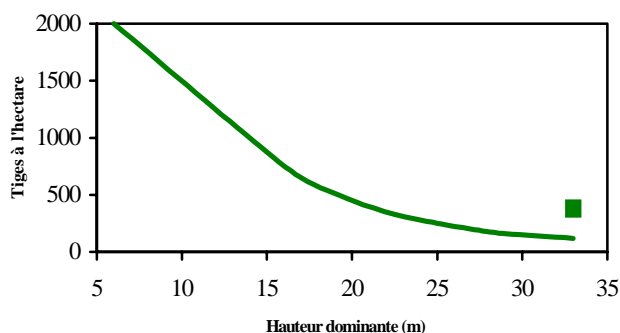
Après l'exploitation de 1997, la densité totale passe à 380 tiges/ha (prélèvement de 160 tiges/ha soit ≈ 30 %) et celle du sapin pectiné à 370 tiges/ha (prélèvement de 150 tiges/ha soit ≈ 29 %). La surface terrière totale est réduite à 52 m²/ha (prélèvement de 8 m²/ha soit ≈ 13 %). Le diamètre moyen (de l'ensemble du peuplement et du sapin pectiné) augmente à 42 cm. Ceci s'explique par le fait que cette coupe a surtout concerné les petits et moyens diamètres (15 à 35 cm).

En 2000, nous pouvons noter que le nombre de tiges total (380 tiges/ha) et de sapin pectiné (370 tiges/ha) reste identique à celui après l'éclaircie de 1997. Cela s'accompagne d'une augmentation du diamètre moyen (43 cm pour l'ensemble du peuplement et pour le sapin pectiné) et de la surface terrière (55 m²/ha pour l'ensemble du peuplement et pour le sapin pectiné).

L'accroissement global pour la période 1992-1996 est de 0,7 m²/ha/an pour la surface terrière et de 0,2 cm/an pour le diamètre. Celui pour la période 1997-2000 est de 1 m²/ha/an pour la surface terrière et de 0,5 cm/an pour le diamètre.

En 2000, l'arbre moyen⁶ de l'étage dominant possède un diamètre (Dg) de 43 cm et une hauteur (Hg) de 31 m. Nous obtenons un coefficient d'élancement (Hg/Dg) de 72 qui indique une bonne stabilité vis à vis des risques de chablis.

Comparaison avec le guide sylvicole

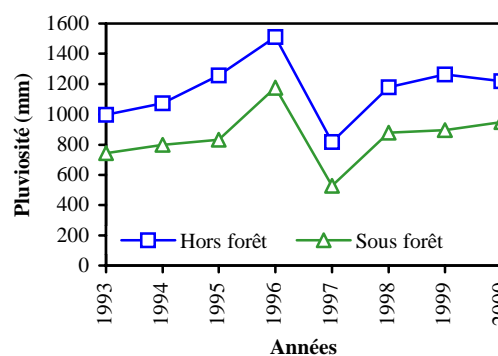


En comparant le peuplement (33 m Ho⁷ et 380 tiges/ha) à la norme « fertile » pour le sapin pectiné du Bulletin technique n°31, nous observons que la densité est très supérieure à la norme.

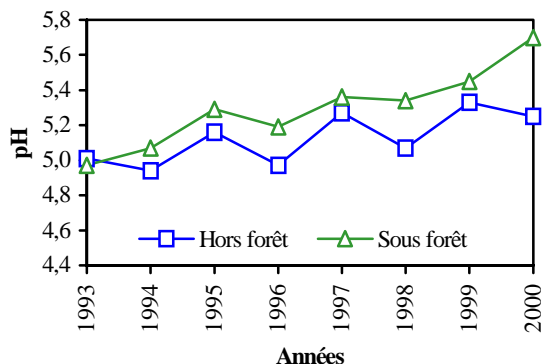
5. Les retombées atmosphériques entre 1993 et 2000

La **pluviosité** moyenne hors couvert forestier représente 1165 mm, celle sous couvert 851 mm. 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 houppiers de ce peuplement avoisine donc les 25 %. Le maximum de pluviosité hors couvert forestier est atteint en 1996 avec 1510 mm et 1180 mm sous forêt. En 1997, la pluviosité est la plus faible de la période avec 820 mm hors couvert forestier et 530 mm sous forêt. Malgré ces fortes différences, l'influence reste vraisemblablement assez limitée pour la végétation, car en terme d'année hydrologique, en fonction des besoins de la végétation (d'octobre à octobre), nous observons que la pluviosité reste toujours supérieure à 1000 mm hors couvert.

Pluviosité hors et sous couvert forestier de 1993 à 2000



Evolution du pH de 1993 à 2000



En absence de toute pollution, l'eau de pluie a un **pH** proche de 5,5. Le pH moyen entre 1993 et 2000 des précipitations totales⁸ hors couvert forestier est acide (pH = 5,1), celui des précipitations sous couvert forestier l'est moins (pH = 5,3). Sur la période 1993 - 2000, l'acidité hors et sous forêt est en diminution. En 1999 et en 2000, le pH sous forêt atteint et dépasse, celui en absence de toute pollution (5,5).

⁶ = arbre qui possède la surface terrière moyenne.

⁷ = hauteur moyenne des 100 plus gros arbres sur un hectare.

⁸ = précipitations proprement dites et dépôts secs (poussières, etc).

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 compenser l'acidification. Les apports par les précipitations sont donc importants à considérer, en particulier pour les sites sensibles à l'acidification. Les dépôts de calcium dans les précipitations hors forêt représentent 6,8 kg/ha/an. Le rôle de filtre joué par les houppiers explique les teneurs plus élevées pour les dépôts sous forêt avec 14,8 kg/ha/an. Les forts dépôts de 1993 sont dus aux concentrations plus élevées qu'à l'habitude dans les précipitations hors (1,1 mg/l) et sous couvert forestier (2,5 mg/l). Par contre ceux sous couvert forestier de 1996 sont dus à la forte pluviosité, car les concentrations sont plus faibles (1,6 mg/l).

Moyenne des dépôts de 1993 à 2000

	Dépôts hors couvert	Dépôts sous couvert
Potassium (kg/ha/an)	0,9	31,5
Magnésium (kg/ha/an)	0,8	2,8
Chlorure (kg/ha/an)	8,4	25,3
Sodium (kg/ha/an)	4,4	12,8
Aluminium (g/ha/an)	-	232
Fer (g/ha/an)	-	111
Manganèse (g/ha/an)	-	232

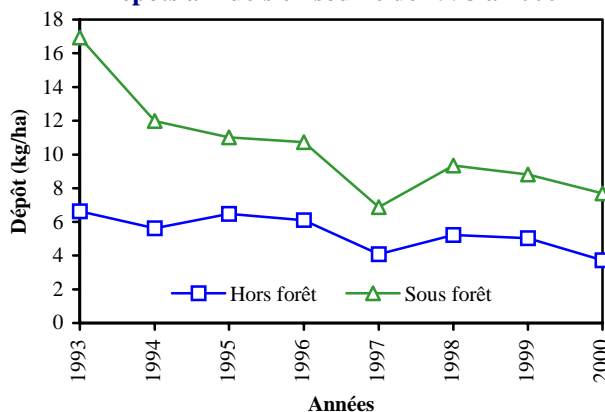
Les dépôts sous forêt de **potassium** et de **magnésium**, sont supérieurs à ceux hors forêt. Cet enrichissement est essentiellement dû au lessivage naturel du feuillage. Ce processus fait partie du cycle nutritif interne des arbres. Cet enrichissement est particulièrement marqué pour le potassium, car les dépôts hors forêt sont parmi les plus faibles du réseau et ceux sous forêt sont parmi les plus forts.

Les **chlorures** et le **sodium** proviennent surtout des apports marins. 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** (parmi les plus élevés du réseau après EPC 08 dans les Ardennes) sont exclusivement analysés dans les précipitations sous couvert forestier.

Les dépôts en **azote** sous forme d'ammonium (NH_4^+) (essentiellement produit par l'élevage) sont supérieurs à ceux sous forme de nitrate (NO_3^-) (essentiellement produit par les émissions automobiles) hors forêt ($\text{NH}_4^+ = 3,5$ kg/ha/an, $\text{NO}_3^- = 2,7$ kg/ha/an), mais ils sont inférieurs sous forêt ($\text{NH}_4^+ = 2,4$ kg/ha/an, $\text{NO}_3^- = 4,1$ kg/ha/an). Les dépôts d'azote minéral total⁹ hors forêt représentent 6,2 kg/ha/an. Les dépôts sous forêt s'élèvent à 6,5 kg/ha/an, ces valeurs sont des minimums car il faut ajouter l'ammonium absorbé par le feuillage. Ce phénomène d'absorption peut expliquer en partie les dépôts plus élevés hors forêt que sous forêt pour l'ammonium. Les dépôts sous forêt sont apportés pour 70 % durant la période de végétation. Ces dépôts sont donc disponibles pour les végétaux et risquent moins d'être lessivés par le drainage. D'ailleurs nous n'observons que très rarement et à de très faibles concentrations, les nitrates et l'ammonium dans les solutions de sol à 20 et 70 cm. Les valeurs définissant les limites des dépôts azotés, au-dessus desquelles il existe des risques d'eutrophisation¹⁰ ou de déséquilibre nutritif vont de 2,8 à 14 kg/ha/an, en fonction de la richesse des sols. Les apports mesurés en forêt de Callong-Mirailles (6,5 kg/ha/an) sont compris dans cette gamme, il y a donc un risque d'eutrophisation.

Dépôts annuels en soufre de 1993 à 2000



Les dépôts de **soufre** sous forme de sulfate proviennent essentiellement de sources industrielles et contribuent à l'acidification des milieux. Il existe deux seuils, qui correspondent aux limites haute et basse des charges critiques¹¹ pour le soufre en France, selon la sensibilité de l'écosystème (3,2 kg/ha/an et 16 kg/ha/an). Les dépôts hors (5,4 kg/ha/an) et sous forêt (10,4 kg/ha/an) sont compris entre ces valeurs seuils. Il y a donc un risque d'acidification. Nous observons une diminution importante et régulière des dépôts et des concentrations de soufre de 1993 (16,9 kg/ha/an et 2,3 mg/l) à 2000 (7,7 kg/ha/an et 0,8 mg/l).

⁹ azote sous forme d'ammoniac + azote sous forme de nitrate.

¹⁰ enrichissement des milieux en éléments nutritifs (phosphate, nitrate, etc) pouvant entraîner un dysfonctionnement de l'écosystème en cas d'excès.

¹¹ si ces charges sont dépassées, il y a un risque de dysfonctionnement dans

En 1996, une étude a été réalisée sur les concentrations de dix métaux lourds (**arsenic, cadmium, chrome, cuivre, fer, mercure, nickel, plomb, vanadium, zinc**) et d'un radio élément (le **césium¹³⁷**) dans les mousses. 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 naturellement dans notre environnement, mais il est détecté dans les mousses de ce site (58 Bq/kg ms). La limite européenne pour la commercialisation des denrées alimentaires est fixée à 600 Bq/kg de matière fraîche.

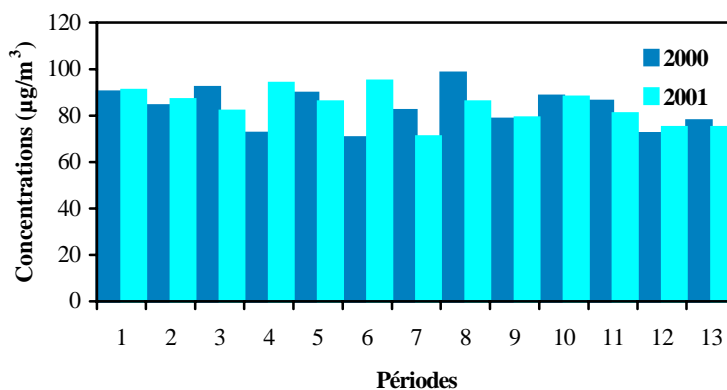
6. Les concentrations en ozone

Au sujet de l'**ozone**, il faut bien différencier celui contenu dans la stratosphère (entre 12 et 50 km d'altitude) et celui présent dans la troposphère (entre le sol et 12 km). La limite entre ces deux couches s'appelle la tropopause. Il y circule des vents violents qui limitent très fortement les échanges entre couches. L'ozone stratosphérique protège la vie sur la terre en filtrant une partie des rayons ultraviolets. L'ozone de la troposphère devrait être naturellement faible. Mais il s'en forme dans l'air chargé en polluants dit « primaires » tels que les oxydes d'azote qui sont produits par la combustion des carburants fossiles (automobiles, chauffage, etc) et les composés organiques volatils provenant des émissions naturelles et humaines (automobiles, raffineries, combustion des déchets, etc). Ces réactions sont actionnées par le rayonnement solaire. L'ozone a un effet néfaste sur la végétation car il peut causer des nécroses foliaires et entraîner des diminutions de croissance, même sans symptômes visibles.

Les concentrations d'ozone mesurées durant la période de végétation (mi-avril à mi-octobre) à l'aide de capteurs passifs, représentent en moyenne 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2000 et 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2001 (calculé 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 qui, selon le conseil européen, 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. Les moyennes sur 15 jours sont supérieures aux limites de toxicité pour la végétation pour 24 heures, il y a donc des risques. En 2000, aucun symptôme d'ozone n'a été repéré lors des observations des aiguilles de sapin pectiné.

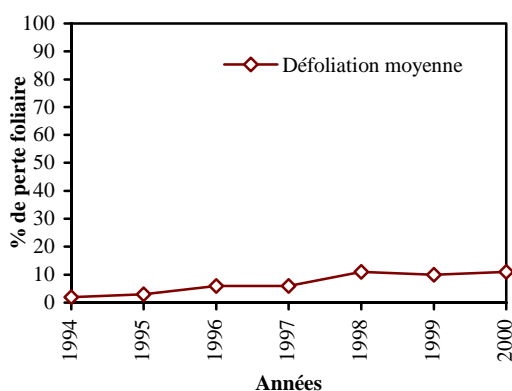
Concentration d'ozone dans l'air durant la période de végétation



7. L'état sanitaire, la phénologie¹³, les chutes de litière et les teneurs foliaires en nutriments

Les défoliations observées sur les 36 arbres « observations » de 1994 à 2000 restent faibles ($\approx 10\%$) et les attaques de champignons et d'insectes inexistantes. Par contre, quelques colorations anormales ont été observées sur cette même période.

Perte foliaire



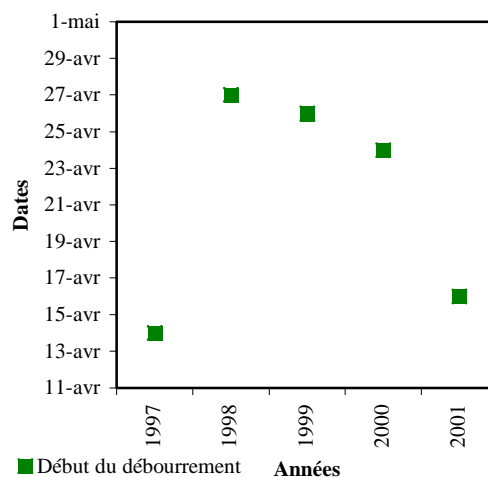
De 1997 à 2001, le débourrement des sapins pectinés se déroule durant la deuxième quinzaine d'avril. En 1997 et en 2001 l'ouverture des bourgeons est plus précoce d'une dizaine de jours en raison de l'absence des gelées printanières de mars et du début avril.

¹² 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.

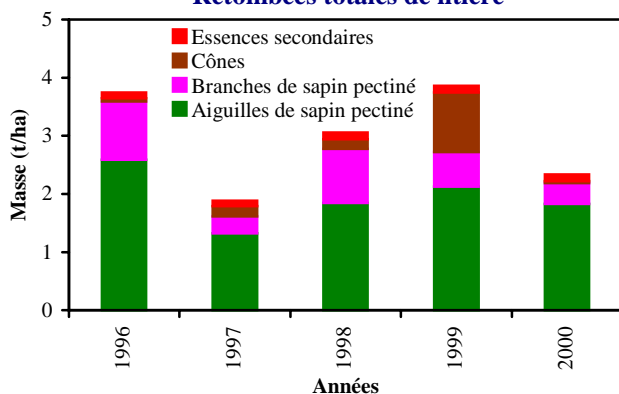
¹³ étude des phases de développement des plantes.

Comme le laissent supposer les stocks élevés d'éléments dans le sol, les teneurs foliaires moyennes entre 1993 et 1997 en calcium (10,3 mg/g) sont supérieures au seuil optimum. Pour l'azote (13,5 mg/g), le potassium (6,2 mg/g) et le magnésium (1,3 mg/g), les teneurs se situent entre les seuils d'alimentation critique et optimal. Enfin le phosphore (1,2 mg/g) et le soufre (1 mg/g) sont compris entre les seuils de carence et critique.

Dates de débourrement



Retombées totales de litière



Les retombées totales de litière varient de 1996 à 2000 entre 1,9 t/ha et 3,9 t/ha. On remarque d'autre part une évolution parallèle entre la pluviosité annuelle et les retombées de litière de 1996 à 1999. Les aiguilles de sapin pectiné représentent 1,3 à 2,6 t/ha, soit en moyenne plus de 65 % des retombées totales. La masse restante est composée des branches de sapin pectiné (0,3 à 1 t/ha), des cônes désarticulés (32 kg/ha à 1 t/ha) et des éléments des essences secondaires (0,1 t/ha). C'est en 1999 que la fructification fût la plus abondante.

Conclusion

Ce peuplement régulier de sapin pectiné âgé d'une centaine d'année est installé sur une station à sol riche. Aucun problème de dépérissement n'est à noter. Il faut continuer de suivre attentivement les colorations anormales, afin de surveiller l'influence des fortes concentrations d'ozone dans l'air durant la période de végétation.

Les apports en azote par les précipitations peuvent poser des problèmes d'eutrophisation du milieu, car c'est un élément facilement lessivable. Une partie de cet azote est absorbé durant la période de végétation, mais le reste risque d'être lessivé. Le soufre, qui intervient dans les mécanismes d'acidification des sols, est encore présent en quantité trop importante dans les pluies. En raison de la baisse des émissions industrielles, les dépôts soufrés devraient dans l'avenir continuer à diminuer malgré la forte diminution depuis 1993. Mais comment les sols réagiront-ils aux excès présents et passés ?

Actuellement le nombre d'années de suivi est encore trop faible pour évaluer une tendance réelle.

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

Caractéristiques	Périodes	Unités	Placette de Callong-Miraille	Valeur minimum RENECOFOR	Valeur maximum RENECOFOR
Végétation (sapin pectiné)					
Nombre d'espèces	94-95		80	37	119
Stocks dans le sol (0-40cm)					
Carbone organique	93-95	t/ha	102,6	7,8	188,9
Azote		t/ha	8,5	0,6	15,7
Calcium		kg/ha	17914	18,1	21085
Pluviosité annuelle moyenne					
Hors forêt	93-00	mm/an	1165	773	2696
Sous forêt			851	530	2361
pH des précipitations					
Totales hors forêt	93-00		5,1	4,8	5,8
Sous forêt			5,3	4,1	6,2
Apport en calcium dans les précipitations					
Totales hors forêt	93-00	kg/ha/an	6,8	3	15,4
Sous forêt			14,8	5,9	20,7
Apport en azote dans les précipitations					
Totales hors forêt	93-00	kg/ha/an	6,2	4	16,3
Sous forêt			6,5	0,9	23,9
Apport en soufre dans les précipitations					
Totales hors forêt	93-00	kg/ha/an	5,4	3,8	15,3
Sous forêt			10,4	4,4	31,6
Concentration en ozone					
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2000		83	42	92
	2001		84	43	88
Teneurs foliaires (sapin pectiné)					
	93-97	mg/g			
Azote (N)			13,5	12,3	14,4
Potassium (K)			6,2	4,5	7,2
Phosphore (P)			1,2	0,9	1,7
Magnésium (Mg)			1,3	0,6	1,6
Soufre (S)			1	0,9	1
Calcium (Ca)			10,3	3,9	10,3
Teneurs en métaux lourds dans les mousses					
	1996	$\mu\text{g}/\text{g ms}$		Valeur minimum en Europe	Valeur maximum en Europe
Arsenic (As)			0,8	0,001	17,6
Cadmium (Cd)			0,5	0,01	8,4
Chrome (Cr)			9,4	0,04	438
Cuivre (Cu)			6,1	0,4	650
Fer (Fe)			3300	18,2	18600
Mercure (Hg)			0,1	0,001	1,33
Nickel (Ni)			5,4	0,03	235
Plomb (Pb)			16,04	0,22	443
Vanadium (V)			8,8	0,14	54,2
Zinc (Zn)			37	1	850
Teneurs en césium 137 dans les mousses					
	1996	Bq/kg ms		Valeur minimum en France	Valeur maximum en France
			58	0	726

g ms = gramme de matière sèche.

Bq/kg ms = becquerel par kilogramme de matière sèche.