

LA PLACETTE D'OBSERVATION RENECOFOR EN FORÊT DE L'AIGOUAL (HET 30)

Période d'observation 1992-2006

1. Situation de la placette

La placette HET 30 est située dans le Gard, en forêt domaniale de l'Aigoual sur un terrain en pente (25 %) exposé au sud-ouest. Cette zone de montagne (1400 m d'altitude) appartient à la région IFN¹ « Hautes Cévennes ». Ce peuplement est installé sur le plus haut site du réseau pour ce qui concerne le hêtre

2. Description du peuplement

Cette futaie régulière est composée d'un peuplement pur de hêtre (*Fagus sylvatica*). Les arbres sont âgés de 157 ans (âge moyen à 1,3 m du sol, en 2008), ils sont issus de rejets de souches.

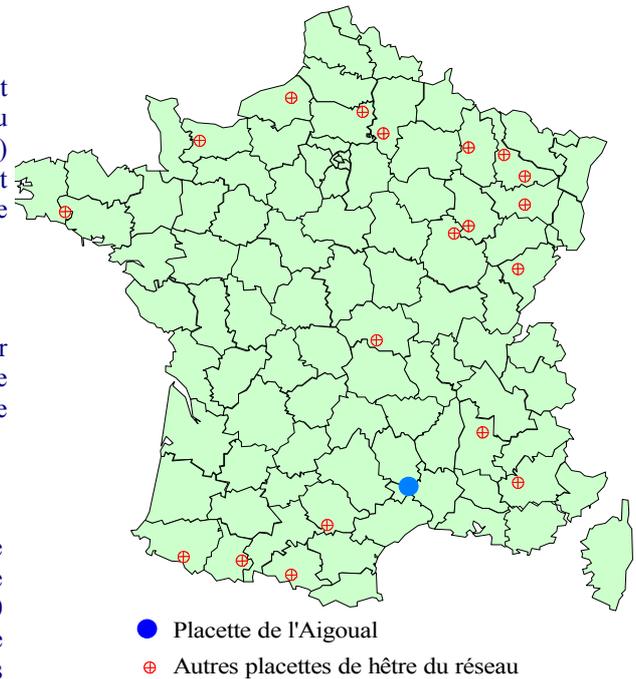
3. La station

Du point de vue phytosociologique le peuplement se rattache au *Luzulo sp. pl.-Fagion sylvaticae*. L'inventaire floristique réalisé en 1994/95 avait recensé 28 espèces. En 2000 et 2005, le nombre d'espèces observées était de 33. La diversité floristique totale de la placette est faible comparée aux autres peuplements de hêtre du réseau.

Le substrat géologique se compose de quartzites et de micaschistes. Le sol se caractérise par une texture² sableuse à sablo-limoneuse. La charge en éléments grossiers moyenne en bas de versant, devient très forte en milieu de versant. Nous sommes en présence d'un sol ocre podzolique (selon Duchaufour). En 1995, les stocks de carbone organique dans la couche minérale (0-40 cm) sont importants (109,9 t/ha) et ceux en azote sont moyens (5 t/ha). Cela entraîne une

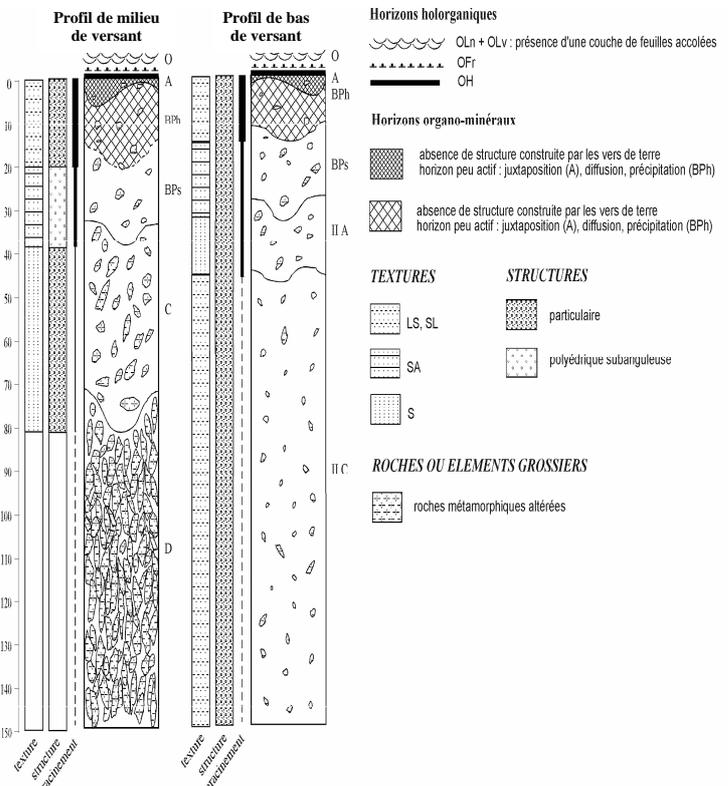
perturbation du rapport carbone sur azote ($C/N > 20$) et débouche sur une activité biologique et une minéralisation de l'azote réduite. Ce déséquilibre s'observe aussi dans la litière. Cela se caractérise par la forte présence de matière organique dans l'humus de ce peuplement (dysmoder). Le stock de calcium représente 162,3 kg/ha, c'est le deuxième plus faible des peuplements de hêtre du réseau.

Les teneurs en bases échangeables³ sont moyennes pour le calcium, le magnésium et faibles pour le potassium. Cela est dû à une mauvaise capacité d'échange cationique⁴ (CEC) et à un taux de saturation en bases échangeables⁵ moyen (< 60%). Ce sol possède donc des potentialités limitées. La réserve utile maximale, qui indique les possibilités de stockage du sol en eau disponible pour les plantes, varie de 40 à 60 mm pour une profondeur prospectée par les racines de plus d'un mètre. Ce sol possède donc des réserves faibles, du fait de sa texture et de sa charge en éléments grossiers. En comparant cette réserve au déficit de pluviométrie au Mont Aigoual pendant la période de végétation (environ 40 mm hors couvert), nous observons que le peuplement ne connaît pas de période de stress hydrique, malgré une faible réserve utile. Cela est dû aux fortes précipitations sur ce site.



● Placette de l'Aigoual

⊕ Autres placettes de hêtre du réseau



¹ = division territoriale (par l'Inventaire Forestier National), 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

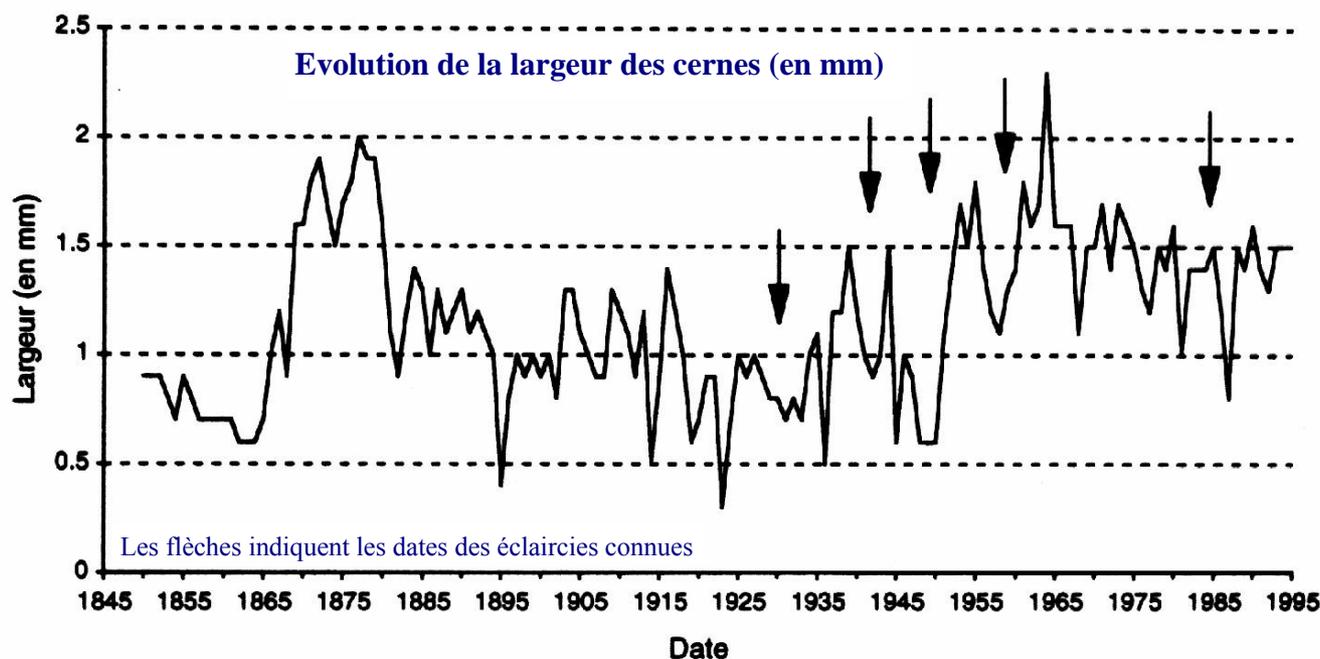
³ = quantité de cations basiques échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) contenus dans le sol

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

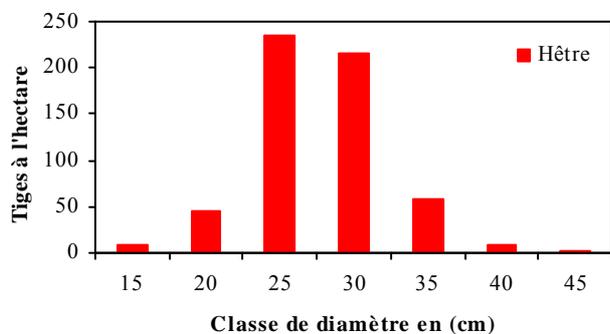
⁵ = rapport entre la somme des bases échangeables (Ca, Mg, K) et la capacité d'échange cationique (en %)

4. Le peuplement d'un point de vue sylvicole

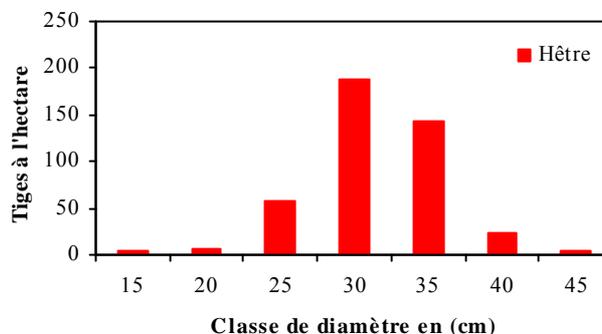
Cette placette possède l'un des plus vieux peuplements de hêtre du réseau. Outre les fluctuations interannuelles de fortes amplitudes, le peuplement présente une augmentation du niveau moyen de croissance radiale depuis 1930. Au vu de l'historique des coupes, cette augmentation coïncide avec les premières éclaircies réalisées dans la parcelle. L'accroissement moyen sur la période 1850-1994 est de 1,2 mm/an. Cette valeur est proche de celles des deux autres placettes de hêtre d'altitude, âgées de plus de 100 ans (HET 09 dans l'Ariège et HET 26 dans la Drôme, 1,1 mm/an). L'accroissement moyen sur la période 1985-1994 est de 1,4 mm/an. Contrairement à la grande majorité des placettes du réseau, le facteur limitant la croissance de ce peuplement d'altitude n'est pas d'origine pluviométrique, mais plutôt lié aux températures.



Distribution des diamètres par essence en 1991



Distribution des diamètres par essence en 2004



En 1991, le peuplement possédait (catégorie de précomptage = 15 cm) 570 tiges/ha, la surface terrière était de 36 m²/ha et le diamètre moyen de 28 cm.

Avant l'exploitation de 1999, le nombre d'arbre était de 565/ha. La surface terrière avait augmenté à 39 m²/ha et le diamètre moyen à 30 cm. L'accroissement en surface terrière pour la période 1991-1999 était de 0,46 m²/ha/an, celui en diamètre pour la même période était de 0,2 cm/an.

Après la coupe de 1999, la densité totale passe à 425 tiges/ha (prélèvement de 140 tiges/ha soit ≈ 25 %). La surface terrière totale est réduite à 32 m²/ha (prélèvement de 7 m²/ha soit ≈ 18 %). Le diamètre moyen du peuplement a légèrement augmenté (31 cm). Ceci s'explique par le fait que cette coupe a surtout concerné les arbres de diamètre inférieur à 30 cm.

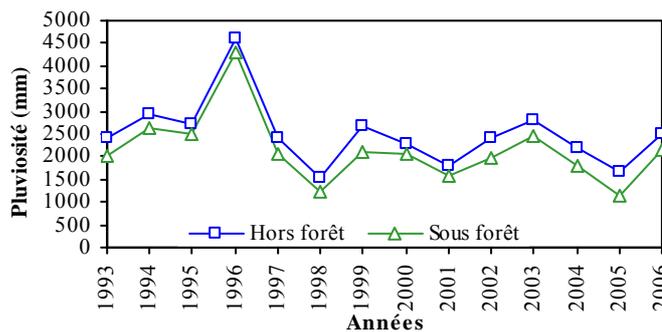
En 2004, le peuplement possédait le même nombre de tiges qu'au précédent inventaire, la surface terrière a continué à croître pour atteindre 34 m²/ha et le diamètre moyen est de 32 cm. Le volume total sur pied est estimé à 270 m³/ha. L'arbre moyen⁶ avait un diamètre de 32 cm et une hauteur de 18 m. Nous obtenons un coefficient d'élancement (Hg/Dg) de 56 qui indique une bonne stabilité vis à vis des risques de chablis.

⁶ = arbre qui possède la surface terrière moyenne

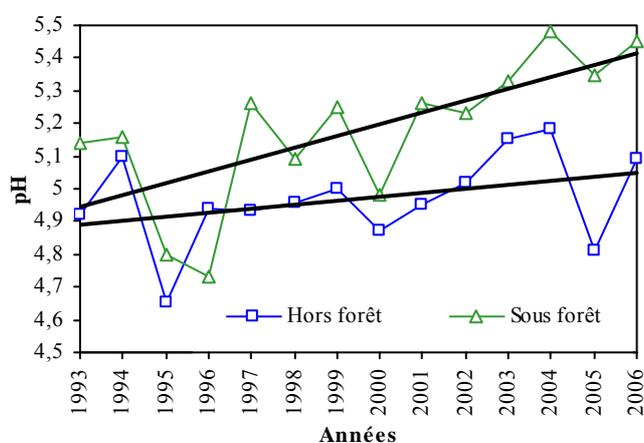
5. Les retombées atmosphériques entre 1993 et 2006

Les **pluviosités** moyennes hors couvert forestier entre 1993 et 2006 (2499 mm) et sous couvert (2141 mm) sont les plus élevées du réseau. Ce site est sous l'influence de précipitations aussi bien atlantiques que méditerranéennes. Nous pouvons noter une grande disparité de la pluviosité entre les années (4605 mm en 1996 et 1549 mm en 1998, hors couvert forestier). La pluviométrie de 1996 est due essentiellement aux très fortes chutes de neige du mois de janvier (1400 mm hors forêt, soit 6 fois la moyenne mensuelle). Le régime des pluies est caractérisé par des épisodes pluvieux de très forte intensité. Entre 1995 et 1998 on a relevé 16 jours où la pluviométrie a dépassé 100 mm, alors qu'il n'y en a eu que 5 pour toutes les autres placettes sur la même période. Les cimes des arbres jouent un rôle de filtre peu important (interception de 15 %), car l'Aigoual est surtout soumis à de fortes pluies.

Pluviosité hors et sous couvert forestier de 1993 à 2006



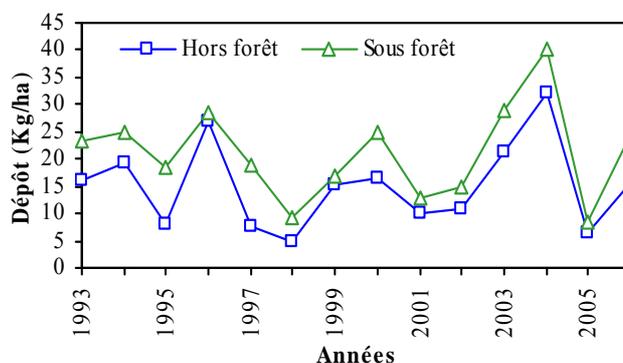
Evolution du pH de 1993 à 2006



En absence de toute pollution, l'eau de pluie a un **pH** proche de 5,5. Le pH des précipitations totales hors couvert forestier (pH = 5) est légèrement inférieur au pH des précipitations sous couvert forestier (pH = 5,2), car l'eau s'enrichit au contact des houppiers d'ions de nature basique (potassium, magnésium, ...). 1996 est une exception du fait des très fortes pluies. En effet les ions de nature alcaline sont fortement dilués dans les pluies sous couvert. De 1994 à 2006, nous observons une tendance à l'augmentation du pH. Cela peut s'expliquer par la diminution des dépôts de soufre. L'année 2004, présente les plus fort pH de la période. Cela provient des importants dépôts de calcium enregistrés cette année.

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 totaux de calcium hors (15 kg/ha/an) et sous forêt (21,1 kg/ha/an) sont les plus importants du réseau. Le rôle de filtre joué par les houppiers explique les teneurs plus élevées pour les dépôts sous forêt. Les grandes variations des dépôts entre les années sont presque toujours liées aux volumes des précipitations et non au niveau des concentrations. L'année 2004 fait exception: les forts dépôts proviennent des importants apports de sable du Sahara survenus au mois de février.

Dépôts annuels en calcium de 1993 à 2006



Moyenne des dépôts de 1993 à 2006

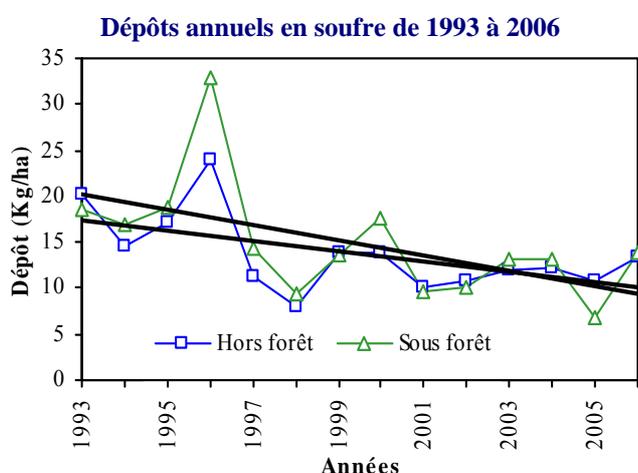
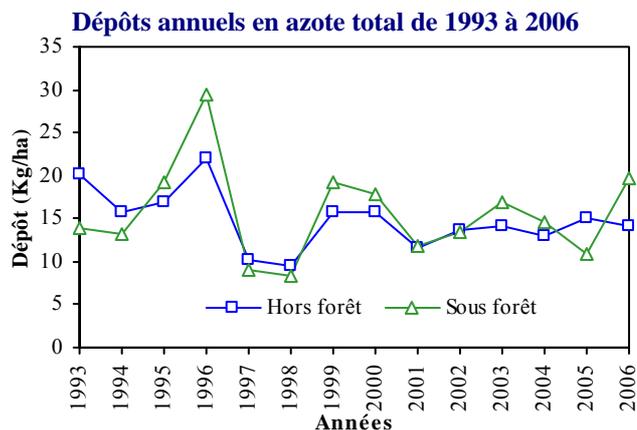
	Dépôts hors couvert	Dépôts sous couvert
Potassium (kg/ha/an)	1,7	20,9
Magnésium (kg/ha/an)	1,8	3,6
Chlorure (kg/ha/an)	19,9	33,5
Sodium (kg/ha/an)	12,3	19,4
Aluminium (g/ha/an)		286
Fer (g/ha/an)		90
Manganèse (g/ha/an)		596

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.

Les **chlorures** et le **sodium** proviennent surtout de la mer. 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.

Les dépôts en **azote** hors forêt, sous forme d'ammonium ($N-NH_4^+ = 8 \text{ kg/ha/an}$), essentiellement produit par l'élevage, sont supérieurs à ceux sous forme de nitrate ($N-NO_3^- = 6,8 \text{ kg/ha/an}$), essentiellement produit par les émissions automobiles. Il y a inversion du phénomène sous forêt ($N-NH_4^+ = 7,1 \text{ kg/ha/an}$, $N-NO_3^- = 8,5 \text{ kg/ha/an}$). Les fortes variations entre les années sont liées aux volumes des précipitations et non au niveau des concentrations. Les dépôts en azote minéral total⁷ hors et sous forêt sont proches ($14,8 \text{ kg/ha/an}$ hors forêt, $15,6 \text{ kg/ha/an}$ sous forêt), ce sont les deuxièmes plus élevés du réseau après EPC 08 (Ardennes). Les valeurs définissant la gamme des dépôts azotés ne causant pas d'eutrophisation⁸, de déséquilibre nutritif des arbres ou d'acidification des sols sont de 2,8 et 14 kg/ha/an , en fonction de la richesse des sols. Les apports mesurés à l'Aigoual ($15,6 \text{ kg/ha/an}$) dépassent cette gamme, il y a donc un risque. Des nitrates sont mesurés dans les eaux des solutions de sol à 20 et 70 cm de profondeur. Cela indique un lessivage par le drainage, de cet élément.



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 critiques⁹ pour le soufre en France, selon la sensibilité de l'écosystème ($3,2 \text{ kg/ha/an}$ et 16 kg/ha/an). Les dépôts hors forêt ($13,7 \text{ kg/ha/an}$, les plus élevés du réseau) et sous forêt ($14,9 \text{ kg/ha/an}$) sont compris entre ces valeurs seuils. Il y a donc un risque d'acidification, même si on note une tendance à la diminution des dépôts.

6. Les concentrations en ozone et en ammoniac dans l'air

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 et le gradient thermique vertical s'y inverse. Ces deux phénomènes empêchent souvent 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 $89 \mu\text{g/m}^3$ de 2000 à 2006 (2003 exclu) (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 s'approcheraient de $85 \mu\text{g/m}^3$ en moyenne sur 24 heures. Les moyennes annuelles sont régulièrement supérieures aux limites de toxicité pour la végétation durant 24 heures, il y a donc des risques.

En 2004 et 2005, des symptômes liés à l'ozone ont été repérés sur les feuilles de hêtre du peuplement.

L'**ammoniac** (NH_3) est un gaz volatil qui se forme à partir de l'urine et de la fermentation de la matière organique. Ce gaz entre dans le cycle de l'azote. Au contact de l'eau il donne de l'ammonium (NH_4^+) qui est transformé dans les sols en nitrite (NO_2^-), puis en nitrate (NO_3^-), sous l'action de bactéries. Ces nitrates sont des éléments nutritifs pour les végétaux. Toutefois le rejet de gros volumes de matières organiques fermentescibles, comme le lisier dans les zones d'élevage intensif, peut être la cause de pollutions des nappes phréatiques en nitrates. L'agriculture n'est pas la seule à produire de l'ammoniac. L'industrie (usines de fabrication d'engrais ...), les boues de stations d'épuration produisent aussi ce gaz.

⁷ azote sous forme ammoniacale + azote sous forme de nitrate

⁸ enrichissement des milieux en éléments nutritifs (phosphate, nitrate, etc) pouvant entraîner un dysfonctionnement de l'écosystème en cas d'excès

⁹ Si ces charges sont dépassées, il y a un risque de déstabilisation des écosystèmes.

De 2002 à 2006 (2003 exclu), les concentrations d'ammoniac mesurées durant la période de végétation (mi-avril à mi-octobre) à l'aide de capteurs passifs, représentent en moyenne 1,2 µg/m³ (calculé à partir de 13 périodes d'échantillonnage de 15 jours). Les concentrations « habituelles » varient de 0 à 35 µg/m³. Nous sommes donc ici en présence de concentrations normales.

Conclusion

La faible capacité d'échange cationique du sol est à l'origine des problèmes de stock en éléments chimiques et donc de la fertilité de la station. La plupart des dépôts d'éléments chimiques arrivant au sol sont présents en forte quantité, mais comme le sol ne les retient pas, ils sont lessivés. Des risques à long terme existent pour les arbres (alimentation chimique) et pour les milieux recevant les eaux du lessivage (eutrophisation). Le soufre, qui intervient dans les mécanismes d'acidification des sols, est encore présent en grande quantité dans les pluies, malgré la diminution des dépôts.

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

Caractéristiques	Périodes	Unités	Placette de l'Aigoual	Valeur minimum RENECOFOR	Valeur maximum RENECOFOR
Végétation (hêtre)					
Nombre d'espèces	94-95		28	8	93
Nombre d'espèces	00		33	9	95
Nombre d'espèces	05		33	8	146
Stocks dans le sol (0-40cm)					
	93-95				
Carbone organique		t/ha	98	7,8	188,9
Azote		t/ha	8,2	0,6	15,7
Calcium		kg/ha	13349	18	21085
Pluviosité annuelle moyenne					
	93-06	mm/an			
Hors forêt			2499	748	2499
Sous forêt			2141	504	2141
pH des précipitations					
	93-06				
Totales hors forêt			5,0	4,9	5,9
Sous forêt			5,2	4,3	6,3
Apport en calcium dans les précipitations					
	93-06	kg/ha/an			
Totales hors forêt			15,0	2,7	15,0
Sous forêt			21,1	5,8	21,1
Apport en azote dans les précipitations					
	93-06	kg/ha/an			
Totales hors forêt			14,8	3,9	15,4
Sous forêt			15,6	1,1	20,6
Apport en soufre dans les précipitations					
	93-06	kg/ha/an			
Totales hors forêt			13,7	3,5	13,7
Sous forêt			14,9	3,9	24,5
Concentration en ozone					
	00-06	µg/m ³			
			89	46	90
Concentration en ammoniac					
	02-06	µg/m ³			
			1,2	0,9	5,1