



**HAL**  
open science

## Dix années de suivi scientifique en Haut Forez : Bilan de l'impact des procédures agrienvironnementales.

B. Etlicher, J.P Couhert, C. Jacqueminet, D. Orth, J.B. Suchel, E. Sourp

### ► To cite this version:

B. Etlicher, J.P Couhert, C. Jacqueminet, D. Orth, J.B. Suchel, et al.. Dix années de suivi scientifique en Haut Forez : Bilan de l'impact des procédures agrienvironnementales.. 2009. ujm-00495437

**HAL Id: ujm-00495437**

**<https://ujm.hal.science/ujm-00495437>**

Preprint submitted on 26 Jun 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## **Dix années de suivi scientifique en Haut Forez :**

### ***Bilan de l'impact des procédures agrienvironnementales.***

**(1993-2003)**

***B. Etlicher ; G.Thebaud ; J.P Couhert; C. Jacqueminet; D.  
Orth ; J.B. Suchel ; E. Sourp***

Contact : [Bernard.Etlicher@univ-st-etienne.fr](mailto:Bernard.Etlicher@univ-st-etienne.fr)

**Décembre 2009**

# **Dix années de suivi scientifique en Haut Forez : Bilan de l'impact des procédures agrienvironnementales.**

Les Hautes Chaumes du Forez, à la limite de départements de la Loire et du Puy de Dôme sont un milieu de lande et pâturage d'altitude, traditionnellement utilisé comme parcours d'estive par les troupeaux. Le déclin de cette activité traditionnelle comme l'apparition de nouvelles fréquentations (ski, randonnées, loisirs motorisés) conduisent à un changement du milieu. Entre 1993 et 2003 des mesures de gestion ont été mises en place. Parallèlement un suivi scientifique a été également organisé afin de mieux mesurer les évolutions en cours et de mesurer l'impact des mesures de gestion.

Le présent rapport fait le bilan de ce suivi. Il ne doit être considéré que comme un bilan d'étape, puisque de nouvelles actions et de nouveaux protocoles de suivi ont été mis en place au cours des années ultérieures (2003-2009) notamment avec la mise en place de sites Natura 2000.

## **1. Les enjeux sur les Hautes Chaumes du Forez.**

### **1.1 L'enjeu patrimonial**

L'importance de l'enjeu patrimonial des Hautes Chaumes du Forez est une préoccupation majeure. La politique de gestion des Hautes Chaumes le prend régulièrement en compte.

Cet enjeu revêt trois aspects:

-un aspect paysager: rares sont les massifs d'altitude comparable dont les sommets présentent des paysages dénudés sur une étendue aussi vaste. Le terme même de Hautes Chaumes n'est utilisé hors du modèle vosgien, que pour les Monts du Forez dans le Massif Central ce qui témoigne bien de l'originalité de ce milieu

- un aspect historique et social par l'originalité de la mise en valeur avec, cas unique, une exploitation familiale de l'estive assimilable au système de "petite montagne" des Alpes qui a conduit au développement d'une architecture et d'un patrimoine d'ouvrages hydrauliques du plus haut intérêt.

- un aspect botanique avec le développement de groupement végétaux spécialisés particulièrement riches et nombreux comportant des espèces protégées certaines très rares à l'échelle de l'Europe Occidentale.

Cet enjeu est souligné par l'importance prise par les ZNIEFF sur les Hautes Chaumes qui occupent les deux tiers de l'espace, traduction de l'intérêt porté par la collectivité à cet espace. Il est renforcé par l'existence de réserves naturelles volontaires (côté Loire).

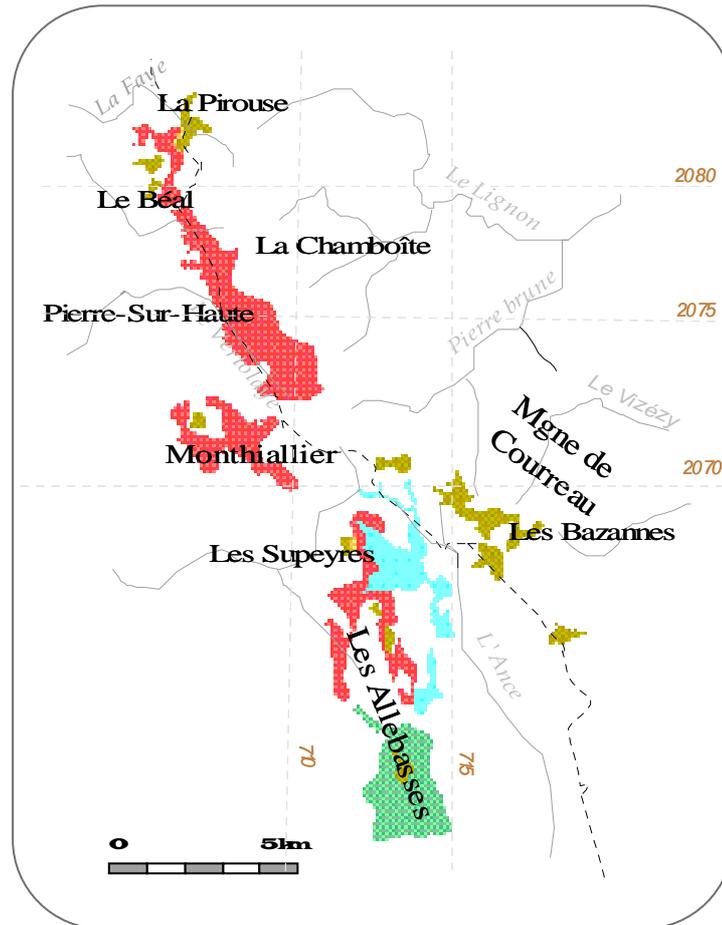


Figure 1. Les ZNIEFF des Hautes Chaumes du Forez

La richesse de ces milieux résulte de la conjonction des facteurs topographiques, altitude, position de crêtes ou de plateaux ventés, et d'une exploitation agropastorale millénaire qui l'a profondément enrichie et transformée. Les plus remarquables sont de trois types:

- les milieux de tourbières, nombreuses entre 1300 et 1500 m, sur la partie nord des Hautes Chaumes notamment. Les bassins de réception des principaux ruisseaux, grandes cuvettes évasées, représentent un complexe de groupements hygrophiles et turficoles tranchant nettement avec le reste de la végétation. Les stades exondés du haut marais, riches en sphaignes ombrophiles comptent bon nombre d'espèces rares telles l'andromède à feuilles de Polium, la laïche pauciflore, la *drosera* à feuille ronde, la canneberge, Les tourbières de pentes les plus élevées (1450 à 1600 m) comportent quelques orophytes rares dans le Massif Central dont le jonc des Alpes et la grassette à grande fleur, la plus belle espèce insectivore de la flore française.

- les landes au-dessous de 1450-1500 m, sont omniprésentes, appartenant au groupe de la callunaie-génistaie à myrtille; au-dessus de ces altitudes à l'étage subalpin, le tapis végétal se diversifie, individualisant un type différent de lande et de nombreuses associations spécialisées: calamagrostidaie à sorbier, mégaphorbiaie à fougère alpestre, callunaie à lycopode selagine, nardaie à trèfle des Alpes... La calamagrostidaie à sorbiers, prairie subalpine naturelle, est connue pour sa grande richesse en espèces avec des groupes écologiques divers: des thermophiles, *Calamagrostis arundinacea*, Serratule des teinturiers, campanule droite..., des prairiales relativement exigeantes en matière nutritive, géranium sylvatique, fenouil des Alpes, gentiane jaune, renoncules, centaurées... des méso hygrophiles, verâtre, laitue de plumier, bistorte... et des acidophiles, callune, myrtille, tormentille... Ce groupement très riche renferme de nombreuses autres espèces végétales dont

certaines, particulièrement esthétiques, se distinguent entre toutes: lys martagon, centaurée des montagnes, ail de la victoire, laser à larges feuilles, Aconit... Ce chatolement de couleurs en fait une des formations végétales les plus admirables de toute la montagne.

- les fumades nées du système d'exploitation pastorale très particulier, régulièrement fertilisées et fauchées, tant que la jasserie est régulièrement fréquentée. On remarque leur grande richesse floristique: entre 50 et 60 espèces pour 50 m<sup>2</sup> dans leur forme typique; l'absence ou la rareté des espèces des prairies de fauche des étages inférieurs (arrhénatheraies); la bonne représentation des subalpines au sein des cortèges, qui trouvent ici des conditions proches de celles régnant dans leur groupement d'origine, nardaie à trèfle des Alpes et calamagrostidaie à sorbiers surtout. Enfin, elles comportent bon nombre d'espèces à affinité atlantique.

## 1.2 L'enjeu pastoral

L'exploitation pastorale des Hautes Chaumes s'intégrait dans une organisation complexe avec la ferme "du bas". L'exploitation traditionnelle des jasseries a connu son apogée à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle où la pression sur la terre est maximale. Aujourd'hui le déclin du système lié à la fois aux évolutions démographiques, aux évolutions techniques a conduit à une décroissance de l'utilisation des Hautes Chaumes au point qu'elle peut être qualifiée de sous utilisation chronique.

Cette sous utilisation se traduit d'abord dans les chiffres des surfaces utilisées et non utilisées (Couhert, 1988)

Commune	Montagne (ha)	Surface utilisée	% utilisé
Brugeron	205	147	72
St Pierre	200	44	22
Job	550	420	76
Valcivières	1318	1161	88
St Anthème	1975	1682	85
Total	4248	3454	81

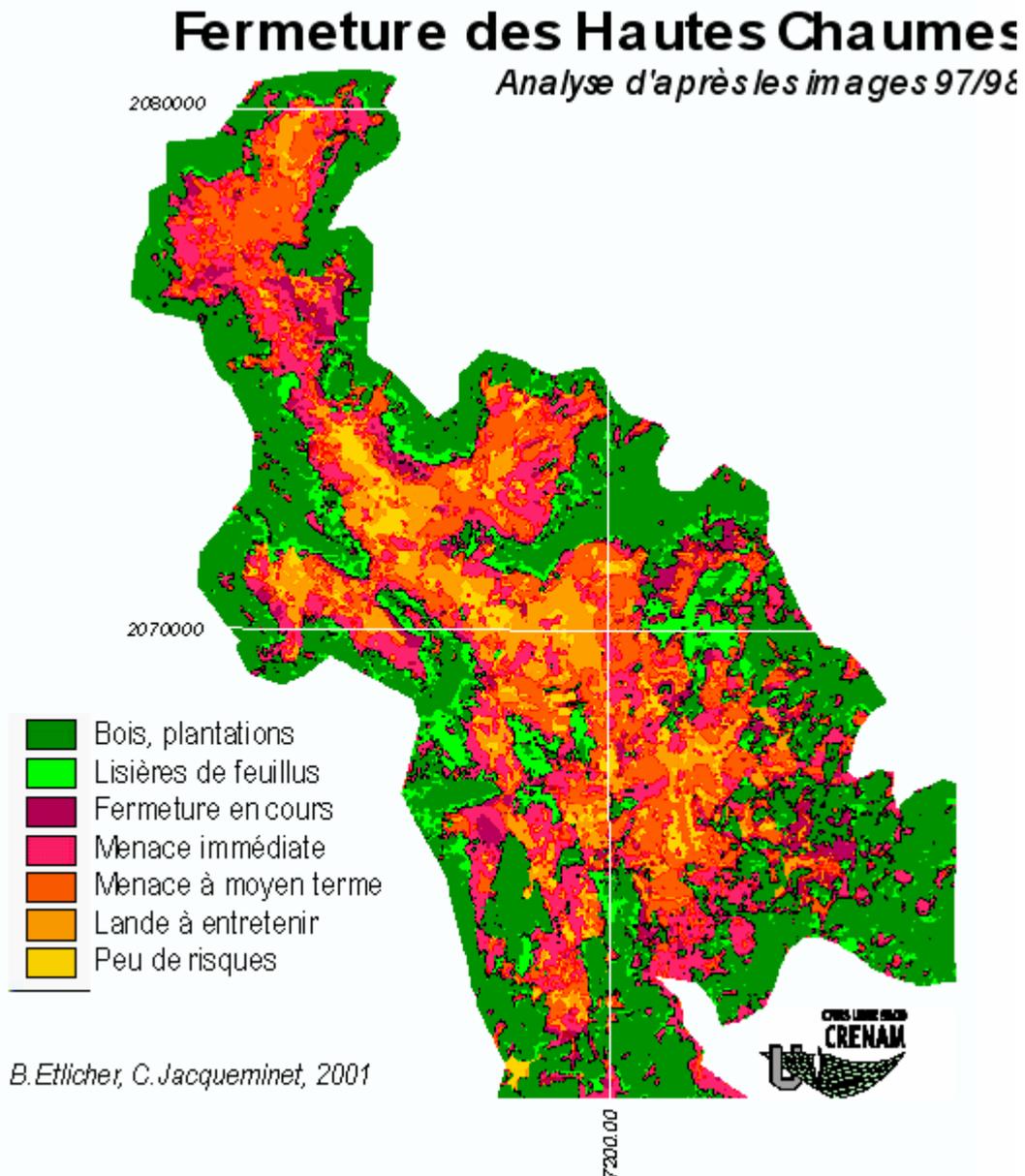
**Tableau 1. Utilisation des estives en Puy de Dôme en 1988.**

Variable selon les communes elle reste en deçà des possibilités. Mais le pourcentage moyen de 81% ne donne qu'une idée imparfaite de la réalité. Une bonne part des surfaces utilisées le sont de manière trop extensive pour maintenir une pression pastorale suffisante. Les effectifs d'animaux estivés donnent une idée de cette sous-utilisation. Pour les derniers chiffres connus avec précision, les effectifs dans le Puy de Dôme sont de 24 équins, 75 caprins, 5204 ovins et 930 bovins soit au total moins de 2 bêtes à l'ha utilisé.

La charge à l'hectare utilisé reste donc faible, 0,5 bovin et 2,7 ovins en partageant, par moitié, les surfaces mixtes, utilisées par les deux types de troupeaux. D'autres chiffres soulignent le caractère extensif de cette utilisation: plus d'un tiers des surfaces sont utilisées collectivement et les secteurs améliorés par la fauche régulière ne représentent que 380 ha, soit 4,3 % de la surface totale. Si l'on excepte quelques secteurs avec un chargement correct, il apparaît à l'évidence une sous utilisation chronique des parcours engendrant une dégradation de la lande, un développement des ligneux et un appauvrissement de la valeur nutritive globale du pâturage. Cette évolution engendre à son tour un moindre intérêt de l'éleveur pour une prairie qui nourrit de plus en plus mal le bétail et un cercle vicieux s'installe alors, condamnant inéluctablement le système.

### 1.3 La menace de fermeture des espaces ouverts.

La résultante des évolutions est la fermeture du paysage notamment par sous utilisation des landes.



**Figure 2. La fermeture du paysage des Hautes Chaumes**

La carte ci-jointe a été dressée à partir de l'analyse de la végétation menée au cours des travaux antérieurs de l'équipe. Tenant compte des surfaces inutilisées et de celles dont le chargement est insuffisant pour prévenir l'embroussaillage, elle montre les secteurs les plus exposés à la dynamique de reboisement naturelle.

Ces derniers correspondent d'une part aux secteurs les plus bas où la dynamique naturelle de recolonisation forestière est la plus rapide parce que la lande a été gagnée ici au détriment de forêt montagnardes.

Ils correspondent aussi aux secteurs les plus mal utilisés, souvent des domaines communaux ou sectionnaux exploitées de manière occasionnelle et individuelle par un éleveur, à titre souvent précaire ce qui exclut toute prise en compte de la gestion ou de l'entretien de la lande par son utilisateur.

<b>1. Les forêts et plantations : fermeture réalisée</b>	<b>1181 ha</b>
2. Les manteaux de recolonisation à sorbiers et les landes montagnardes non utilisées: fermeture en cours	1426 ha
3. Les landes sous pâturées (souvent communales, exploitées de manière relictuelle individuellement): danger immédiat	487 ha
4. Les landes montagnardes régulièrement pâturées: à surveiller	4706 ha
5. Les landes subalpines, tourbières: pas de risque immédiat.	1067 ha

**Tableau 2. Etat de la fermeture des Hautes Chaumes en 2001.**

La surface pastorale par commune a diminué depuis le début du siècle. De 10 000 ha, estimés en 1950 sur l'ensemble des Hautes Chaumes, (Loire et Puy de Dôme), le domaine pastoral a perdu 2 000 ha. 20% qui sont aujourd'hui couverts par la forêt. La part inutilisée est elle aussi en augmentation et callunes, myrtilles, sorbiers, bouleaux, colonisent ces surfaces abandonnées. Quant à la part utilisée, la généralisation de pratiques trop extensives compromet la valeur pastorale des Hautes Chaumes. Certains secteurs sont sous-pâturés, d'autres sur pâturés ; cela entraîne un appauvrissement floristique (évolution vers la nardaie et la callunaie) et en éléments minéraux du sol. Se pose donc le problème de la non-utilisation de surfaces de plus en plus étendues qui pourrait, à terme, mettre en péril l'équilibre instauré depuis des siècles.

La carte de l'utilisation pastorale donne une idée assez incomplète des zones actuellement abandonnées par le pâturage. De grandes surfaces, identifiées comme étant pâturées, ne le sont, en réalité, que de façon très sporadique ou occasionnelle (versant ouest de Pierre sur haute, plateau ouest de la montagne des Allebasses). Nous nous trouvons en présence de vieilles landes, dominées par la callune et dont certaines parties sont en évolution dynamique vers des stades arbustifs.

Cette pression pastorale, très faible, se prolonge depuis plusieurs décades: elle entraîne le vieillissement des landes, leur appauvrissement floristique et la baisse de leur valeur pastorale. Dans de telles conditions, les valeurs pastorales mesurées restent comprises entre 0,7 et 3,2, alors que les secteurs les mieux entretenus (fumades) dépassent 50. .

Les surfaces nardifiées s'élèvent à 170 ha soit 1,9% de la surface totale, ce qui est certes peu, mais révèle l'existence de déséquilibres locaux avec surpâturage qui traduisent une mauvaise gestion de l'espace des Hautes Chaumes, ou, plus exactement, l'absence de gestion d'ensemble.

L'importance du phénomène explique la volonté des acteurs locaux de favoriser l'entretien de la lande par des pratiques pastorales adaptées.

## 2. Le suivi scientifique: les objectifs, les méthodes, les acteurs

### 2.1 Le prolongement d'un constat antérieur.

Ce suivi scientifique fait suite à une étude antérieure menée dans le cadre d'un contrat de recherches financé par le SRETIE dont les résultats (Etlicher et *al.*, 1993) avaient conduit à souligner l'importance de la dégradation de la lande sommitale. Cette dégradation de la lande peut être appréciée à partir d'une triple approche :

- l'approche phytosociologique met en lumière un appauvrissement de l'écosystème en mesurant la diversité biologique et la fréquence des espèces intéressantes observées. L'évolution actuellement observée conduit à une banalisation progressive du milieu.

- l'approche géomorphologique met en évidence le développement d'une érosion mécanique sous l'action des eaux de ruissellement, de la neige, du vent. Parmi les paramètres essentiels à prendre en compte pour expliquer le développement de ces phénomènes figurent l'ouverture du tapis végétal, le développement d'espèces peu aptes à fixer le sol et à s'opposer au ruissellement aréolaire comme à la déflation éolienne. C'est essentiellement à partir des lieux sur-fréquentés, pistes de ski, chemins et itinéraires de passage répétés, zones surpaturées ou piétinées par le bétail que ces phénomènes s'étendent et gagnent progressivement du terrain sur la lande.

- l'approche pastorale insiste essentiellement sur les qualités nutritives de la lande pour l'alimentation d'un troupeau. Le remplacement des graminées par des ligneux peu ou pas pâturés par le bétail en est la manifestation la plus visible, qui peut conduire l'exploitant à l'abandon du pacage faute de pouvoir le valoriser avec son troupeau.

Lors du suivi scientifique, l'ensemble des trois approches a été pris en compte et a fait l'objet de mesures conjointes afin qu'aucun point de vue ne soit privilégié et qu'une réflexion de synthèse puisse être présentée. La complexité et l'ambiguïté du concept de dégradation apparaissent immédiatement à la confrontation des trois points de vue. La sous-utilisation entraîne une fragilité du milieu et le développement d'évolutions mal cernées, dont certaines semblent quasi irréversibles, du moins dans le cadre des conditions normales d'une exploitation agricole. Dès lors, le suivi scientifique s'est donné comme objectif de comparer les évolutions sur les parcelles contractualisées et les autres parcelles afin de mesurer, le plus précisément possible, l'impact des mesures préconisées.

On peut certes, souligner le caractère insuffisant des trois approches qui ont été retenues: d'autres auraient pu être prises en considération, telles que la richesse faunistique, la qualité des eaux, etc... Pour des raisons d'économie du projet, il a cependant paru préférable de se limiter, au moins dans un premier temps, à un nombre limité d'approches.

### 2.2 Les objectifs.

Le suivi a été conçu comme devant à la fois permettre de suivre l'évolution des parcelles et d'autre part, intégrer ces évolutions dans un cadre plus vaste de l'ensemble des Hautes Chaumes. Evaluer l'effet des mesures agri environnementales et apprécier leur pertinence suppose en effet que puissent être distinguées plusieurs causes dans les évolutions observées.

Deux phénomènes interviennent en effet dont l'influence respective est difficile à isoler, ces phénomènes pouvant, selon les cas, soit accélérer soit ralentir les phénomènes mesurés:

- \* Des évolutions "cycliques" plus ou moins bien connues affectent les écosystèmes et relèvent de deux origines:

- L'évolution liée aux variations annuelles des conditions météorologiques qui font se succéder des hivers froids et secs et des hivers doux ou neigeux, suivant un rythme irrégulier et aléatoire et dont les effets sur la végétation sont non seulement importants d'après les premières constatations mais encore mal connus aussi bien dans les Hautes Chaumes que dans d'autres milieux analogues par manque de références. Paradoxalement, on connaît beaucoup mieux, grâce aux nombreux travaux agronomiques, l'impact d'une pratique d'élevage sur l'évolution de la végétation

que celle des variations saisonnières dans un milieu de haute altitude où la végétation est rendue beaucoup plus réactive à ces variations qu'en milieu de plaine.

- L'évolution liée au déroulement de cycles biologiques, connus depuis de nombreux travaux qui font se succéder des phases de sénescences et de reprises, après une substitution partielle d'un groupement par un autre: un exemple particulièrement bien analysé est celui de la callune décrit par Loiseau et Merle, (1981) mais d'autres sont moins clairement compris.

\* Des évolutions liées à des tendances irréversibles ou à des cycles de longue durée, pluriséculaires, - qui peuvent conduire à l'apparition de déséquilibres profonds du milieu.

- L'évolution liée à la fréquentation humaine du milieu dont les effets et les impacts se modifient avec l'apparition de nouvelles pratiques notamment de loisirs dont les effets multiples directs et indirects sont loin d'être tous mesurés et maîtrisés (passages pédestres, passages motorisés, tassements de la neige sur les pistes, cueillettes répétées etc... Probablement plus ponctuels spatialement que généraux, ces effets n'en sont cependant pas moins utiles à prendre en compte bien que leur mesure soit difficile.

- L'évolution liée à une éventuelle dérive climatique d'ordre séculaire quelle qu'en soit la cause (naturelle ou effet de serre, ce n'est point ici le lieu de discuter ce point) qui a fait se succéder les années les plus chaudes du siècle depuis 1980. En référence à une stabilité du milieu telle qu'elle était définie à la fin du siècle dernier à une époque où les pratiques pastorales étaient bien établies et l'utilisation de la lande optimale, cette dérive climatique est loin d'être négligeable dans la mesure où elle se traduit surtout par une élévation des températures moyennes des mois d'hiver, probablement de plusieurs degrés depuis 1870, avec des effets importants mais mal mesurés par les données des archives météorologiques sur l'enneigement, le gel, la longueur de la saison végétative. L'ordre de grandeur du phénomène est suffisant pour engendrer des modifications de l'écosystème se traduisant par la substitution d'un groupement végétal à un autre.

- Identifier l'évolution liée aux pratiques préconisées suppose que puisse être faite la part relevant de chacune des causes précédemment énoncées afin de pouvoir cerner le seul impact des pratiques pastorales. Cette réflexion a conditionné la définition des méthodes d'analyse scientifique du suivi et sa mise en œuvre.

### **2.3 Les méthodes.**

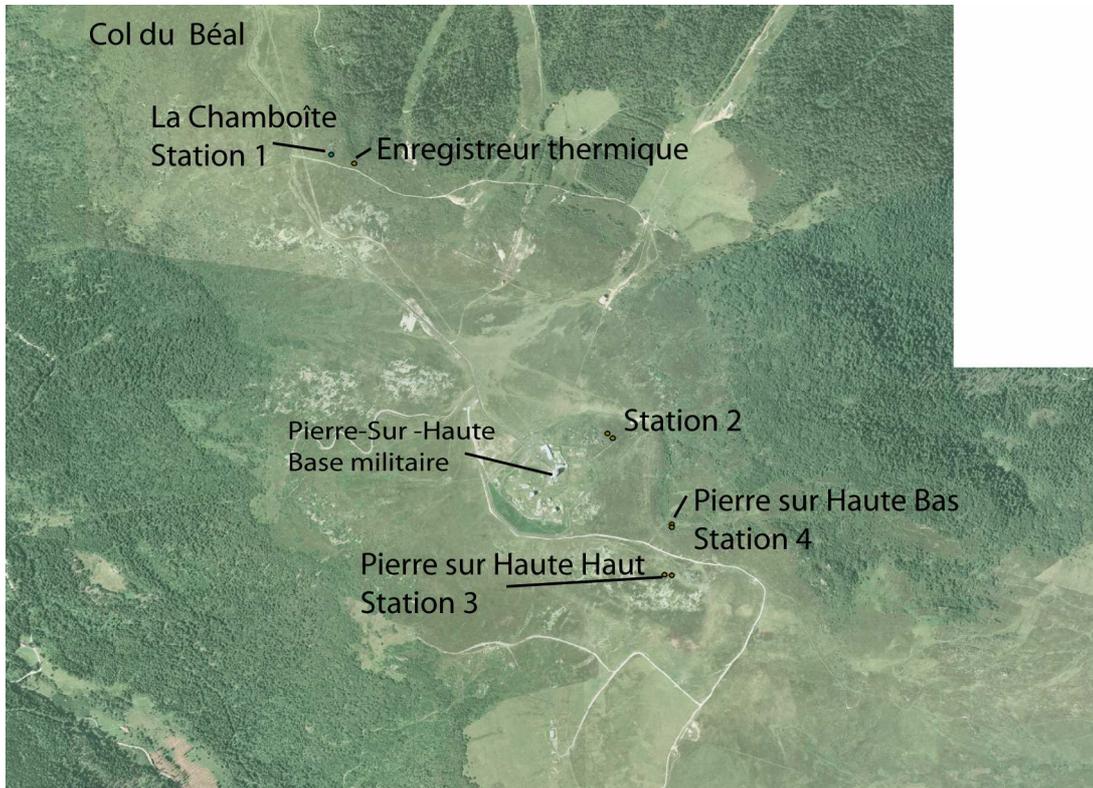
Les méthodes retenues visent donc à permettre de mesurer aussi précisément que possible les évolutions sur les parcelles primées et disposer d'éléments de comparaison sur l'ensemble des Hautes Chaumes de manière à permettre de situer les évolutions mesurées dans le cadre général de l'évolution des Hautes Chaumes. Ce suivi doit d'autre part pouvoir être poursuivi sur une longue durée et ne doit pas nécessiter un engagement financier disproportionné par rapport à l'ensemble de l'opération aussi, a-t-on privilégié les méthodes "rustiques et fiables" peu onéreuses, immédiatement opérationnelles dont l'interprétation pouvait être assurée par une abondante expérience des laboratoires, de préférence à des méthodes plus sophistiquées et onéreuses mais dont la mise au point aurait nécessité un délai et des moyens importants. Elles combinent:

- des mesures ponctuelles sur les parcelles par des relevés botaniques permettant de suivre annuellement l'évolution quantitative de la biomasse, de la valeur pastorale, de la croissance des ligneux. Ces mesures sont répétées chaque année sur les mêmes stations, à la fois sur un éventail de sites correspondant à des parcelles primées et à des parcelles analogues, témoins, mais qui ne font pas l'objet des pratiques préconisées, à l'abandon ou en utilisation non contrôlée. L'ensemble des facteurs stationnels habituels (altitude, exposition, ...) sont bien sûr également pris en compte dans le choix des sites. Sept parcelles ont été choisies en 1994 et ont fait l'objet d'un suivi agronomique, pédologique et végétal pendant 5 ans. A ces sept parcelles, trois ont été rajoutées, suite à de nouveaux contrats en 1995 et une en 1996.

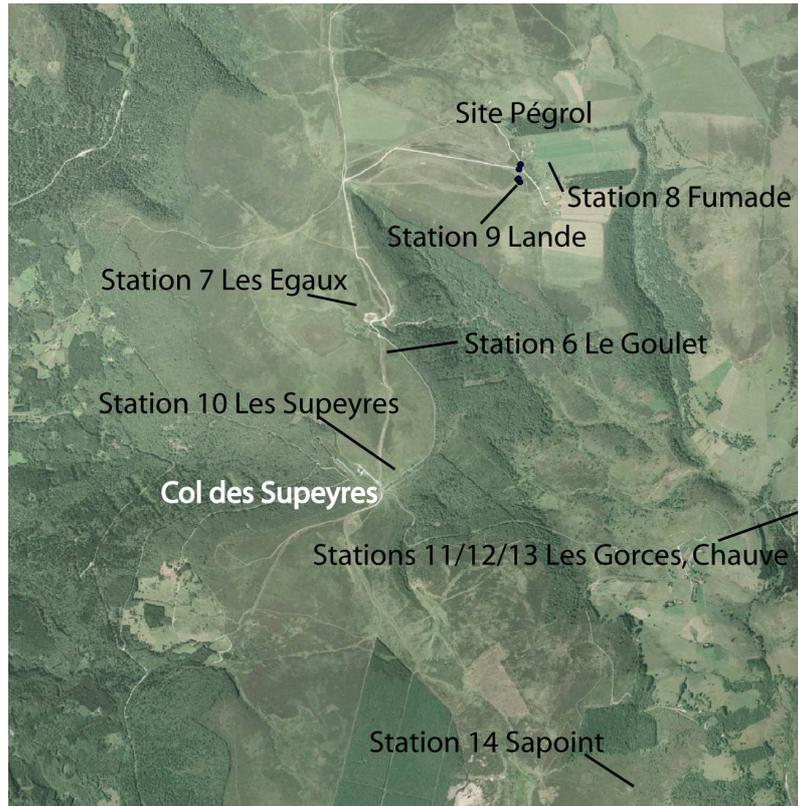
- un suivi climatique dont les lignes plus haut révèlent l'importance, assuré à la fois par une analyse des données des stations météorologiques du réseau Météo France les plus proches et complétés par des enregistrements thermiques au sol et dans le sol sur place au Col de la Chamboîte.

- un diagnostic par télédétection de la dynamique de l'embroussaillage et de l'évolution des ligneux, permettant notamment de confronter les évolutions mesurées sur un site à des évolutions plus générales de l'ensemble des Hautes Chaumes.

La localisation de l'ensemble des stations étudiées est donnée sur les deux figures N°3 et 4 auxquelles se réfère l'ensemble des données acquises sur les 14 stations qui ont fait l'objet d'analyse.



**Figure 3. Les stations des sites nord.**



**Figure 4. Les stations des sites sud.**

## 2.4 Les intervenants

Le suivi scientifique a été réalisé sous la coordination du Parc Naturel Régional du Livradois Forez (E Sourp et L. Comte). L'équipe scientifique rassemblée pour ce projet avait une connaissance du milieu importante puisqu'elle rassemblait les mêmes partenaires que l'étude SRETIE réalisée antérieurement. Aussi les méthodes déjà éprouvées sur le terrain des Hautes Chaumes ont-elles pu être mises en place dès le lancement des opérations de contractualisation avec les exploitants.

L'ENITA de Clermont-Ferrand a assuré le rassemblement et l'exploitation des résultats des données pastorales et pédologiques (J.P. Couhert)

L'OPNA a été associée aux travaux pour le diagnostic biologique (G. Thébaud). Le suivi de la croissance des ligneux sur les parcelles tests a été également assurée par l'OPNA tout comme l'évolution des milieux subalpins spécialisés, peu anthropisés en général.

Le CRENAM (Université Jean Monnet Saint Etienne,) (B. Etlicher, C. Jacqueminet, J.B. Suchel) a assuré le suivi thermique et le recueil des données climatiques ainsi que l'analyse et le traitement des données de télédétection. L'ensemble de ce travail a été organisé dans le cadre d'une convention liant tous les partenaires et le travail coordonné au cours de réunions régulières d'un comité de suivi scientifique réuni à l'initiative du Parc Naturel Régional du Livradois Forez.

### 3. Les paramètres bioclimatiques

#### 3.1 Les conditions du suivi thermique.

La température est mesurée au Col de la Chamboîte depuis 1995 dans le cadre du programme "suivi scientifique des mesures agri environnementales Hautes Chaumes". Ce suivi est assuré grâce à un enregistreur thermique de type Grant - Squirrel, acquis par le Parc Naturel Régional du Livradois-Forez. Il fait suite à celui réalisé en 1989-1991 dans le cadre du programme "SRETIE" "Erosion d'une lande pastorale et est assuré par le CRENAM, Université Jean Monnet Saint Etienne. Les données de température de la station du réseau automatique Météo France à Prabouré sont également exploitées à titre de complément et de comparaison.

Le site de mesure est situé au-dessus du col de la Chamboîte à 1520 m d'altitude. Identique à celui des hivers 89 à 92 (Etlicher et *al*, 1993), il est localisé à proximité immédiate de la congère, mais en position suffisamment déneigée. La localisation et la configuration des sondes sont représentées par le croquis (fig.). Cette configuration est identique à celle qui avait été adoptée antérieurement. Les sondes dans le sol sont disposées horizontalement, sur un même plan vertical, à l'exception de la sonde lande et de la sonde rocher. Elles sont éloignées d'une dizaine de mètres du boîtier et des sondes rocher et lande. Ces dernières sont posées à même le sol, la sonde rocher pouvant être directement frappée par le soleil. L'éclairement du site est dégagé, il n'y a pas, à proximité, d'arbustes supérieurs à 30 cm de haut. En revanche, l'inclinaison du versant, 24 % environ, et la position d'abri en-dessous du Rocher Pavé réduisent singulièrement le rayonnement direct du soleil pendant la saison hivernale. Le site est à l'ombre de fin octobre à mi-février. En été en revanche, l'exposition au N.E. induit un réchauffement matinal particulièrement rapide, révélé par la courbe horaire de montée en température de la sonde rocher.

Bien que le site ne possède pas de dispositif permettant de relever les périodes d'enneigement, la disparition des variations thermiques diurnes, sur la sonde rocher notamment, permet de déduire aisément les périodes consécutives de sol couvert de neige en hiver.

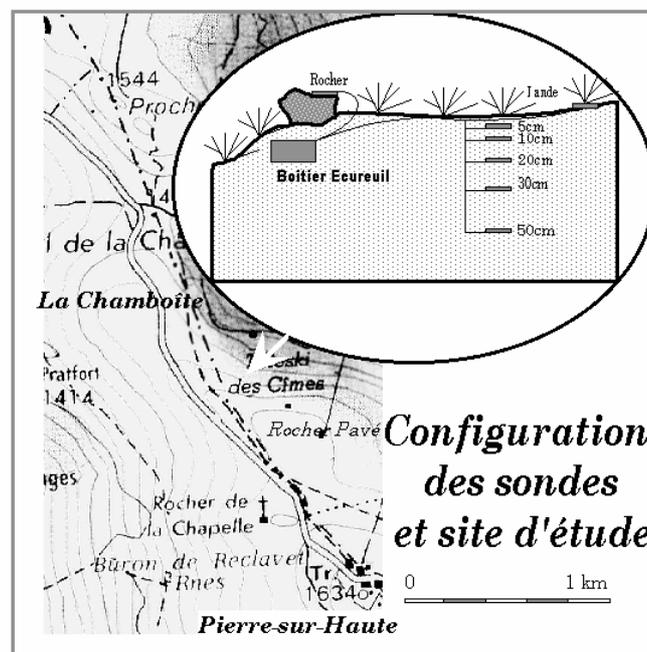


Figure 5 . Localisation des sondes

L'appareillage installé le 21 Juillet 1995 a enregistré les température de manière continue depuis cette date avec, toutefois, deux interruptions d'inégale durée pour des raisons techniques, entre le 9 mars et le 21 avril 1996 d' une part, entre le 25 juillet et le 26 septembre 1996 d'autre part. L'intervalle de lecture est d'une heure et toutes les lectures sont effectuées à h+20 mn T.U.

### **3.2 L'analyse des principales séquences.**

- **L'année 1995**

Quatre périodes sont clairement observables sur les enregistrements qui ne portent que sur l'été et l'automne.

La première, du 21 juillet au 27 Août est franchement estivale. Les températures de surface dépassent fortement les températures en profondeur. Les oscillations, importantes, sont à mettre en relation avec les successions des types de temps. En profondeur la température se stabilise à 9°C.

La deuxième, du 27 Août au 2 Octobre marque un fort déclin des températures moyennes au long de la période, de 9 et 5°C. Surtout, la température en surface reste proche de celle qui est enregistrée en profondeur. Cette dernière amorce un lent déclin régulier.

La troisième, du 3 au 27 Octobre, voit le retour d'une situation plus proche de l'été avec un rétablissement du gradient thermique et une stabilisation en profondeur à 6-7°C.

La quatrième, après le 27 Octobre voit apparaître un régime hivernal où les températures de surface sont inférieures à celles de la profondeur avec une première période froide (moyenne < -10°C le 5 Novembre) et des minima absolus en surface de -12,6°C dans la lande. Contrairement à l'hiver, les minima sont observés dans la lande et non sur le rocher. Le gel nocturne devient presque quotidien et la température s'effondre en quelques jours à moins de 3°C. Les températures dans le sol s'approchent ensuite lentement de 0°C jusqu'en décembre et les maxima quotidiens sont toujours inférieurs à 5°C. Grâce à un enneigement précoce, contrairement aux années 89 à 92 il n'y a pas de gel dans le sol jusqu'en décembre. Des périodes de gel sévère, minima de -5 à -10°C, alternent à trois ou quatre reprises avec des périodes plus douces.

- **L'année 1996.**

L'hiver se poursuit en trois périodes distinctes: la première de fin Décembre au 13 Janvier est caractérisée par un enneigement masquant les oscillations diurnes. La seconde quinzaine est caractérisée par un froid vif, des périodes de gel continu qui vont en s'allongeant jusqu'à la fin de la première décade de février. Au sol, les -10°C sont atteints une fois et -8°C deux fois.

Après la mi-février, l'enneigement s'installe à nouveau jusqu'à l'interruption des enregistrements fin mars, et même jusqu'à la mi-avril.

Quatre périodes caractérisent le printemps et l'été. La première voit une montée des températures assez rapide jusqu'à la fin mai, interrompue par des coups de froids brefs mais assez intenses qui font baisser jusqu'à 0°C les mini sur rocher à plusieurs reprises. Ces oscillations ne bloquent toutefois pas l'échauffement du sol. La période du 30 mai au 22 juin prend un caractère franchement estival avec des maxima diurnes sur rocher atteignant les 30°C et une stabilisation à une valeur élevée des températures dans le sol. Cette période est interrompue par un brusque rafraîchissement pendant quelques jours et une période plus printanière plus fraîche, jusqu'à faire sensiblement chuter les températures dans le sol qui retrouvent leurs niveaux de la période d'avril. La fraîcheur des minima est remarquable, le 0°C étant atteint au début de la période, les 2°C à plusieurs reprises ensuite. Cette séquence se poursuit par une période de temps particulièrement maussade et froid jusqu'à la mi - juillet (faible amplitude diurne due aux brouillards et à la couverture nuageuse). Le retour de conditions estivales n'intervient que pour le 14 juillet jusqu'à la fin de la période d'enregistrement, mais sans atteindre tout-à-fait les maxima de début juin.

Après une interruption technique jusqu'au 27 Septembre, les enregistrements reprennent de manière continue jusqu'en fin d'année.

Au début de la période d'évolution automnale est déjà fortement engagée et les températures au sol sont en déclin marqué. Une longue période s'étend jusqu'au 15 novembre au cours de laquelle le caractère heurté des courbes de surface (lande et rocher) traduit une succession de types de temps sur des périodes courtes faisant alterner des journées ensoleillées et encore tièdes (autour du 1 ou du 25 octobre par exemple) et des journées froides (6 ou 13 octobre) avec un gel au sol pour ce dernier jour. Le déclin des températures dans le sol se manifeste surtout dans la première quinzaine de novembre, alors que les températures de surface restent peu ou prou stables : ce fait confirme le rôle prééminent de l'insolation et du rayonnement dans la régulation de la température du sol, déjà noté au cours des hivers 89 à 91. (Etlicher *et al.*, 1993).

La situation hivernale commence mi-novembre où l'enneigement fait son apparition jusqu'en mi-décembre, encore faut-il souligner que le déneigement n'est que partiel ensuite. L'absence de gel dans le sol s'explique par la précocité de l'enneigement avant que le site n'ait connu une seule journée sans dégel. La seconde quinzaine de décembre est marquée par deux semaines contrastées: la première douce voit les températures du rocher s'élever avec l'insolation alors que les nuits restent tièdes (pas de gel nocturne sur le rocher pendant cette semaine, la seconde voit s'installer un froid vif sans dégel diurne. La mince couche de neige au sol -seul le rocher est complètement déneigé- empêche le gel du sol. Les fortes chutes de neige de la fin décembre renforcent l'isolation et évitent la pénétration de l'onde de gel en profondeur pendant le reste de l'hiver.

- **L'année 1997.**

Elle débute par de fortes chutes de neige mais dont la tenue est réduite puisque le déneigement est acquis dès la fin Janvier et ce, de manière définitive, ce qui ne s'est jamais observé aussi tôt depuis le début des mesures. Une situation thermique hivernale persiste jusqu'au 23 Avril.

Jusqu'au 21 janvier l'enneigement est général. Le déneigement partiel apparaît à cette date mais le temps reste froid et les minima nocturnes s'abaissent modérément (-6°C) parvenant difficilement à faire passer à 5cm le seuil de 0°C. Cette situation perdure jusqu'à fin février où, les températures diurnes sur rocher commencent à s'élever sensiblement avec l'élévation du soleil sur le site. Le temps particulièrement clair permet d'observer finement l'augmentation progressive des températures diurnes sur le rocher jusqu'au 28 mai où est atteinte la température de 35°C.

Pendant la fin de l'hiver, cette augmentation diurne ne se traduit pas par un accroissement de la température du sol qui reste à 0°C. Ce n'est qu'à partir du 10 avril qu'un palier vers 2 à 3°C semble atteint et sera maintenu jusqu'au début mai où commence la situation de printemps caractérisée par l'élévation progressive de la température du sol. L'accroissement des températures diurnes ne s'accompagne pas d'un accroissement des températures nocturnes bien au contraire: l'amplitude s'accroît fortement au cours du mois d'avril, au point que même les moyennes sur lande et sur rocher ont tendance à chuter régulièrement au cours du mois d'avril. C'est en effet le 22 avril qu'est enregistré le plus faible minimum depuis le début de l'année, immédiatement suivi du démarrage de la période printanière avec élévation progressive de la température du sol jusqu'au 15 juin.

La situation estivale est acquise à cette date avec une stabilisation des températures au sol et dans le sol. A cette période de beau temps succède une période fraîche et médiocre qui s'étend jusqu'à fin juillet de sorte que les maxima de fin mai ne seront atteints à nouveau qu'au début de la seconde semaine d'août. La température maximale dans le sol est élevée et acquise tard dans l'été deuxième décennie d'août. La situation estivale se prolonge jusqu'à mi-octobre où la période automnale, caractérisée par le déclin thermique, se déroule en une période très courte. Lors du relevé de l'appareil, la situation est quasi hivernale avec un sol en surface et à 5cm gelé, un minimum nocturne inférieur aux plus basses valeurs observées depuis le début de l'année.

Cette période de beau temps à forte amplitude dure quelques jours puis une situation plus automnale se met en place, d'abord douce, puis fraîche à partir du 6, entrecoupées de périodes d'enneigement de quelques jours. Les températures évoluent entre -2 et 5°. L'enneigement s'installe le 29 novembre jusqu'au redoux du 24 décembre où les températures atteignent des valeurs diurnes proches de 5°C sur rocher. Le déneigement n'est qu'incomplet pour quelques jours et ne se manifeste pas sur lande.

Dès le 27 l'amplitude diurne n'est plus perceptible. Dans le sol , la décroissance est très lente en raison du couvert de neige et au 31 décembre la température est encore de 2,1°C.

● **L'année 1998.**

L'année débute avec un sol enneigé. Un réchauffement se manifeste du 6 au 15 avec un déneigement de la sonde rocher et des températures très douces, parfois sans gel nocturne, ce qui ne s'était jamais observé à pareille époque.

Du 15 janvier au 19 février se situe probablement la période la plus froide au cours de laquelle les températures minimales sont atteintes dans le sol 0°5 à 50cm. L'enneigement fait qu'il n'y a pas de gel du sol cet hiver .Les minima nocturnes sont bas à en juger par les valeurs sous la neige mais non mesurables.

Du 19 février au 12 avril s'ouvre une période où le déneigement partiel permet aux amplitudes diurnes de se manifester au sol. Cette longue période voit un réchauffement de milieu de journée croissant, souvent avec ciel clair sauf une période de neige du 11 au 18 mars. Une période de gel continu s'étend du 17 janvier au 12 février suivi d'oscillations autour de 0°C. Il faut attendre le 20 mars pour voir les maxima diurnes s'élever sensiblement entre 7 et 10°C., le 25 pour atteindre les 15 alors dans le même temps , les minima cantonnés autour de 0° s'abaissent notablement -5°C puis -8°C. Après quelques jours sans gel fin mars, le mois d'avril est marqué par un retour du froid vif, mal enregistré à cause d'un retour de la neige. Jusqu'au 5 Mai, la situation est encore hivernale.

La situation d'été intervient brusquement et s'installe le 9 Mai seulement interrompue à deux reprises par des coups de froid (autour de 0°C) pendant 3 jours du 27 au 30 Mai, pendant 8 jours du 10 au 18 juin. Les températures très élevées sont mesurées dès le 9 Mai (42°C maxi sur rocher) et il n'y a plus de gel nocturne même sur lande après le 7 Mai. Le maximum du sol est élevé (8°4C) fin juillet.

La décroissance lente des températures à l'air libre et dans le sol commence le 12 Août, liée à la réduction de l'insolation du site. Le maximum atteint à 50 cm est le plus élevé et de très loin de toutes les années d'observation (12,9°C).

Contrairement à l'année précédente, la décroissance est très lente et progressive mais la situation hivernale est aussi atteinte fin Octobre, après une longue période intermédiaire couvrant tout le mois d'Octobre où le gradient disparaît dans le sol.

	<b>Hiver 95/96</b>	<b>Hiver 96/97</b>	<b>Hiver 97/98</b>	<b>Hiver 89/90</b>	<b>Hiver 90-91</b>
<b>Minimum absolu sur rocher</b>	-8° (en 95)	-12,6°	-7,8°C (le 31 oct.)	-8°	-22°
<b>Minimum absolu sur lande</b>	-12,3° (en nov.)	-4,5°	-3°6°C (le 31 oct.)	-7,8°	-9°
<b>Mini. à 50 cm</b>	+1,2°	+0,3°	+1°	Pas de sonde	-6°
<b>jours consécutifs &lt;0°C lande</b>	33	24	3	>113	>113
<b>jours&lt; 0°C à 5cm</b>	2 fois 4.	36	0	>113	>113
<b>première valeur &gt;0°C sur rocher (maxi)</b>	jv	18 jv	10 jv	17 fev	3 mars
<b>première nuit sans gel</b>	14 jv (0,3° sur lande)	3 mars (0,3° sur lande)	10jv	après fin février	après 15 mars

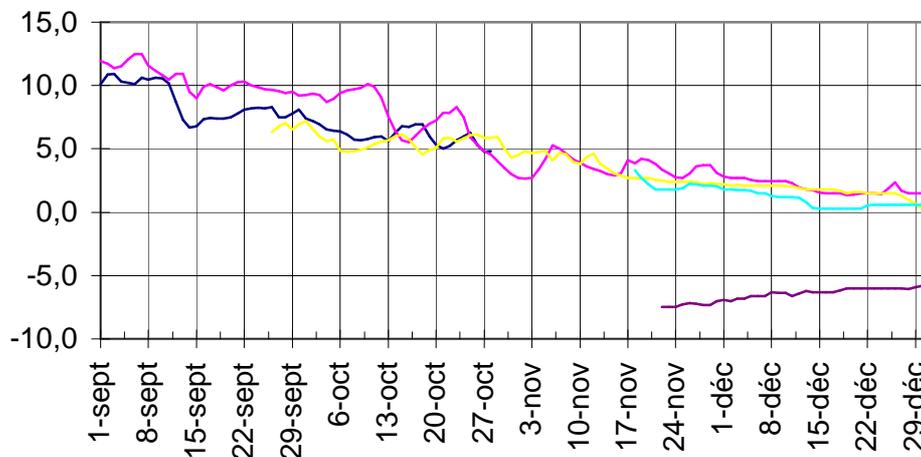
**Tableau 3. Quelques valeurs remarquables en hiver.**

### 3.3 Les comparaisons pluriannuelles.

- **Quelques seuils repères en hiver.**

Une première comparaison peut être donnée sur les valeurs des minima et maxima observés au cours des années d'observation.

Les observations montrent que les années 95-96 et 96-97 et surtout 97-98 diffèrent fortement par l'intensité du froid et par sa durée des années 89-91. Tant pour les minima absolus que pour la durée des phénomènes, les écarts sont considérables. On n'observe pas, pour ces trois années, un gel saisonnier du sol. L'importance de l'enneigement peut partiellement expliquer ce constat pour les années 95/96 et 97/98 mais cet argument ne peut être retenu en 96-97. Ce dernier hiver apparaît donc exceptionnel autant par sa douceur que la brièveté de son enneigement. Celui de 97/98 se caractérise par des périodes de douceur encore plus grandes (pas de gel nocturne le 10 janvier !) mais un enneigement régulier. Les périodes les plus froides, Octobre et Avril sont peu efficaces compte tenu de l'enneigement, (pas de gel du sol à 5 cm!).



**Figure 6. Baisse des températures dans le sol (10 cm) en automne**

La courbe de descente des températures dans le sol à l'automne montre également des différences notables.

Les années 95 et 96 ont une courbe régulière et assez semblable faisant passer la température de 7°C en début octobre à 1°C fin Décembre. Par comparaison l'année 90 est caractérisée par une rigueur considérable et l'année 97 par une chute particulièrement brutale fin octobre. Les séries incomplètes ne permettent pas d'aller plus avant tant que les données de l'hiver 97/8 ne sont pas connues.

- **Le réchauffement estival.**

Les observations relatives à l'été ont un caractère plus fragmentaire car seules les années 1997 et 1998 ont fait l'objet d'un suivi continu. Outre la caractéristique tardive de la chaleur pendant cette année qui rend les comparaisons difficiles avec le mois de juillet de l'année précédente, on peut noter que 1997 apparaît plus chaud que 1996 et que la chaleur a été beaucoup plus précoce en 1995.

Les valeurs maximales sur lande sont fort différentes, le mois de juillet ayant été particulièrement chaud en 1995. Il faut également retenir la date variable du déclin des températures dans le sol: cette dernière semble assez précoce, la date de 1997 devant plutôt être considérée comme une exception compte tenu des caractéristiques très tardives de la chaleur cette année. Enfin le nombre de

jours très frais susceptible de ralentir fortement l'activité biologique est à relever: ils représentent un jour sur 6 en 1996 pendant les deux mois de plein été.

	1995	1996	1997	1998
Maximum absolu sur rocher	37,5	39,3	36,3	42,0*
Maximum absolu sur lande	31,2	22,5	23,1	29,4*
Maxi. à 5cm	15,0	13,6	15,2	14,2
Maxi à 50 cm	9,33	10,5	10,53	9,6
nbre jours <7°C (moyenne lande, en juin juillet)	?	10	7	6
nbre jours chauds >15°	7 à partir du 25 juillet	0 jusqu'au 26 juillet	7	8
Date du dernier gel (lande)	?	21 avril (-0,6°)	8 mai (-0,6°)	7 Mai (-0,6°)
Date du déclin des températures à 50cm	7 Août	?	28 Août	27 Août
Date du premier gel	5 sept	18 oct. (-0,3°)	25 oct. (-0,9°)	après le 28 oct. **

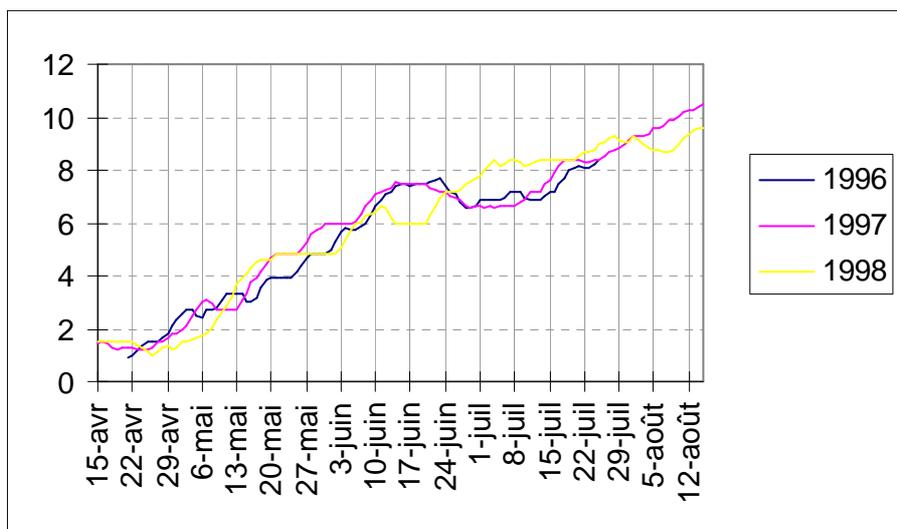
\*Le 9 mai; \*\*Enregistrements non encore disponibles au delà de cette date.

**Tableau 4 . Valeurs remarquables de l'été.**

Les comparaisons de montée en température lors du printemps montrent des courbes voisines, celle de 1996 étant plus élevée et plus irrégulière, celle de 1998 est plus lente et régulière. Le maximum dépasse les 10 degrés en 1997 alors, qu'ils ne sont pas atteints en 1998. Dès le début juin les 7°C sont franchis en 1996 et 1997 mais il est vrai qu'une rechute particulièrement sévère a été observée ensuite. Les bilans de degré heures permettent d'aller plus loin dans l'analyse.

- **Les degré heures**

Le calcul des degré heures positifs au cours des trois années peut donner d'utiles indications sur la quantité de chaleur reçue par les plantes. L'analyse a été faite à partir des données de la sonde "lande" et de la sonde " 10cm", niveau où se situent le plus de racines des plantes sur le site.



**Figure 7 . Elévation des températures au printemps dans le sol (50 cm)**

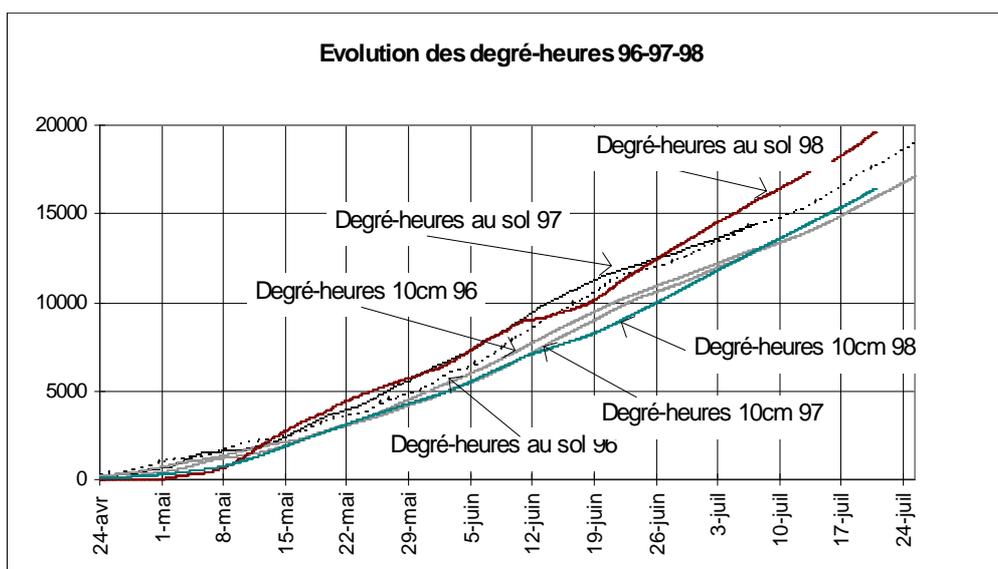
Date	D-heures au sol 1996	D-heures au sol 1997	D-heures au sol 1998	D-heures à 10cm 1996	D-heures à 10cm 1997	D-heures à 10cm 1998
24-avril	301	0	7	159	1	78
1-mai	1122	735	98	764	466	333
8-mai	1845	1641	876	1428	1255	876
16-mai	2695	2845	3245	2267	2157	2260
22-mai	3709	4063	4644	3141	3222	3611
31-mai	5452	6309	6202	4597	5052	4645
7-juin	7164	8083	8152	6011	6568	6225
15-juin	9670	10451	9529	8127	8631	7741
30-juin	12957	13239	13920	11439	11753	11278
7-juil	14433	14464	15918	12865	13051	13104

**Tableau 5. Degré-heures positifs au printemps.**

Valeurs des degré-heures positifs cumulés au cours de la saison végétative, calculés chaque heure à partir des dates où la moyenne quotidienne devient positive, soit le 24 avril en 1997 et le 20 avril en 1996 et 1998. La transformation en degré-jours s'effectue en divisant les valeurs par 24.

Globalement, à la date des prélèvements, il s'avère que 1997 a été un peu plus chaud que 1996 mais dans une mesure modérée, le gain d'une journée chaude comme (le 7 ou le 9 juin) pouvant s'élever de 300 degré heures mais que 1998 est beaucoup plus chaude, pratiquement à toutes les dates à l'exception de mi-juin.

En revanche, on observe assez clairement que 1996 et 1998 surtout, ont été plus précoces que 1997, l'inversion de tendance s'effectuant autour du 15 mai pour 1996, du 12 juin pour 1998. La période fraîche de fin juin 97 permet, à partir de cette date, un quasi - équilibre entre la situation des trois années fin juin -début juillet. Mais ensuite, les valeurs de 1998 l'emportent sensiblement alors que le démarrage au début de mai a été plus tardif. Il est à noter que cette tendance générale est un plus marquée sur les valeurs dans le sol que sur les valeurs dans la lande.



**Figure 8 . Degrés-heures positifs au printemps**

### 3.4 Premières conclusions générales.

Malgré la brièveté de la période d'observation et le caractère fragmentaire de certains relevés, quelques commentaires généraux peuvent être conduits.

L'année peut être divisée en deux grandes périodes:

- **La période hivernale** marquée par un gradient de température du sol positif où les températures dans le sol s'élèvent avec la profondeur, s'étend de novembre à fin avril. L'importance du phénomène de gel du sol fortement souligné en 1989 -1991 ne s'est pas confirmé depuis. Il est trop tôt pour savoir si le caractère, à bien des égards exceptionnel, des hivers 1989-1991 est responsable de ce diagnostic ou si c'est au contraire la douceur exceptionnelle de l'hiver 96-97 qui est en cause. Dans tous les cas, le rôle de l'importance de l'enneigement et de sa précocité est essentiel pour comprendre la pénétration de l'onde de gel dans le sol. Un enneigement tardif, après que le froid soit installé permet au gel du sol de se maintenir tout l'hiver; au contraire, un gel précoce, avant les premiers froids comme en 1995-1996, ou en 1997-1998 empêche un gel profond et durable du sol.
- **La période estivale** marquée par un gradient de température négatif s'étend de mi - mai à mi - octobre. Elle est entrecoupée de périodes fraîches où les moyennes au sol sont susceptibles de descendre en dessous de 7° voire 5 dès que le mauvais temps s'installe pour quelques jours. La croissance des températures dans le sol à 50 cm est régulière jusqu'à 10°, ce maximum étant atteint fin juillet - début août, parfois un peu plus tard (1998).
- **Les périodes de transition** sont très courtes: en une quinzaine de jours ou au plus un mois on passe du régime estival au régime hivernal. Quels que soient les caractères de l'hiver ou de l'été, précoce ou tardif, froid ou chaud, ces périodes de transition se placent toujours fin avril et fin octobre. Des périodes clémentes de fin d'hiver avec des maxima élevés diurnes, ou au contraire des périodes fraîches début d'automne ne doivent pas tromper: elles ne semblent pas avoir d'effet significatif sur l'évolution des températures en profondeur dans le sol et ne conduisent pas à avancer ou retarder significativement cette période de transition qui fixe le début et le terme de la saison végétative.

Une analyse plus précise des conditions d'éclairement du site doit être conduite pour préciser le rôle éventuel de ce facteur dans le régime thermique du sol. La variabilité interannuelle des conditions thermiques semble plus importante pour l'hiver que pour l'été. La poursuite des mesures s'impose pour permettre d'affiner ces résultats, et notamment pour évaluer la fréquence respective des diverses situations identifiées.

### 3.5 Le bilan de l'eau à Prabouré et climatologie activité végétative

La station météorologique automatique de Prabouré fonctionne depuis le 3 avril 1991. Après plus de 5 ans de bons et loyaux services, il paraît intéressant d'esquisser un premier bilan des observations.

La possibilité d'examiner simultanément les températures et les précipitations permet en outre de se faire une idée de l'occurrence de la neige comme des risques de déficit hydrique pour la végétation.

#### ● Caractères climatiques des mois concernés en 1994

-Après les abondantes pluies d'avril et mai, juin est peu pluvieux (60,4 mm): le moins pluvieux des cinq mois de juin de la période d'observation, tandis que les températures sont déjà assez élevées (moyenne des maxima journaliers: 16°4) et le rayonnement global important: 59012 J/cm<sup>2</sup>. On observe des vents forts en 1ère décade.

-Juillet est un peu plus arrosé: 86,6 mm, mais avec une mauvaise répartition des pluies: seulement 0,6 mm du 1er au 16. Les deux jours les plus pluvieux sont probablement le 29 et le 31,

mais les valeurs ont été estimées, à la suite du foudroiement de la station. Il s'agit par ailleurs d'un mois chaud (7 jours avec  $\geq 25^\circ$ ), avec une assez grande fréquence des minima d'humidité relative inférieures à 40 % (8 jours concernés) et un rayonnement global supérieur à  $61200 \text{ J/cm}^2$ .

-La pluviométrie d'août est simplement moyenne: 102,6 mm et assez mal répartie: seule la 3e décennie est vraiment pluvieuse (62,8 mm). Les températures restent élevées (4 jours avec  $\geq 25^\circ$ ) et le rayonnement fort (plus de  $57000 \text{ J/cm}^2$ ).

On peut donc présumer que ces deux mois de plein été, après la pénurie pluviométrique de juin, connaissent un déficit hydrique marqué (voir bas de page).

- Septembre, en revanche, est copieusement arrosé: 223,2 mm assez bien répartis, bien que la 2e décennie regroupe plus de la moitié du total. On compte 23 jours avec précipitations. Une période froide du 14 au 21, avec les premières gelées au sol, a pu limiter la repousse végétale. Mais les conditions hygrothermiques restent favorables ensuite.

-Octobre est également bien pluvieux (178,5 mm), à l'exception de la première décennie, qui ne reçoit que 12,8 mm et compte par ailleurs cinq jours de gelée au sol ( $-3^\circ$  le 6). Par contre, la 2e décennie aurait pu permettre encore la repousse végétale (température moyenne:  $10^\circ$ ), bien qu'elle comporte 28 h.30 d'humidité relative inférieure à 40 %. La 3e décennie est nettement plus froide, avec deux jours de gelée sous abri.

- Les deux premières décennies de novembre sont très pluvieuses, mais la 3e presque totalement sèche, avec de nouveau 28 h.30 d'humidité relative inférieure à 40 %. Les températures sont encore très douces du 19 au 24, mais le rayonnement global du mois n'est plus que de  $14387 \text{ J/cm}^2$ .

- L'hiver ne s'installe vraiment qu'à la mi-décembre.

*Le bilan de l'eau à Prabouré au cours de la saison chaude 1994*, si l'on admet le scénario proposé dans le tableau joint (ETP estimée selon la formule de Turc, réserve utile du sol plafonnée à 50 mm, dont 30 en réserve de survie), fait apparaître une ponction sur la réserve pendant tout l'été sensu stricto. Plus précisément, la réserve de survie est entamée dès la 1ère décennie de juillet et ne sera reconstituée qu'en septembre. Elle est réduite à néant au cours de deux périodes critiques: 2e et 3e décennies de juillet, les faibles pluies des deux décennies précédentes ne permettant pas de compenser les pertes par ETR, et 3e décennie d'août, pour la même raison. On comprend moins bien pourquoi la bonne pluviométrie de septembre et octobre, associée à des températures plutôt douces, n'a pas permis une repousse végétale tardive.

#### ● **Caractères climatiques de la période concernée en 1995**

La puissance de la revégétalisation au printemps 1995 peut parfaitement s'expliquer par une abondance pluviométrique exceptionnelle depuis l'hiver précédent. En effet, on recueille pas moins de 856,0 mm d'eau de janvier à mai, ou encore 1535,6 mm de septembre 1994 à mai 1995. C'est nettement plus que les trois années précédentes pour des pas de temps équivalents, bien que 1993-94 s'en rapproche (724,4 et 1372,0 mm).

Les très abondantes précipitations de janvier, février et mars (602,4 mm pour ces trois mois) sont bien réparties et entraînent la formation d'un important stock neigeux, notamment en janvier. Par contre, il pleut très peu du 1er au 18 avril (3,6 mm), mais les sols étaient saturés et la 3e décennie de ce mois est très arrosée (110,8 mm). En mai également, la 1ère décennie est pauvre en précipitations (5,4 mm) et enregistre des taux d'humidité relative  $< 40\%$  pendant 34 h.36, mais, là encore, les pluies abondantes et équilibrées des deux décennies suivantes apportent une compensation. Après les températures élevées de la 1ère décennie de mai (moyenne des maxima:  $16^\circ$ ), de fortes gelées en deuxième décennie ( $-6^\circ$  au-dessus du sol le 15) ont pu provoquer une pause dans la repousse. Mais la 3e décennie est normalement chaude, tout comme juin, mois dont les précipitations relativement modestes (83,4 mm), sont correctement distribuées.

#### ● **Caractères climatiques de la période concernée en 1997**

D'une manière générale, la saison végétative 1997 se caractérise:

-par un total pluviométrique médiocre, très inférieur à celui des quatre années précédentes,

- par un déficit hydrique précoce et très accentué en mars-avril,
- par des prélèvements sur la réserve utile fractionnés en plusieurs périodes.

Dès la première décennie de mars, il semble que les températures aient été suffisantes pour permettre un démarrage de l'activité végétative: le plus souvent, les maximales dépassent largement  $10^{\circ}$  ( $18^{\circ}$  le 4) et les gelées sous abri sont rares et insignifiantes. L'ETP est déjà d'un bon niveau. Compte tenu de la modicité des précipitations, la RU est déjà entamée en 2e et 3e décades, tandis que les gelées reviennent à partir du 19.

Avril est un mois franchement difficile pour la végétation, en raison de ses fortes amplitudes thermiques journalières et de l'absence totale de précipitations jusqu'au 25. Les maximales relativement élevées (22 jours sur 30 dépassent le seuil de  $6^{\circ}$  et 14 le seuil de  $10^{\circ}$ ) sont favorables à la croissance végétale, mais on compte en revanche 16 jours avec gelée sous abri (surtout dans la période du 12 au 24, alors que le stress hydrique est accentué) et 23 jours avec gelée à 10 cm au-dessus du sol ( $-8^{\circ}$  le 21). Compte tenu du bon niveau de l'ETP, la réserve de survie est entamée dès la 1ère décennie et le déficit hydrique devient sévère en 2e décennie et au-delà, situation tout à fait inhabituelle par sa précocité.

En outre, mars et plus encore avril se distinguent par la longue durée des faibles humidités relatives ( $< 40\%$ ): 161 heures entre le 1er et le 25/04. Des minima inférieurs à 20 % sont enregistrés à plusieurs reprises (15 % le 23/03 et le 7/04).

Les précipitations reviennent avec abondance entre le 26/04 et le 12/05, mais la 1ère décennie de mai subit encore des gelées sous abri. La médiocrité des pluies du reste du mois, conjuguée à une ETP en forte hausse, entraîne un prélèvement important sur la RU, qui se manifeste en début des trois décades de juin, sans que la réserve de survie soit, cette fois, entamée.

Les fortes pluies de la 3e décennie et la pluviométrie assez bien répartie de juillet permettent le retour à une situation globalement favorable. Mais les fortes chaleurs et la sécheresse relative de la 1ère décennie d'août suscitent une nouvelle ponction sur la RU, qui s'accroît en 2e décennie, jusqu'aux pluies abondantes des 27 et 28/08 (57,8 mm).

Septembre amène une nouvelle période de déficit hydrique relatif (sans prélèvement sur la Rs) étalé sur trois décades, en raison d'une pluviométrie de nouveau indigente: les précipitations sont insignifiantes du 14/09 au 5/10 (et totalement absentes du 23/09 au 5/10), alors que l'ETP reste forte et les faibles humidités relatives fréquentes.

Les premières gelées sous abri se produisent le 14 octobre. Elles deviennent sévères dans les derniers jours du mois, tandis que les précipitations font de nouveau défaut. On compte en octobre 13 jours de gelée au-dessus du sol ( $-8^{\circ}$  le 29).

Au total, en dix mois (janvier-octobre), il n'est tombé que 855,8 mm d'eau, pour une moyenne de 1171,3 mm.

La figure qui associe les températures et les précipitations à l'échelle décadaire sur une période excédant un an permet un bien meilleur suivi de l'évolution du temps que les diagrammes précédents. Elle montre bien l'aspect chaotique de l'évolution des précipitations et même des températures malgré l'opposition d'ensemble été-hiver. On peut par exemple remarquer que les deux automnes représentés ont eu des températures en dents de scie et que la grande douceur des deux premières décades d'octobre 1995 a fait que ce mois a été plus chaud que septembre, fait rarissime, ou encore que, des deux périodes de grand froid, l'une, de la 1ère décennie de février à la première de mars, a été sensiblement plus longue que l'autre, à la charnière de 1996 et 1997. On voit aussi que certaines décades ont été totalement sèches ou presque et que novembre 1996 doit sa très forte pluviométrie essentiellement aux 2e et 3e décades...

La dernière figure se rapporte à un autre élément du climat faisant l'objet de mesures à Prabouré: le rayonnement global. Il s'agit du flux d'énergie totale parvenant au sol, que le soleil soit apparent ou non, exprimé en joules par  $\text{cm}^2$ . La relation entre le rayonnement global et les températures est étroite, mais la durée du jour par rapport à la nuit a aussi une grande influence: ainsi, le rayonnement total d'avril ( $48659 \text{ J/cm}^2$ ) est supérieur à celui de septembre ( $40309$ ), alors que la température moyenne donne très nettement l'avantage à ce dernier mois ( $8^{\circ}$  au lieu de  $5^{\circ}$ ).

1994	Av3	M1	M2	M3	Jn1	Jn2	Jn3	Jt1	Jt2	Jt3	At1	At2	At3	S1	S2	S3	O1	O2	O3
P	28,4	38,4	56,4	45	20,6	16,4	23,4	0,2	24,4	62	17,8	22	62,8	40,2	117	65,6	12,8	106	60
ETP	20,6	17,6	19,6	26,1	25,4	28,3	37,6	40,8	39,3	37	37,9	31,4	34,9	20,3	8,4	12,3	14,1	15,1	7,9
ETR	20,6	17,6	19,6	26,1	25,4	28,3	37,6	26,1	31,8	37	37,9	28,3	34,9	20,3	8,4	12,3	14,1	15,1	7,9
RU	50	50	50	50	50	45,2	33,3	19,1	0	0	25	4,9	0	27,9	47,8	50	50	48,7	50

1995	M2	M3	Jn1	Jn2	Jn3	Jt1	Jt2	Jt3	At1	At2	At3	S1	S2	S3	O1	O2	O3	N1	N2
P	69,2	55	24,8	13,4	45,2	41,8	26,2	14,6	29,6	13,2	21,2	54,8	88,6	30,8	46,2	4,8	34,8	2,4	69,6
ETP	8,5	23,5	20,6	24,3	35	33,5	36,9	40,8	33,2	33,1	23,7	19,1	10,8	12,9	17,8	14,5	10,7	4,6	3,4
ETR	8,5	23,5	20,6	24,3	35	33,5	36,9	40,8	33,2	25,2	16,8	19,1	10,8	12,9	17,8	14,5	10,7	4,6	3,4
RU	50	50	50	50	39,1	49,3	50	39,3	13,1	9,5	0	0	35,7	50	50	50	40,3	50	47,8

1996	Av3	M1	M2	M3	Jn1	Jn2	Jn3	Jt1	Jt2	Jt3	At1	At2	At3	S1	S2	S3	O1	O2	O3
P	33	27	50,6	26,6	37,4	2,6	30,4	114	0,4	63,2	58,2	26	14	0	21,6	25,4	36,8	51,4	14,6
ETP	16,8	12,6	14,9	30,9	30,3	43,4	24,6	19,1	39,8	38,6	29,5	28,2	19	21,4	17,2	12,7	6,6	8,6	13,9
ETR	16,8	12,6	14,9	30,9	30,3	43,4	24,6	19,1	39,8	38,6	29,5	28,2	19	21,4	17,2	12,7	6,6	8,6	13,9
RU	50	50	50	50	45,7	50	9,2	15	50	10,6	34,9	50	47,8	42,8	21,4	25,8	38,5	50	50

1997	F3	Ms1	Ms2	Ms3	AI1	AI2	AI3	Mi1	Mi2	Mi3	Jn1	Jn2	Jn3
P	14,8	4	10,2	2,8	0	0	49,6	64,2	44,6	8,8	34,8	29,2	96,2
ETP	6,2	15,8	13,8	9,7	19,1	14,5	14,2	17,5	26,5	37,2	29,7	29,1	16,8
ETR	6,2	15,8	13,8	9,7	17,6	4,2	14,2	17,5	26,5	37,2	29,7	29,1	16,8
RU	50	50	38,2	34,6	27,7	8,6	0	35,4	50	50	21,6	26,7	26,8

1997	Jt1	Jt2	Jt3	At1	At2	At3	S1	S2	S3	O1	O2	O3
P	40,8	26	53,8	10,4	25	69,6	22,2	25,6	3,6	32	50,4	14,4
ETP	26,9	28,7	32,9	37,2	29,9	29,9	27,9	26	24,5	18,1	8,5	10
ETR	26,9	28,7	32,9	37,2	29,9	29,9	27,9	26	24,5	18,1	8,5	10
RU	50	50	47,3	50	23,2	18,3	50	44,3	43,9	23	50	50

1998	F2	F3	Ms1	Ms2	Ms3	AI1	AI2	AI3	Mi1	Mi3	Mi3	Jn1	Jn2
P	0	42,4	44,6	12,4	3,6	45,6	93,2	115	17,2	9	74,8	39,6	41,8
ETP	13	2,9	5,7	1,2	10,6	7,4	0	14,7	21,9	42,1	19,8	29,8	28,2
ETR	13	2,9	5,7	1,2	10,6	7,4	0	14,7	21,9	42,1	19,8	29,8	28,2
RU	50	37,4	50	50	50	43	50	50	50	45,3	12,2	50	50

1998	Jn3	Jt1	Jt2	Jt3	At1	At2	At3	S1	S2	S3	O1	O2
P	18,2	59,2	10,8	30	23,2	7,4	90,2	53,4	67,2	64	69,2	26,6
ETP	36,1	34	41,5	39,9	36,4	34,2	29,7	21,8	11,8	13,6	6,4	11,5
ETR	36,1	34	41,5	39,9	36,4	8,55	29,7	21,8	11,8	13,6	6,4	11,5
RU	50	32,1	50	19,3	9,4	0	0	50	50	50	50	50

ETP = évapotranspiration potentielle Turc (mm)

ETR = évapotranspiration réelle (mm)

P = précipitations (mm)

D.E. = déficit d'évaporation (mm)

R = réserve utile du sol en début de décade (plafonnée à 50 mm)

□ D.E. = déficit cumulé (mm)

Rs = réserve de survie (plafonnée à 30 mm)

**Tableau 6 Bilan de l'eau à Prabouré au cours des saisons chaudes 1994-1998**

**(calculé selon la méthode de P. Brochet et N. Gerbier 1975)**

Hypothèse de départ (compte tenu de la minceur des sols): réserve utile: 50 mm, dont réserve de survie: 30 mm. A défaut de données sur le rayonnement net ou l'insolation, l'ETP a été calculée selon la formule de Turc:  $ETP \text{ mm}/10 \text{ jours} = 0,13 t/t+15 (R_g + 50)$

avec  $t$  = température moyenne et  $R_g$  = rayonnement global (en cal/cm<sup>2</sup>) pour la décade considérée.

N.B. La prise en compte du vent conduirait sans doute à majorer sensiblement les valeurs d'ETP obtenues.

Référence: BROCHET P. et GERBIER N., 1975

La valeur décadaire la plus forte a été celle de la 2<sup>e</sup> décade de juin (26020 J/cm<sup>2</sup>) précédant immédiatement le solstice. Le rayonnement donne donc une idée beaucoup plus juste de l'apport d'énergie dont bénéficie la végétation au cours de la belle saison. C'est la raison pour laquelle on représente volontiers ce paramètre sous forme de courbe cumulative. Les mesures de rayonnement sont précieuses, car elles permettent, par association avec les températures sous abri, d'estimer l'évapotranspiration, donc d'effectuer des calculs de bilan hydrique.

### ● Présentation du bilan de l'eau de Prabouré pour 1998

En raison d'une pluviométrie plus abondante que l'an dernier (et très proche de la moyenne 1992-98), le bilan de l'eau de la saison végétative 1998 a été relativement favorable : les prélèvements sur la réserve utile ont été limités, sauf en août, où apparaît un déficit hydrique important, mais de courte durée, en deuxième décade.

La deuxième décade de février se signale par une absence totale de précipitations et des températures relativement élevées qui suscitent une ETP non négligeable, responsable d'un sensible amenuisement de la réserve en eau du sol. Mais, malgré une pluviométrie plutôt médiocre, les températures plus basses des six décades suivantes permettent une reconstitution de la capacité au champ, sauf à peu de choses près, au début d'avril.

Après de fortes gelées et d'abondantes chutes de neige, dans la 2<sup>ème</sup> décade d'avril, la saison végétative peut réellement commencer à la faveur d'une hausse significative des températures, qui s'amplifie en 2<sup>ème</sup> décade de mai. La faiblesse des précipitations des deux premières décades de ce mois a pour corollaire une forte ponction dans la réserve, mais les pluies abondantes de la 3<sup>ème</sup> décade évitent l'apparition d'un déficit hydrique.

La réserve reste à pleine capacité en juin, mais accuse un nouveau fléchissement passager début juillet, en raison de la poussée de chaleur et des faibles pluies de la 3<sup>ème</sup> décade de juin.

Cependant, c'est en août seulement qu'un véritable et sévère déficit hydrique se manifeste, pour peu de temps heureusement. Il est la conséquence des précipitations insuffisantes de la période la plus chaude de l'été : du 4 juillet au 20 août, il ne tombe (sous réserve de la validité des estimations) que 74,2 mm de pluie, alors que de fortes chaleurs, spécialement du 8 au 12 août, tendent à exacerber l'ETP. Ainsi, la réserve utile du sol est réduite à néant à l'issue de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> décades d'août, et, en attendant les fortes pluies des 21 et 22 août, l'ETR n'assure plus que le ¼ de l'ETP en 2<sup>ème</sup> décade.

Ensuite, les précipitations restent constamment supérieures aux valeurs de l'ETP. La réserve, bien reconstituée dès le début de septembre, demeure à pleine capacité jusqu'aux premières gelées (le 21/10). La saison froide s'installe sévèrement en 2<sup>ème</sup> décade de novembre.

Les fortes températures de juin ont entraîné un dessèchement de la végétation et les taux de M.S. (Tableau 12) en 98 sont en forte augmentation.

Le déficit pluviométrique estival entraîne une pousse automnale très faible.

## 4. La dynamique végétale : les stations.

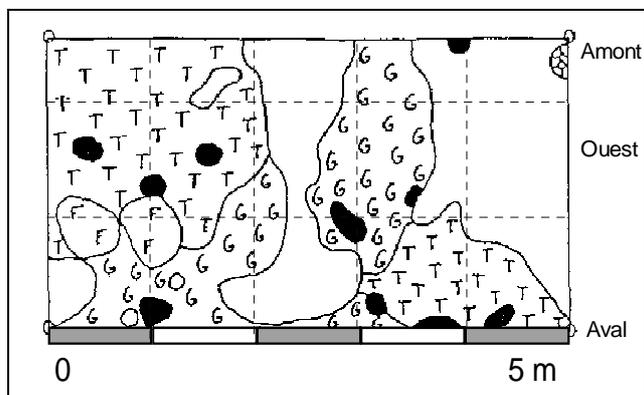
### 4.1 La dynamique des ligneux.

Quatre parcelles témoin ont été mises en place. Il s'agit de zones où les usages pastoraux sont extrêmement réduits voir absent en tout cas où leur impact sur la végétation est négligeable.

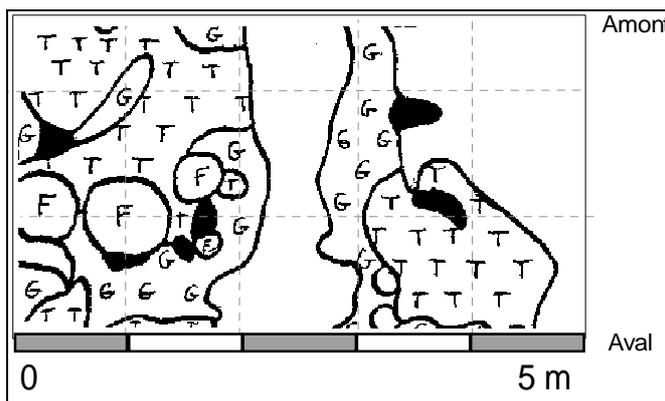
#### 4.1.1 L'analyse des parcelles

- Parcelle de la Chamboîte (n°1) :

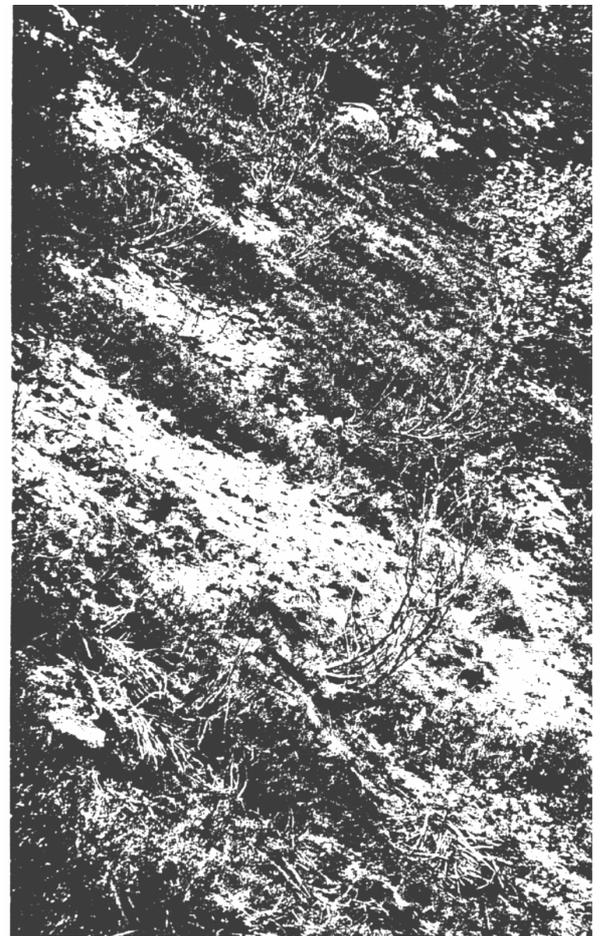
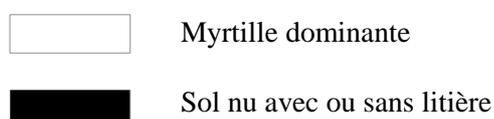
La parcelle de la Chamboîte se divise en une parcelle - amont de 10 m<sup>2</sup> où l'on suit l'évolution des plages de végétation dans une nardaie naturelle à Trèfle des Alpes située à l'emplacement d'une congère tardive, et une parcelle - aval de 75 m<sup>2</sup> en contrebas de celle-ci, où l'on suit la dynamique des sorbiers.



Plages de végétation dans la parcelle de la Chamboîte - amont (*Trifolio - Nardetum*) en 1995



Plages de végétation dans la parcelle de la Chamboîte - aval (*Trifolio - Nardetum*) en 1998

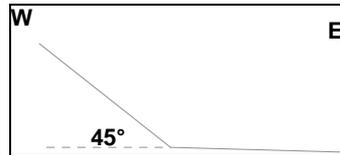


La station Chamboîte amont.

Les dernières congères ont fondu: on observe l'emplacement des nardaies à *trifolium alpinum* et le port caractéristique des sorbiers.

- T Trèfle des Alpes (*Trifolium alpinum*) dominant
- F Fougère alpestre (*Athyrium distentifolium*) dominante
- G Graminées dominantes (surtout *Nardus stricta*, *Festuca nigrescens*, *Deschampsia flexuosa*)
- Sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*), H = 1,20 m en 1995, Nr = nombre total de rejets en 1995 : 8

**Profil général de la station :**



**Figure 9. Plages de végétation dans la parcelle de la Chamboîte**

- La Chamboîte – amont : Evolution des plages de végétation dans la nardaie à Trèfle des Alpes (*Trifolio - Nardetum*)

La comparaison entre les années 1995 et 1998 (Fig. 5) nous amène à faire les observations suivantes :

\* **Plages de Myrtille** : pas d'évolution notable. Les deux grandes plages principales n'ont guère évolué, on note seulement une progression lente par leur marge. De petites taches ponctuelles présentes en 1995 ont disparu, d'autres taches ponctuelles sont apparues en 1998 dans un secteur différent.

\* **Plages de Trèfle et plages de graminées** : pas d'évolution notable. Les principales plages ont gardé leur forme générale, les proportions de recouvrement Trèfle - graminées sont variables en fonction de la date d'observation, facteur qui suffit à expliquer les petites différences observées. Le Trèfle semble cependant très légèrement vainqueur : apparition de plages en bas à gauche qui n'existaient pas en 1995 (sans doute à partir des grandes pelouses à Trèfle situées en contre bas de la station sur le replat...) ; progression de la grande plage de droite vers l'amont de la parcelle. Par contre les plages de graminées progressent au cœur de la grande plage de Trèfle de gauche et en bas à droite aux dépens de la plage de Trèfle de droite. Notons que les observations ont été effectuées assez tôt dans la saison (20-07-95 et 06-07-98) ce qui favorise plutôt le Trèfle.

\* **Fougères** : 2 nouveaux bouquets de *Athyrium distentifolium* sont apparus et l'un des deux a fortement progressé aux dépens du Trèfle et des graminées. Ces deux individus existaient peut-être en 1995 mais, trop petits, n'ont pas été notés.

\* **Sol nu (avec ou sans litière)** : Les taches de sol nu avec ou sans litière ont légèrement régressées en valeur absolue : on note seulement 6 taches, au lieu de 10 en 1995. Le fait important est que ces taches ne sont pas situées aux mêmes endroits, sauf la tache n° 1 qui, seule, est restée depuis 1995 ; mais ceci semble exceptionnel. Or, les observations de 1996 montraient que déjà 8 sur 10 des taches observées en 1995 soit étaient recolonisées, soit disparues, mise à part la tache n° 1 et la n° 10. En 1997, toutes les taches avaient disparu.

\* **Sorbier des oiseleurs** : Pas de différences observées. Le Sorbier situé en haut à droite en 1995, ne figure pas en 1998 pour des raisons liées au port du feuillage de l'arbuste.

- Parcelle La Chamboîte - aval : Progression des arbustes [Observations 1995 - 1998 : 4 années].

Entre 1995 et 1998 ont été notés les arbustes présents dans la parcelle et leur progression (il s'agit essentiellement de *Sorbus aucuparia*). La figure n° 2 offre une représentation des différents arbustes observés sur la parcelle. Le tableau n° 1 donne les valeurs des mesures de hauteur (H et H') et du recouvrement estimé (R et R') entre 1995 et 1997.

Trois jeunes sorbiers (n° 4, 5 et 6) qui n'ont été observés qu'en 1996 existaient préalablement mais n'émergeaient pas de la strate des myrtilles.

On note une augmentation du recouvrement des arbustes entre 1995 et 1997 de 90 %. Le recouvrement des arbustes par rapport à la surface totale de la parcelle passe de 5 % à 10 % en 3 ans correspondant à 1,2 m<sup>2</sup> de progression annuelle. A ce rythme, il faudra 56 ans pour que la totalité de la parcelle soit recouverte ce qui reste théorique car les arbustes sont distribués de manière hétérogène sur la parcelle et la progression du recouvrement connaît un seuil par arbuste en fonction de l'âge de celui-ci.

Cette progression du recouvrement est uniquement dû à la croissance d'arbres en place et non à une colonisation par germination ; en effet, aucune germination ou jeune plantule n'a été observée pendant ces quatre années.

La progression annuelle de hauteur de sol par arbuste est assez active : 0,14 m.

	1995		1997		H' - H	R' - R	
	Hm	Rm <sup>2</sup>	H' m	R' m <sup>2</sup>			
N° des arbustes	1	1,40	0,71	2,1	1,9	0,70	
	2	1,75	1,22	2,3	1,9	0,60	
	3	2,50	1,9	2,8	2,8	0,30	
	4	0,30*	0,05	0,60	0,33	0,30	
	5	0,30*	0,05	0,60	0,33	0,30	
	6	0,30*	0,05	0,60	0,33	0,30	
<b>Totaux :</b>		<b>6,55</b>	<b>3,98 (5%)</b>	<b>9</b>	<b>7,59 (10%)</b>	<b>2,45</b>	<b>3,61</b>
Accroissement en hauteur par arbuste et par an en cm						<b>0,14 m</b>	
Progression annuelle du recouvrement de la parcelle par les sorbiers en m <sup>2</sup>							<b>1,2 m<sup>2</sup></b>

**Tableau 7. Evolution entre 1995 et 1997 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle de la Chamboîte - aval.**

H : hauteur maximale au sol – 1995 (en mètre)

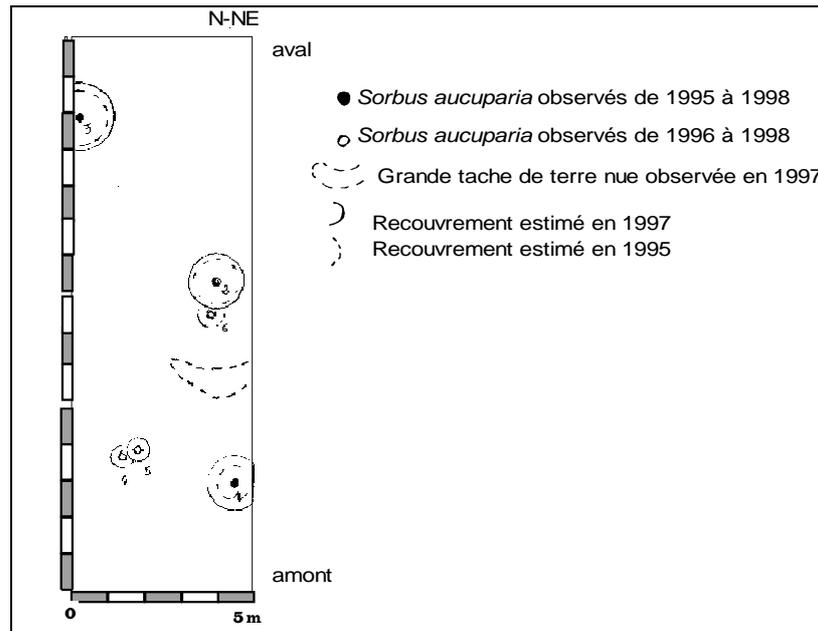
H' : hauteur maximale au sol – 1997 (en mètre)

R : recensement estimé – 1995 (en m<sup>2</sup>)

R' : recouvrement estimé – 1997 (en m<sup>2</sup>)

**S : Surface totale de la parcelle = 15 x 5 = 75 m<sup>2</sup>**

- Augmentation du recouvrement (R' - R) par rapport à la surface initiale couverte par les sorbiers : 3,61 m<sup>2</sup> soit 90 % ; progression annuelle 1,2 m<sup>2</sup> soit 30 %.
- Recouvrement final des sorbiers (R') par rapport à la surface totale de la parcelle : 7,59 m<sup>2</sup>, soit 10 %
- Progression annuelle de hauteur au sol par arbuste : 0,14 m pour les arbustes 4, 5 et 6 qui n'avaient pas été repérés en 1995 mais qui existaient. La hauteur estimée est celle de la strate de *Vaccinium myrtillus*.



**Figure 10. Progression des arbustes sur la parcelle de la Chamboîte - aval  
[Observations 1995 - 1997 : 3 années].**

- **Parcelle de Pierre-Sur Haute – Base militaire**

Cette parcelle présente l'intérêt de se trouver depuis environ 20 ans à l'intérieur de la 2<sup>ème</sup> enceinte militaire et par conséquent exempté de pâturage.

Deux séries d'observation sont faites sur cette parcelle : le suivi de la progression des arbustes et le suivi de l'Homogyne des Alpes, espèces très rare, qui trouve à Pierre Sur haute sa seule localité du Massif Central.

- Parcelle de Pierre Sur haute – Base militaire : Suivi de la progression des sorbiers dans une lande subalpine (*Alchemillo - Vaccinietum*)

[Observations 1995 - 1998 : 4 années].

La figure n° 3 montre la situation des arbustes (*Sorbus aucuparia*) et des rochers dans cette parcelle de 200 m<sup>2</sup>. Le tableau n° 2 précise les valeurs des paramètres : hauteur au sol des arbustes et recouvrement. Le tableau n° 3 indique les valeurs de croissance des rameaux en 1998.

\* Aucun nouvel arbuste n'a été recensé en 5 ans d'observations ; donc pas de colonisation par germination.

\* La croissance est très lente : en 3 années de mesures on observe un accroissement de la hauteur moyenne annuelle au sol de 2 cm (soit 2 m par siècle).

\* Le recouvrement total de la parcelle par les sorbiers en conséquence n'a pas évolué : il est de 1,1 % de la surface de la parcelle.

\* Un nouveau paramètre de croissance a été mis au point et testé sur les sorbiers 2 et 4 de la parcelle : on a pris le nombre total de rameaux de l'arbuste (RT) (rameaux de l'année ou rameaux terminés par un bourgeon de l'année) ; on compte le nombre total de rameaux de l'année en croissance (RC), rameaux montrant dans l'année une croissance > 1 cm ; et on mesure pour chacun de ces derniers la croissance en centimètres pour calculer la croissance moyenne par rameau de l'arbuste (crt ou crc).

Les observations montrent le faible taux de rameaux en croissance (respectivement 10 et 20 %) ; la croissance moyenne faible des rameaux, croissance respectivement 2,3 et 6 cm ; la croissance moyenne extrêmement faible si on la ramène au total des rameaux de l'arbuste (respectivement 0,23 et 1,3 cm).

Cette méthode assez lourde ne peut que s'appliquer aux jeunes sorbiers (< 2m) ; pour les sorbiers plus hauts, elle est trop longue à mettre en œuvre

		1995		1997			
		Hm	Rm <sup>2</sup>	H' m	R' m <sup>2</sup>	H' - H	R' - R
N° des arbustes	1	1,60	1,22	1,60	1,22		
	2	1,20	0,71	1,30	0,71		
	4	0,80	0,33	0,90	0,33		
<b>Totaux :</b>		<b>3,60</b>	<b>2,26</b>	<b>3,80</b>	<b>2,26</b>	<b>0,20</b>	<b>0</b>
Accroissement en hauteur par arbuste et par an en cm						<b>2,2 cm</b>	
Progression annuelle du recouvrement de la parcelle par les sorbiers en m <sup>2</sup>							<b>0</b>

**Tableau 8: Evolution entre 1995 et 1997 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle de Pierre Sur-haute – Base militaire.**

H : hauteur maximale au sol – 1995 (en mètre)  
 H' : hauteur maximale au sol – 1997 (en mètre)  
 R : recensement estimé – 1995 (en m<sup>2</sup>)  
 R' : recouvrement estimé – 1997 (en m<sup>2</sup>)  
 S : Surface de la parcelle = 200 m<sup>2</sup>

• Augmentation du recouvrement (R' - R) par rapport à la surface initiale couverte par les sorbiers  $\cong 0$

• Recouvrement final des sorbiers (R') par rapport à la surface totale de la parcelle :

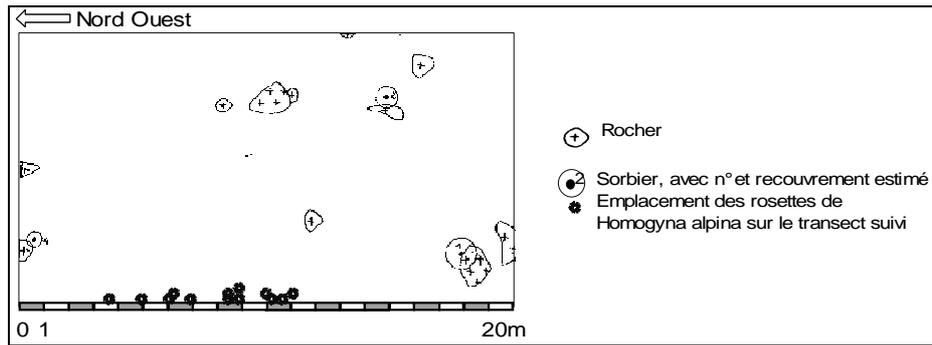
R' = R = 2,26 m<sup>2</sup> soit  $\cong 1,1$  %

• Progression annuelle de hauteur au sol par arbuste : 0,22 m

	H' 1997	RT	RC	%	RN	crt (cm)	crc (cm)
Sorbier n° 2	1,60	29	3	10%	26	0,23 ?	2,3
Sorbier n° 4	0,90	71	14	20%	57	1,3	6,6

**Tableau 9. Mise en place du suivi de la croissance des sorbiers sur la parcelle de Pierre Sur haute – Base militaire.**

H' : hauteur sol – 1997 (en mètre)  
 RT : nombre total de rameau de l'année  
 RC : nombre total de rameau à croissance  $\geq 1$  cm  
 RN : nombre total de rameau à croissance < 1 cm  
 crc : croissance moyenne en cm par rapport à RC  
 crt : croissance moyenne en cm par rapport à RT

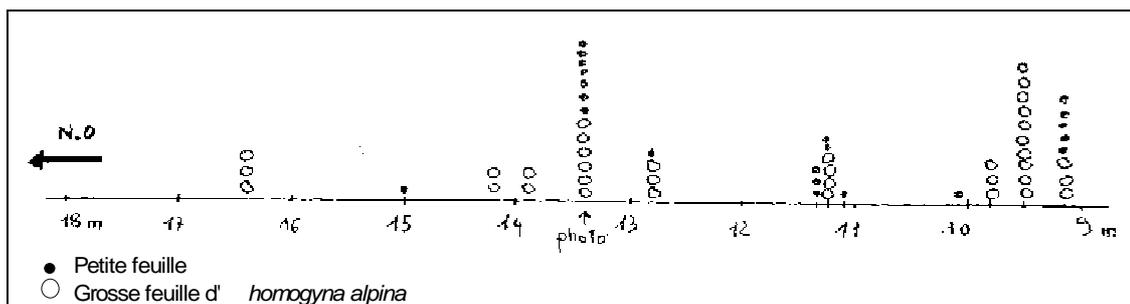


**Figure 11. Localisation des arbustes et des rochers dans la parcelle de Pierre Sur haute – Base militaire en 1998 (et avec l'emplacement des rosettes d'*homogyna alpina* faisant l'objet d'un suivi).**

○ Mise en place du suivi de l'Homogyne des Alpes (*Homogyna alpina*)

L'Homogyne des Alpes, découverte dans cette station en 1995 par E. Sourp a été observée chaque année sans vraiment faire l'objet d'un suivi. Il a été décidé en 1998 de combler cette lacune en mettant un protocole en place : on dénombre le long d'un transect de 20 m, correspondant au grand côté sud-ouest de la parcelle précédente (cf. fig. n° 3) les groupes de feuilles d'Homogyne ou groupes de rosettes. On en dénombre 13 principaux. Ils correspondent chacun soit à des rosettes (plusieurs feuilles issues du même bourgeon) naissant du rhizome, soit à des groupes de feuilles isolées sur les rhizomes mais relativement proches les unes des autres. On fait de plus la distinction entre grosses et petites feuilles (Cf. fig. n° 4).

On établira un suivi dans les années à venir qui s'attachera à noter la progression ou la régression de cette espèce en utilisant le paramètre précédent : nombre de groupes de feuilles (NF) ; l'autre critère (taille de la feuille) n'est pas très pertinent car lié la période d'observation : nous l'avons fait figurer cependant sur la fig. n° 4.



**Figure 12. Localisation et dénombrement des groupes de feuilles ou de rosettes (NF) le long d'un transect de 20 m réalisé au niveau de la parcelle de Pierre-Sur haute – Base militaire (n°2)**

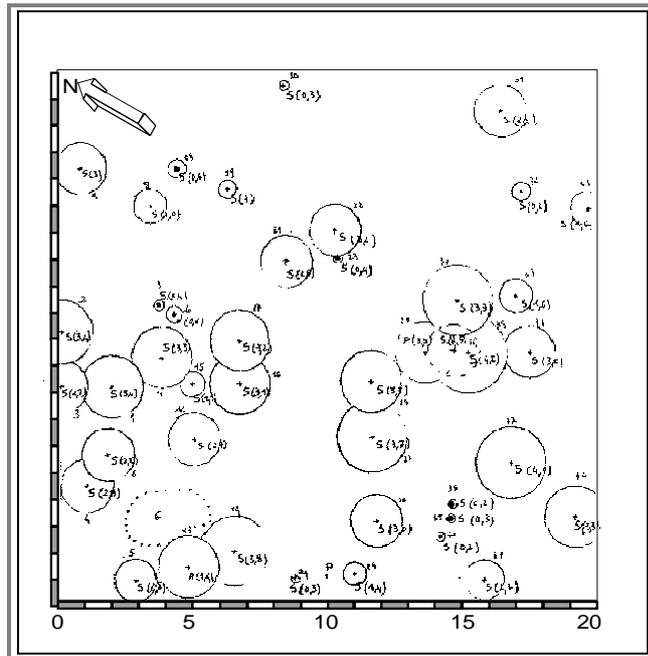
• Parcelle du Col-des-Supeyres (n° 10) de 1994 à 1998 (5 années).

Cette parcelle semble évoluer sans pâturage conséquent depuis environ 25 ans.

La figure n° 5 exprime une synthèse de l'état actuel de la parcelle (année 1998), avec localisation des arbustes et une estimation de leur recouvrement basé sur un abaque mettant en relation la hauteur au sol des arbustes et leur recouvrement, réalisé à partir d'un échantillonnage de six

	Hm 1994	Rm <sup>2</sup> 1994	H' m 1998	R' m <sup>2</sup> 1998	H' - H	R' - R
1	3,5	9,97	3	2,83	-0,5	
2	3,5	3,97	3,4	3,97	-0,1	
3	2,5	1,9	2,7	2,83	0,2	
4	2,5	1,9	2,9	2,83	0,4	
5	1,5	0,71	2,5	1,9	1	
6	2,5	1,9	2,6	2,83	0,1	
7	3,5	3,97	3,4	3,97	-0,1	
8	1,5	0,71	2	1,22	0,5	
9			0,4*	0,05		
10	0,3	0,05	0,6	0,33	0,3	
11	3,5	3,97	3,3	3,97	-0,2	
12	2	1,22	2,7	2,83	0,7	
13	2,5	1,9	3,4	3,97	0,9	
14	4	5,10	3,8	5,10	-0,2	
15	1,2	0,71	1,5	0,71	0,3	
16	3,5	3,97	3,1	3,97	-0,4	
17	3	2,83	3,2	3,97	0,2	
18			0,6*	0,33		
19	0,5	0,05	1	0,33	0,5	
20	0,3	0,05	0,3	0,05	0	
21	3,5	3,97	2,8	2,83	-0,7	
22	3	2,83	3,2	3,97	0,2	
23			0,4*	0,05		
24	0,3	0,05	0,3	0,05	0	
25	1,2	0,71	1,4	0,71	0,2	
26	3	2,83	3	2,83	0	
27	3,5	3,97	3,7	5,10	0,2	
28	2,5	1,9	3,3	3,97	0,8	
29	3,5	3,97	3,9	5,10	0,4	
30	3,5	3,97	3,9	5,10	0,4	
31	2	1,22	2,8	2,83	0,8	
32	0,6	0,33	0,6	0,33	0	
33	0,9	0,33	1,6	1,22	0,7	
34	2,5	1,9	2,9	2,83	0,4	
35	3,5	3,97	4,2	6,37	0,7	
36	(2,5)	1,9	3	2,83	0,5	
37	3,5	3,97	4	5,10	0,5	
38			0,2*	0,05		
39			0,3*	0,05		
40	0,3	0,05	0,2	0,05	-0,1	
41	1,6	0,71	2,2	1,9	0,6	
42	3,5	3,97	3,3	3,97	-0,2	
43	1,4	0,71	1,6	1,22	0,2	
<b>TOTAUX</b>	<b>88,1</b>	<b>82,14</b>	<b>97,3</b>	<b>106,45</b>	<b>9,2</b>	
%		<b>21%</b>		<b>27 %</b>		
Accroissement en hauteur par arbuste et par an en cm					<b>4,8 cm</b>	
Progression annuelle du recouvrement de la parcelle par les sorbiers en m <sup>2</sup>						<b>4,86 m<sup>2</sup></b>

**Tableau 10: Evolution entre 1994 et 1998 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle des Supeyres.**



Surface de la parcelle :  $20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$

1994 : Nombre total d'arbustes observés = 38

1998 : Nombre total d'arbustes observés = 43

( ) Valeur estimée

\* Ces valeurs n'ont pas été prises en compte pour le calcul de H' total

**G** : Cytisus purgans

**S** : Sorbus aucuparia

**A** : Sorbus aria

**P** : Pinus sylvestris

• : Nouveaux arbustes observés en 1998

) : recouvrement estimé en 1998

(3,8) : Hauteur de l'arbuste en 1998

2 : N° affecté à l'arbuste

Figure 13. Etat de la parcelle des Supeyres en 1998.

individus pour lesquels ont été mesurés la hauteur au sol et le diamètre de la partie feuillée assimilée à un cercle

Le tableau n° 4 donne les valeurs des paramètres de suivis entre 1994 et 1998 : hauteur au sol des arbustes et recouvrement estimé.

On remarque d'une manière générale :

\* la très faible progression des arbustes par germination (1/44) ; ceci est dû à l'absence de trouées et à la concurrence photique très forte entre les éventuelles jeunes plantules de sorbiers et les arbrisseaux, Myrtille et Callune.

\* La progression du recouvrement des sorbiers sur la parcelle est essentiellement due aux sorbiers existants.

\* Après environ 25 ans de recolonisation, le recouvrement de la parcelle par les sorbiers atteint 27 %, ce qui, somme toute, reste limité.

\* Entre 1994 et 1998, notre période d'étude, la progression du recouvrement est assez limitée : en 1994 21 % de la parcelle est recouverte par les sorbiers contre 27 % en 1998, soit 6 % de progression en 5 ans ; 4,86 m<sup>2</sup> en progression moyenne annuelle [dont une partie infime (~ 0,1 %) est due aux nouveaux sorbiers].

A ce rythme il faudra 60 ans pour que la parcelle soit entièrement recouverte par les sorbiers.

\* On n'observe aucune essence d'ombre des forêts montagnardes climaciques, Hêtre, Sapin, sous les arbustes existants malgré des conditions d'éclaircissement plus propices et malgré la proximité de la hêtraie (environ à 30 m).

\* La progression de la hauteur moyenne annuelle par arbuste est faible : 4,8 cm ; à ce rythme il faudra environ 135 ans pour que les arbustes les plus hauts atteignent 10 m de hauteur. A plusieurs reprises, des arbustes présentent une hauteur au sol plus faible que ce qu'elle était, il y a 5 ans. Ce phénomène touche essentiellement les arbustes les plus hauts. Ces différences observées

mettent surtout en évidence les perturbations touchant le port général de l'arbre dans ces conditions climatiques difficiles à partir d'une certaine hauteur.

• **Parcelle du Sapoint (n° 14)**

Cette parcelle, apparemment située si l'on en croit les données d'enquête, dans un ensemble abandonné par le pâturage depuis de nombreuses années ou sujette à un simple pâturage épisodique, évolue suivant la dynamique naturelle.

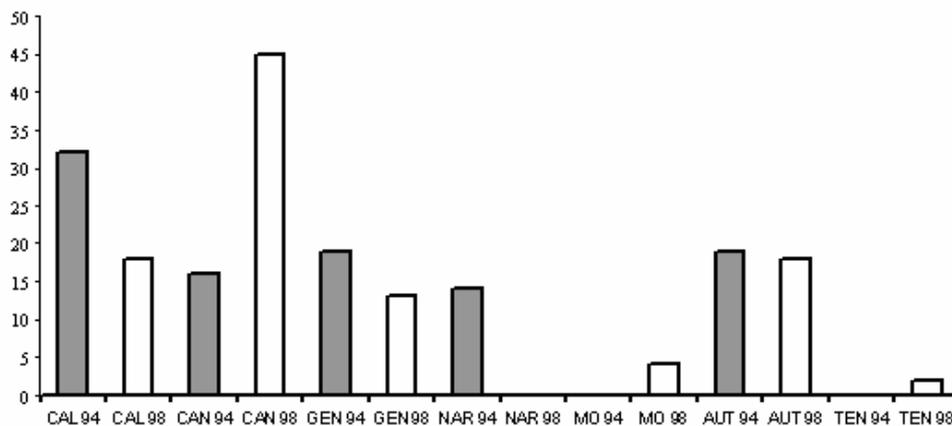
La figure n°6 traduit les variations de contributions spécifiques des espèces les plus représentées dans cette lande, entre 1994 et 1998, années où ont été effectués les deux relevés de végétation (cf. annexe n° 2).

Entre 1994 et 1998, on note :

- \* une énorme progression de Canche flexueuse (+ 29 %)
- \* une forte régression de la Callune (-14 %) et du Nard (-14 %)
- \* une régression légère du Genêt poilu (-6 %)
- \* une petite augmentation des mousses

A partir d'une callunaie-génistaie assez dense en 1994 (ligneux = 53 % du couvert et espèces non ligneuses = 47 %), on aboutit à une formation de pelouse où les arbrisseaux sont dominés (ligneux = 32 % et espèces non ligneuses = 66 %). En 5 ans, la régression des ligneux est d'environ 20 %.

Il doit s'agir vraisemblablement d'une callunaie sénescente au bout de 30 à 40 ans d'abandon de la zone. Nous sommes en train d'assister à la diminution progressive des callunes (-14 %) aux dépens de la Canche flexueuse, espèce autochtone oligotrophique de la lande, existante à l'état latent et se développant à la faveur des trouées.



CAL = Callune (*Calluna vulgaris*)

CAN = Canche (*Deschampsia flexuosa*)

GEN = Genêt poilu (*Genista pilosa*)

TEN = Terre nue et lisière

NAR = Nard (*Nardus stricta*)

MO = Mousses (bryophytes)

AUT = Autres espèces

**Figure 14. Variation de contributions spécifiques entre 1994 et 1998 concernant les principales espèces représentées dans la lande du Sapoint.**

Plus difficile est l'interprétation de la diminution du Nard en 5 ans. Dans ces conditions de landes sèches, le Nard à l'état naturel est très peu représenté (contrairement à des landes plus humides). Sa présence en 1994, peut être traduite comme celle d'une relictuelle de pâturage (le Nard résiste au piétinement du bétail), qui disparaît aux dépens de la Canche dans un contexte d'abandon pastoral total.

D'autre part, du fait de la progression des espèces herbacées et notamment de la Canche, on observe un doublement de la valeur pastorale qui passe de 5,2 % à 10,4 %.

#### 4.1.2 Conclusions concernant la dynamique de la végétation et des arbustes dans les parcelles témoin

- **Interprétations et conclusions générales par station :**

- Station de Pierre-Sur-haute :

Elle apparaît comme une station très contraignante pour les arbustes.

- Les rares arbustes existants se situant à l'abri de blocs émergents.
- Leur progression en hauteur est quasi-nulle en 5 ans : 2,2 cm en moyenne
- La croissance moyenne des rameaux est ridicule en 1998 : 7,6 mm.
- La progression par germination est nulle en 5 ans, en l'absence pourtant de tout pâturage.

On peut conclure à partir de ces observations que **la progression arbustive à 1600 m d'altitude, dans les conditions topo climatiques froides et ventées de cette parcelle est négligeable**. La croissance des arbustes est extrêmement ralentie ; la progression de recouvrement est nulle. **Nous sommes ici dans un climax subalpin asylvatique** dans lequel les arbustes ont une densité très faible (en dehors des abris rocheux).

Quels sont les facteurs qui rentrent en jeu ? Sans doute plusieurs à la fois. Diminution de la période de végétation, abaissement des températures, de la photosynthèse, vent,... Entre 1978 et 1984, la température moyenne annuelle à Pierre-Sur-haute est de 3,3° selon Suchel (1985).

- Parcelles de la Chamboîte – aval :

Les observations montrent que **dans ce site à congère tardive et avalanches, la progression arbustive est cependant importante** (doublement du recouvrement arbustif en 3 ans), à ce rythme il ne faudra que 53 ans pour que les sorbiers recouvrent à 100 % la parcelle, (si bien sûr aucun accident nival ne se produit d'ici là, ce qui est peu probable...).

Malheureusement, faute de mesures, nous n'avons pas de données précises sur les périodes de fonte de la congère. Seules les observations générales montrent que celles-ci sont assez précoces pendant notre période d'observation : **au plus tard, la première semaine de juin** avec une fonte particulièrement précoce au printemps 1997.

Ces quelques données, bien entendu, vont dans le sens d'un développement végétatif soutenu des arbustes dans ce site qui reste bas en altitude (≈ 1460 m) et relativement abrité des vents.

Les observations sur 4 ans tendent à montrer l'absence de modification importante des mosaïques végétales ainsi que l'absence de colonisation par les arbustes dans cette nardaie subalpine à Trèfle des Alpes ; ce qui abonde dans le sens **du caractère climacique de ce groupement**.

La diminution des trouées de sol nu dans les dernières années semble montrer que **l'érosion d'origine nivale a été très limitée** ce qui correspond aussi aux relatifs déficits nivaux observés pendant ces quelques années.

- Parcelle des Supeyres :

Toutes ces observations indiquent que la progression des arbustes s'est faite relativement brusquement il y a environ 25 ans, à l'occasion d'un abandon du pâturage sur la parcelle (cf. annexe n° 3, distribution des sorbiers par classes de hauteur sur la parcelle des Supeyres). **Tout semble se**

passer comme si les sorbiers, une fois mis en place dans les premières années ayant suivi l'abandon, avaient limité l'implantation et le développement des suivants, empêchant une progression par semis et inhibant photiquement le développement des plus jeunes sorbiers qui, actuellement stagnent.

La progression actuelle des sorbiers est uniquement due au développement végétatif des arbustes en place. Pour les arbustes les plus hauts, la croissance en hauteur semble ralentie ainsi que pour les tous petits, qui stagnent aussi ; la progression en hauteur et en recouvrement est surtout due aux arbustes de taille moyenne (entre 0,60 et 2 m). Il faudra environ 60 ans pour que la parcelle soit couverte à 100 %. Cette valeur est proche du site de la Chamboîte dont la progression de recouvrement, plus rapide, "rattrape" en quelque sorte celle des Supeyres.

Il semble exister une **taille seuil** (environ 3,5 m à 4 m), au-dessus de laquelle la progression en hauteur des arbustes est plus faible.

- **Comparaison inter sites concernant la dynamique des arbustes**

Le tableau n° 5 récapitule pour chacune des trois parcelles, les valeurs des paramètres comparatifs.

En ce qui concerne l'accroissement en hauteur par arbuste et par an ; on observe les faibles valeurs à Pierre-Sur-haute et les fortes valeurs de la Chamboîte près de sept fois supérieures. Aux Supeyres, les résultats sont intermédiaires, sans doute dus à l'effet de seuil cité précédemment (progression de hauteur limitée pour les arbustes les plus hauts).

Pour ce qui est de la progression du recouvrement, il est nul à Pierre-Sur-haute et important aux Supeyres (4,86 m<sup>2</sup>). Ces chiffres recouvrent des phénomènes différents : à la Chamboîte il n'y a que quelques sorbiers qui s'accroissent beaucoup (30 % du recouvrement initial des sorbiers) tandis qu'aux Supeyres, il y a beaucoup de sorbiers qui s'accroissent peu (6 % du recouvrement initial des sorbiers). Au total les valeurs de progression de recouvrement (par rapport à la parcelle) sont proches entre la Chamboîte (1,6 %) et les Supeyres (1,2 %). Les parcelles seront théoriquement recouvertes à 100 % en même temps (56 ans contre 60 ans).

	Accroissement en hauteur par arbuste et par an A	Progression annuelle de recouvrement des sorbiers m <sup>2</sup> P	Progression annuelle du recouvrement en % des sorbiers P	Progression annuelle du recouvrement en % de la parcelle P	Recouvrement des sorbiers par rapport à la parcelle en 1997
Pierre-Sur-haute – base militaire	2 cm	0 m <sup>2</sup>	0 %	0 %	1,1 %
La Chamboîte – aval	14 cm	1,2 m <sup>2</sup>	30 %	1,6	10 %
Les Supeyres	5 cm	4,86 m <sup>2</sup>	6 %	1,2	27 %

**Tableau 11: Valeur des paramètres comparatifs entre les différents sites concernant la hauteur et le recouvrement.**

- **Perspectives de suivi dans les cinq prochaines années et paramètres pertinents:**

On recommande d'une manière générale la poursuite des suivis sur toutes les parcelles témoin qui sont d'un intérêt évident pour la compréhension des phénomènes naturels et par là pour faire la part des choses entre facteurs anthropiques et facteurs écologiques.

**La hauteur au sol (H) et le recouvrement (R) sont des paramètres pertinents** pour toutes les parcelles : ils permettent d'obtenir des valeurs comparatives pour mesurer les progressions annuelles

et pour décrire assez concrètement les parcelles. La mesure est assez rapide à effectuer sur le terrain dans le contexte des Hautes Chaumes où les arbustes dépassent rarement 5 m.

Le nombre total d'arbustes est un paramètre important qu'il convient de mesurer chaque année pour d'une part suivre la progression éventuelle par germination ou d'autre part observer l'émergence au-dessus de la strate de la lande, arbustes qui n'avaient pas été repérés jusque-là.

En revanche, il convient **d'améliorer les tableaux d'équivalence entre hauteurs et surfaces de recouvrement** par un échantillonnage plus complet ou systématiquement réalisé sur chaque parcelle.

Les résultats sur plusieurs années peuvent être exprimés en :

**A = Accroissement en hauteur par arbuste et par an (en cm)**

**P = Progression annuelle de recouvrement** (en m<sup>2</sup> ou en pourcentage par rapport au recouvrement initial des individus concernés ou en pourcentage par rapport à la parcelle).

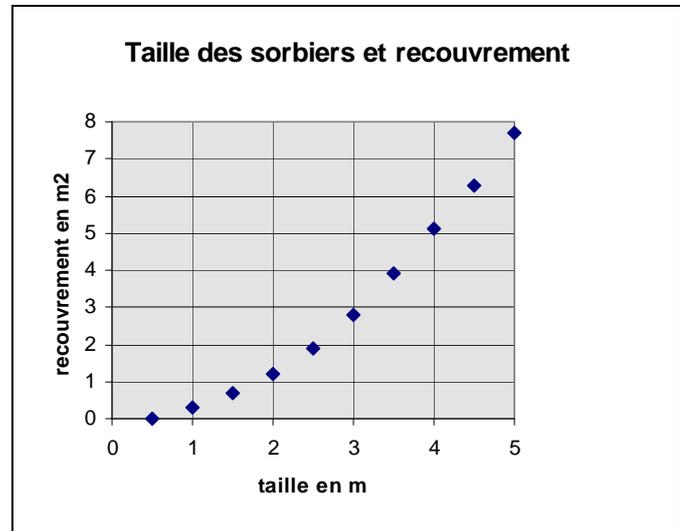


Figure 15. Recouvrement et taille des sorbiers

	Croissance des rameaux en cm		Croissance des rameaux en cm
Arbuste n° 4	9	Arbuste n° 2	4
	5		2
	2		1
	1		
	1		
	2		
	1		
	1		
	8		
	17		
	18		
	15		
	12		
	1		
TOTAL :	89		7
Crc	6,36		2,3
Crt	71		29

Tableau 12. Mesures de croissance en cm concernant les arbustes n° 2 et n° 4 de la parcelle n° 2 (Pierre-Sur-haute - base militaire) [ Année 1998].

**Pour la parcelle de Pierre-Sur-haute - Base Militaire (n° 2)** il convient de rajouter à ces paramètres : **crc la croissance moyenne des rameaux de l'année** exprimée en cm et correspondant au cumul des longueurs de croissance de l'année divisé par le nombre de rameaux dont la croissance est  $\geq 1$  cm ou **Crt** qui est le cumul des longueurs de croissance de l'année divisée par le nombre total de rameaux quelque soit la croissance de ceux-ci.

Ces mesures permettent d'évaluer la croissance annuelle et non le seul recouvrement. **Elles sont pratiques à réaliser dans le subalpin** pour des petits sorbiers  $< 2$  m mais deviennent dissuasives dans le montagnard avec de gros sorbiers  $> 2$  m.

\* **Pour la parcelle de la Chamboîte (n° 1) [La Chamboîte – amont, et La Chamboîte – aval]**, il est fondamental de réaliser un suivi plus précis de **l'enneigement** : notamment **date approximative de fonte définitive, épaisseur et caractéristiques de la corniche** fin février début mars.

On pourra ainsi mieux mettre en liaison avec l'enneigement la progression des sorbiers, les trouées de sol nu et l'évolution globale de la végétation.

On doit poursuivre les observations des années précédentes notamment pour évaluer et mesurer **l'effet sur la progression des ligneux et des plages de végétation, d'une congère particulièrement tardive ou d'une avalanche**, ce qui ne s'est pas produit sur la période 1995–1998.

\* Dans la parcelle du Sapoint (n° 14) : l'observation de la dynamique propre de la lande doit se poursuivre. Assistera-t-on à l'arrivée d'arbustes dans cette zone ? et à leur progression ? Cette parcelle présente une forte originalité et correspond à une situation de croupe sèche occupée par une vieille callunaie abandonnée, situation représentative d'autres zones des Hautes Chaumes, qui présentent une dynamique arbustive bloquée à une altitude pourtant assez faible.

L'ensemble des parcelles observées témoigne de conditions très diverses du sein des Hautes Chaumes.

- Congère tardive.
- Sommet venté du subalpin.
- Col venté du montagnard.
- Croupe montagnarde sèche à vieille callunaie sénescence.

Elles constituent de bons témoins par rapport à d'autres parcelles où ces conditions sont approximativement les mêmes et où s'exerce une activité pastorale.

Leur intérêt scientifique pour la compréhension des écosystèmes foréziens et leur gestion pastorale est fondamental et dépasse largement les simples préoccupations de suivi agropastoral d'une opération locale.

## 4.2 Dynamique des landes et pelouses.

Les sites suivis sont au nombre de 14.

- Station n° 1 : La Chamboîte
- Station n° 2 : Pierre-sur-Haute / Base militaire
- Station n° 3 : Pierre-sur-Haute / Haut
- Station n° 4 : Pierre-sur-Haute / Bas
- Station n° 5 : Eboulis / Pierre-sur-Haute
- Station n° 6 : Le Goulet Erodé
- Station n° 7 : Les Egaux Brûlés
- Station n° 8 : Fumade de Pégrol
- Station n° 9 : Lande Pégrol
- Station n° 10 : Col des Supeyres
- Station n° 11 et 12 : Chauve Témoin et Chauve Giro
- Station n° 13 : Les Gorces
- Station n° 14 : Sapoint

#### 4.2.1 Méthode de diagnostic pastoral

Elle fait appel à plusieurs étapes :

- **Zonage de l'estive**

On délimite sur une carte, puis sur le terrain des zones homogènes par faciès de végétation.

Pour chaque estive, on réalise une ou deux relevés linéaires de végétation suivant la méthode mise au point par DAGET et POISSONNET.

On utilise la méthode des volumes :

On déroule un double décamètre et tous les 50 cm, on estime le volume occupé par chacune des plantes présentes dans une surface équivalente à une pièce de 5 Frs. Chaque espèce qui rentre dans la surface est notée sur 6 et la somme des notes des espèces présentes en un point doit être = à 6.

On obtient 40 points d'observation qui sont consignés sur une fiche de notation et à partir du relevé, on détermine la valeur pastorale (V.P).

- **Mesure de biomasse**

Pour ce suivi, nous disposons de 4 cages de végétation de 1,2 m<sup>2</sup> et sur 3 sites nous avons pu appréhender les pousses estivales et automnales. Sur les autres sites, une seule mesure a été réalisée début juillet avant le passage des animaux (la pousse de l'année est estimée après un nettoyage de printemps). Ces échantillons sont pesés, séchés et une analyse a été réalisée pour déterminer la teneur des différents éléments minéraux.

- **Analyse de sol**

Préalablement à ces mesures, un profil de sol a été réalisé et chaque horizon a été analysé physiquement et chimiquement (en 98, par sondage sur quelques horizons, nous avons pu vérifier une stabilité des valeurs initiales).

Analyse des pratiques pastorales

Les dates de début du pâturage, de fauche, le chargement sont appréciés sur chaque parcelle.

#### 4.2.2 Localisation des sites (voir cartes fig.3 et 4.)

- **2/3/4 - Pierre sur Haute**

Ce site basé dans la lande subalpine (vers 1 500 m) permet de voir l'évolution de la végétation avec des dates de pâturage retardées dans le cadre de l'article 19 (début du pâturage après la pousse estivale, après le 10 juillet).

Il se décompose en trois sites de mesure (base militaire, bas, haut).

- **6 /Le Goulet érodé**

Suivi depuis 1991 comme le site précédent, ce site sert de témoin par rapport au piétinement des animaux et des touristes car c'est un lieu de grande fréquentation.

- **7 - Les Egaux brûlés**

Suivi depuis 1991 (Etude SRETIE, Etlicher, et *al.*, 1993) ce site n'évolue pas, si ce n'est une colonisation par les ligneux (85%) après l'incendie de 1989 qui éliminent peu à peu les espèces fourragères. La faible pression de pâturage se poursuit et depuis 1997, ce site n'est plus suivi.

- **8 - Pégrol "fumée"**

Dans l'échantillon, nous n'avions pas de prairie et, en 1995, nous avons rajouté à l'échantillon cette "fumée" afin d'en apprécier la végétation et la production.

- **9 - Pégrol "Lande"**

Pour assurer une nourriture de meilleure qualité Madame et Messieurs POURRAT vont mettre en valeur une partie de la lande située sur le versant Est de la montagne de Pégrol. Ce site va faire l'objet de mesure de biomasse (une cage a été mise en place en juillet 96) et d'un suivi de l'évolution de la flore.

- **11/12 - Parcelle Chauve**

Une partie de la parcelle a été gyrobroyée en 1994 et cela nous a permis de déterminer deux zones : - gyrobroyé

- témoin

où ont été mises en place deux cages de végétation et deux transects de 20 m.

- **13 - Les Gorces : Pâturage bovin**

Ce sectionnal continue à être pâturé par un troupeau de 10 Vaches laitières. Les passages sont ponctuels pendant 4 mois (juin à fin septembre).

- **14 - Sapoint**

Lande de l'étage montagnard, cette parcelle est abandonnée depuis 25 ans.

#### 4.2.3 Analyse de sol et profil pédologique

- **2/3/4 - Pierre sur Haute**

Ce sol de sommet est ranker crypto podzolique peu profond avec une végétation moins importante donc moins de racines  $\Rightarrow$  un taux de M.O. plus faible (moins de 10 %). On dénote un taux d'argile + faible lié à une évolution moins marquée.

- **6 - Le Goulet Erodé** (Voir analyse de 1991, Etlicher et *al.*, 1993)

Les analyses ont révélé la présence d'un sol sableux avec une forte diminution de la matière organique vers le bas. Ce sont des sols pauvres chimiquement, à vie microbienne ralentie et pH acide (4,4). L'horizon Ao/1 contient beaucoup de racines vivantes et mortes. L'enracinement reste très superficiel car l'horizon A1 contient une forte proportion (32,8 %) de graviers qui témoigne probablement de la proximité du front d'altération (fig.0).

- **7 - Les Egaux Brûlés** (Voir analyse de 1991, Etlicher et *al.*, 1993)

Le profil du sol a été analysé dans la zone brûlée, en janvier 1990, feu qui a ravagé 500 ha sur les Hautes Chaumes.

Le sol est très riche en matière organique liée à la présence de myrtille et de callune. Son acidité est élevée (pH = 4,1), mais à l'inverse des autres sols on trouve une assez grande richesse en P, K, Ca, ainsi qu'une capacité d'échange élevée. L'explication doit probablement en être recherchée dans l'incendie qui a laissé des cendres sur le sol

- **8 - Pégrol fumée**

Cette fumée est typique des Monts du Forez. On différencie trois horizons dans ce sol et l'analyse physique est similaire aux autres résultats obtenus dans le secteur. Il faut noter un horizon A<sub>0</sub> important (10 cm) qui confirme le fort taux de M.O. pour une prairie (12 %). Sur le plan chimique, nous noterons des valeurs satisfaisantes en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O. Ces valeurs sont à lier à la pratique d'une fertilisation organique durant de nombreuses années.

- **9 - Pégrol lande**

Avec plus de 50 % de sable et un taux d'argile qui diminue sur le profil, ce sol est très riche en matière organique en surface (15 %) qui n'évolue que très peu (C/N de 15). Au niveau chimique ce sol pauvre en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en surface s'enrichit lorsque l'on passe de la surface à 80 cm et la teneur en K<sub>2</sub>O suit le mouvement contraire.

- **11/12 - Chauve**

Réalisée en 1995, cette analyse montre un taux de 24,1 % de M.O. équivalente aux autres sites du secteur. Ce sol de landes est peu fertile (pas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ni de K<sub>2</sub>O). Seul l'horizon A<sub>0</sub> où s'accumule la M.O. est riche mais vu le pH, cette M.O. n'évolue pas.

- **13 - Les Gorces**

Avec plus de 50 % de sable et un taux d'argile stable sur l'ensemble du profil, ce sol contient beaucoup de M.O. qui n'évolue que très peu (C/N de 15).

- **14 - Sapoint**

L'horizon A<sub>0</sub> est très marqué (10 cm) et cette épaisseur se trouve placée sur un horizon (B) très près de la surface (35 cm). La matière organique s'accumule en surface (17 %) et évolue très peu (C/N = 17).

Parcelle – Nom		Sables grossiers	Sables fins	Limons grossiers	Limons fins	Argile	Carbone Anne	Azote Kjeldhal	Rapport C/N	Matières organi.	pH eau	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ass. Dyer/mille	K <sub>2</sub> O Ech./mille	MgO Ech./mille	CaO Ech./mille	C.E.C. e meq/100
Chauve 10-20 cm	1995	40.3	7.0	4.5	9.5	15.0	14.02	0.88	15.93	24.11	4.2	0.03	0.08	0.07	0.20	44.00
Chauve 20-40 cm		49.8	9.0	4.0	8.5	12.5	9.47	0.66	14.35	16.29	4.4	0.02	0.03	0.05	0.13	34.70
Gorces 5-12 cm	1994	32.1	10.9	5.5	10.5	17.5	14.1	0.94	15.00	24.25	4.4	0.22	0.32	0.25	1.80	55.20
Gorces 12-32 cm		35.6	14.5	6.5	11.5	19.0	7.4	0.48	15.5	12.80	4.6	0.15	0.17	0.09	0.91	52.00
Gorces 32-50 cm	1994	39.8	15.6	7.0	13.0	19.0	3.3	0.21	15.52	5.61	4.6	0.29	0.08	0.05	0.84	28.70
Sapoint 10-50 cm		29.2	10.5	7.0	16.0	20.0	9.8	0.60	16.33	16.86	4.3	0.13	0.19	0.12	1.28	46.00
Sapoint B	1994	36.5	13.2	7.0	13.0	22.0	4.3	0.28	15.36	7.40	4.5	0.14	0.10	0.05	0.73	27.60
Pie/hte bas 0-20 cm		40.9	19.5	7.5	9.5	13.0	5.2	0.40	13.00	8.94	4.4	0.16	0.13	0.06	0.80	48.10
Pie/hte bas 20-35cm	1994	39.4	20.4	7.5	9.5	14.0	5.3	0.41	12.93	9.12	4.5	0.18	0.07	0.06	0.65	38.80
Pie/hte bas 35-50cm		41.7	22.4	7.0	8.5	13.0	4.5	0.28	16.07	7.74	4.5	0.24	0.07	0.04	0.57	40.50
Pegrol 10-20 cm	1996	37.9	13.5	7.5	15.5	13.0	6.9	0.45	15.2	11.8	4.0	0.17	0.21	0.08	0.28	30.9
Pegrol 20-40 cm		35.3	12.7	8.5	17.0	13.0	8.2	0.6	13.6	14.10	4.5	0.17	0.13	0.06	0.25	29.6
Pegrol 40-70 cm	1996	38.5	16.5	8.5	16.5	13.5	3.76	0.28	13.4	6.47	4.4	0.29	0.08	0.05	0.37	24.9
Pegrol lande 8-30 cm		36.7	9.5	8.0	16.0	14.5	8.85	0.58	15.26	15.22	4.1	0.09	0.36	0.09	0.16	32.1
Pegrol lande 30-60 cm	1996	47.9	12.5	7.5	11.0	14.0	3.67	0.32	11.5	6.31	4.3	0.19	0.09	0.05	0.11	24.9
Pegrol lande 60-80 cm		54.2	11.7	6.5	10.5	11.5	2.65	0.23	11.52	4.56	4.6	0.29	0.09	0.04	0.07	20.9
Goulet 2-27 cm	1991	43.6	10.2	8.0	8.0	9.5	12.3	0.75	16.5	21.1	4.4	0.04	0.05	0.04	0.26	39.6
Goulet 28-52 cm		48.0	12.4	8.0	9.0	12.0	6.64	0.46	14.6	11.4	4.6	0.07	0.04	0.02	0.26	24.5
Goulet 53-85 cm	1991	49.4	12.7	9.5	9.5	11.0	4.43	0.39	11.4	7.6	4.5	0.13	0.05	0.02	0.24	22.8
Egaux 2-10 cm		36.2	4.7	3.5	8.5	8.0	22.1	1.24	17.8	38.0	4.1	0.1	0.24	0.14	0.5	54.3
Egaux 11-20 cm	1991	37.5	8.1	9.5	8.5	9.0	16.1	0.96	16.8	27.8	4.2	0.08	0.24	0.06	0.22	58.6
Egaux 30-40 cm		46.6	16.2	6.5	10.5	6.0	8.6	0.5	17.1	14.8	4.4	0.04	0.03	0.02	0.16	18.0
Egaux 70-80 cm	1991	57.6	21.6	8.5	5.5	5.5	1.35	0.09	15.0	2.3	4.7	0.03	0.01	0.02	0.24	10.4
Garnier 2-25 cm		32.9	9.7	5.0	13.5	9.0	17.2	1.01	17.0	29.6	4.2	0.08	0.18	0.08	0.27	59.8
Garnier 26-50 cm	1991	40.9	14.7	8.0	11.0	10.5	8.79	0.59	14.9	15.1	4.6	0.05	0.06	0.02	0.18	40.1
Garnier 51-70 cm		38.2	18.4	12.0	12.5	8.0	6.33	0.49	12.8	10.9	4.6	0.06	0.08	0.02	0.18	33.0

E.N.I.T.A Marmilhat - Laboratoire d'analyses du département Agricultures et Espace

Sols 1991-1994- 1995-1996 ; Résultats en % de la terre fine sèche

**Tableau 13. Analyses de sols**

#### 4.2.4 Végétation

Les données sont regroupées dans les tableaux 7 et 8 (Valeur pastorale) 9 (Production), 10, 11, 12 (Rendement, analyse de fourrage), 13, 14 et 15 (Répartition des espèces).

- **2/3/4 - Pierre sur Haute**  
 - **Pierre /Haute haut**

La gestion du pâturage et une pâture retardée entraîne une amélioration de la flore et une diminution de la terre nue. On observe plutôt une amélioration dans le contexte pastoral actuel. Seules, sur huit plages de terre nue individualisées en 1995, trois ont subsisté. Aucune nouvelle plage n'a été observée. La grande plage de terre nue n° 5 est restée, à peu près identique à elle-même depuis 1995 sans aucune recolonisation par la végétation. La plage n° 6 qui faisait l'objet d'une colonisation végétale en 1995 est aujourd'hui représentée par du sol nu. De même, pour la tache n° 8.

Sites	Valeurs pastorales					
	91	94	95	96	97	98
Base militaire	-	4.2	-	-	-	-
Pierre/Haute Bas	12.2	7.6	10.2	12.4	13.3	12.4
Pierre/Haute Haut	3.6	4.6	-	4.3	4.9	4.9
Goulet Erodé	6.2	5.4	-	5.2	6.4	6.2
Les Egaux brûlé	9.6	3.2	-	1.6	-	-
Pégrol fumée	-	-	51.0	-	48	-
Pégrol lande	-	-	-	3.2	3.2	10.4
Chauve témoin	-	2.4	-	2.2	2.3	3.7
Chauve gyro	-	4.8	-	3.5	2.4	5.1
Les Gorces	-	11.4	-	10.0	11.5	20
Sapoint	-	5.2	-	-	-	10.4
Garnier	30	-	-	-	28	32

Tableau 14. Valeurs pastorales

Sites	Biomasse aérienne en T.M.S./ha 1994	Valeur pastorale		T.M.S./ha Matière sèche consommable		Matière sèche consommable./ Biomasse %	
		91	94	91	94	91	94
Garnier	-	30	-	2.25	-	50	-
Goulet Erodé	2.08	6.2	5.4	0.47	0.41	46.3	20
Les Egaux brûlé	1.43	9.6	3.2	0.72	0.24	17.4	17
Pierre/Haute Bas	2.16	12.2	7.6	0.92	0.57	-	26
Pierre/Haute Haut	4.62	3.6	4.6	0.27	0.35	-	8
Base militaire	-	-	4.2	-	0.32	-	-
Chauve gyro	2.56	-	4.8	-	0.36	-	14
Chauve témoin	2.2	-	2.4	-	0.18	-	8
Les Gorces	2.05	-	11.4	-	0.86	-	42
Sapoint	4.98	-	5.2	-	0.39	-	8

Tableau 15. Biomasses, matière sèche et consommable

Sites	94	95	96	97	98
Pierre/Haute Bas	2.16	0.80	0.8	0.62	0.70
Pierre/Haute Haut	4.62	2.9	2.74	0.61	0.94
Goulet Erodé	2.08	3.23	1.82	1.6	0.82
Les Egaux brûlé	1.43	1.23	1.62	-	-
Pégrol fumée	-	12.2	8	6.2	6.8
Pégrol lande	-		1.15*	0.74	2.26
Chauve témoin	2.2	1.94	2.47	1.64	2.4
Chauve gyro	2.56	2.41	3.54	1.89	3.2
Les Gorces	2.05	1.66	3.41	2.4	1.1
Sapoint	4.98	-	-	-	-

**Tableau 16 : Production en Biomasse aérienne  
(T.M.S./ha 1994-1995-1996-1997 -1998)**

Sites	Date coupe	Taux M.S. %	Rendt T.M.S./ha	Azote % M.S.	Phosphore % M.S.	Potasse % M.S.	P/N	K/N
Chauve gyro	7/94	44.20	2.02	18.1	1.9	9.8	0.1	0.5
Chauve Témoin	"	49.60	1.92	15.6	1.3	6.9	0.08	0.4
Les Gorces	"	69.40	1.80	17.5	1.2	5.4	0.07	0.3
Sapoint	"	57.50	4.98	17.1	1.2	8.2	0.07	0.5
Les Egaux brûlé	"	44.70	1.33	17.6	1.3	10.5	0.07	0.6
Le Goulet Erodé	"	47.60	2.08	15.6	1.1	7.9	0.07	0.5
Pierre/Haute Bas	"	47.30	2.16	20.6	1.6	6.1	0.08	0.3
Pierre/Haute Haut	"	49.00	4.62	16.6	1.0	7.3	0.06	0.4
Chauve Gyro	8/10/94	40.40	0.54	21.7	1.8	9.7	0.08	0.4
Chauve Témoin	"	43.90	0.30	18.0	1.3	11.4	0.07	0.6
Les Gorces	"	48.00	0.28	21.0	1.1	7.6	0.05	0.4
Les Egaux	"	43.00	0.09	17.9	1.3	11.7	0.07	0.7

**Année 1994**

Sites	Date coupe	Taux M.S. %	Rendt T.M.S./ha	Azote % M.S.	Phosphore % M.S.P.	Potasse % M.S.	P/N	K/N
Pégrol	7/95	19.4	12.20	21.7	3.0	14.6	0.14	0.67
Chauve gyro	"	27.1	2.08	22.2	1.8	5.2	0.08	0.23
Chauve Témoin	"	30.4	1.70	21.6	1.5	6.0	0.07	0.28
Les Gorces	"	28.0	1.35	20.7	1.2	9.5	0.06	0.46
Les Egaux brûlé	"	18.3	1.23	27.0	1.8	10.9	0.07	0.40
Le Goulet Erodé	"	27.2	3.23	20.2	1.1	3.9	0.05	0.20
Pierre/Haute Haut	"	24.0	2.90	18.5	1.2	6.9	0.06	0.37
Pierre/Haute Bas	"	32.8	0.80	24.4	1.9	8.9	0.08	0.36
Les Gorces	10/95	42.0	0.31	21.1	1.4	9.2	0.06	0.43
Chauve Témoin	"	46.0	0.24	21.1	1.8	7.3	0.08	0.35
Chauve Gyro	"	45.7	0.33	22.5	2.0	1.8	0.09	0.08

**Année 1995**

Sites	Date coupe	Taux M.S. %	Rendt T.M.S./ha	Azote % M.S	Phosphore % M.S.	Potasse % M.S.	P/N	K/N
Chauve gyro	7.96	36.2	2.7	17.5	1.5	8.5	0.8	0.06
Chauve Témoin	7.96	35.5	1.87	19.3	1.2	8.2	0.06	0.42
Les Gorces	7.96	31.9	2.51	16.6	1.2	11.0	0.07	0.66
Les Egaux brûlé	7.96	24.4	1.62	16.7	1.0	9.1	0.06	0.55
Le Goulet Erodé	7.96	29.2	1.82	15.6	0.9	6.8	0.06	0.44
Pierre/Haute Bas	7.96	31.6	0.8	23.4	1.5	5.3	0.06	0.23
Pierre/Haute Haut	7.96	34.4	2.74	20.9	1.0	5.9	0.05	0.28
Pégrol fumée	7.96	22.0	8.0	13.7	1.8	11.5	0.13	0.84
Chauve Gyro	10.96	33.0	0.84	19.9	1.4	5.4	0.07	0.27
Chauve Témoin	10.96	30.3	0.6	22.2	1.5	9.6	0.06	0.4
Les Gorces	10.96	28.2	0.9	18.9	1.5	5.1	0.08	0.27
Pégrol landes	10.96	39.9	1.15	15.3	1.0	4.7	0.06	0.3

### Année 1996

Sites	Date coupe	Taux M.S. %	Rendt T.M.S./ha
Chauve gyro	7.98	38.1	3.2
Chauve Témoin	7.98	35.5	2.4
Les Gorces	7.98	35.1	1.1
Les Egaux brûlé	7.98	-	-
Le Goulet Erodé	7.98	53.8	0.82
Pierre/Haute Bas	7.98	45.6	0.68
Pierre/Haute Haut	7.98	59	0.94
Pégrol fumée	7.98	30	6.8
Pégrol landes	7.98	37.5	2.26

La pousse d'automne a été négligeable sur les 4 sites où étaient disposées les cages de végétation (0,1 à 0,2 T M.S./ha)

### Année 1998

**Tableau 17 : Rendement - Date des coupes - Taux M.S. - Azote - Phosphore - Potasse - P/N - K/N pour les années 1994-1995-1996-1998.**

Ainsi parmi les huit pages de 1995, ce sont les trois plus étendues qui ont subsisté et que la végétation n'a pas pu recoloniser.

Il semble, dans ces conditions topo climatiques, qu'il existe une **surface critique**, environ 5 dm<sup>2</sup>, à partir de laquelle la recolonisation par la végétation est très lente ou nulle, même dans un contexte pastoral plus favorable. Le pâturage actuel ne dégrade plus la végétation ; on constate plutôt une amélioration. Mais les dégradations passées subsistent et sont difficiles à restaurer. On préconisera un maintien du pâturage tardif (en retardant les dates jusqu'à fin juillet ou début août), dans cette zone très fragile, en évitant les charges instantanées trop fortes.

La flore se maintient et la production, début juillet stagne (-1 T M.S.). Les consignes de chargement et de pâturage sont respectées.

#### **- Pierre /Haute Bas**

En 1994, parcelle pâturée par les ovins de M. Veillon.

La rigueur et l'accumulation de neige ont dégradé la végétation (diminution de 40 % de la V.P. en 3 ans). Le sol peu profond (moins de 40 cm) est faiblement colonisé et la M.O. est faible. En 1995,

l'enneigement tardif a pénalisé la pousse de l'année et début juillet la végétation commence seulement à démarrer (1 tonne de M.S./ha).

**En 1996**, après 2 années difficiles (climat : neige tardive....) on retrouve le niveau de 1994

La végétation démarre toujours tardivement, et la V.P. est en équilibre depuis 4 ans. Cette station présente une pousse retardée et fin juillet la biomasse aérienne serait de 1,5 T M.S.

- **Base militaire Pierre/Haute**

Cette parcelle mise en défens depuis 30 ans a subi très peu de modifications d'un point de vu végétal. La V.P. de 4,2 est liée à la présence de trèfle alpin présent au-delà de 1 500 m d'altitude.

- **6 - Le Goulet**

En 1994, peu d'évolution avec un maintien de la terre nue (18 %) liée toujours au passage des promeneurs et troupeaux et sans doute à la rigueur des deux derniers hivers.

La diminution de la pression pastorale entraîne une recolonisation de ce secteur et la terre nue diminue (10 %). La production est en légère augmentation.

En 1996, la végétation se maintient et la terre nue continue à diminuer. La station, suite à la réfection du chemin de Pégrol a été bouleversée et la production annuelle de ce fait est en forte diminution. A noter, aucun signe de pâturage.

- **7 - Les Egaux**

En 1994, peu d'évolution depuis 1991, si ce n'est une colonisation par les ligneux (85 %) qui éliminent les espèces fourragères. La faible pression du pâturage se poursuit.

En 1995, les effets de l'écobuage ne se font plus sentir. La colonisation par les ligneux s'accroît : ceci est dû au manque de pâturage qui devient plus qu'épisodique. La production globale diminue d'année en année. En 1996, on est revenu à l'état initial et cette zone n'est plus pâturée. Ce site ne sera plus suivi et la cage de végétation a été déplacée en juillet 96.

- **8 – Pégrol fumée**

En 1996, la V.P. est excellente pour une prairie située à 1 350 m d'altitude (51) et les plantes qui composent la flore sont très productives : 8 tonnes de MS par ha au 10.07.96. La fertilisation organique appliquée pendant des décennies y contribue largement

Concernant les analyses de fourrages, on note, en liaison avec la teneur en éléments minéraux des sols, des valeurs faibles en dessous des normes, mais largement supérieures aux autres sites.

En 1997 et 1998, la production se maintient aux environs de 6-7 T M.S.. La fauche a eu lieu fin juillet et la flore reste très diversifiée.

- **9 – Pégrol lande**

Après le gyrobroyage réalisé en 1996, cette station évolue favorablement avec une très nette diminution des ligneux. De ce fait, la V.P. et la production de biomasse augmente très rapidement (x 3).

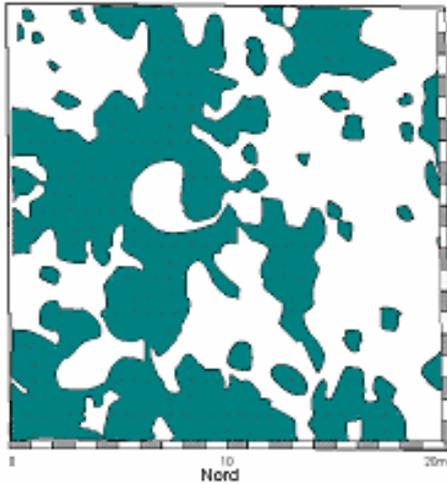


Figure 16

**Cartographie des plages de Nard (*Nardus stricta*) sur la parcelle "nardaie-Chauve" (n°15)**

• **11/12 - Parcelle Chauve**

En 1994, la V.P. (4,8) est liée au passage du gyrobroyeur. Les ligneux et le Nard, très présents, ont été éliminés et on assiste en 1994 à une repousse de graminées faibles fourragères. La production annuelle est très proche sous les deux cages, hormis la repousse plus forte grâce au gyrobroyage (libération de Phosphore, minéralisation de la M.O.).

En 1995, la callune et la myrtille recolonisent très rapidement la bande gyrobroyée car le pâturage n'est pas géré. Le rendement est stable avec une pousse d'automne très faible depuis deux ans (voir climatologie).

En 1996, la V.P. se rapproche de la parcelle témoin car aucune amélioration n'a été apporté dans la conduite

La parcelle témoin avec moins de deux tonnes de MS sur l'année devrait être plus chargée en animaux afin de détruire la callune et la myrtille. Il faudrait de plus, faire des apports de chaux et de fumier afin de faire évoluer cette M.O. En 1996, rien n'a été fait .

La création de nouveaux parcs a entraîné une diminution de la pression de pâturage. Avec une pluviométrie importante au printemps, la végétation est luxuriante début juillet :

la V.P. s'améliore sur les 2 sites,

la production de biomasse est en augmentation par rapport à 1997,

Le nard reste très présent (38 % sur les deux stations) et les ligneux atteignent 70 %.

• **13 - Les Gorces**

En 1994, la V.P. est élevée (11,4) pour une lande et le pâturage des V.L. joue un rôle prépondérant car on retrouve 50 % de bonnes et faibles graminées.

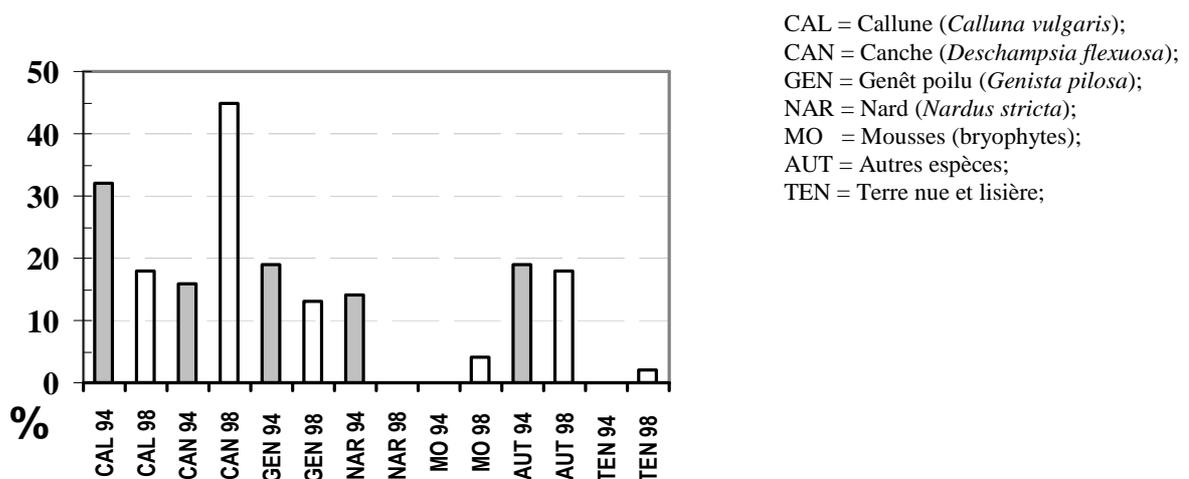


Figure 17. Variation de contributions spécifiques entre 1994 et 1998 concernant les principales espèces représentées dans la lande du Sapoint.

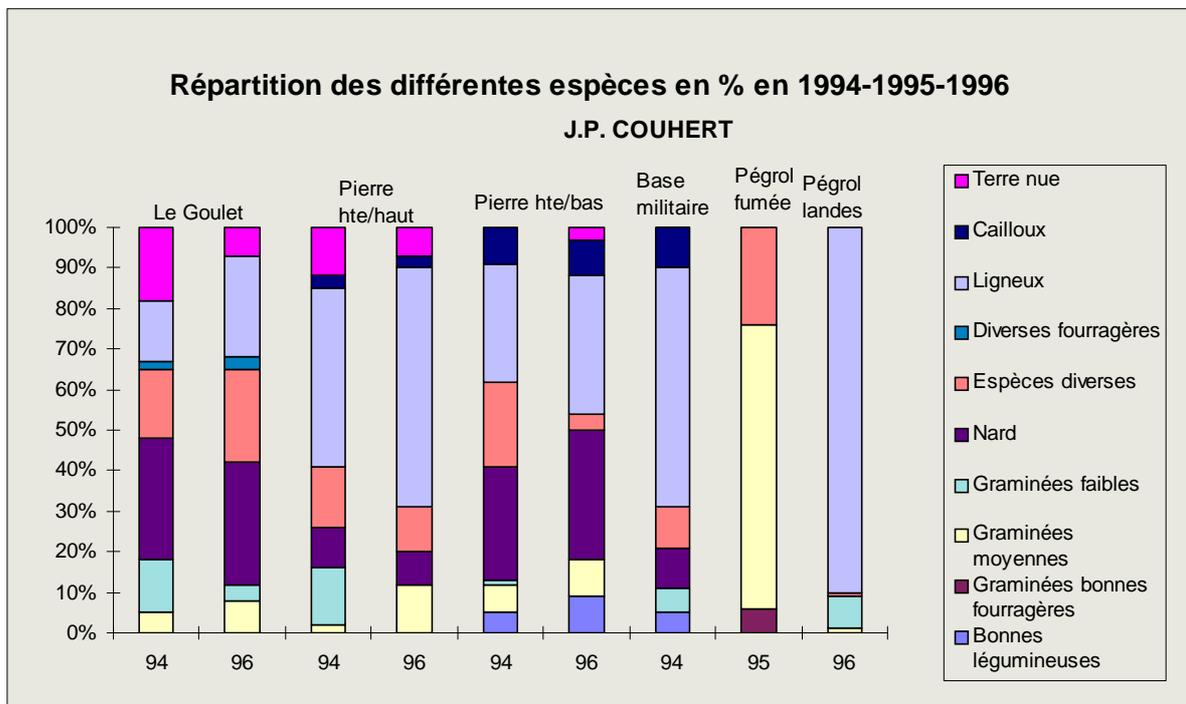
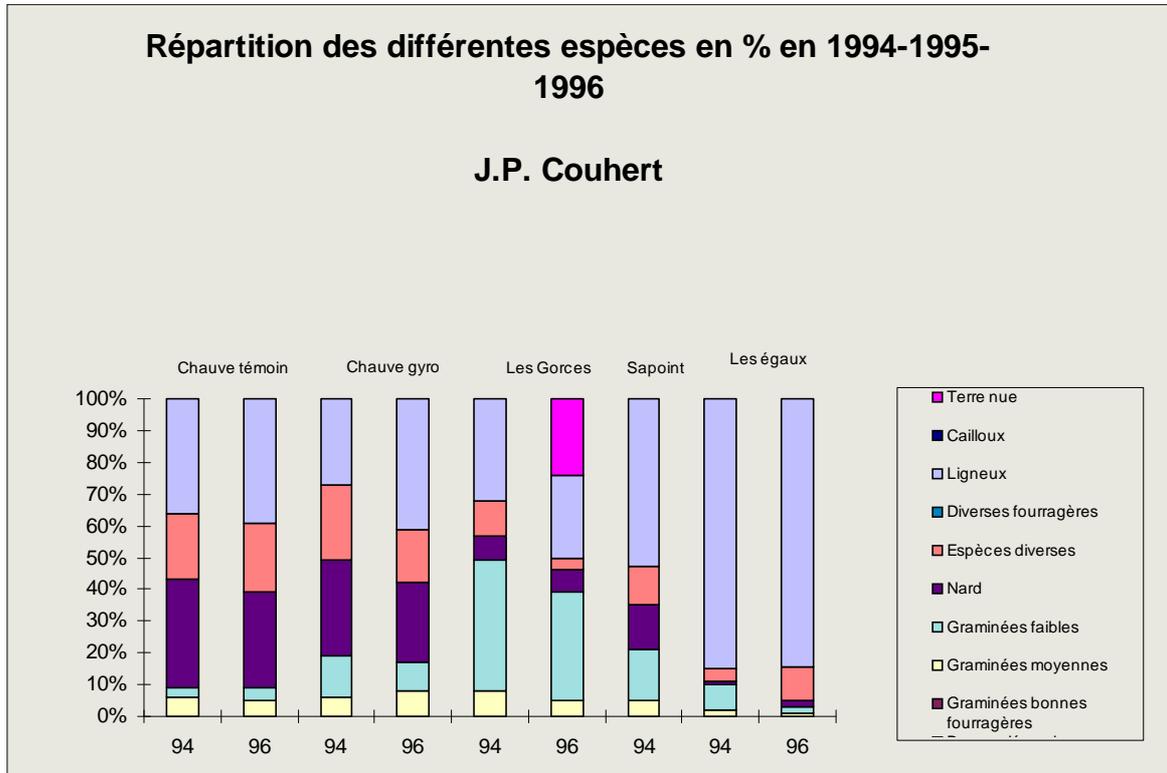


Figure 18 . Répartition des espèces sur les différents sites

En 1995, il n'y a pas d'évolution depuis l'année précédente : la production reste faible (moins de deux tonnes de MS) ainsi que les fournitures du sol.

En 1996, après un brûlage en avril (apparition de 24 % de terre nue) la végétation herbacée recolonise la parcelle et le pâturage est correctement géré.

Au printemps 1998, la parcelle est à nouveau brûlée et la callune a totalement disparu.

Le chargement diminue (- 5 V.L.) et on peut s'attendre à terme à une recolonisation par la myrtille (la biomasse annuelle est divisée par deux).

A partir d'une callunaie-génistaie assez dense en 1994 (ligneux = 53 % du couvert et espèces non ligneuses = 47 %) , on aboutit à une formation de pelouse où les arbrisseaux sont dominés (ligneux = 32 % et espèces non ligneuses = 66 %). En 5 ans, la régression des ligneux est d'environ 20 %.

Il doit s'agir vraisemblablement d'une callunaie sénescente au bout de 30 à 40 ans d'abandon de la zone. Nous sommes en train d'assister à la diminution progressive des callunes (-14 %) aux dépens de la Canche flexueuse, espèce autochtone oligotrophique de la lande, existante à l'état latent et se développant à la faveur des trouées.

La progression des espèces herbacées et notamment de la Canche, entraîne un doublement de la valeur pastorale qui passe de 5,2 à 10,4.

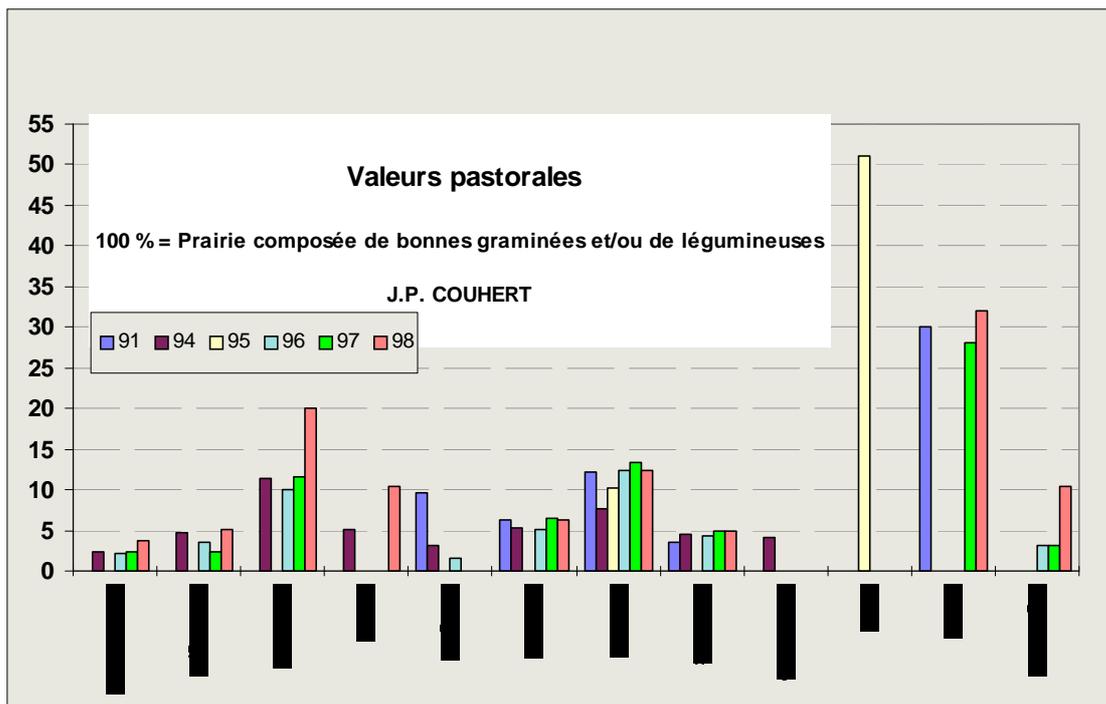


Figure 19 . Valeurs pastorales sur les différents sites

- 14 - Sapoint

En 1994, l'absence prolongée de pâturage a entraîné depuis 25 ans un développement très important des ligneux (53 %). La présence de quelques espèces diverses et faibles graminées donne une V.P. de 5,2 avec une très faible consommation potentielle.

Entre 1994 et 1998, on note :

une énorme progression de Canche flexueuse (+ 29 %)

une forte régression de la Callune (-14 %) et du Nard (-14%)

une régression légère du Genêt poilu (-6 %)  
une petite augmentation des mousses

#### 4.2.5 Conclusion sur la végétation

- **Parcelle Chauve** : Le gyrobroyage a été efficace sur les deux premières années mais en 1996, les mesures effectuées montrent un retour à la situation initiale avec en plus, vu la faible pression de pâturage, une colonisation plus importante par les ligneux (myrtille callune). Ce sol très riche en M.O. devait recevoir en 96 de la chaux ainsi qu'un épandage de fumier pour faire redémarrer la vie biologique du sol.
- **Les Gorces** : Cette parcelle située près de la jasserie bénéficie d'un pâturage soutenu et la flore se maintient et tend à s'améliorer suite au feu qui a détruit la callune.
- **Sapoint** : Pas de pâturage.
- **Les Egaux** : On est revenu à la situation initiale d'avant 90, car ce secteur est pratiquement abandonné.
- **Le Goulet** : Diminution de la pression pastorale et recolonisation de la terre nue par la végétation. On note aussi un début d'envahissement par les ligneux (Sorbiers).
- **Pierre/haute** : Le retardement du 1er pâturage (fin juillet) entraîne dans cette lande subalpine une amélioration de la flore.
- **Pégrol fumée** : Bonne prairie exploitée au bon stade vers le 14 juillet.
- **Pégrol lande** : La mise en place d'un pâturage rationné ainsi qu'un gyrobroyage dans ce parc devrait permettre de faire diminuer très rapidement la flore (90 % de ligneux en 1996).

## 5. Le suivi de la végétation par télédétection.

### 5.1 Les objectifs

Cette étude par télédétection, menée en parallèle des observations ponctuelles sur les parcelles, a pour objet de fournir une information globale sur l'aire des Hautes Chaumes afin de saisir la dynamique d'ensemble du milieu et de situer les évolutions observées au sol dans leur contexte général. Les données utilisées sont : une image satellitale Spot XS du 24/08/1994 et des photographies aériennes panchromatiques de 1995. La perception du milieu sur une large superficie et de manière exhaustive permet d'appréhender de nombreuses composantes : la couverture végétale, les surfaces dénudées, les surfaces en eau, les caractères de l'occupation humaine... Elle offre la possibilité d'établir un diagnostic de l'état du milieu et de la pression exercée par l'homme. Sur le site des Hautes Chaumes, ces documents permettent d'analyser certains aspects de l'évolution du milieu jugés préoccupants, tels que :

- l'extension des superficies exploitées et l'intensité du pâturage,- la nature, l'état et la répartition des formations végétales,
- - les secteurs soumis à une recolonisation forestière,
- - la localisation des zones érodées... et d'identifier les aires sensibles.

Cette étude a également pour objectif de concevoir une méthode de suivi à l'échelle de tout le massif, que l'on peut envisager sur la base de plusieurs images acquises avec une périodicité de 5 à 10 ans. Dans ce but, les résultats obtenus sont analysés de manière à juger des potentialités et de la pertinence des informations apportées par ces documents. Les commentaires qui suivent se rapportent à une première exploitation d'une image satellitale. La typologie aujourd'hui proposée pourrait être affinée, en particulier dans le cadre d'applications précises.

## 5.2 La méthode

### 5.2.1 Les contraintes de l'utilisation de données satellitales

L'information satellitale apporte une connaissance bien spécifique des surfaces. A chaque pixel correspond une valeur de rayonnement électromagnétique représentant l'ensemble des composants d'une surface élémentaire : végétation (feuilles vertes et sèches, bois), sol, eau, ombre ... Dans le cas d'une image Spot XS, cette surface élémentaire est de 20.20mètres.

La signature spectrale (rayonnement) des végétaux ne se différencie pas toujours distinctement selon le seul critère de la composition floristique, d'autres paramètres interviennent et il n'est pas toujours aisé de les identifier.

Il est ainsi apparu difficile de distinguer entre elles certaines espèces ligneuses, par exemple : les sapins et les pins sylvestres ou les différents peuplements de feuillus (sorbier, bouleau, hêtre) dont le recouvrement au demeurant n'est pas homogène ... Néanmoins, on remarque que les peuplements à callune se distinguent par une réponse propre. Cette information nous est précieuse car la callune est un bon marqueur de la dynamique du milieu.

Par contre, l'information spectrale nous renseigne sur la structure des peuplements : leur hétérogénéité floristique et en particulier la proportion de ligneux et d'herbacées, leur état végétatif (un indice révélateur de la vitalité des reboisements), leur taux de recouvrement et la structure réelle de la végétation de certaines entités (par exemple, les tourbières habituellement reconnues en fonction du critère de l'humidité).

Ces contraintes expliquent à la fois la méthode de cartographie utilisée et la typologie obtenue.

- **La réalisation de la carte**

La cartographie des différents états de surface est réalisée à l'aide de classifications statistiques. La démarche a consisté par le biais de classifications automatiques à extraire les classes spectrales fortes et à analyser ensuite leur signification sur le terrain et les photographies aériennes. Les classes ayant une signification thématique ont été retenues. La carte finale a été validée sur le terrain.

L'application d'une démarche dirigée s'est avérée difficile dans la mesure où les unités végétales préalablement distinguées sur le terrain ne se distinguaient pas par une réponse spectrale propre et que nous ne maîtrisons pas tous les paramètres affectant ce signal.

### 5.2.2 La carte des formations végétales

Cette carte fait apparaître quatre grands types de formations végétales, les sols nus et l'eau.

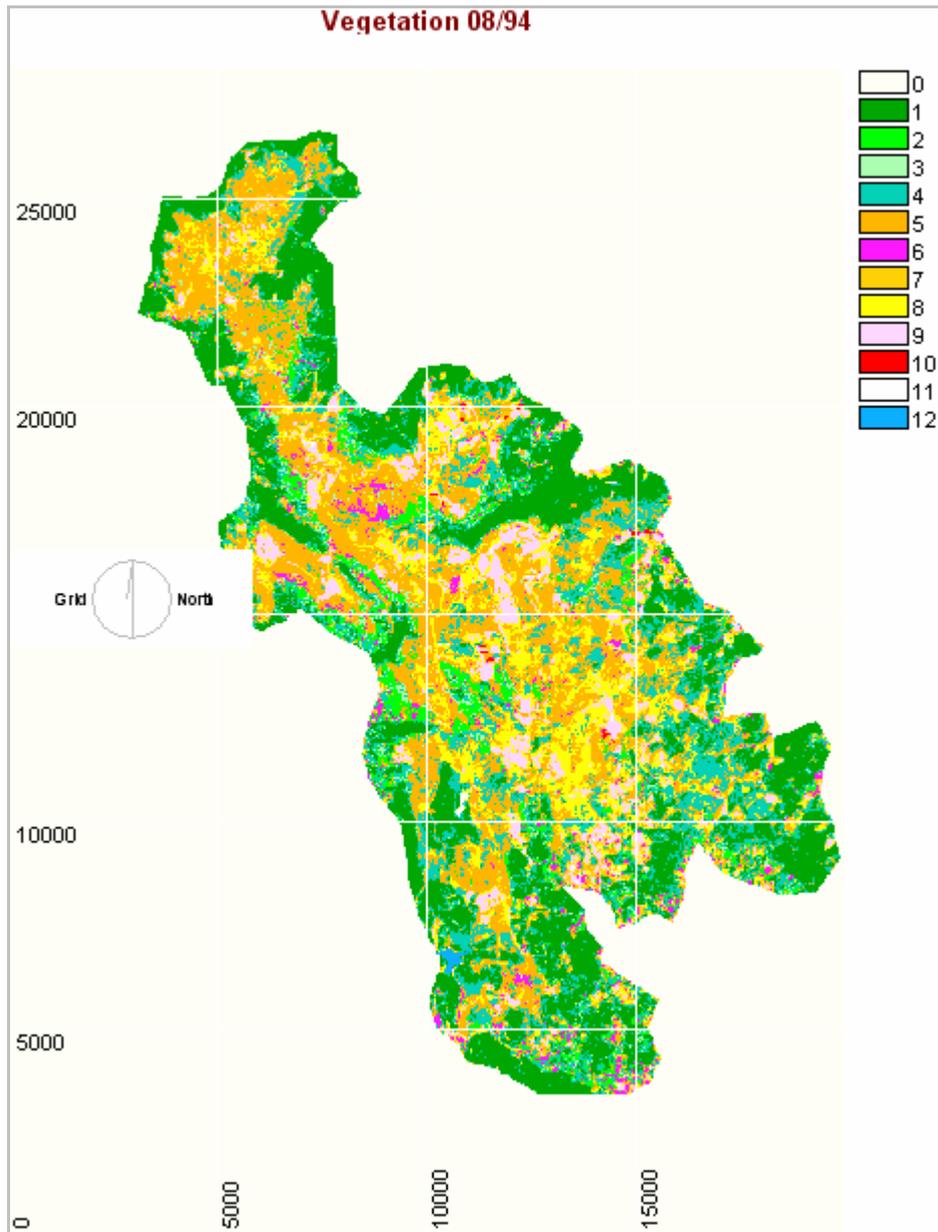
Les formations végétales sont distinguées en fonction de la présence de ligneux, de la hauteur des individus et pour certains thèmes en fonction de l'espèce dominante.

- **Les formations forestières** : les conifères et les feuillus sont identifiés au stade de peuplement dense et au stade de recolonisation. Ainsi, cette carte offre un bon aperçu des secteurs occupés par une végétation forestière et des zones soumises à la recolonisation des ligneux, en particulier dans les secteurs de lisière.

La discrimination entre les feuillus et les conifères est aisée sauf dans le cas des jeunes plantations qui apparaissent classées en feuillus (par exemple, au nord du col des Supeyres). Cette confusion s'explique par le moindre taux de recouvrement des arbres et la présence d'un sous-bois très dense (myrtille) dont la réponse se rapproche de celle des feuillus.

Les principaux ensembles forestiers (la hêtraie du Col des Supeyres, le reboisement des Allebasses et ceux des Pradeaux) apparaissent classés en deux ou trois thèmes sur la carte. Là aussi le taux de recouvrement intervient, ce qui traduit différentes générations de plantations ou une réussite mitigée du reboisement (forêt des Allebasses).

On constate que la donnée satellitale est très sensible à l'hétérogénéité et au taux de recouvrement des peuplements.



**Figure 20 . Cartographie des formations végétales des Hautes Chaumes du Forez  
d'après l'image satellitale spot XS du 24 août 1994  
(typologie définie par G. Thébaud et C. Jacqueminet)**

**FORMATIONS FORESTIERES, ARBUSTIVES ou DE LANDES HAUTES**

- 1 Peuplements denses de conifères adultes (> 60 %) (*Abies alba*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*)  
/ Landes hautes à genêt purgatif ou genêt à balai
- 2 Peuplements denses de feuillus (*Fagus sylvatica*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pubescens* ...)
- 3 Stade de recolonisation par les conifères (lande à callune colonisée par *Pinus sylvestris*, *Abies alba*) / Jeunes plantations de conifères (*Picea abies*)
- 4 Stade de recolonisation dominé par les feuillus (lande à *Vacc.* colonisée par *Sorbus aucuparia* ...) / Jeunes plantations ouvertes de conifères (*Picea abies*) à sous-bois dense

**FORMATIONS DE LANDES BASSES**

- 3 Landes très denses composées de ligneux bas (*callune*, *myrtille*) / Hauts-marais évolués des tourbières (bouleaux)
- 5 Landes à *callune* dominante
- 6 Landes à *myrtille* dominante (lande montagnarde à *Vaccinium myrtillus*, lande subalpine à *Vacc. uliginosum*)

**FORMATIONS MIXTES (LIGNEUX BAS / HERBACEES)**

- 7 Formations mixtes dominées par la callune  
 8 Formations composées d'herbacées et de divers ligneux bas (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Genista pilosa*) / Haut-marais moins évolués des tourbières  
**FORMATIONS HERBACEES**  
 9 Formations herbacées basses ou rases (pelouses à *Festuca rubra* et *Agrostis capillaris*, nardaies, fumades fauchées)  
 10 Formations herbacées hautes ( fumades non fauchées) / Bas-marais et prairies humides des tourbières  
**SURFACES MINERALES**  
 11 Cultures, zones érodées, rochers  
**SURFACES EN EAU**  
 12 eau

- **Les formations de landes** : la callune et la myrtille, les deux espèces dominantes de ces landes, lorsqu'elles sont en peuplement mono spécifique (myrtille) ou même associée à des herbacées (callune), se distinguent par une réponse spectrale propre qui permet leur identification.

Les formations de landes se discriminent également par la proportion de ligneux et d'herbacées. Les deux formations landes basses et landes mixtes indiquent des degrés de transformation des landes en rapport avec la disparition des herbacées au profit des ligneux (callune, myrtille). Ceci rend compte également de la moindre pression pastorale exercée sur ces périmètres.

- Deux types de formations herbacées ont été distingués selon leur hauteur. Les herbacées rases correspondent aux parcelles exploitées (parcelles pâturées, fumades toujours exploitées) et les herbacées hautes aux parcelles de moindre pâturage et aux fumades non fauchées.

Ces formations herbacées se différencient par une réponse spectrale propre due à l'absence de ligneux et par un parcellaire bien perceptible sur l'image. Il convient de souligner que ces parcelles classées en deux thèmes présentent de nombreuses nuances de valeur dont la signification n'a pas été identifiée mais qui semblent liées à plusieurs facteurs : une végétation plus ou moins rase, l'ancienneté du passage de la fauche, la proportion de biomasse sèche dans le cas des nardaies, des nuances d'exposition, de pente ou encore de drainage. Une meilleure appréhension de ces paramètres permettraient d'affiner notre connaissance des modalités du pâturage.

- Les tourbières ne sont pas identifiées en tant que telles mais associées à d'autres formations végétales. En effet l'apparence des tourbières varie en fonction de leur stade d'évolution. L'apport des données satellitales réside ici dans la perception des différents composants des tourbières : haut marais évolués, haut marais moins évolués, bas marais et prairies humides.

Le thème de l'eau est présent au lac des Pradeaux. - Les sols nus correspondent aux parcelles mises en culture lors de l'enregistrement de l'image satellitale, aux zones de rochers et aux zones érodées. On remarque que les chemins bordés par une lande parfois plus dense à leur périphérie immédiate en raison du ruissellement, sont classés en formation de landes mixtes. La résolution spatiale du capteur (20m) est dans ce cas insuffisante pour les distinguer en tant que sols nus.

### 5.2.3 Conclusion

La cartographie des Hautes-Chaumes à l'aide d'une image satellitale a comporté quelques limites. Certains groupements végétaux n'ont pu être différenciés d'un point de vue spectral et sont cartographiés dans une même classe : la formation de recolonisation par les conifères et la lande basse et très dense composées de ligneux bas (callune, genêt) ; les peuplements purs de genêts et les conifères adultes ; les tourbières. L'utilisation d'une image enregistrée à une autre date ou d'une image offrant plus de bandes spectrales (Landsat TM) aiderait à lever ces confusions.

Par contre, la résolution spatiale du capteur n'est apparue trop faible que dans des cas très restreints : les reboisements en timbre-poste et les chemins non érodés. Cette contrainte devrait rapidement disparaître (la résolution des images Spot en 2002 passera à 10 mètres en mode multi spectral).

L'un des apports majeurs de l'image satellitale réside dans la couverture exhaustive et détaillée du site, puisque à chaque pixel est associée une information propre. La carte rend compte des variations fines des états de surface et de leur plus ou moins grande diversité. L'hétérogénéité des formations végétales est un indicateur de la richesse écologique du milieu.

Par ailleurs, l'image fournit un constat réel des surfaces exploitées, plus proche de la réalité qu'un relevé cadastral, par exemple. L'identification aisée des secteurs pâturés et de leurs états de surface par le biais de la signature spectrale et surtout par le parcellaire nous permet d'envisager des potentialités intéressantes de diagnostic et de suivi de cette activité.

On remarque que l'exploitation des données satellitales se nourrit de la connaissance du terrain. La reconnaissance des formations végétales sur image satellitale est dépendante et étroitement liée aux études réalisées au sol. L'identification des formations végétales est redevable à l'inventaire des groupements floristiques mené par G. Thébaud, phytosociologue. Celui-ci a permis d'interpréter l'image et de mettre en évidence l'information spécifique apportée par le capteur, surtout dans ce milieu où la couverture végétale présente des nuances floristiques et structurales très fines. En association avec ce travail de terrain, la méthode adoptée ici s'avère reproductible.

Son apport aux études réalisées sur les stations test est réel. L'image permet d'extrapoler les observations ponctuelles du terrain et en même temps de valider leur représentativité. Elle peut servir de document de base pour définir d'autres stations test.

Cette approche basée sur des données satellitales offre les moyens d'effectuer le suivi du massif des Hautes-Chaumes : l'image rend compte de l'état du milieu à la date d'enregistrement. Une cartographie diachronique permettrait d'appréhender son évolution. La typologie dressée à ce jour met en évidence de façon assez fine la progression des ligneux au sein de la couverture végétale. La carte indique également les zones dénudées. Le diagnostic de cet état permet d'identifier les secteurs menacés et contribue à la fois à saisir l'impact des procédures agri environnementales et à diriger leur action.

## **6. Conclusions générales et perspectives concernant l'évolution de la végétation dans les zones contractualisées :**

### **6.1 Pertinence des paramètres de suivi :**

**Les relevés de valeur pastorale** représentent un paramètre intéressant qui permet à la fois un suivi précis des stations et un diagnostic global.

**L'Indice de piétinement Ip** : calculé à partir des relevés de valeur pastorale, il devrait être utilisé plus systématiquement dans les parcelles contractualisées car il permet un diagnostic de l'intensité du pâturage et des effets du piétinement par les troupeaux sur la végétation.

**Les trouées de sol nu** devraient impérativement être notées dans la plupart des stations, notamment les stations subalpines où l'érosion est active.

**Les plages de Trèfle des Alpes** sont difficiles à suivre, surtout après une restauration partielle de la végétation sous l'effet de meilleures pratiques. Le Trèfle est en mélange homogène. Cette bonne espèce, indicatrice de "l'état de santé" des biocénoses herbacées subalpines (à la fois assez rare et légumineuse, prisée par le troupeau...), doit faire l'objet d'un suivi d'une autre nature qui n'est pas mis au point actuellement (le comptage du nombre d'individus s'avère difficile...).

**Les plages de nard et de végétation ténue** sont assez faciles à cartographier mais la comparaison entre deux cartes d'années différentes est assez lourde à mettre en œuvre. On devrait mettre en place une technique plus simple **le long d'un transect** ou un piquetage autour de touffes pour noter la progression de celles-ci.

### **6.2 Conclusions et perspectives par station :**

Dans les stations subalpines (n° 4 et n° 3), on note une amélioration nette. Il convient de maintenir le pâturage tardif de ces zones et même de le retarder jusqu'à fin juillet voir début août pour une bonne expression de la diversité végétale ; éviter les fortes charges instantanées et pratiquer un pâturage aussi extensif que possible.

\* pour la parcelle n° 15 (nardaie-Chauve), il faut s'assurer de la véritable mise en place des pratiques préconisées initialement.

\* pour la parcelle n° 9 (lande-Pégrol), (que nous n'avons pas étudié ici), il vaut mieux réaliser un fauchage, éventuellement suivi de brûlis maîtrisés, plutôt qu'un girobroyage : les restes de tiges et de rameaux de ligneux qui ne se dégradent pas forment un mulch naturel empêchant la repousse des graminées et retardant l'amélioration de la lande.

Il est nécessaire de continuer à suivre ces stations pour avoir des données sur une plus grande période.

### 6.3 Nécessité d'un suivi à plus petite échelle à partir des données satellitaires :

Toutes intéressantes qu'elles soient, les données précédentes ne portent que sur des parcelles très réduites dans l'espace ; il peut se passer à côté des phénomènes de dégradation qui nous échappent.

Un suivi sur de plus grandes surfaces (ensemble des Hautes-Chaumes ou certaines parties des Hautes-Chaumes), permettrait d'une part d'apprécier l'évolution de la diversité écologique globale (variation d'unités typologiques intégratrices de la végétation et des pratiques) et d'autre part de mettre en évidence des phénomènes qui peuvent nous échapper à partir d'un simple suivi sur de petites parcelles. Une telle demande a été initiée en 1997 (cf. annexe n° 5), qu'il conviendrait d'approfondir par des recherches bibliographiques et de terrain sur deux plans :

\* Amélioration de l'outil typologique et estimation de sa pertinence.

\* Mise au point d'un diagnostic quantitatif de la diversité écologique.

### 6.4 Effets des pratiques et effets saisonniers

L'analyse des résultats doit tenter de séparer l'effet "pratiques" de l'effet des variations climatiques à l'échelle de l'année.

Faute d'un suivi pendant une période assez longue, cette discrimination s'avère délicate à mener.

La mesure la plus intégratrice qui a été retenue pour évaluer l'effet climatique est la mesure de chaleur exprimée en degré heures positives.

La mesure de la végétation retenue a été celle de la biomasse totale et de la valeur pastorale.

L'analyse a porté sur les deux années 96 et 97, les seules où le suivi thermique a été réalisé pendant l'été.

Le tableau suivant récapitule les données.

97/96	Rapport des Valeurs pastorales	Rapport des Biomasses
Goulet érodé	1.23	0.88
Pierre/Haute bas	1.07	0.78
Pierre/Haute haut	1.14	0.22
Chauve gyro	0.69	0.53
Chauve témoin	1.05	0.66
Les Gorces	1.15	0.70
Fumée Pégrol		0.78
Lande Pégrol	1.00	0.64
Moyenne des sites	1.05	0.65
D heures sol	1.00	1.00
D heures 10cm	1.01	1.01

**Tableau 18 Relation température et paramètres végétaux**

Deux observations principales peuvent être faites. La première est qu'il n'y a pas concordance entre la mesure de la biomasse plus favorable en 96 qu'en 97 et la valeur pastorale où l'évolution est inverse. La cohérence entre les stations est bonne, le comportement particulier de chauve gyrobroyé s'expliquant précisément par la pratique pastorale préconisée qui en l'occurrence se révèle peu favorable sur le moyen terme.

La seconde est que la valeur pastorale semble davantage évoluer en relation avec le paramètre climatique que la biomasse. Beaucoup de réserves doivent accompagner ces observations préliminaires. Elles ne portent que sur deux années qui ont de surcroît un bilan thermique très proche surtout au sol, un peu moins en profondeur où l'écart est équivalent à quelques jours. Globalement cependant cette seconde a été un peu plus précoce puisque l'écart a toujours été positif depuis le 22 mai atteignant 1,1 au maximum début juin. (cf. analyse climatique). Ce paramètre est peut-être de nature à favoriser les espèces à plus grande valeur nutritive.

La période de suivi doit à l'évidence être prolongée pour pouvoir tirer des conclusions solides sur ce point.

## Références

- COUHERT J.P., 1988 - Les Hautes-Chaumes du Forez. Bilan de l'utilisation et perspectives d'aménagement d'un territoire. Thèse de Doctorat, Clermont-Ferrand, 200p.**
- BROCHET P., GERBIER N., 1975: L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique. Evaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle (Monographie n° 65 de la Météorologie Nationale)**
- ETLICHER B., JACQUEMINET J. 2001 : Hautes Chaumes du Forez, Suivi scientifique, rapport 2000. Parc Naturel Livradois Forez ; 25 p. Inédit.**
- ETLICHER B. et al., 1993-. Les Hautes Chaumes du Forez: diagnostic écologique pour la gestion d'un espace sensible. Etudes foréziennes, 159 p.**
- ETLICHER B., BESSENAY C., COUHERT J.P., DEGORCE J.N., FAURY O., FRANCEZ A.J., MARION G., MERLE G., SUCHEL J.B., THEBAUD G., 1991- L'érosion d'une lande pastorale sur les Hautes Chaumes du Forez. Rapport SRETIE, Inédit CRENAM, 168p dactyl.**
- LOISEAU P. & MERLE G., 1981 - Production et évolution des landes à Callune dans la région des Dômes (Puy-de-Dôme). Acta Oecologica, Oecol. Applic. 2: 283-298**

## Tables

Figure 1. Les ZNIEFF des Hautes Chaumes du Forez.....	3
Figure 2. La fermeture du paysage des Hautes Chaumes.....	5
Figure 3. Les stations des sites nord. ....	9
Figure 4. Les stations des sites sud. ....	10
Figure 5 . Localisation des sondes .....	11
Figure 6. Baisse des températures dans le sol (10 cm) en automne .....	15

Figure 7 . Elévation des températures au printemps dans le sol (50 cm) .....	16
Figure 8 . Degrés-heures positifs au printemps.....	17
Figure 9. Plages de végétation dans la parcelle de la Chamboîte.....	24
Figure 10. Progression des arbustes sur la parcelle de la Chamboîte - aval.....	26
Figure 11. Localisation des arbustes et des rochers dans la parcelle de Pierre Sur haute – Base militaire en 1998 (et avec l'emplacement des rosettes d' <i>homogyne alpina</i> faisant l'objet d'un suivi).....	28
Figure 12. Localisation et dénombrement des groupes de feuilles ou de rosettes (NF) le long d'un transect de 20 m réalisé au niveau de la parcelle de Pierre-Sur haute – Base militaire (n° 2).....	28
Figure 13. Etat de la parcelle des Supeyres en 1998.....	30
Figure 14. Variation de contributions spécifiques entre 1994 et 1998 concernant les principales espèces représentées dans la lande du Sapoint. ....	31
Figure 15. Recouvrement et taille des sorbiers .....	34
Figure 16.....	43
Figure 17. Variation de contributions spécifiques entre 1994 et 1998 concernant les principales espèces représentées dans la lande du Sapoint. ....	43
Figure 18 . Répartition des espèces sur les différents sites .....	44
Figure 19 . Valeurs pastorales sur les différents sites .....	45
Figure 20 . Cartographie des formations végétales des Hautes Chaumes du Forez .....	48
Tableau 1. Utilisation des estives en Puy de Dôme en 1988.....	4
Tableau 2. Etat de la fermeture des Hautes Chaumes en 2001. ....	6
Tableau 3. Quelques valeurs remarquables en hiver.....	14
Tableau 4 . Valeurs remarquables de l'été. ....	16
Tableau 5. Degré-heures positifs au printemps.....	17
Tableau 6 Bilan de l'eau à Prabouré au cours des saisons chaudes 1994-1998.....	21
Tableau 7.Evolution entre 1995 et 1997 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle de la Chamboîte - aval.....	25
Tableau 8: Evolution entre 1995 et 1997 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle de Pierre Sur-haute – Base militaire. ....	27
Tableau 9. Mise en place du suivi de la croissance des sorbiers sur la parcelle de Pierre Sur haute – Base militaire. ....	27
Tableau 10: Evolution entre 1994 et 1998 de la hauteur des arbustes et de leur recouvrement estimé dans la parcelle des Supeyres.....	29
Tableau 11: Valeur des paramètres comparatifs entre les différents sites concernant la hauteur et le recouvrement. ....	33
Tableau 12. Mesures de croissance en cm concernant les arbustes n° 2 et n° 4 de la parcelle n° 2 (Pierre-Sur-haute - base militaire) [Année 1998]. ....	34
Tableau 13. Analyses de sols.....	38
Tableau 14. Valeurs pastorales .....	39
Tableau 15. Biomasses, matière sèche et consommable .....	39
Tableau 16 : Production en Biomasse aérienne .....	40
Tableau 17 : Rendement - Date des coupes - Taux M.S. - Azote - Phosphore - Potasse - P/N - K/N pour les années 1994-1995-1996-1998. ....	41
Tableau 18 Relation température et paramètres végétaux.....	51
<b>1. Les enjeux sur les Hautes Chaumes du Forez.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 L'enjeu patrimonial .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 L'enjeu pastoral.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 La menace de fermeture des espaces ouverts. ....</b>	<b>5</b>
<b>2. Le suivi scientifique: les objectifs, les méthodes, les acteurs .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Le prolongement d'un constat antérieur.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Les objectifs. ....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Les méthodes.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Les intervenants.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Les paramètres bioclimatiques .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Les conditions du suivi thermique.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 L'analyse des principales séquences. ....</b>	<b>12</b>

3.3	Les comparaisons pluriannuelles.....	15
3.4	Premières conclusions générales.....	18
3.5	Le bilan de l'eau à Prabouré et climatologie activité végétative.....	18
4.	La dynamique végétale : les stations. ....	23
4.1	La dynamique des ligneux. ....	23
4.1.1	L'analyse des parcelles.....	23
4.1.2	Conclusions concernant la dynamique de la végétation et des arbustes dans les parcelles témoin 32	
4.2	Dynamique des landes et pelouses. ....	35
4.2.1	Méthode de diagnostic pastoral.....	36
4.2.2	Localisation des sites (voir cartes fig.3 et 4.).....	36
4.2.3	Analyse de sol et profil pédologique .....	37
4.2.4	Végétation.....	39
4.2.5	Conclusion sur la végétation.....	46
5.	Le suivi de la végétation par télédétection.....	46
5.1	Les objectifs .....	46
5.2	La méthode.....	47
5.2.1	Les contraintes de l'utilisation de données satellitaires.....	47
5.2.2	La carte des formations végétales .....	47
5.2.3	Conclusion .....	49
6.	Conclusions générales et perspectives concernant l'évolution de la végétation dans les zones contractualisées : .....	50
6.1	Pertinence des paramètres de suivi : .....	50
6.2	Conclusions et perspectives par station : .....	50
6.3	Nécessité d'un suivi à plus petite échelle à partir des données satellitaires : .....	51
6.4	Effets des pratiques et effets saisonniers.....	51
	Références.....	52