

O r p a l

synthesis 2009

No 2

Massif du Caroux, Hérault



## ORPAL - synthesis

Revue annuelle  
de Paléoécologie  
n°2 - Année 2009

Editeur en chef  
Jean-Frédéric TERRAL <sup>1,3</sup>

Editeurs associés  
Adam ALI <sup>1,3</sup>  
Laurent BREMOND <sup>1,4</sup>  
Benoît BROSSIER <sup>1,5</sup>  
Charlie FAVIER <sup>2,5</sup>  
Lara HAJAR <sup>2</sup>  
Serge MULLER <sup>2,3</sup>  
Paul ROIRON <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> CBAE, <sup>2</sup> ISEM,  
<sup>3</sup> UM2, <sup>4</sup> EPHE, <sup>5</sup> CNRS

### Auteurs

Laura BENESTAN, Chloé  
BOURDIL, Gabriel DEVIQUE,  
Amaury ENGELS, Laura  
EXBRAYAT, Elisa FERNANDEZ,  
Antoine JUIGNER, Aurélie  
KOTARBA, Vivien LOUPPE,  
Aurore LUCAS, Jimmy  
MARTINET, Anne-Christine  
MONNET, Emmanuelle  
MORESCO, Marine PERALTA,  
Stephanie POINTET, Mathieu  
PUIG, Céline ROSSET, Kevin  
ROSSIGNOL, Léa ROUX,  
Camille STOUFF, Fabien  
SILVESTRI, Maud TOURNERY

Maquette  
Serge MULLER

Publication  
3<sup>e</sup> trimestre 2012  
Université Montpellier-2

## ORPAL : Après quelques difficultés d'édition, voici (enfin) la cuvée 2009 !

On raconte que Cebenna, déesse de la mythologie grecque condamnée par Zeus, se serait retirée sur le mont Caroux (Hérault), plateau granitique et gneissique culminant à 1091 m et dominant vers le sud, les vallées de l'Orb et du Jaur. Cette déesse qui donna son nom aux Cévennes aurait expiré quelque part au dessus du village d'Olargues et des gorges d'Héric où elle serait enterrée sur le dos. Le point de vue que l'on a du Caroux lorsque l'on progresse du Biterrois vers le Haut-Languedoc évoque sa dépouille légendaire et explique pourquoi le Caroux est dénommé « femme allongée » dans le jargon populaire régional.

Le mont Caroux – de la racine *Kar* qui signifie rocher, pierre, dur, et qui est à l'origine de nombreux toponymes européens – a été le théâtre à ciel ouvert de l'école de terrain de la promotion Orpalienne 2009. Mais il est avant tout le territoire de la callune et de la bruyère cendrée, qu'un autre symbole du plateau, le mouflon de Corse, introduit dans les années 1950, broute avidement permettant ainsi de maintenir la lande et de réguler la conquête inexorable du pin sylvestre, du pin noir d'Autriche et de leurs hybrides qui ont le champ libre depuis la déprise agropastorale.

Sous la neige et face à la tempête, un groupe d'étudiants et leurs encadrants ont remplacé les troupeaux et, trois jours durant, se sont penchés sur une autre zone emblématique, la tourbière de Font-Salesse, avec la description de cet écosystème fragile, l'étude de son fonctionnement, de la flore qu'elle héberge, des restes biologiques qu'elle capte et peut préserver, et des informations d'ordre écologique qu'elle peut livrer. Entre la table d'orientation qui domine les vallées et les avants-monts de l'Espinouse, le refuge de Font-Salesse et la tourbière, un lambeau de hêtraie et un peuplement de pins en expansion ont également fait l'objet d'investigations. Les relevés et les prélèvements réalisés visaient à comprendre la dynamique écologique de ses peuplements en relation avec des paramètres écologiques, abiotiques ou biotiques, que les étudiants ont su apprécier, en cette saison hivernale, à leur juste valeur : « *de l'écologie et de la pédagogie avec de l'humain dedans!* ».

Jean-Frédéric Terral  
Editeur en chef d'ORPAL - synthesis

*Les hardis pionniers  
d'ORPAL 2009  
à la conquête  
des sommets  
(photo F. Piatscheck)*



# ORPAL : module d'enseignement-recherche avec de vrais morceaux d'humain dedans

## **ORPAL en bref**

ORPAL est une unité d'enseignement proposée en 3<sup>ème</sup> année de Licence Géosciences Biologie Environnement (GBE), UFR Fac des Sciences, Département d'enseignement Biologie-Ecologie, Université Montpellier-2.

## **Contenu pédagogique**

Sur la thématique de la reconstruction des environnements passés, cette unité d'enseignement (UE) est dévolue quasi-exclusivement à la pratique et à l'expérimentation. Toute la chaîne opératoire des recherches est considérée : le questionnement, la problématique, la recherche bibliographique, le terrain, le travail en laboratoire, le traitement des résultats, leur interprétation et la diffusion (écrite et orale) de l'information scientifique.

## **Déroulement d'ORPAL**

### **ORPAL 1/5 : Briefing méthodologique**

La reconstruction des paléoenvironnements : pourquoi et comment ? Présentation de l'UE, son organisation, de ses objectifs pédagogiques, des outils, des méthodes.

### **ORPAL 2/5 : Stage de terrain**

Dans une zone bien circonscrite d'un point de vue géographique et écologique, quelques exemples de différentes approches utilisées : carottage sédimentaire pour les milieux lacustres ou palustres (pollen, rhizopodes, macrofossiles, microcharbons) ; carottage dendrologique (étude de la croissance et de la démographie des peuplements d'arbres). Le volume de «terrain» total est de 24 heures, réparties sur trois jours consécutifs.

## **Apport pour les étudiants**

Cette unité d'enseignement est réellement originale et novatrice. Elle répond du mieux possible aux revendications des étudiants : découvrir le monde secret de la recherche, se former par la recherche à travers un stage conventionné par un établissement de l'enseignement supérieur, valider un acquis de l'expérience, ajouter une ligne concrète dans leur CV, découvrir la vie trépidante et tumultueuse d'un laboratoire, etc.

## **Constitution de l'équipe**

Les étudiants, répartis en trinômes, choisissent un sujet sous la direction d'un enseignant-chercheur ou d'un chercheur de l'équipe pédagogique. Ce dernier sera leur référent chargé de suivre et d'évaluer leur progression tout au long de leur parcours.

### **ORPAL 3/5 : Stage en laboratoire**

Sous la responsabilité d'un encadrant, temps d'analyse des données, de traitement statistique, de réflexion et d'analyse bibliographique. Une journée par semaine.

### **ORPAL 4/5 : Rédaction**

Rédaction d'un mémoire synthétique relatif au sujet développé sous la forme d'un article scientifique. Présentation orale et intégration des corrections faites par un rapporteur.

### **ORPAL 5/5 : Evaluation et publication**

Evaluation des articles par le comité de rédaction de la revue (note initiale réévaluée à l'issue du processus de *reviewing*) et publication des meilleures contributions (critères portant à la fois sur le fond et sur la forme).

**NOTE : Les articles présentés dans cette revue, bien que corrigés par l'équipe pédagogique du module, sont des travaux réalisés par des étudiants de 3<sup>e</sup> année. Ces exercices d'initiation à la rédaction scientifique ne peuvent pas être considérés et cités comme de véritables articles.**

---

**ORPAL** : *n.m.* 1. Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements », Unité d'enseignement de l'Université de Montpellier-2, lancée en 2006-2007 ;

2. Revue annuelle de Paléoécologie du même nom.

---

# ORPAL 2009

## Massif du Caroux

### Hérault

Inventaire et cartographie des sphaignes du Caroux.....	7
Structure d'âge et dynamique d'une population de pins sylvestres ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	15
Relation entre pluie pollinique et végétation actuelle sur le massif du Caroux .....	23
De la biocénose à la taphocénose : approche taphonomique de la litière (tourbière de Font-Salesse, Massif du Caroux) .....	33
Dynamique des paléoincendies sur le massif du Caroux à la fin de l'Holocène .....	43
Caractérisation des sédiments de la tourbière de Font-Salesse, Massif de l'Espinouse .....	55

#### **Manuscrit non retenu pour la publication**

Détermination des rhizopodes en surface des tourbières du Mont Caroux et mise en relation de leur distribution selon l'humidité (Lhuillier Julie, Palancade Cécile, Piatscheck Finn, Le Renard Ludovic)



*Vue depuis la table d'orientation du Mont Caroux (photo S. Muller)*



# INVENTAIRE ET CARTOGRAPHIE DES SPHAIGNES DU CAROUX

Aurélie Kotarba <sup>1</sup>, Emmanuelle Moresco <sup>2</sup>, Léa Roux <sup>3</sup>

*Institut des Sciences de l'Evolution, Équipe Paléoenvironnements et Paléoclimats  
Université Montpellier-2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5*

<sup>1</sup> aurelie.kotarba@orange.fr, <sup>2</sup> darknatas51@hotmail.com, <sup>3</sup> lea.roux.ai@gmail.com

Encadrement : Serge Muller

**Résumé :** L'échantillonnage des sphaignes présentes dans la tourbière de Font-Salesse a permis de tirer des conclusions sur la dynamique générale de cette tourbière grâce à l'étude en parallèle d'un échantillon de butte prélevé sur le terrain. Une cartographie a également pu être avancée après l'identification précise de chaque espèce et la mise en relation de chacune d'entre elle avec son lieu de prélèvement.

**Mots-clés :** tourbière, sphaignes, bryophytes, Caroux

**Abstract :** Sampling of *Sphagnum* in the Font-Salesse peatland allowed to draw conclusions about the general dynamics of the peatland with the parallel study of a hummock sample taken in the field. A mapping was also realised after the precise identification of each species and the establishment of the relationship of each one with the place of sampling.

**Keywords :** peatland, *Sphagnum*, bryophytes, Caroux

Les tourbières sont des écosystèmes humides caractérisés par l'accumulation progressive de tourbe, roche organogène meuble ayant une forte teneur en matières organiques, telles que des débris de végétaux, peu ou pas décomposés. Cette absence de décomposition est due à la présence en très grande quantité d'eau et au milieu acide qui réduisent le développement des champignons et bactéries. Ces milieux sont très fragiles, notamment en raison de l'absence de matière nutritive, et abritent des espèces animales et végétales peu communes comme les sphaignes (*Sphagnum*). A elles seules, les tourbières représentent un tiers des quantités de carbone contenues dans les sols de la planète (Muller, 2001) et deux tiers du carbone atmosphérique (Houghton et al., 1990). On en trouve sous toutes les latitudes, mais en particulier dans la zone sub-arctique du fait de l'absence d'évaporation et des

substrats acides induisant peu de décomposition. Les tourbières peuvent atteindre 10 m de profondeur et il en existe deux types. Le premier, minérotrophe, utilise les apports en eaux de ruissellements qui lessivent les sols et les enrichissent. On y trouve beaucoup d'herbacées, notamment des Cyperaceae tels que les *Carex*. Le second, ombrotrophe, est alimenté par les eaux de pluies. Il s'agit de tourbières souvent issues de tourbières minérotrophes, que les eaux de ruissellement n'atteignent plus. Les espèces présentes, comme les sphaignes, ont de faibles besoins en éléments nutritifs.

Parmi les Bryophytes, les sphaignes représentent un groupe particulier bien défini qui comprend peu d'espèces. Les différentes sphaignes sont en général caractéristiques de certains milieux. On les trouve le plus souvent dans les tourbières, mais également dans certains sous-bois ou autres milieux humides.

Leur développement est très particulier. Elles croissent constamment par l'apex et en se désagrégant au bas de la tige, ce qui entraîne une accumulation de matière végétale morte. Ce phénomène aide à la formation et au développement des tourbières. Les sphaignes sont les principales représentantes de la strate muscinale des tourbières, et sont à l'origine du processus de tourbification de par leurs caractéristiques spécifiques, comme leur capacité à acidifier le milieu. Même mortes, les sphaignes peuvent conserver une importante quantité d'eau, contribuant à entretenir des microclimats humides et frais à la surface des tourbières. Ceci est valable quelque soit le temps, également en pleine sécheresse.

Le massif de l'Espinouse (et plus précisément le Caroux) présente une tourbière acide dans laquelle poussent quelques espèces particulières de sphaignes (Annexe 1). L'étude présentée ici a consisté à inventorier les différentes sphaignes qui se trouvent dans la tourbière. Nous avons ensuite comparé ces sphaignes actuelles aux restes fossiles contenus dans une butte à sphaignes prélevée sur le terrain afin de tenter de déterminer la dynamique de développement de la butte. Il existe deux théories concernant cette dynamique (Muller, 2001). Selon la première, appelée théorie de la régénération cyclique (Von Post & Sernander, 1910), les buttes et dépressions se succèdent alternativement au même endroit, donnant un relief qui s'inverserait périodiquement. La seconde suggère une continuité dans l'état de butte ou de dépression à un même endroit.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Présentation du site

Le Caroux, situé au sud du village de Douch., est composé d'un plateau d'une superficie de 360 ha, atteignant une altitude de 1000 m et entouré de gorges escarpées. Il se trouve alors à l'étage montagnard. La végétation du massif est très anthropisée, mais la végétation arborescente semble plus naturelle au fur et à mesure que l'on prend de l'altitude. Le climat est caractérisé par une pluviométrie élevée et

des chaleurs estivales prononcées. La végétation est ainsi à la fois méditerranéenne et montagnarde : conifères, hêtres, saules, genêts...

La tourbière de Font-Salesse se situe à l'ouest du plateau, et est abritée par de nombreux saules sur la majorité de sa surface. La tourbière comprend plusieurs zones à sphaignes, où ont été réalisés les différents prélèvements (Fig. 1) :

- dans une petite clairière, au nord de la tourbière, sous l'étang (station 1) ;
- sur une platière au centre de la tourbière, endroit plat d'hydrologie moyenne (station 2) ;
- sur une butte et dans une dépression, au centre de la tourbière (station 3) ;
- dans un sous-bois marécageux en bordure de la tourbière (station 4) ;
- sur une butte à polytrics, sur la marge (30 cm du bord) est de la tourbière (station 5) ;
- à la bordure de ruisseau, dans la hêtraie, côté ouest, en bordure de la lande à genêts (station 6) ;

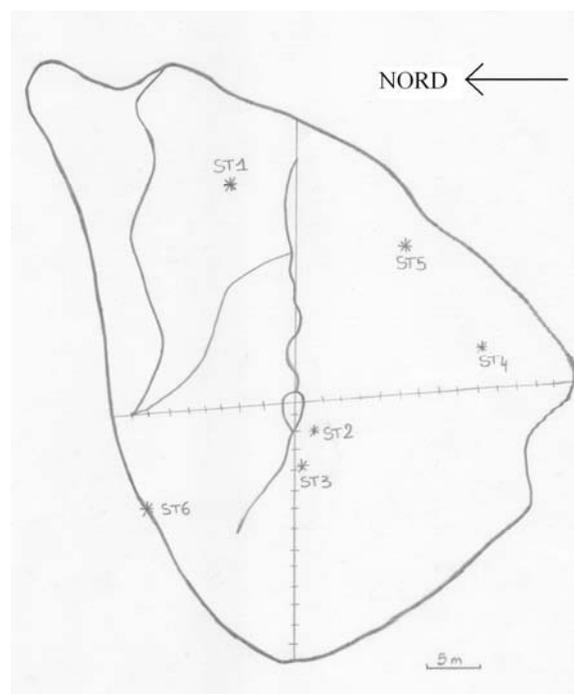


Figure 1 : Tourbière de Font-Salesse

- dans une tourbière minérotrophe : fen (station 10) ;
- dans une saulaie (station 11).

## 2- Organisation d'une sphaigne

Une sphaigne est principalement constituée d'une tige portant des rameaux garnis de feuilles (Fig. 2). Un capitulum occupe l'apex de la tige. Plusieurs rameaux peuvent avoir le même point d'attache sur la tige : on appelle cela un fascicule. Il existe deux types de rameaux, les rameaux divergents, plus ou moins perpendiculaires à la tige, et les rameaux pendants, quasiment parallèles à celle-ci. Les rameaux portent des feuilles dites raméales, tandis que la tige porte les feuilles caulinaires.

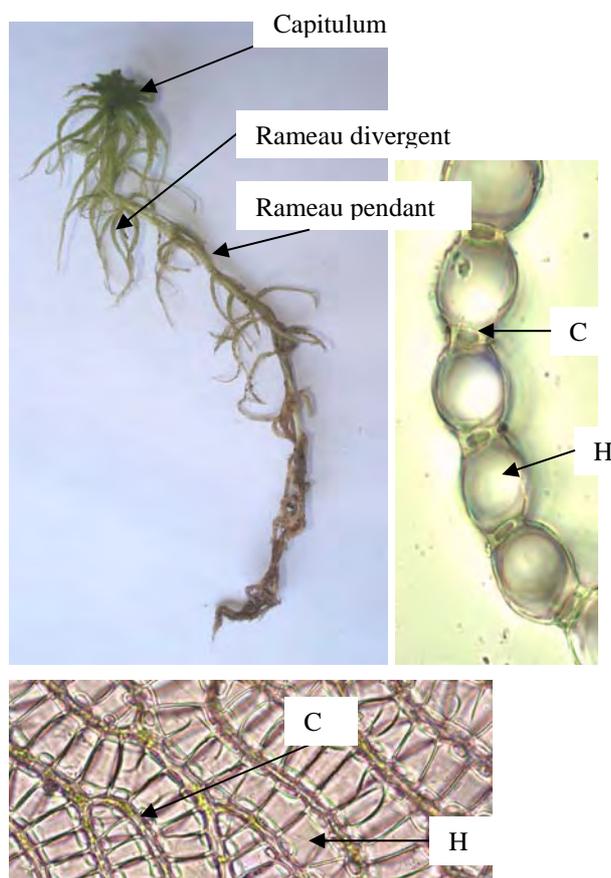


Figure 2 : Organisation d'une sphaigne.  
C : chlorocystes ; H : hyalocystes.

Les tissus de ces différentes feuilles sont composés de deux types cellulaires différents et disposés en alternance : les chlorocystes, ou cellules chlorophylliennes, et les hyalocystes,

ou cellules hyalines, qui sont des cellules mortes et remplies d'eau.

Selon les différentes espèces, il est possible de trouver des fibrilles, ainsi que des pores en nombre, position et dimension variables, au niveau des hyalocystes et des cellules corticales de la tige (Gauthier, 1999).

## 3- Identification des échantillons

Les sphaignes ramenées au laboratoire ont d'abord été placées au réfrigérateur pour une meilleure conservation. Elles peuvent être conservées ainsi pendant plusieurs jours, mais il est aussi possible de les laisser sécher dans des enveloppes en papier, triées par apparence et donc vraisemblablement par espèce. Il est alors très aisé de les réhydrater avec un peu d'eau, et leurs cellules se regonflent immédiatement.

Chaque élément de la sphaigne est d'abord observé à la loupe binoculaire : il est alors possible de compter le nombre de fascicules par rameau, d'observer la forme du capitulum de détacher des feuilles raméales et des feuilles caulinaire. D'autres détails doivent être observés directement sous un microscope, comme les cellules des feuilles, de la tige et des rameaux. Il est parfois nécessaire d'effectuer des coupes transversales afin de visualiser la forme des chlorocystes sur les feuilles ou le nombre de couches de cellules sur les tiges.

Les espèces prélevées sur le terrain ont été identifiées à partir de clés de détermination et de divers documents illustrés qui ont servi à effectuer des comparaisons (Crum, 1984 ; Daniels & Eddy, 1985 ; Masson & Parrot, 1997 ; Muller, 2008).

## RESULTATS

### 1- Détermination des sphaignes récoltées

#### Section *Sphagnum*

Cette section se reconnaît à la présence de délicates fibrilles sur les cellules corticales des tiges raméales ainsi qu'à la grande taille des feuilles raméales qui sont visibles à l'œil nu.

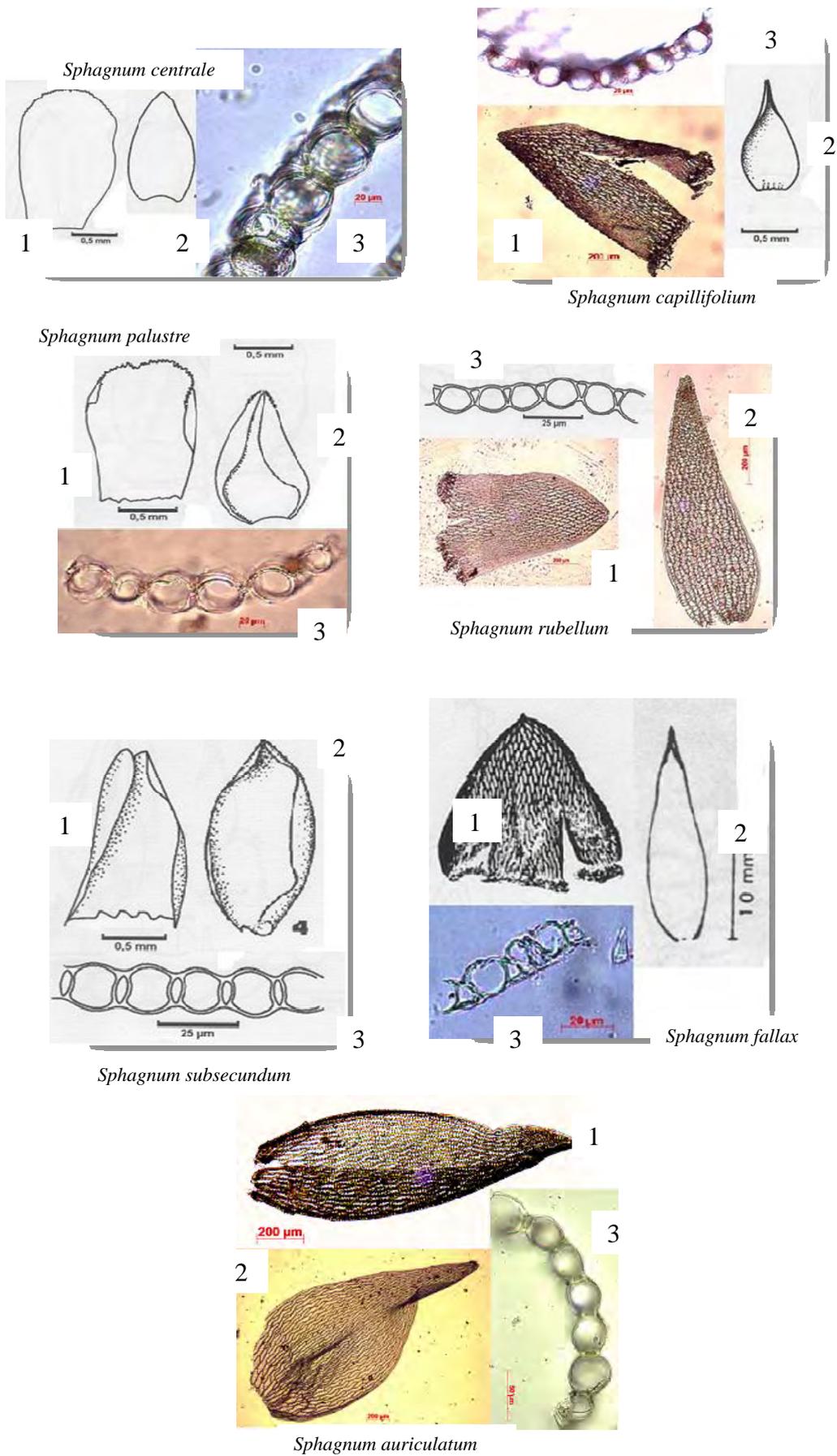


Figure 3 : Caractères diagnostiques des sphaignes du Caroux.  
 1 : feuille caulinaire, 2 : feuille raméale, 3 : coupe transversale de feuille raméale

Espèces	Stations	1	2	3	3	4	5	6	10	11
				Butte	Dépression					
<b>Section <i>Sphagnum</i></b>										
<i>Sphagnum palustre</i>		+	+	.	+	.	+	.	+	.
<i>Sphagnum centrale</i>		.	+	+	.	.	.	.	.	.
<b>Section <i>Cuspidata</i></b>										
<i>Sphagnum fallax</i>		+	.	.	.	.	.	.	.	.
<b>Section <i>Acutifolia</i></b>										
<i>Sphagnum capillifolium</i>		+	+	.	+	.	.	.	+	.
<i>Sphagnum rubellum</i>		.	.	+	.	.	.	.	.	.
<b>Section <i>Subsecunda</i></b>										
<i>Sphagnum auriculatum</i>		.	.	.	.	+	.	+	+	+
<i>Sphagnum subsecundum</i>		.	.	.	.	.	+	.	.	.
Nombre d'espèces		3	3	2	2	1	2	1	3	1

Table 1 : Inventaire des sphaignes du Caroux.

La description des stations est donnée dans le texte (Matériel et Méthodes, 1- Présentation du site)

#### - *Sphagnum palustre*

Cette espèce a été trouvée sur les stations 1, 2, 3, 5 et 10. Il s'agit d'une grosse sphaigne verte, aux feuilles raméales très larges visibles à l'œil nu. Les chlorocystes sont triangulaires et excentrés sur la face interne de la feuille.

#### - *Sphagnum centrale*

Cette espèce a été trouvée sur les stations 2 et 3. Il s'agit aussi d'une grosse sphaigne verte avec des feuilles raméales visibles à l'œil nu. Ses chlorocystes sont ovales et bien centrés.

#### Section *Cuspidata*

##### - *Sphagnum fallax*

Cette sphaigne n'est présente dans la tourbière qu'au niveau de la station 1. Il s'agit d'une espèce verte toute petite et assez chevelue avec les rameaux du capitulum très longs. Ses feuilles raméales sont lancéolées, avec des hyalocystes cloisonnés et des chlorocystes triangulaires, orientés vers la face externe. Ses feuilles caulinaires sont très courtes.

#### Section *Acutifolia*

Les sphaignes de cette section sont des sphaignes souvent rouges, de petite taille, avec les chlorocystes des feuilles raméales

triangulaires et la base du triangle sur la face concave des feuilles.

##### - *Sphagnum capillifolium*

*Sphagnum capillifolium* est touffue au niveau du capitulum et possède des rameaux plutôt longs. Les feuilles raméales sont lancéolées et les feuilles caulinaires sont courtes et oblongues

##### - *Sphagnum rubellum*

Cette sphaigne, très rouge, est fine comparée à *Sphagnum capillifolium* (cf. Annexe 2). Les feuilles raméales sont plutôt concaves et les feuilles caulinaires sont oblongues/lingulées arrondies à l'apex.

#### Section *Subsecunda*

Cette section est caractérisée par la forme des feuilles raméales qui sont subsecondes, c'est-à-dire qu'elles sont fortement concaves (Fig. 3) et à la présence de très nombreux pores alignés aux commissures des hyalocystes.

##### - *Sphagnum auriculatum*

Cette espèce a été relevée sur les stations 4, 6, 10 et 11. Elle se reconnaît à ses feuilles caulinaires de même taille ou plus grandes que les feuilles raméales et aux hyalocystes des feuilles caulinaires fibrillés.

### - *Sphagnum subsecundum*

Cette sphaigne n'a été prélevée que sur la butte à polytrics de la station 5. Elle se reconnaît à la taille de ses feuilles caulinaires qui est inférieure à la moitié de la taille des feuilles raméales.

## 2- Butte

La butte a été subdivisée en 4 zones (Fig. 4).

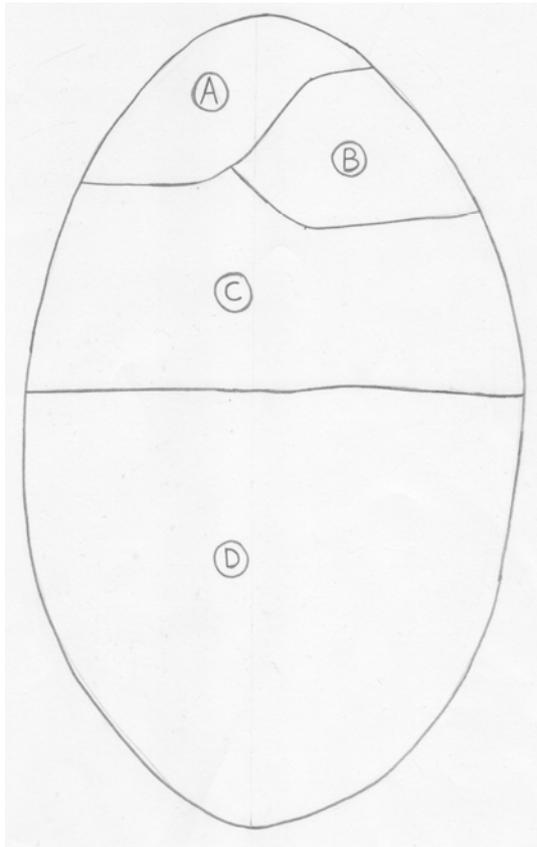


Figure 4 : Représentation schématique de la butte

**Partie A :** Deux types de sphaignes se trouvent sur la butte (des vertes et des rouges), ainsi qu'un autre Bryophyte : *Aulacomnium palustre*.

Les sphaignes rouges sont fines et peu chevelues : il s'agit de *Sphagnum rubellum* (section *Acutifolia*). La section des sphaignes vertes est identifiée grâce aux fibrilles présentes sur les cellules corticales de la tige (Fig. 3) : il s'agit de la section *Sphagnum*. La forme triangulaire des chlorocystes des feuilles raméales (Fig. 3) permet d'identifier *Sphagnum palustre*.

**Partie B :** Cette partie se compose de nombreuses petites racines, des radicelles ainsi que de sphaignes en décomposition. Encore une fois deux types de sphaignes sont présents : des *Sphagnum palustre* que l'on reconnaît à la forme de leurs chlorocystes et à leurs fibrilles, ainsi que des sphaignes de la section *Acutifolia*, dont les chlorocystes des feuilles raméales sont triangulaires avec la base sur la face interne de la feuille.

**Partie C :** Cette partie est formée d'un tapis de grosses sphaignes brunes très peu décomposées. Il s'agit de *Sphagnum palustre*. Des sphaignes de la section *Acutifolia* sont aussi présentes, mais en très petite quantité, camouflées sous les *Sphagnum palustre*.

**Partie D :** Cette partie est composée de petites et de grosses racines, de radicelles, et de sédiments. Dans ces sédiments, on retrouve des feuilles raméales de sphaignes. Deux types sont présents : des feuilles de *Sphagnum palustre* et des feuilles de la section *Acutifolia*.

## DISCUSSION

Quatre sections et sept espèces de sphaignes ont été identifiées sur le Caroux, ce qui représente une diversité importante compte tenu du nombre peu important d'espèces dans le monde et plus encore en France.

Chaque espèce de sphaignes a une écologie particulière et se développe dans des conditions bien définies. Certaines espèces se développent sur des buttes relativement sèches et d'autres dans des dépressions plus humides. *Sphagnum subsecundum* et *S. rubellum* n'ont été trouvées que sur une butte. Il est possible de penser que ces sphaignes ont besoin d'un environnement relativement sec pour se développer. Inversement, *Sphagnum capillifolium* et *S. fallax* n'ont été trouvées que dans des dépressions et des platières, ce qui signifie qu'elles préfèrent des zones plus humides. *Sphagnum auriculatum* a été prélevée dans des milieux très humides, voire inondés ou marécageux.

Seules deux sections ont été identifiées sur et dans la butte à sphaignes : la section

*Sphagnum*, avec *Sphagnum palustre*, et la section *Acutifolia*, avec *Sphagnum rubellum*. Pour les parties fossiles (B, C et D), les sphaignes de la section *Acutifolia* appartiennent probablement à l'espèce *Sphagnum rubellum*, qui est la seule espèce de cette section retrouvée au sommet de la butte. De plus les feuilles raméales de *Sphagnum rubellum* avec leurs formes oblongues-lingulées et arrondies à l'apex correspondent parfaitement aux feuilles retrouvées dans la tourbe. Ces sphaignes ne peuvent être identifiées comme *Sphagnum capillifolium*, l'autre sphaigne de la section *Acutifolia* retrouvée dans la tourbière, car elles ne sont pas assez pointues au niveau de l'apex.

D'après la théorie de la régénération cyclique, une tourbière croîtrait alternativement sous forme de dépressions et de buttes : les deux types de formations alterneraient, les buttes devenant dépressions et les dépressions devenant buttes. Pour confirmer cette théorie, nous aurions dû retrouver plus de deux types de sphaignes : la butte aurait dû être composée de sphaignes de milieu plutôt sec sur le sommet et de sphaignes de milieu humide à la base. Or ce n'est pas le cas. Il est donc possible de suggérer, au vu de ces résultats que la tourbière croît de manière continue sur toute sa surface et que la microtopographie demeure inchangée durant toute la durée de vie de la tourbière.

## CONCLUSION

Notre étude des sphaignes du Mont Caroux a mis en évidence la présence d'une grande variété d'espèces. Quatre sections sur les sept existantes en France sont visibles dans les tourbières de Font-Salesse et de la Lande. Au total, 7 espèces ont été trouvées, ce qui représente 20 % de la diversité des sphaignes de France.

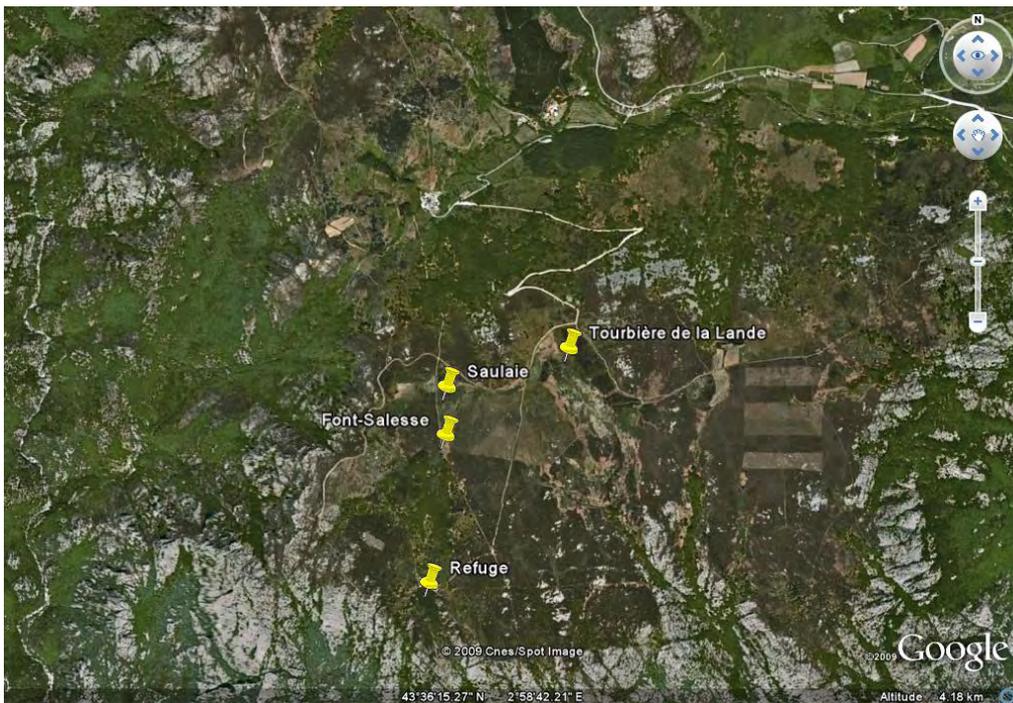
Nos observations confirment que chaque espèce possède une écologie qui lui est propre, et que par conséquent, on ne les trouve que sur des formations compatibles avec leurs milieux de vie. Ainsi, ce travail a permis de déterminer les conditions favorables à ces sept espèces.

La théorie de la régénération cyclique peut également être réfutée d'après les résultats obtenus par l'identification des sphaignes de la butte.

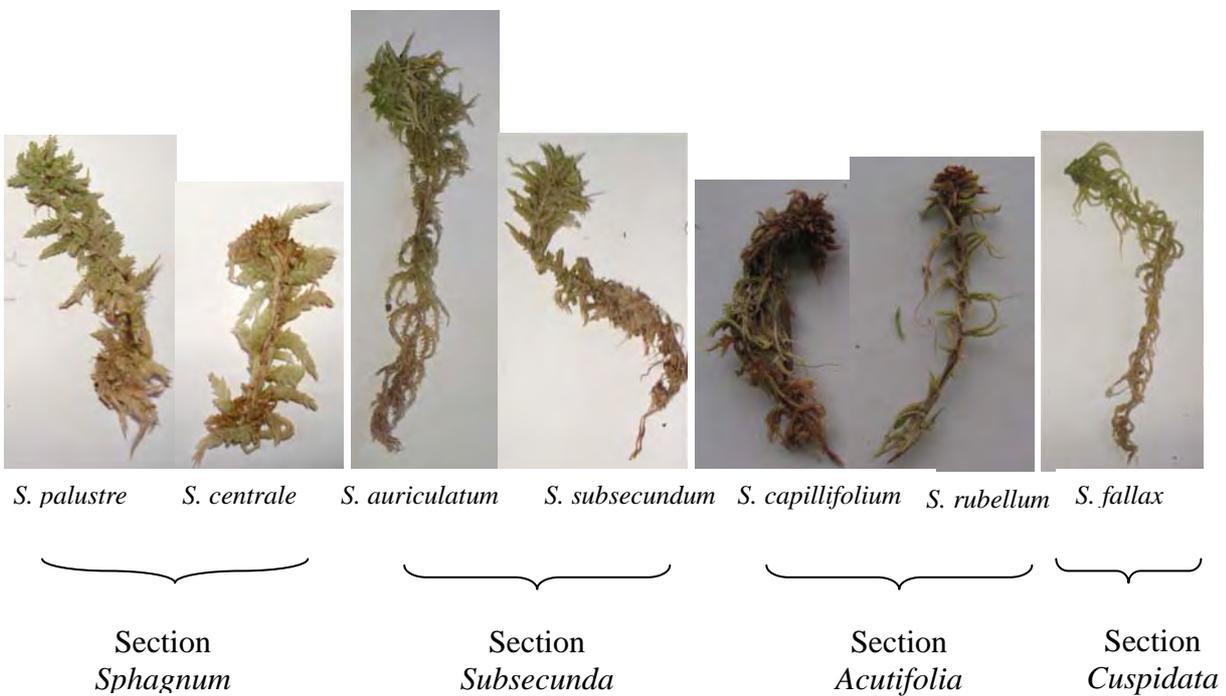
## REFERENCES

- Crum H. (1984). *North American Flora, Sphagnopsida, Sphagnaceae*. New York Botanical Garden, New York.
- Daniels R.E. & Eddy A. (1985). *Handbook of European Sphagna*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Huntingdon.
- Gauthier R. (1999). *Ecologie des tourbières boréales*. Université Laval, Québec, 141 p.
- Houghton J.T., Jenkins G.E.J. & Ephraums J.J. (eds.) (1990). *Climate change : The IPCC Scientific Assesment*. Cambridge University Press, New York, 366 p.
- Masson P. & Parrot L. (1997). *Les sphaignes forestières du Québec méridional : descriptions, clés analytiques et répartitions*. Québec, 66 p.
- Muller S.D. (2001). *Conditions de l'accumulation du carbone dans une tourbière du Québec méridional : l'influence des facteurs autogènes et des contrôles allogènes*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III et Université de Montréal, Québec, 187 p.
- Muller S.D. (2008). *Les sphaignes de France, liste et détermination*. Document non publié, Université Montpellier-2, Montpellier.
- Von Post L. & Sernander R. (1910). *Pflanzenphysiognomische Studien auf Torfmooren in Närke*. Excursion Guide no 14 (A7). XI International Geological Congress, Stockholm, p. 4.

## ANNEXES



Annexe 1 : Vue satellite du site du Caroux, Hérault



Annexe 2 : Les différentes espèces de sphaignes présentes sur le Caroux

# STRUCTURE D'AGE ET DYNAMIQUE D'UNE POPULATION DE PINS SYLVESTRES (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Antoine Juigner <sup>1</sup>, Jimmy Martinet <sup>2</sup>, Anne-Christine Monnet <sup>3</sup>, Maud Tournery <sup>4</sup>

*Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie*

*Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

<sup>1</sup> antoine.juigner@etud.univ-montp2.fr, <sup>2</sup> jimmy.martinet@etud.univ-montp2.fr,

<sup>3</sup> anne-christine.monnet@etud.univ-montp2.fr, <sup>4</sup> petite-maudette@hotmail.fr

Encadrement : Benoît Brossier et Jean-Frédéric Terral

**Résumé :** La structure et la dynamique d'une population de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) a été étudiée grâce à la dendrochronologie. Un lien a été établi entre le climat local et la croissance des pins : une corrélation positive relie la croissance aux précipitations. Le pin utilise et fait ses réserves d'eau pour sa croissance entre les mois de mars et septembre. On observe un décalage d'un an entre la baisse de précipitations et la baisse de croissance. La population étudiée de pins s'ancre dans un phénomène de succession écologique : ils sont chassés par les hêtres plus compétitifs vers la lande à genêts.

**Mots-clés :** dendrochronologie, dynamique de population, structure populationnelle, climat, succession

**Abstract :** The dynamic and the structure of a population of Scots pines (*Pinus sylvestris*) located on the Mont Caroux (Massif central) has been studied by dendrochronology. Our results show a positive link between precipitations and pine growth. Pines absorb and use water for their growth between March and September. Usually when a year is particularly dry, the impact on growth is observed one year after the drought. The studied pine population is also dragged from the forest to the land by *Fagus sylvatica*. This phenomenon is called ecological succession.

**Keywords :** dendrochronology, population dynamic, population structure, climate, succession

Dès le XV<sup>e</sup> siècle, Léonard de Vinci avait établi une première corrélation entre la variation de l'épaisseur des cernes de croissance des arbres et les conditions climatiques. Mais ce n'est qu'au XX<sup>e</sup> siècle que A.E. Douglass fonde le *Laboratory of Tree-Ring Research*. Il définit la dendrochronologie comme l'étude des cernes de croissance d'un l'arbre.

Au cours de l'année, le métabolisme de l'arbre change et différents types de bois se forment. Le printemps signe la reprise de l'activité méristématique de l'arbre : la

maturation des cellules du xylème reprend (Camarero et al., 1998). La formation de gros vaisseaux de trachéïdes permet alors la montée de grandes quantités de sève pour la poussée des jeunes feuilles et l'établissement du feuillage de l'année. On parle alors de « bois initial ». Lorsque le métabolisme se stabilise, il y a formation de vaisseaux plus petits et renforcés par du tissu de soutien (de Martin, 1974). C'est le « bois final », un bois sombre aux trachéïdes minces qui marque la fin de l'année. Lorsque le froid s'installe, le métabolisme de l'arbre ralentit puis s'interrompt : il n'y a plus formation de bois.

Cette succession au cours de l'année définit un cerne annuel. Les cernes vont ainsi permettre de définir l'âge de l'arbre et de déterminer l'origine du bois, de mettre en évidence des phases de construction d'un site archéologique par exemple, de reconstituer des paléoenvironnements ou encore d'étudier des modes d'exploitation et de gestion des forêts actuelles et passées.

Les cernes vont aussi être des témoins du climat local puisqu'ils dépendent directement des facteurs extérieurs (température, pluviométrie, période de sécheresse, nombre de jours successifs sans gel...). C'est la dendroclimatologie qui établit les rapports entre la croissance de l'arbre et le climat (de Martin, 1974). Parfois, la succession des cernes d'un arbre peut être difficile à interpréter. C'est le cas de ceux de notre modèle d'étude, le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), qui compte un grand nombre de « faux cernes » ou « cernes doubles ». On peut supposer qu'ils témoignent de la propension de cette espèce à répondre rapidement à des conditions météorologiques particulières que nous nous efforcerons de définir ici. Les pins sylvestres semblent être particulièrement sensibles aux températures basses de janvier et aux baisses importantes des précipitations (Richardson, 1998). Ce sont les pins les plus répandus en Europe. Ils sont répartis depuis l'Ecosse et la Sibérie jusque dans le nord du bassin méditerranéen. Les populations méditerranéennes sont sans doute des reliques de celles du Pléistocène et peuplent les étages montagnards et subalpins du nord du Portugal au nord de la Grèce. D'une manière générale, le pin sylvestre est considéré comme le plus plastique et le meilleur colonisateur des pins européens. On va donc particulièrement le trouver dans des milieux perturbés et/ou pauvres comme les marnes, les dolomies et les sols calcaires.

La composition spécifique varie en fonction des conditions biotiques et abiotiques. Ces changements dans le temps correspondent à la succession écologique, qui est définie comme une suite de stades depuis l'abandon de la parcelle jusqu'à l'instauration du climax (association stable d'espèces en équilibre avec

le climat). Généralement, les herbacées annuelles sont les premières à recoloniser les champs ou les pâturages abandonnés, suivies par les plantes vivaces au bout de 2 ans environ. Les arbustes (parmi lesquels les genêts) s'implantent au bout d'une quinzaine d'années. Après 20-25 ans, la parcelle est devenue une forêt de pins, et au bout de 150-200 ans, on obtient une forêt de feuillus. L'âge des pins étudiés permet donc de déterminer la succession écologique d'une formation forestière (Delhon et al., 2003).

Le site d'étude sur le mont du Caroux en Lozère illustre bien ce phénomène de recolonisation. Pour accéder aux parcelles, nous avons traversé une lande à genêts, une tourbière et une hêtraie. Le fait de cartographier la présence d'autres espèces que nos pins sur les parcelles étudiées permet d'évaluer la compétition interspécifique à laquelle ils sont soumis, notamment par rapport aux hêtres (*Fagus sylvatica*) et aux genêts (Richardson, 1998). L'étude de carottes réalisées dans les troncs permet d'identifier les stress abiotiques majeurs que les arbres ont subis au cours de leur croissance. Le but de l'étude est de caractériser l'histoire de la population de pins sur les quarante-cinq dernières années.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Site d'étude

Le site d'étude se trouve dans le Parc naturel régional du Haut-Languedoc. Situé sur la pointe sud du Massif Central, ce parc est une zone de moyenne montagne qui bénéficie d'une double influence méditerranéenne et atlantique. Les parcelles d'étude sont localisées sur le Mont du Caroux, un plateau culminant à 1091 m, qui forme une crête montagneuse avec les monts du Somail (1035 m) et de l'Espinouse (1148 m). Le massif est composé de grès et de granites (socle hercynien), associés à du calcaire.

La population de pins sylvestres est située en amont de la limite d'une hêtraie ; le terrain possède en effet une légère déclivité. En amont de la hêtraie, commence la pinède. A l'extrémité nord-ouest en haut du site, le

milieu s'ouvre sur une lande à genêts. La population de pins s'étend sur une bande de 60 mètres de large environ. Deux parcelles de 20 m de côté, soit 400 m<sup>2</sup> chacune, ont été définies afin d'aborder la succession écologique du milieu. La parcelle A a été délimitée dans la pinède-hêtraie. La parcelle B est située à 15 mètres environ au nord-ouest de la parcelle A ; elle comprend des pins et une lande à genêts.

## 2- Méthodologie

### *Dendrochronologie*

La première étape consiste à prélever dans le bois de chaque pin des échantillons appelés « carottes » à l'aide d'une tarière. Cet outil, vissé dans le tronc de l'arbre, permet de prélever une carotte de bois d'environ 10 mm de diamètre. Le but de cette manipulation est de récupérer un rayon complet, le plus vieux possible, du tronc de l'arbre. Pour cela, il faut effectuer le carottage le plus près possible du collet et obtenir la moelle dans l'échantillon, afin de déterminer l'âge exact de l'arbre. La méthode nécessite parfois de rectifier l'angle de carottage en fonction de la carotte précédente.

Les carottes prélevées sont soigneusement rangées dans du carton ondulé, avant d'être préparées au laboratoire. Elles sont collées sur le carton ondulé, puis sur une baguette de bois. Il est primordial de respecter le sens du bois lors du collage. En effet, les trachéides doivent être perpendiculaires au plan de collage sur la baguette. Il faut ensuite les poncer jusqu'à obtenir une section en demi-disque pour faire apparaître les cernes et les vaisseaux de façon nette en coupe transversales. L'âge des individus est ensuite mesuré. Pour cela, il faut repérer à la loupe binoculaire les vrais cernes (la croissance réelle de l'arbre en un an), puis les marquer au crayon. Il faut ensuite, en remontant depuis l'écorce jusqu'à la moelle, compter les années, la première étant celle du prélèvement (ici 2008). Les cernes des années multiples de cent sont marqués par trois points, ceux des années multiples de cinquante par deux points. Enfin, un point signale les années multiples de dix. Ces opérations permettent de déterminer l'année de naissance de l'individu

concerné et donc son âge. Chaque pointage a été fait par deux membres du groupe : en cas de résultats divergents, une troisième vérification a été faite.

Pour aller plus loin dans nos analyses, nous avons mesuré l'épaisseur de tous les cernes afin de comparer les vitesses et les quantités de croissance de chaque arbre pour chaque année. Si l'âge et l'emplacement de chaque pin suffisent pour déterminer la succession écologique du milieu, seul ce type de mesure peut nous mener à des études dendroclimatiques. Nous avons utilisé le logiciel « TSAPWIN Trial 4.63 » afin d'obtenir une courbe de croissance pour chaque individu.

Après la mesure mécanique (quantité de déplacement du banc de mesure) des vrais cernes d'une carotte, ce logiciel établit un graphe des variations de la taille des cernes en fonction des années pour chaque pin. Ainsi, un pic vers le haut sur une année précise signifie une croissance plus importante cette année-là. A l'inverse, un pic vers le bas révèle une difficulté du pin à croître normalement. La mise en relation de l'ensemble des courbes grâce au logiciel met en évidence des années « remarquables » (propices ou difficiles pour la croissance de l'arbre). Les carottes dont les courbes ne correspondaient pas ont été remesurées.

### *Données météorologiques*

Par ailleurs, nous disposons de données météorologiques provenant de six stations. Ces stations fournissent trois types d'informations: les précipitations (RR : cumul des hauteurs en mm), les températures maximum (TX en °C) et les températures minimum (TN en °C). Elles sont données sous forme d'une moyenne pour chacun des 12 mois de l'année. Sur ces six stations, nous n'en utiliserons que deux. En effet, de nombreuses données sont incomplètes et certaines stations sont trop loin de la zone d'étude. Nous avons choisi les stations de Cambon (878 m) et de Colombières sur Orb (232 m), respectivement situées à 22 et 17 km de Douch (distance sur route). La première donne les précipitations de 1963 à 2006 et les températures de 1963 à 1976 ; la seconde

donne les températures de 1977 à 2003. Nous avons traité ces informations de deux manières : en faisant une moyenne par année sur tous les mois et en faisant une moyenne par année, uniquement entre mars et septembre compris.

## RESULTATS

### 1- Croissance et conditions abiotiques

Dans un premier temps, nous avons cherché à confronter les données météorologiques disponibles avec nos résultats de dendrochronologie. L'évolution de l'épaisseur des cernes au cours des années (Fig. 1) met en évidence des années remarquables, où la croissance des pins a diminué : 1970, 1976, 1979, 1986, 1989, 1993, 1998, 2003 et 2006. Les valeurs extrêmes des deux courbes de la Figure 1 sont comparées dans la Table 1.

Précipitations moyennes	Maximum (mm)	Minimum (mm)
sur 12 mois	260,9	65,5
de mars à septembre	171,0	48,9

Table 1 : Comparaison des extrêmes des deux courbes de la Figure 1.

Aucune analogie n'a été observée entre la courbe des températures moyennes annuelles et celle correspondant à la croissance des pins. Nous avons donc fait une moyenne de l'évolution de la température par mois de 1965 à 2003. Pour chaque mois, un écart à la moyenne a été calculé, puis nous avons fait le cumul de ces écarts pour chaque année. La courbe ainsi obtenue n'avait pas plus de concordance.

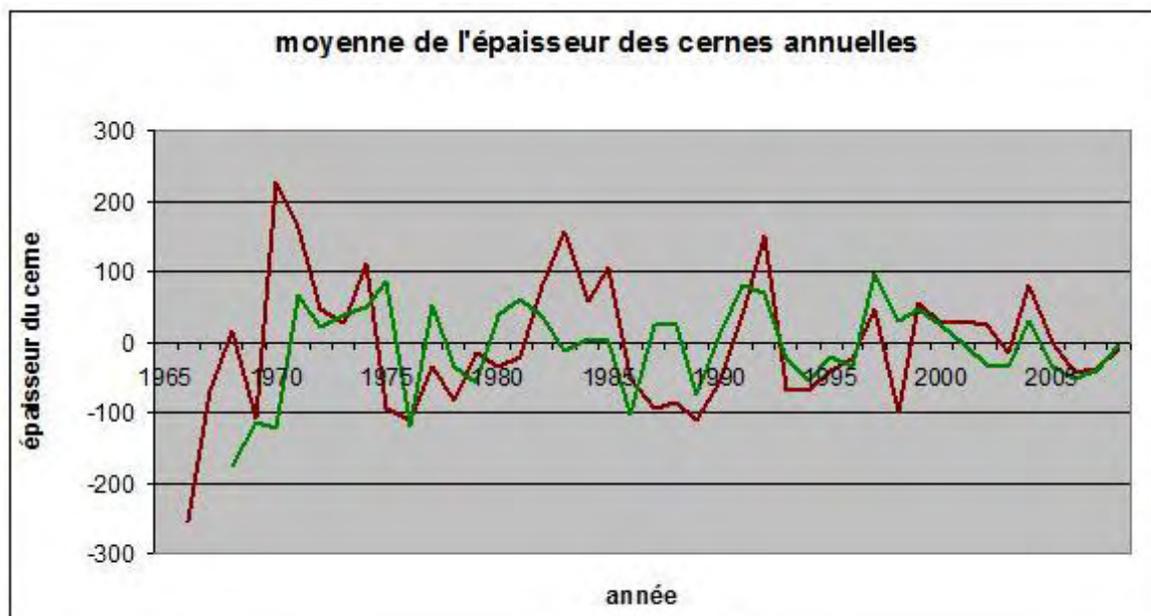


Figure 1 : Moyenne de l'épaisseur des cernes de croissance des pins par année. La parcelle B correspond à la courbe rouge, et la parcelle A à la courbe verte.

En ce qui concerne les précipitations (Fig. 2), les courbes montrent de fortes similitudes entre elles et avec celle de la croissance des pins. Les années où la croissance des pins était faible, la quantité d'eau tombée l'était aussi. On observe en général un décalage d'un an entre la courbe des précipitations et celle de la croissance des pins. On note que la

courbe des moyennes sur 12 mois est légèrement plus haute que celle effectuée entre mars et septembre, ce que confirment les courbes de tendance. Ces dernières montrent en outre que les précipitations diminuent au cours du temps. Celle qui correspond à la moyenne entre mars et septembre subit la diminution la plus

importante. La courbe des précipitations sur l'année entière (Fig. 2) fait ressortir plusieurs années durant lesquelles les précipitations sont faibles : 1968, 1971, 1973, 1986, 1991, 1996, 1998-99 et 2003-04. On observe que les deux courbes sont divergentes entre 1975 et

1983 et entre 2002 et 2006. Mais la lecture de la courbe de mars à octobre donne des années remarquables différentes. On obtient alors : 1966-67, 1970, 1973, 1975-76, 1979, 1981-82, 1985-86, 1989-90, 1994-95, 1997-98, 2000-01, 2003 et 2005-06.

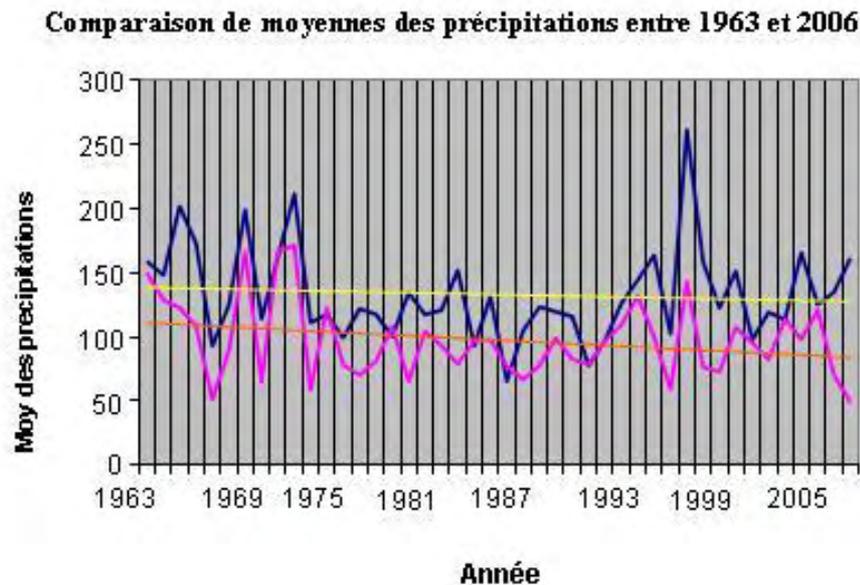


Figure 2 : Moyenne des précipitations entre 1963 et 2006 de tous les mois de l'année (bleu), des mois de mars à septembre (rose), et courbes de tendance associées (respectivement jaune et orange).

## 2- Structuration de la population

Dans un second temps, l'objectif était de faire le lien entre la cartographie du site et l'âge des pins. Dans la parcelle A (Fig. 3a), située juste au-dessus de la hêtraie, les pins sylvestres ont une moyenne d'âge de 35,2 ans (écart-type : 5,3 ans).

Les 13 pins ont donc entre 23 et 41 ans. Notons que l'un des pins a été carotté deux fois ; une des carottes donnant 37 ans, l'autre 41. Cette parcelle ne contient qu'un hêtre. En revanche, environ un sixième des 400 m<sup>2</sup> qui la composent est recouvert de *Calluna vulgaris* (Ericaceae, bruyère).

Dans la parcelle B (Fig. 3b), sur les 20 pins de moins de 7 ans, 17 sont situés dans les genêts

ou dans la bruyère entourée de genêts. Les trois autres sont à proximité. Ces jeunes pins ont en moyenne 4,6 ans (écart-type : 1,35 an). Comme ils sont très jeunes, le tronc est trop petit pour permettre un carottage. Par conséquent, leur âge a été déterminé en comptant les unités annuelles de croissance. 12 pins sur les 16 restants ont entre 12 et 19 ans, et 4 ont entre 30 et 43 ans. Notons qu'un pin a été carotté deux fois ; une des carottes a donné 7 ans et l'autre 13. En moyenne, les pins de la parcelle B ont donc 11 ans (écart-type : 10 ans). Sur cette parcelle, aucun pin n'est à moins de 15 m du seul hêtre présent. Une mince bande dans la partie sud-est de la parcelle est recouverte de bruyère.

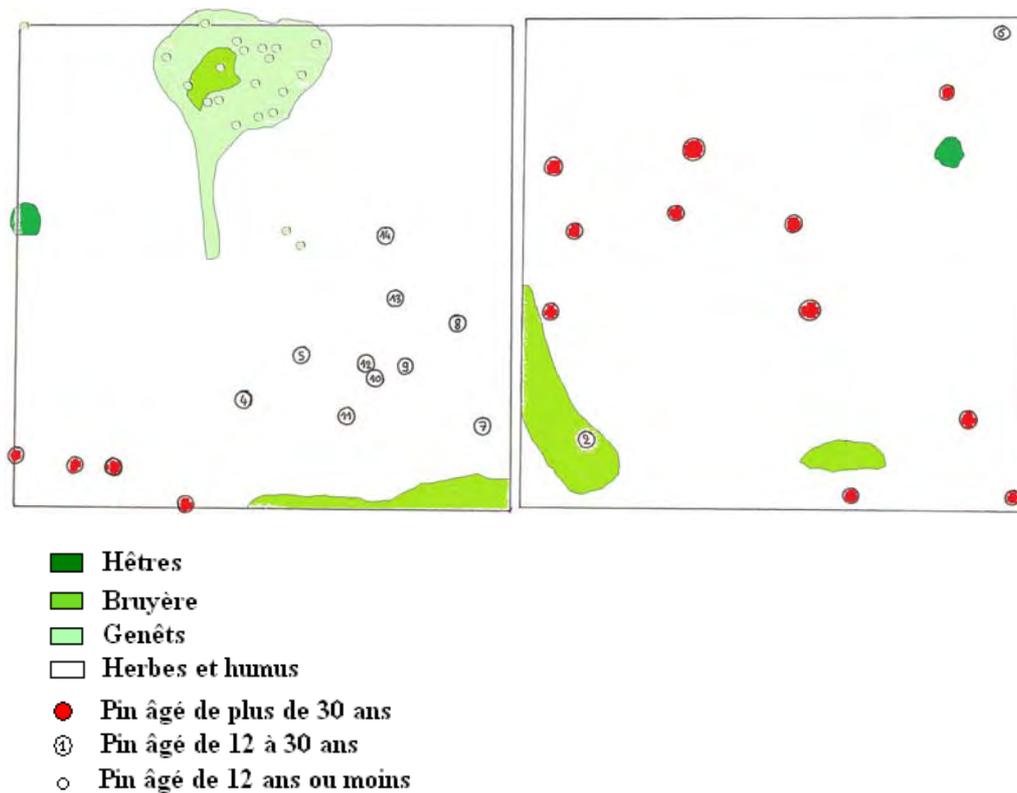


Figure 3 : Cartographie des pins sur les parcelles A (Fig. 3a : à gauche) et B (Fig. 3b : à droite)

## DISCUSSION

Sur les neuf années remarquables en matière de faibles précipitations (Fig. 1), quatre seulement concordent avec celles observées sur les carottes (Fig. 2), à deux ans près généralement. Comment expliquer ce décalage entre les courbes de précipitation et des épaisseurs de cernes ? Sur le mont du Caroux, les pins sylvestres sont peu actifs d'octobre à février car la température est trop froide. L'arbre fait des réserves de carbone via les stomates, de mars à septembre environ. Par conséquent, une année de sécheresse se répercutera directement sur la croissance du pin pour cette année-là, mais aussi pour la reprise de la croissance au printemps suivant. Les stomates vont être fermés afin de diminuer la transpiration du pin et l'assimilation de carbone va être réduite (Irvine et al., 1998). Si c'est durant cette période d'activité que le climat joue sur le développement du pin, il est donc plus intéressant de prendre en compte uniquement les données de mars à septembre. Dans ce cas (Fig. 2), toutes les années remarquables sont

représentées (à une exception près). Nous pouvons en déduire que les données collectées durant la période d'activité du pin sylvestre sont suffisantes voire plus fiables pour une analyse climatique.

En ce qui concerne les courbes de tendances (Fig. 2, lignes jaune et rouge), nous avons noté que la courbe de tendance des précipitations pour la période de mars à septembre décroît plus vite. Rappelons ici que, contrairement aux roches calcaires, les substratums siliceux souvent imperméables retiennent l'eau en surface, ce qui constitue une réserve d'eau pour les arbres (Richardson, 1998). Tant que suffisamment d'eau est disponible, le pin devrait pouvoir allouer assez de son carbone à la synthèse de bois initial et final, même si les températures sont particulièrement hautes (Sabate et al., 2002). Si les précipitations sont de plus en plus faibles durant la période de mars à septembre sur le Mont Caroux, on s'attend alors à voir la croissance des pins diminuer. On peut en déduire que si les précipitations continuent à diminuer durant cette période importante pour la vie du pin, celui-ci va voir sa compétitivité

diminuer. A plus long terme, il risquerait même de s'éteindre dans cette zone.

En ce qui concerne les températures, on ne peut pas, d'après nos résultats, émettre une hypothèse sur leur rôle dans la croissance du pin. Nous savons par ailleurs qu'elles sont importantes, car elles déterminent la mise en place du bois d'hiver (de Martin, 1974). Des différences d'altitude entre la station et le site d'étude peuvent entrer en jeu, mais il est plus probable que cela vienne du traitement effectué sur les données (Moisselin et al., 2002). Des données obtenues dans les Alpes suggèrent toutefois que les températures sur le Mont Caroux ne subissent pas de variations assez fortes entre mars et septembre pour avoir un impact sur la croissance des pins (Tessier et al., 1997).

La cartographie des parcelles montre que les pins les plus âgés sont ceux proches de la hêtraie (parcelle A ; Fig. 3a). On n'a d'ailleurs aucun pin de moins de 23 ans sur cette zone. Les deux seuls pins qui ont moins de 30 ans sont situés soit dans la bruyère proche de la hêtraie, soit juste en dessous de la bruyère de la parcelle B. Or, la population de pins n'est pas sur le déclin puisqu'on observe de jeunes pins sur le site. On note qu'ils sont d'ailleurs exclusivement dans la zone proche de la lande (parcelle B), soit dans les genêts, soit à proximité de ceux-ci.

Le reboisement est naturel et comprend surtout des châtaigniers quand on monte en altitude, puis des hêtres près de la tourbière, et enfin des pins. Le boisement de pins sylvestres étudié n'a pas été implanté par l'homme, contrairement aux autres conifères. Toutefois, on observe généralement une réduction puis une disparition des pinèdes au profit des hêtraies en passant par un stade de hêtraie-pinède. (Richardson, 1998 ; Zerbe & Wirth, 2006). Le hêtre est donc plus compétitif que le pin et tend à le supplanter. En revanche, il ne peut pas s'implanter directement sur les landes à callune et à genêts. Par conséquent, on peut penser, au vu de la répartition des très jeunes pins, que la population de pins va peu à peu se décaler vers les landes et subsister avec la callune à proximité des hêtres (Doche & Dobremez,

1986).

## CONCLUSION

Sur le Mont Caroux, une population de pins (*Pinus sylvestris*) a été choisie comme modèle biologique pour une étude de structure et de dynamique de population. L'analyse dendrochronologique a permis de déterminer l'âge des pins et leur croissance au fil des années. Leur âge a été confronté à la cartographie du site afin de comprendre la structuration de la population. Il est apparu tout d'abord que la population de pins était d'origine naturelle et qu'elle correspondait à un stade de succession écologique. Les résultats obtenus suggèrent un décalage progressif de la population de pins vers la lande à genêts, sous la pression des hêtres, plus compétitifs.

L'objectif du travail était également de confronter la croissance des pins aux données météorologiques disponibles. Il fallait préalablement comprendre comment les pins réagissent au climat. Nous avons tout d'abord mis en évidence une période importante, située entre mars et septembre, où les pins sont particulièrement sensibles aux variations de précipitation. Des précipitations faibles durant cette période engendrent souvent un ralentissement de la croissance du pin l'année suivante. Nous n'avons pas pu mettre en évidence de corrélation entre la croissance des pins et la température. Un travail bibliographique plus approfondi et un traitement des données sur les températures pourraient permettre d'établir ce lien. Cela nécessite de prendre en compte des données météorologiques plus précises, telles que le nombre de jours consécutifs sans gel par exemple.

## REFERENCES

- Camarero J.J., Guerrero-Campo J. & Gutierrez E. (1998). Tree-ring growth and structure of *Pinus uncinata* and *Pinus sylvestris* in the central Spanish Pyrenees. *Arctic and Alpine Research*, 30 : 1-10.
- Canellas C., Mestre O., Moisselin J.M. & Schneider M. (2002). Les changements

- climatiques en France au XX<sup>e</sup> siècle : Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38 : 42-58.
- Delhon C., Moutarde F., Tengberg M. & Thiébaud S. (2003). Perceptions et représentations de l'espace à travers les analyses archéobotaniques. *Études rurales*, 167 : 285-294.
- de Martin P. (1974). *Analyse des cernes, Dendrochronologie et dendroclimatologie*. Masson et cie, Paris, 71 p.
- Doche B. & Dobremez J.-F. (1986). *Déterminisme et expression cartographique des successions végétales : exemple de l'Aubrac montagnard (Massif Central, France)*. Travaux Universitaires, Thèse d'Etat.
- Irvine J., Perks M.P., Magnani F. & Grace J. (1998). The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiology*, 18 : 393-402.
- Richardson D.M. (1998). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sabate S., Garcia C.A. & Sanchez A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*, 5906 : 1-15.
- Stoll P., Weiner J. & Schmid B. (1984). Growth variation in a naturally established population of *Pinus sylvestris*. *Ecology* 75 : 660-670.
- Tessier L., Guibal F. & Schweingruber F.H. (1997). Research strategies in dendroecology and dendroclimatology in mountain environments. *Climatic Change*, 36 : 499-517.
- Zerbe S. & Wirth P. (2006). Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Annals of Forest Science*, 63 : 189-203.

# RELATION ENTRE PLUIE POLLINIQUE ET VÉGÉTATION ACTUELLE SUR LE MASSIF DU CAROUX

Laura Benestan <sup>1</sup>, Vivien Louppe <sup>2</sup>, Stephanie Pointet <sup>3</sup>, Camille Stouff <sup>4</sup>

*Institut des Sciences de l'Évolution, Équipe Paléoenvironnements et Paléoclimats  
Université Montpellier-2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5*

<sup>1</sup>laura.benestan@etud.univ-montp2.fr, <sup>2</sup>vivien.louppe@etud.univ-montp2.fr,  
<sup>3</sup>stephanie.pointet@etud.univ-montp2.fr, <sup>4</sup>camille.stouff@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Lara Hajar

**Résumé :** Cette étude palynologique repose sur l'analyse des grains de pollen extraits de tapis de Bryophytes et de sphaignes collectés sur le massif du Caroux. L'objectif est d'étudier le lien entre la pluie pollinique et la végétation actuelle sur différentes zones humides. Cette étude peut être utilisée pour compléter de précédentes recherches sur la végétation passée, réalisées sur le Caroux. Les résultats obtenus montrent l'importance de prendre en compte les biais inhérents à la méthode palynologique qui peuvent affecter les interprétations.

**Mots-clés :** tourbière, lande, pollen de surface, analyse pollinique, relation pollen-végétation

**Abstract :** This pollen study is based on the analysis of pollen grains extracted from Bryophytes and *sphagnum* carpets collected on the Caroux massif. The aim is to establish the relationship between the pollen rain and the current vegetation on several wetlands. This study could be used to improve previous studies on past vegetation changes performed on the Caroux. The obtained results highlight the importance of taking into account biases of the palynological method which could affect the interpretations.

**Keywords :** peat fen, moor, modern pollen, pollen analysis, pollen-vegetation relationship

**L**a reconstitution des paléoenvironnements permet d'améliorer notre compréhension des environnements passés et d'en anticiper les évolutions futures, afin d'envisager, à terme, d'éventuels plans de gestion dans un contexte de changement climatique global. La paléoécologie met en jeu de nombreuses disciplines complémentaires, dont la synergie permet d'aboutir aux représentations les plus fidèles de ce qu'ont été les environnements du passé. La palynologie est l'une de celles-ci. Développée au début du XX<sup>e</sup> siècle, elle repose sur l'étude des microfossiles à paroi organique (palynomorphes), et plus particulièrement des structures reproductrices végétales comme les

grains de pollens et les spores, conservés dans des dépôts sédimentaires plus ou moins récents. Les analyses qualitatives et quantitatives de ces grains de pollens dans un lieu donné permettent de reconstituer les paysages et de caractériser les climats en s'appuyant sur des spectres et des diagrammes polliniques (Pons, 1958). La comparaison entre les spectres polliniques du passé et ceux du présent constitue la base de la reconstitution de l'histoire des formations végétales. Durant les dernières décennies, les progrès techniques et les résultats se sont affinés, et les travaux pluridisciplinaires comparatifs se sont multipliés (Diot, 2004). Selon le Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (CTHS), les chercheurs travail-

lent actuellement à partir de banques de données et de programmes internationaux sur des modèles climatiques numériques (Diot, 2004).

L'étude présentée ici s'intéresse à l'enregistrement pollinique de surface de deux tourbières, ainsi qu'à des milieux environnants dans le Massif du Caroux (Hérault, France). Nous verrons ainsi dans quelle mesure les assemblages polliniques reflètent la végétation actuelle, et ce que ceux-ci peuvent nous apprendre sur la dynamique de végétation et l'anthropisation du milieu. De précédentes recherches ont déjà été effectuées sur ce site (de Beaulieu, 1969) et ont montré un reboisement significatif de la région au cours du dernier siècle.

## MATERIEL ET METHODES

Le massif granitique du Caroux, situé à environ 40 kilomètres au nord de Béziers, constitue la partie méridionale du Massif Central la plus proche du littoral méditerranéen (Fig. 1). Inclus dans le périmètre du Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, ce massif culmine à 1100 mètres

d'altitude. Il abrite une flore très diversifiée, à la fois atlantique (hêtraies) et méditerranéenne (chênaie sclérophylle). Le Caroux doit cette position intermédiaire à ses particularités climatiques : un versant sud-est marqué par un climat typiquement méditerranéen, et un plateau sous influence montagnarde. La variété des paysages témoigne également de perturbations anthropiques et de successions végétales. En effet, l'intensité des activités humaines au XVIII<sup>e</sup> siècle, l'expansion des cultures, des pâturages, des landes et le recul des forêts ont façonné l'environnement (Renaux, 1998). Puis l'exode rural et la déprise agricole ont entraîné la reconstitution de formations arborées soit par recolonisation ou par replantation pour le maintien des sols. Ces changements ont eu pour principale conséquence la fermeture croissante des milieux. Aujourd'hui, la végétation est principalement constituée de landes à bruyère et à genêt, de hêtraie sous forme de futaie (espèces indicatrices de l'étage montagnard) et de forêts de conifères implantées dans les années 1950 par l'Office National des Forêts (ONF).

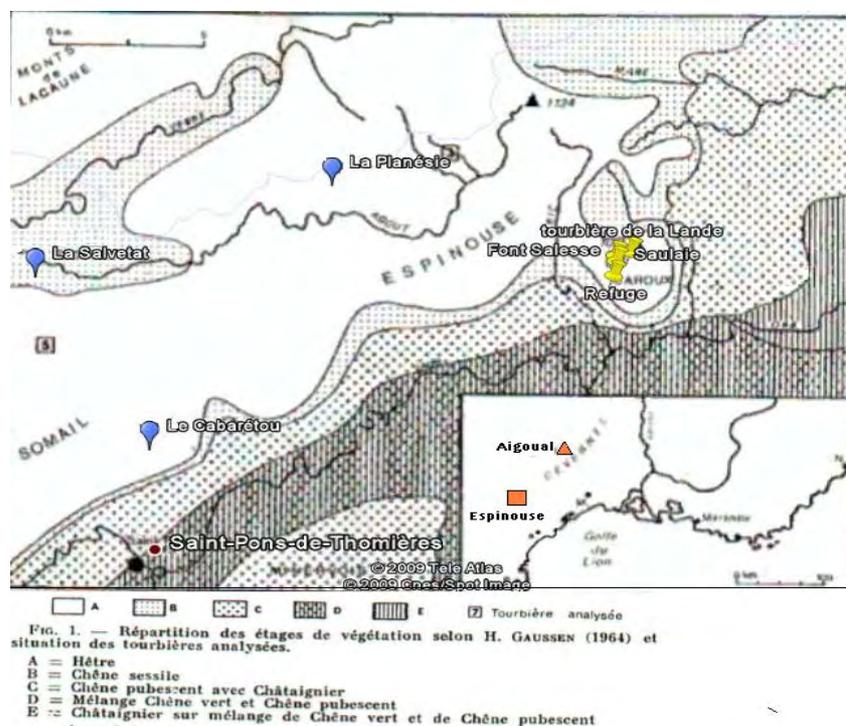


Figure 1 : Carte de la végétation de la zone d'étude (d'après de Beaulieu, 1969)

Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à deux tourbières minérotrophes ou fens : les tourbières de Font-Salesse et de la Lande (Fig. 1, Annexe 1), situées à environ 1000 m d'altitude. À la différence des tourbières ombrotrophes, les fens ne reçoivent pas seulement leur eau sous forme de pluie, mais également par le ruissellement de surface. L'apport en minéraux enrichit davantage le milieu et crée un lieu propice à une diversité végétale plus importante. Nous avons procédé à des prélèvements sur 13 sites, au sein de ces tourbières, mais également dans les landes et

les formations environnantes. Nous avons choisi des surfaces homogènes et représentatives de ces environnements particuliers. Nous avons prélevé 14 échantillons, d'environ 3 cm<sup>3</sup> de mousses, de sphaignes et de terre. Dans le même temps, des relevés floristiques ont été établis. Ils sont basés sur une description des formations végétales environnantes, dans un diamètre d'environ 10 mètres autour du point de prélèvement, et ont été couplés à des photos prises sur le terrain. L'ensemble de ces informations est présenté Table 1.

N° Echantillon	Type de végétation	Type de milieu et particularités	Localisation et Topographie
1 (zone 1-2)	<i>Salix cinerea</i> (saule gris) formant une saulaie <i>Carex pendula</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Molinia caerulea</i> (molinie bleue) 3 espèces de sphaignes <i>Polytricum</i> <i>Aulacomnium</i> (mousses)	Milieu fermé mais peu dense	Dans la tourbière (1091m)
2 (zone 6)	<i>Fagus sylvatica</i> (Hêtre) à 50m <i>Salix cinerea</i> <i>Pinus uncinata</i> (pin accroché) <i>Carex</i> <i>Potentilla erecta</i> <i>Drosera. sp</i> 3 espèces de Sphagnum	Milieu fermé Prélèvement sur la butte et un au milieu du ruisseau Petite butte à sphaignes	Au centre de la tourbière (1091m)
3	Introgession entre <i>Pinus sylvestris</i> (pin sylvestre) et <i>Pinus uncinata</i> <i>Salix</i> (moins que de pins) Sphagnum (rouges et noirs) <i>Drosera. sp</i>	Milieu fermé Hydrologie moyenne	Platière Dans la tourbière
10	<i>Molinia caerulea</i> formant une molinaie <i>Carex pendula</i> en touradons Hépathique à feuilles Peu de Sphagnum	Milieu ouvert Hydrologie forte	Tourbière minérotrophe (2e tourbière?)
11	<i>Pteridium aquilinum</i> formant une lande	Milieu ouvert	Sur le plateau 1050m
12	<i>Caluna vulgaris</i> et <i>Erica</i> formant une lande de bruyère	Milieu ouvert	Sur le plateau 1050m
13	<i>Juniperus communis</i> formant une lande de genêts	Milieu ouvert	Sur le plateau 1050m

Table 1 : Description des échantillons

Les prélèvements de mousses ont été privilégiés car ces dernières constituent d'excellents capteurs pour le pollen, qui est

conservé entre leurs microphylls grâce à une acidité et une humidité convenables. Les échantillons ont ensuite été soigneusement conservés dans des sacs plastiques hermétiques

annotés, et placés au frais durant 4 semaines. Le protocole d'extraction du pollen, effectué en laboratoire, est décrit en Annexe 1. Ce traitement consiste en la déminéralisation de l'échantillon, l'élimination de la cellulose (contenu cytoplasmique), puis la concentration des grains de pollen dans un culot. Toutefois, par manque de temps, seulement 8 des 14 échantillons ont pu être traités (Table 1). Le montage des lames, correspondant à chacun des sites, a été réalisé à partir de 25 µl de chaque extrait (Annexe 2).

Chaque lame a été observée sous microscope optique Leica® au grossissement 63×10 afin d'effectuer l'identification et le comptage des grains de pollen présents. La reconnaissance a été permise par la comparaison avec les lames de référence du laboratoire, et avec les photographies présentées dans l'atlas *Pollens et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (Reille, 1999). Le nombre de grains de pollens en fonction des sites de prélèvement est extrêmement variable. Nous avons observé les lames de sorte à compter au minimum 150 grains de pollen, répartis de façon homogène sur l'ensemble de la lame. Le jeu de données relatif à chaque échantillon nous a permis de calculer la concentration pollinique de chaque lame, suivant la formule de Gros (1984) :

$$C_1 = (V_0 \times L_0) / (V_1 \times L_1 \times NL)$$

avec:

$$V_0 = V_{\text{culot}}$$

$$V_1 = 25 \mu\text{l}$$

$L_0$  = surface analysable

$L_1$  = surface couverte dans l'analyse d'une ligne

NL = nombre de lignes analysées

PC = total des grains de pollens comptés.

QEP = concentration dans le culot

CP = concentration pollinique

$$\text{Donc QEP} = \text{PC} \times C_1$$

$$\text{et CP} = \text{QEP} / \text{quantité traitée}$$

Exemple: Bruyère (échantillon 12)

$$C_1 = (3 \times 484) / (25 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 7,6 \cdot 7) = 1091,73$$

$$\text{QEP} = 1091,73 \times 177 = 193236,09$$

$$\text{CP} = 193236,09 / 3 = 64412,03 \text{ gr/cm}^3$$

Les résultats de ces comptages ont alors été informatisés avec le logiciel Excel®, et ont permis de construire le diagramme pollinique de l'environnement actuel, en fonction de chaque site. Ce diagramme a été obtenu grâce au logiciel Gpalwin®.

## RESULTATS

Au regard du diagramme pollinique (Fig. 2), nous remarquons qu'au sein de tous les échantillons, qu'ils aient été prélevés dans la tourbière ou sur le plateau, les proportions d'Ericaceae et de Poaceae sont toujours importantes, oscillant respectivement autour de 20 et 10 %. Dans la tourbière, en milieu fermé, nous observons une proportion considérable de *Betula* et de *Salix* (respectivement 28 et 12 % dans l'échantillon 1). Ce pourcentage élevé de *Betula* est spécifique à cet échantillon. Pour les autres échantillons au sein de la même tourbière (échantillons 2B, 2R et 3), de faibles pourcentages de *Salix* (<2 %) et de *Betula* (<2,5 %) sont observés. *Pinus* et *Quercus ilex*-type sont présents dans l'échantillon 1 en petites proportions (de l'ordre de 2%), alors qu'ils avoisinent presque 20 % dans les autres échantillons de la même tourbière. L'échantillon 3, situé sur la platière, est caractérisé par l'absence de Cyperaceae et la présence de *Drosera*. Sur le plateau, les échantillons 11 et 13 (respectivement lande à fougère et lande à genêt) présentent de fortes similitudes. On y observe une forte proportion de *Castanea* (aux alentours de 40-45 %) et de Fabaceae (à hauteur de 15 %). L'échantillon 12 (lande à bruyère) présente enfin la plus grande proportion d'Ericaceae de tous les échantillons, de l'ordre de 50 %. Cet échantillon se différencie des échantillons 11 et 13 par un fort pourcentage de *Pinus* et de Cyperaceae, ainsi qu'un faible pourcentage de *Castanea* et de Fabaceae.

Les valeurs de concentrations polliniques sont données Table 2. Elles sont comprises entre 5600 et 185 200 grains de pollen par cm<sup>3</sup> de sédiment.

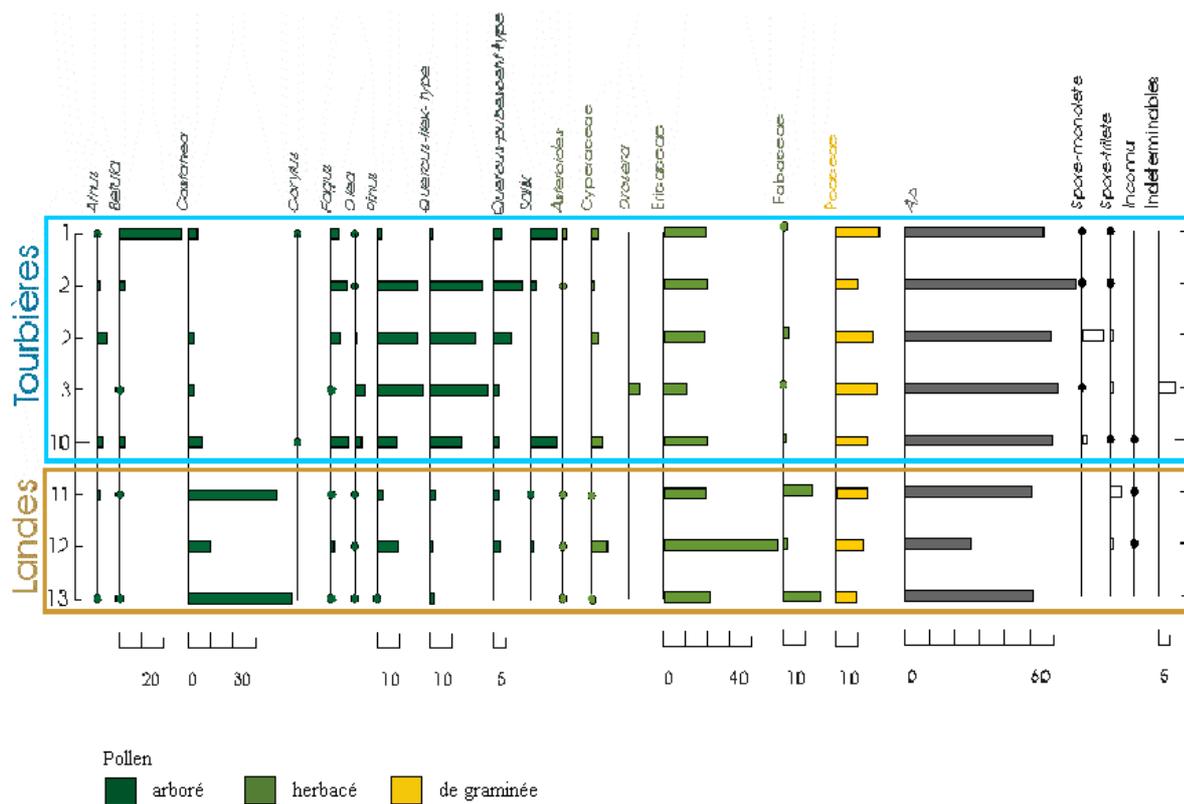


Figure 2 : Pluie pollinique actuelle sur les différents sites d'étude

échantillon	milieu	QEP (concentration culot) grains/volume culot	CP (concentration pollinique)grains/cm <sup>3</sup>
<b>Milieus fermés</b>			
1	saulaie	215725,00	<b>86 290,00</b>
2B	Butte à sphaignes	19700,00	<b>13 133,33</b>
2R	Ruisseau	24608,00	<b>9 843,20</b>
3	Platière	58697,00	<b>5 664,12</b>
<b>Milieus ouverts</b>			
10	Moliniaie	382105,00	<b>136 466,07</b>
11	Lande à fougères	467295,00	<b>14 160,30</b>
12	Lande à bruyères	193236,09	<b>64 412,03</b>
13	Lande à genêts	425920,00	<b>185 182,61</b>

Table 2 : Concentrations polliniques des différents échantillons

## DISCUSSION

La palynologie, qui est basée sur le principe de la pluie pollinique, est basée sur deux postulats : (1) on estime que la quantité de grains de pollens et de spores déposés à un endroit donné représente fidèlement les formations végétales environnantes ; (2) on considère que le dépôt et la conservation des structures, ainsi que leur extraction, leur comptage et leur détermination ne modifient pas l'image de l'enregistrement pollinique.

En fait les résultats sont soumis à de nombreuses variations liées aux conditions abiotiques, biotiques et méthodologiques. L'interprétation nécessite donc une bonne connaissance des relations entre pluie pollinique et végétation actuelle. Des études (Reille, 1977) ont montré qu'en général 80 % des grains de pollen proviennent de la végétation locale (100 m) ou extra-locale (500 m), environ 20 % viennent de la végétation régionale (10 km) et environ 1 % d'un apport lointain. Il est donc nécessaire de prendre en compte ces différents apports qui varient selon les particularités topographiques, géographiques, climatiques, et le degré d'ouverture du site.

Nous considérerons ici en milieu fermé les tourbières qui présentent un couvert arboré dense (échantillons 1, 2B, 2R, 3). La moliniaie et les landes (échantillons 10, 11, 12 et 13) sont considérées comme des milieux ouverts, dégagés, présentant une densité arborée faible et une exposition au vent importante. Les concentrations polliniques (CP) calculées en milieu ouvert et fermé montrent que les milieux ouverts sont caractérisés par une concentration significativement plus importante en grains de pollens par rapport aux milieux fermés. Ce résultat illustre le fait qu'un couvert arboré constitue un filtre qui gêne le dépôt de grains de pollen extérieurs. L'apport pollinique est alors réduit, ce qui se traduit par une faible concentration pollinique. Les récentes innovations dans le domaine de la palynologie montrent qu'il est nécessaire de s'intéresser aux Estimations de Productivité des Pollens (PPEs), propres à chaque taxon,

afin d'interpréter plus justement les pluies polliniques et d'éviter une sous ou surreprésentation de telle ou telle espèce (Broström et al., 2008).

Nous avons constaté que les proportions d'Ericaceae et de Poaceae étaient importantes sur l'ensemble des échantillons. Dans le cas des Poaceae, ceci s'explique par leur présence sur chacun des sites de collecte. En outre, ce taxon caractérise les milieux perturbés par l'Homme (Court-Picon et al., 2005). Cette explication n'est pas valable pour les Ericaceae car, lors des relevés floristiques établis, nous ne les avons observées que dans les landes à bruyères. Ainsi, nous pouvons supposer que les Ericaceae ont une forte productivité et un mode de dispersion suffisamment efficace pour qu'elles soit fortement représentées sur l'ensemble des sites de prélèvement. Dans la lande à bruyère, nous observons une proportion considérable de grains de pollens d'Ericaceae, bien supérieure à celle des grains de pollens de Fabaceae dans la lande à genêt. Or, ce sont deux taxons pollinisés par les abeilles et les bourdons (entomophilie). Ainsi, nous pouvons en déduire que la productivité pollinique des Ericaceae est très importante.

Par ailleurs, dans la tourbière de Font-Salesse, contrairement à la tourbière de la Lande, les *Pinus* sont abondants. La présence de quelques *Pinus* dominant la strate arborée (taille de l'individu) à proximité des sites de prélèvement effectués dans les landes expliquerait le pourcentage de grains de pollen dans les échantillons. En outre, la morphologie vésiculée (taille et poids importants, compensés par deux ballonnets aérifères) du grain de pollen de *Pinus* facilite sa dispersion par le vent ; cet arbre est en outre caractérisé par une productivité pollinique très importante. *Fagus*, quant à lui, n'est que faiblement représenté: ces taux varient de 0,5 à 8 %, ce qui est minime en comparaison à la présence majoritaire de l'arbre dans cette zone de tourbières. Selon de Beaulieu (1969), la rareté des grains de pollen de *Fagus* est vraisemblablement due à sa faible production pollinique.

Sur un plan plus général, la strate arborée représente plus de 50 % de la pluie pollinique. Or, les analyses de tourbe fossile de de

Beaulieu (1969) ont montré une proportion de taxons arboréens inférieure, de l'ordre de 40 %. Cette différence témoigne du reboisement croissant du massif depuis la déprise agricole.

Nous remarquons d'autre part que les proportions de grains de pollens de *Pinus* et *Quercus ilex*-type dominant en milieu fermé, où ces espèces ont été observées. Au contraire, *Castanea*, qui n'a été observé dans aucun des sites étudiés, présente un pourcentage pollinique abondant dans les landes, mais rare en milieu fermé. Nous pouvons vérifier par cet exemple que les milieux fermés constituent un obstacle à l'apport pollinique extérieur. La représentation pollinique du *Castanea* sur le site d'étude provient d'un apport régional, sur des distances de 5 à 10 kilomètres (Annexe 1). Le châtaignier a en effet été implanté au XVIII<sup>e</sup> siècle au sein de l'étage supra-méditerranéen localisé sur les contreforts du massif (Renaux, 2005). La concentration élevée de grains de pollen de ce taxon dans les landes suggère donc une productivité et un mode de dispersion efficace.

La *Drosera* n'apparaît qu'une fois dans le relevé pollinique, dans la platière (échantillon 3). Cette espèce carnivore a cependant été observée à d'autres endroits dans la tourbière de Font-Salesse. Compte tenu de ses exigences écologiques (Annexe 2), on pourrait s'attendre à l'observer sur l'ensemble de cette tourbière. Ceci montre qu'il existe un biais entre les observations sur le terrain et l'image renvoyée par l'analyse pollinique. D'autres incohérences peuvent être relevées. *Betula*, par exemple, nullement observé, est présent en proportion exceptionnellement élevée dans l'échantillon 1. Rappelons que cet échantillon a été prélevé dans une saulaie dense traversée par un ruisseau. Ce dernier prend sa source dans un petit bassin artificiel à la lisière de la tourbière, se poursuivant sur les sites où ont été sélectionnés les échantillons 2R, 2B et 3. Ainsi nous pouvons émettre deux hypothèses : (1) les grains de pollens pourraient venir d'un

apport du ruisseau, ou (2) les résultats obtenus pourraient être expliqués par des erreurs de comptage ou de description de la végétation sur les sites.

Notre travail repose sur de nombreuses incertitudes méthodologiques, à commencer par nos prélèvements sur le terrain. En effet, les conditions climatiques difficiles ne nous ont pas permis de faire des relevés floristiques et une description des sites précis, et ont écourté notre temps sur le terrain. Ce manque de données nous a amené à ne prendre en compte que certains facteurs de variation du dépôt des grains de pollen. De plus, nous n'avons pas pris suffisamment de mesures pour éviter d'éventuelles contaminations polliniques sur le terrain. Le fait de n'avoir pris en compte que certains taxons dans notre analyse ne nous permet ni de mettre en évidence la biodiversité spécifique des sites, ni de caractériser précisément la végétation dans son ensemble. L'incertitude de nos comptages provient sûrement de la confusion entre grains de pollen, par exemple entre *Betula* et *Corylus*, ainsi que de la difficulté à en reconnaître certains comme ceux des Cyperaceae.

## CONCLUSION

Les résultats obtenus ont permis de montrer qu'il était possible de caractériser les formations végétales au travers de la pluie pollinique, malgré des disparités importantes entre ces deux jeux de données. Celles-ci sont dues pour la plupart aux différents degrés d'ouverture des sites étudiés, aux différences de production et de dispersion des grains de pollen entre taxons, ainsi qu'à la prise en compte d'éventuels apports lointains. Afin d'avoir un aperçu plus précis de la végétation actuelle sur le massif du Caroux, il serait nécessaire d'effectuer des échantillonnages supplémentaires et de prendre en compte un nombre plus important de taxons et d'espèces. Il faudrait de plus coupler nos résultats avec ceux d'études paléo-palynologiques et d'autres disciplines, pour enrichir notre compréhension de la dynamique du paysage et savoir quel est l'état d'avancement de la recolonisation du milieu par les taxons arboréens.

Ces connaissances sont nécessaires afin de

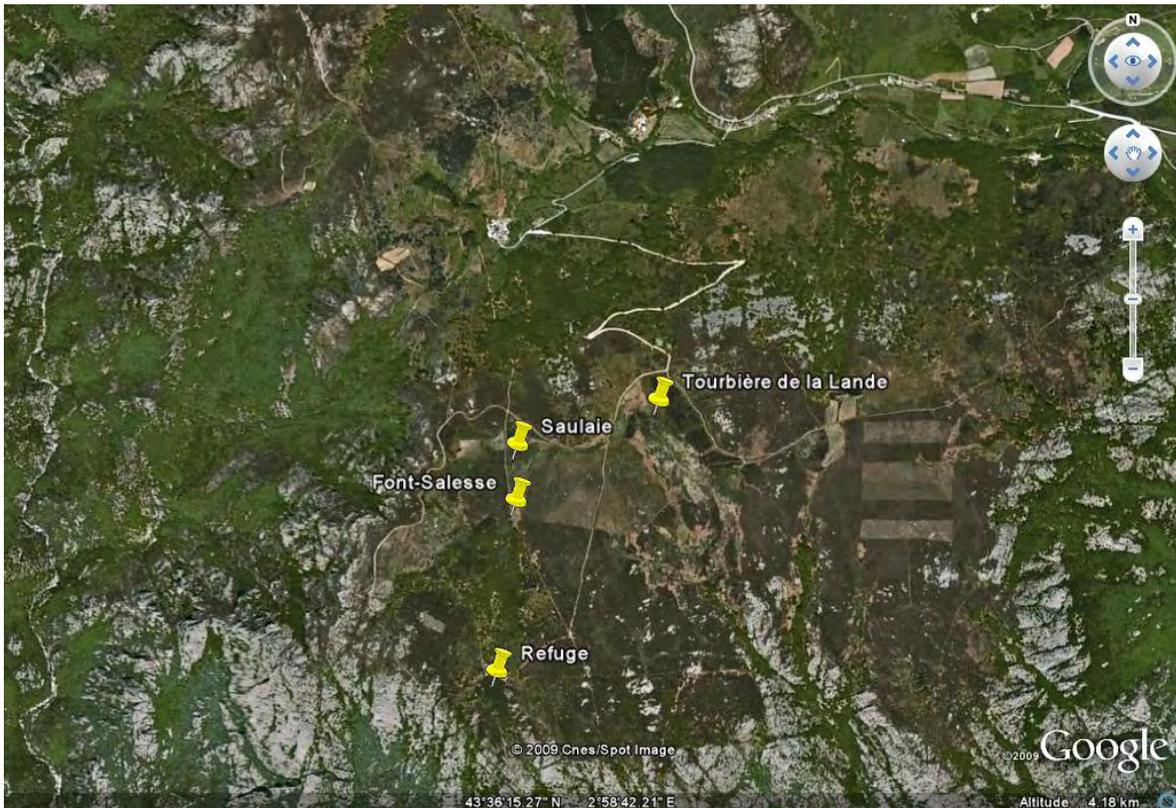
préservé au mieux les tourbières, qui jouent un rôle important tant au niveau environnemental que de la biodiversité. Ces zones humides ont en effet la particularité d'abriter une biodiversité conséquente et d'être de véritables puits de carbone, tant que leur fonctionnement est naturel. L'anthropisation, par l'assèchement du milieu dû au reboisement, appauvrit la biodiversité spécifique et contribue à la remise en circulation du carbone stocké par les organismes accumulateurs.

Des travaux tels que le nôtre sont susceptibles d'apporter des compléments aux recherches antérieures (de Beaulieu, 1969) et d'enrichir l'interprétation des analyses fossiles. Elles sont notamment importantes pour la compréhension du milieu et de sa dynamique. Aujourd'hui, la plupart des tourbières, étant des écosystèmes sensibles et vulnérables à valeur patrimoniale, bénéficient d'une protection légale. À terme, l'intérêt de ce type d'étude est d'élaborer d'éventuels plans de gestion de ces milieux perturbés afin qu'ils soient préservés dans leur intégralité.

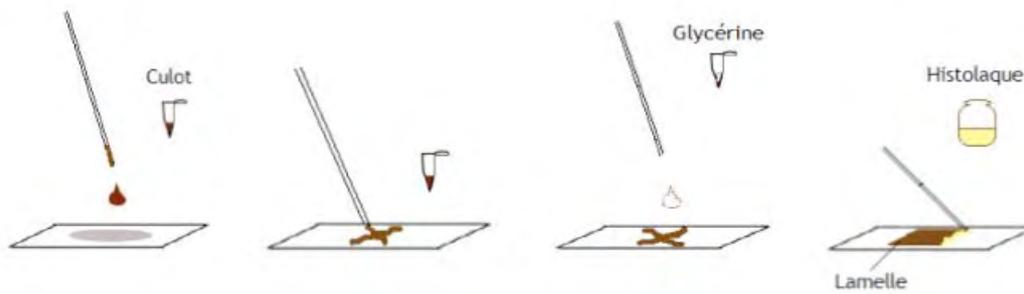
## REFERENCES

- Broström A., Nielsen A.B., Gaillard M.-J., Hjelle K., Mazier F., Binney H., Bunting J., Fyfe R., Meltsov V., Poska A., Räsänen S., Soepboer W., von Stedingk H., Suutari & Sugita S. (2008). Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review. *Vegetation History and Archaeobotany*, 17 : 461-478.
- Court-Picon M., Buttler A. & de Beaulieu J.-L. (2005). Modern pollen-vegetation relationships in the Champsaur valley (French Alps) and their potential in the interpretation of fossil pollen records of past cultural landscapes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 135 : 13-39.
- de Beaulieu J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et spores*, 11 : 83-96.
- Diot F. (2004). Bilan des apports de la palynologie dans les méthodes de reconstitution des paysages et des climats au Quaternaire. Actes du 129e Congrès national des Sociétés Historiques et Scientifiques, Besançon.
- Pons A. (1958). *Le pollen*. Collection Que Sais-je, Presses Universitaires de France, Paris, 125 p.
- Reille M., Gamsans J. & de Beaulieu J.-L. & Andrieu V. (1997). The late-glacial at Lac de Creno (Corsica, France): a key site in the western Mediterranean basin. *New Phytologist*, 135 : 547-559.
- Reille M. (1999). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille, 535 p.
- Renaux A. (1998) *Le savoir en herbe*. Presses du Languedoc, Montpellier, 431 p.

## ANNEXES



Annexe 1: Carte satellite de la zone d'étude



Annexe 2: Méthode de montage des lames polliniques



# DE LA BIOCENOSE A LA TAPHOCENOSE : APPROCHE TAPHONOMIQUE DE LA LITIERE (TOURBIERE DE FONT-SALESSE, MASSIF DU CAROUX)

Marine Peralta <sup>1</sup>, Mathieu Puig <sup>2</sup>, Fabien Silvestri <sup>3</sup>

*Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie  
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

<sup>1</sup> marine.peralta@etud.univ-montp2.fr, <sup>2</sup> mathieu.puig@etud.univ-montp2.fr,  
<sup>3</sup> fabien.silvestri@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Paul Roiron et Laurent Brémond

**Résumé** : Cette étude taphonomique permet de comprendre les mécanismes du passage de la biocénose à la taphocénose. Elle a été réalisée sur la tourbière de Font-Salesse (Massif du Caroux, Espinouse, Hérault), où nous avons déterminé les ligneux, à partir de feuilles de la litière et de rameaux. Nous étudions les mécanismes de transport des feuilles et la raison de leur localisation au sol par rapport aux arbres, afin de proposer une corrélation la plus vraisemblable possible entre le moment où les feuilles se détachent des arbres et l'endroit où elles peuvent être retrouvées dans la litière.

**Mots-clés** : biocénose, taphocénose, tourbière, litière, fossilisation

**Abstract** : This taphonomic study allows to understand mechanisms of transition from biocenosis to taphocenosis. It has been realised on the Font-Salesse fen (Caroux Massif, Espinouse, Hérault), where we determined woody plants from litter leaves and borts branches. We study mechanisms of the transport of leaves and the reason of their localisation on soil in relation to trees, in order to suggest the more plausible correlation between the moment when the leaves came off from trees and the place where they can be found in the litter.

**Key words** : biocenosis, taphocenosis, peat fen, litter, fossilisation

**D**e nos jours, les scientifiques s'attachent à reconstruire les environnements du passé, les paléoenvironnements, afin de comprendre les conditions et les modalités d'émergence de la biodiversité actuelle et les mécanismes mis en jeu dans l'histoire des écosystèmes. Ces reconstitutions sont principalement basées sur l'étude du terrain et de restes animaux et végétaux. Malgré les efforts des scientifiques pour réaliser au mieux ce type d'études, des problèmes liés à l'interprétation des données

fossiles relevées sur le terrain, restent à résoudre. En effet, la taphocénose, ensemble des êtres vivants fossilisés dans un milieu, permet de reconstituer les paléoenvironnements, mais n'en est pas le reflet exact. Elle représente une vision déformée de la thanatocénose, ensemble des individus morts dans un milieu ou des organes qui en sont issus, car tous les organismes ne fossilisent pas toujours, et pas de la même manière. La thanatocénose reflète généralement la biocénose, mais peut être altérée par le déplacement des organismes morts.

C'est en 1940 qu'Efremov définit pour la première fois la taphonomie comme l'étude de l'enfouissement sous toutes ses formes aboutissant à la formation de gisements fossilifères. Plus précisément, la taphonomie étudie la géométrie de la fossilisation en termes d'abondance, d'orientation et de position des fossiles dans le gisement. Nous nous intéressons à l'étude de la thanatocénose de la tourbière de Font-Salesse et d'une lande à genêt sur le massif du Caroux (Espinouse,

Hérault) (Fig. 1). Ceci permet d'aborder les différents problèmes de reconstruction de la biocénose d'une flore fossile à partir de feuilles et de bourgeons, en supposant que cette thanatocénose soit le reflet exact d'une hypothétique taphocénose et en nous focalisant sur la partie de la taphonomie qui vise à étudier l'abondance des fossiles dans un gisement.

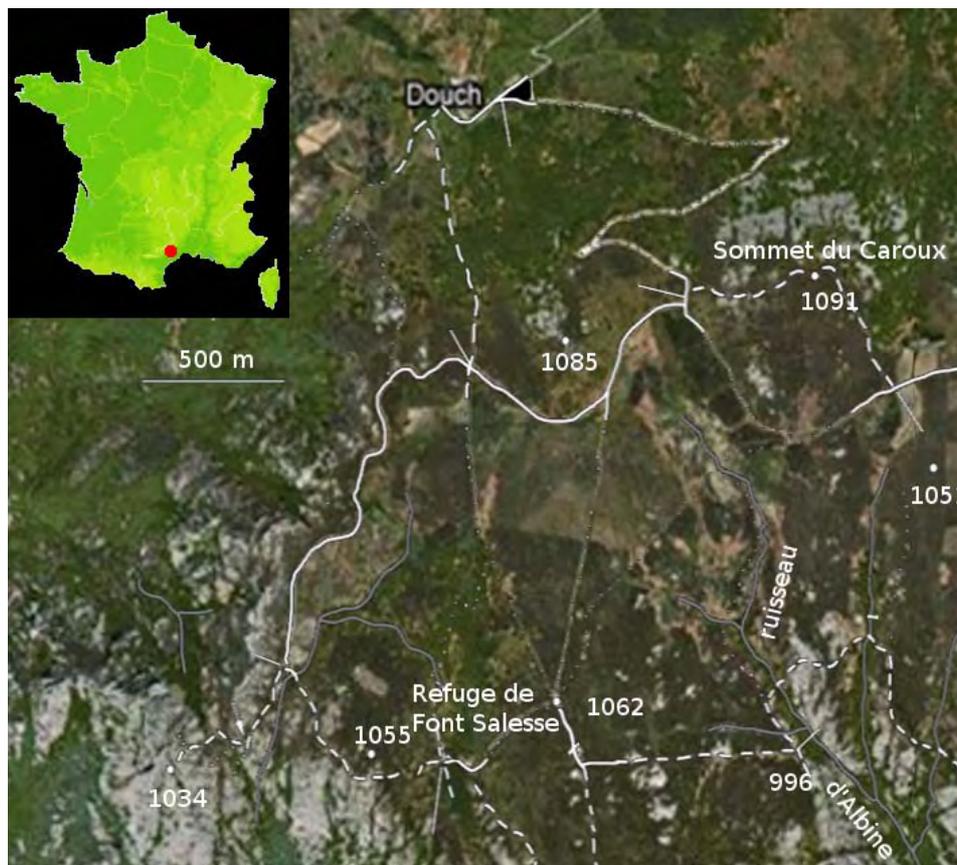


Figure 1 : Localisation des tourbières de Font-Salesse et de la Lande

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Zone d'étude

Situé à 50 kilomètres au nord-ouest de Béziers et d'une superficie de 20 000 hectares, le massif du Caroux-Espinouse s'élève jusqu'à 1100 mètres d'altitude. Le paysage témoigne d'une forte anthropisation par la présence de nombreuses terrasses (traces d'anciennes cultures), de prairies

(pâturage) et d'arbres plantés (troncs de diamètres semblables) utilisés comme bois de chauffage. L'exode rural favorise la recolonisation des pâturages abandonnés par le frêne et le genêt donnant lieu à une lande. La tourbière de Font-Salesse, localisée aux alentours de 1000 mètres d'altitude, se situe à l'étage montagnard (900 à 1600 m), qui se caractérise par une température moyenne annuelle oscillant entre 4 et 8°C et par une végétation dominée par les hêtres et les

sapins.

## 2- Méthodologie

Dans le cadre de notre étude, nous avons été amenés à subdiviser la zone en 10 stations. Au niveau de chacune d'entre elles, des rameaux ont été prélevés sur les arbres et des feuilles (issues de la litière) ont été ramassées. Les prélèvements ont été effectués sur deux jours, les 22 et 23 janvier 2009. Les échantillons ont été placés dans des sacs en plastique afin de les protéger de l'environnement extérieur. Sur les sacs ont été notés : le numéro de la station, la localisation, la proportion de feuilles, le type de milieu et les arbres à proximité. Afin de sécher les feuilles pour leur conservation et leur analyse ultérieure, elles ont été placées entre des feuilles de papier journal et mises sous de gros livres faisant office de presse pendant une semaine. Une fois cette étape réalisée, nous avons déterminé le genre et l'espèce de chaque échantillon grâce à la flore forestière française (Rameau et al., 1989-1993). Par la suite, chaque échantillon a été dessiné à l'aide d'une loupe binoculaire à chambre claire (Fig. 2).

Les rameaux ont été identifiés à l'aide des ouvrages de Santa (1967) et de Godet (1989). Les bourgeons représentent un critère essentiel pour la reconnaissance du genre et de l'espèce (Annexe 1). Nous avons de plus calculé le poids et la surface de chaque feuille afin de déterminer sa densité. Nous avons ainsi obtenu une densité moyenne pour chaque échantillon. Pour peser les feuilles, nous nous sommes servis d'une balance de haute précision (au dix millième). Nous avons déterminé la surface en positionnant chaque échantillon sur une feuille quadrillée pour en dessiner le contour. Nous avons enfin évalué le degré de dégradation des feuilles.

## RESULTATS

10 espèces d'arbres ont été identifiées à partir des feuilles et des rameaux (Tab. 1) :

*Salix cinerea* (saule cendré) est un arbuste caducifolié pouvant atteindre 6 m de hauteur et se retrouver jusqu'à 2000 mètres d'altitude. C'est une espèce hygrophile qui apprécie les sols inondés ou tourbeux. Il

possède de jeunes rameaux gris, épais et arrondis. Les bourgeons sont ovoïdes et pointus avec les bourgeons latéraux appliqués contre les rameaux (Annexe 1.5). Les feuilles sont alternes, de longueur variant de 4 à 10 cm, lancéolées à pointe courte au sommet, rugueuses, mate dessus et à nervures saillantes dessous (Fig. 2).

*Salix caprea* (saule marsault) est un petit arbre caducifolié de 3 à 12 m, retrouvé jusqu'à 2000 m d'altitude. C'est une espèce héliophile. Il présente de jeunes rameaux glabres verdâtres et rougeâtres. Ses bourgeons sont ovoïdes-pointus et très légèrement pubescents. Les latéraux sont un peu aplatis et écartés des rameaux (Annexe 1.1). Les écailles sont brun-jaune à marron. Les feuilles sont alternes, longues de 4 à 10 cm, elliptiques, ondulées sur les bords, lisses, vertes et glabres.

*Betula pendula* (bouleau verruqueux) est un arbre caducifolié de 20 à 25 mètres de haut, retrouvé de l'étage collinéen à l'étage subalpin. C'est une espèce héliophile possédant une grande tolérance vis-à-vis de l'eau ce qui explique qu'il pousse dans des sols secs à tourbeux. Il possède de jeunes rameaux brun-roux foncé, souples, brillants, glabres couverts de verrues grisâtres. Ses bourgeons terminaux sont ovoïdes allongées, pointus de même taille que les latéraux qui sont en revanche plus étroits et écartés des rameaux. Les écailles sont marrons, arrondies (Annexe 1.8). Ses feuilles sont alternes, triangulaires, irrégulièrement dentées et glabres (Fig. 2).

*Fagus sylvatica* (hêtre ou fayard) est un grand arbre caducifolié pouvant atteindre 40 mètres de hauteur, caducifolié, souvent retrouvé à l'étage montagnard. Cette espèce tolère un ombrage important (sciaphile) et un gradient moyen de sécheresse et d'humidité (mésophile). Ses jeunes rameaux sont lisses et glabres. Les bourgeons sont fusiformes, pointus, très longs, brillants et très écartés des rameaux. Les écailles des bourgeons sont brunes, pointues imbriquées en spirale, finement velues au bout (Annexe 1.3). Ses feuilles sont alternes, ovales aiguës, longues de 4 à 9 cm à bord entiers (ciliées à l'état

jeune) courtement pétiolées avec 6 à 8 paires de nervures secondaires (Fig. 2).

*Castanea sativa* (châtaignier) est un grand arbre caducifolié pouvant atteindre 35 mètres de hauteur, poussant jusqu'à 1000 mètres d'altitude sur sols siliceux. C'est une espèce thermophile et en partie héliophile. Ses jeunes rameaux sont bruns, possèdent de grosses cicatrices foliaires et portent des lenticelles. Les bourgeons sont bruns-rouges, ovoïdes, globuleux à deux écailles inégales, la plus interne dépassant la pointe du bourgeon (Annexe 1.2). Les bourgeons latéraux sont écartés des rameaux, insérés obliquement sur les cicatrices. Les écailles arrondies, de couleur brun à marron, présentent une faible pilosité. Les feuilles sont alternes, grandes, lancéolées, dentées longues de 10 à 20 cm et large de 4 à 8 cm glabre et brillante dessus. La nervation est pennée (Fig. 2).

*Sorbus aria* (sorbier blanc) est un arbre caducifolié pouvant atteindre 20 mètres de haut caducifolié retrouvé de 100 à 1700 mètres d'altitude. C'est une espèce thermophile, xérophile et héliophile rencontrée dans les hêtraies. Ses rameaux sont alternes, brun-rouge, pubescent puis glabres portant de gros bourgeons coniques, aigus brun-verdâtre à écailles frangées de poils blancs. Les bourgeons terminaux sont un peu plus gros que les bourgeons latéraux (Annexe 1.7). Ces derniers étant appliqués vers le rameau pointe tourné. Les feuilles sont alternes, ovales, irrégulièrement dentées, vert-gris et luisantes dessus, blanches dessous (Fig. 2.3).

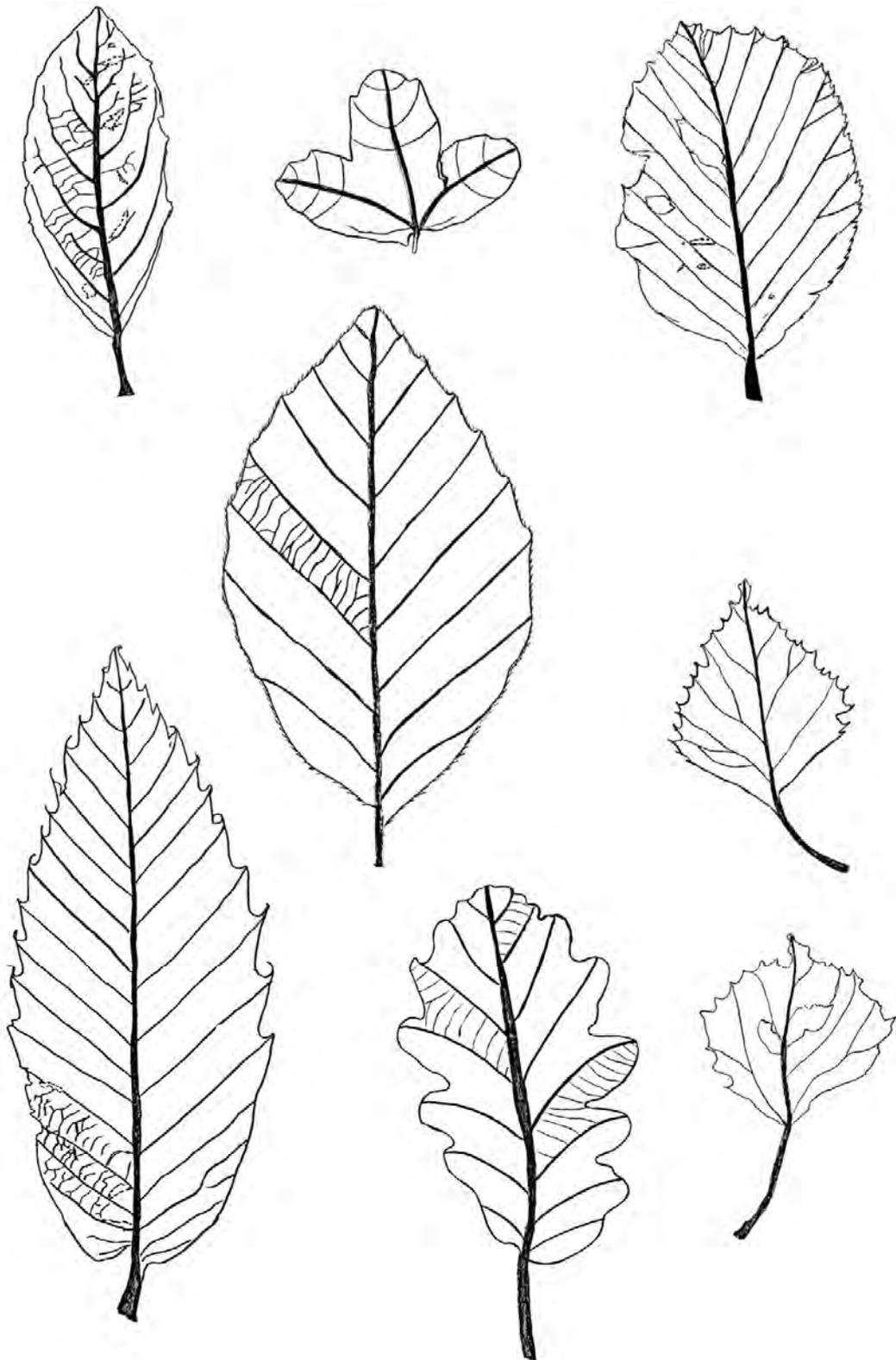
*Sorbus aucuparia* (Sorbier des oiseleurs) est un grand arbre caducifolié pouvant atteindre 20 mètres de hauteur. C'est une espèce héliophile ou de demi-ombre, mésophile. On le retrouve jusqu'à 2000 mètres d'altitude. Ses jeunes rameaux sont brun violacé, lisses et luisants et possèdent des bourgeons fusiformes, ovoïdes pointus, velus, à écailles brun foncé d'abord pelucheuses devenant presque glabre. Les bourgeons terminaux sont plus gros que les latéraux qui sont eux généralement incurvés, appliqués, pointe tournée vers le rameau (Annexe 1.7). Les feuilles sont alternes, composées, pennées de

9 à 15 folioles pubescentes puis glabres.

*Quercus petraea* (Chêne sessile) est un grand arbre caducifolié pouvant atteindre 40 mètres de hauteur, présent jusqu'à une altitude de 1600 mètres. C'est une espèce de demi-ombre, mésoxérophile à mésophile. Ses rameaux jeunes sont glabres de couleur brun-gris. Les bourgeons terminaux sont groupés au bout des rameaux, ovoïdes-pointus et étroits ou coniques, plus gros que les latéraux (Fig. 2). Les feuilles sont alternes, nettement pétiolées, planes avec à 7 à 12 lobes arrondis et des sinus peu profonds.

*Populus tremula* (Peuplier tremble) est un arbre caducifolié de 15 à 20 mètres de haut, caducifolié poussant jusqu'à une altitude de 2200 mètres. Cette espèce est héliophile. Ses jeunes rameaux sont luisant et de couleur brun. Les bourgeons sont ovoïdes-pointus, brun foncé, visqueux et luisants. Les bourgeons terminaux sont très piquants et les latéraux sont étroits, appliqués généralement tournés contre les rameaux (Annexe 1.4). Les écailles sont brun clair et brun foncé, arrondies souvent un peu échancrées. Les feuilles sont arrondies, internes, arrondies, crénelées, vert mâte dessus et glauque dessous. Elles possèdent des pétioles aplatis longs de 4 à 6 cm (Fig. 2).

*Acer monpessulanum* (Érable de Montpellier) est un arbuste caducifolié ou un arbre de 5 à 12 mètres, poussant jusqu'à 800 mètres. C'est une espèce héliophile ou de demi-ombre, méridionale et craignant les hivers rigoureux. Ses jeunes rameaux sont opposés, glabres à lenticelles. Les bourgeons sont petits, ovoïdes-pointus, allongés, brun à écailles arrondies, brun foncé taché de noir et arrondies. Les bourgeons latéraux sont écartés sur les rameaux courts (Annexe 1.6). Les feuilles apparaissent opposées, petites (3 à 6 cm) à long pétiole, à 3 lobes arrondis égaux et luisants dessus (Fig. 2).



*Figure 2 : Feuilles identifiées. De haut en bas et de droite à gauche : Salix cinerea, Acer monpessulanum, Sorbus aria, Fagus sylvatica, Betula pendula, Castanea sativa, Quercus petraea, Populus tremula*

Station	1	2	3	4	5	6	10	16	16 bis	17
<i>Acer monpessulanum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
<i>Betula pendula</i>	.	.	3-P	.	.	.	.	.	.	.
<i>Castanea sativa</i>	2	1	1	1	.	1	.	.	1	.
<i>Populus tremula</i>	.	.	.	2-D	.	2	.	.	L	.
<i>Fagus sylvatica</i>	5-50 m	4-100 m	4-5 m	4(R)-P	5-L	.	3-200 m	5-L	3-50 m	3
<i>Quercus petraea</i>	.	.	.	.	.	.	.	2-D	.	1
<i>Salix caprea</i>	.	.	.	.	.	.	L	.	.	.
<i>Salix cinerea</i>	5	5-P	4	4-P	4	3	4	4-L	4-D	.
<i>Sorbus aria</i>	.	2-P	4(R)	3(R)	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3-L

Table 1 : Proportion des feuilles et des rameaux (R) trouvées pour chaque station.

Abondance : 1, très rare ; 2, peu abondant ; 3, moyennement abondant ;

4, abondant ; 5, très abondant. Distance de l'arbre par rapport aux feuilles ramassées :

L, arbre local ; P, arbre à proximité ; D, arbre distant

Les feuilles de *Betula pendula* ont la densité moyenne la plus élevée (11,48 mg/cm<sup>2</sup>). Elles ne sont retrouvées qu'en station 3 à proximité de leur arbre et ne sont pas dégradées. Les feuilles de *Sorbus aria*, *Salix cinerea*, *Salix caprea* et *Quercus petraea* possèdent une densité moyenne proche, se situant aux alentours de 9 mg/cm<sup>2</sup>. On retrouve les feuilles du genre *Salix* en grande quantité, peu dégradées à chaque station, tandis que les feuilles du sorbier blanc sont retrouvées uniquement à proximité de leur arbre (stations 2, 3 et 4) et sont nettement plus dégradées. En ce qui concerne les feuilles du chêne sessile, elles sont peu dégradées et prélevées dans deux stations proches, l'arbre n'étant pas visible dans ce secteur (16 et 17).

Les feuilles de *Castanea sativa*, *Acer monpessulanum* et *Populus tremula* présentent une densité moyenne inférieure aux

précédentes (aux alentours de 7 mg/cm<sup>2</sup>). On retrouve des feuilles du châtaignier intactes dans beaucoup de stations, mais toujours en faibles quantités, tandis que les feuilles de l'érable de Montpellier sont retrouvées non dégradées également, mais en forte proportion (à proximité de l'arbre) uniquement dans la dernière station. En ce qui concerne les feuilles du peuplier, on retrouve peu de feuilles, assez dégradées, dans les stations 4, 6 et 16bis (arbre en station 16bis). Enfin, la plus petite densité à été déterminée pour les feuilles de *Fagus sylvatica* (4.45 mg/cm<sup>2</sup>). Celles-ci, peu dégradées, sont retrouvées dans toutes les stations (à l'exception de la 6), en grande quantité, qu'il y ait ou non, l'arbre à proximité. Il nous a été impossible de calculer la densité moyenne des feuilles de *Sorbus aucuparia*, car celles-ci étaient bien trop dégradées.

Espèce	<i>Acer monpessulanum</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Castanea sativa</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Populus tremula</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Salix caprea</i>	<i>Salix cinerea</i>	<i>Sorbus aria</i>
S	6.25	6.21	57.44	23.24	13.125	26	11.75	6.09	22.37
P	39.2	71.8	320.73	81.63	95.75	212.8	105.2	53.13	180.48
D	6.22	11.48	6.27	3.45	7.33	8.43	8.95	9.51	8.2

Table 2 : Surface moyenne (S, cm<sup>2</sup>), poids moyen (P, mg) et densité moyenne (D, mg/cm<sup>2</sup>) des feuilles identifiées

Espèce	<i>Acer monpessulanum</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Castanea sativa</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Populus tremula</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Salix caprea</i>	<i>Salix cinerea</i>	<i>Sorbus aria</i>
TD	25	10	40	< 1	50	25	10	25	60

Table 3 : Taux de dégradation (TD, %) des feuilles déterminées

## DISCUSSION

Nous nous intéressons ici à la partie de la taphonomie qui vise à étudier la répartition et l'abondance de la litière par rapport à la localisation des arbres. Pour cela, nous prenons en compte les paramètres intervenant dans la dispersion des feuilles. Ces paramètres étant nombreux, nous n'allons aborder que les plus essentiels d'entre eux.

L'arbre influence la répartition des feuilles autour de lui. En effet, plus celui-ci est bas et dans un milieu fermé, plus les feuilles sont susceptibles d'être freinées par divers obstacles lors de leur dispersion. C'est le cas de la station 5, qui offre un milieu fermé, où les saules sont de petite taille (une dizaine de mètres maximum). Ainsi, les feuilles présentent un déplacement limité et se retrouvent à proximité de leur arbre. Au contraire, les feuilles de châtaignier, retrouvées loin de leur arbre (dans 6 stations sur les 10), nous laissent supposer que ces arbres possèdent une taille relativement grande et se situent probablement dans un milieu ouvert.

Par ailleurs, l'abondance des feuilles varie d'un arbre à l'autre. On remarque que le saule et le hêtre semblent produire beaucoup de feuilles, tandis que le châtaignier paraît en produire peu du fait de la faible quantité retrouvée sur le terrain. Même si nous ne l'avons pas observé sur place, l'âge de l'arbre joue aussi sur la production des feuilles. En effet un jeune arbre possède moins de ramifications et donc, par conséquent, moins de feuilles. La forme, la taille et la structure des feuilles, aussi bien que la relative densité de leurs tissus (poids par unité d'air) sont des facteurs intrinsèques qui peuvent influencer le passage des feuilles à travers l'air (Greenwood, 1991).

On ne peut estimer la distance parcourue par une feuille en se basant uniquement sur son poids ou sur sa surface. En prenant en compte ces deux paramètres, il est possible de calculer la densité et ainsi d'évaluer cette distance. Théoriquement, plus la densité est élevée et plus les feuilles auront du mal à se

déplacer. C'est le cas du bouleau qui possède la plus forte densité (11,48 mg/cm<sup>2</sup>) et dont les feuilles sont retrouvées uniquement à proximité de l'arbre. *A contrario*, on peut penser que les feuilles de très faible densité se déplacent plus loin. C'est le cas des feuilles du hêtre (3,45 mg/cm<sup>2</sup>) qui sont retrouvées à plus de 500 mètres de l'arbre (station 10). On en déduit donc un fort déplacement. De plus, dans cette station, le milieu est ouvert et permet un déplacement plus aisé des feuilles.

Le degré de dégradation des feuilles influence enfin l'éventuelle présence finale du fossile dans le gisement. On suppose que des feuilles se dégradant vite ont moins de chance de se retrouver dans le gisement fossile et inversement. Les feuilles de *Sorbus aucuparia* étant les plus dégradées, leur chance de se retrouver parmi les gisements est peu probable. En revanche, les feuilles présentant une cuticule épaisse sont davantage protégées et ont moins de risques d'être dégradées. Elles ont donc une meilleure probabilité de se retrouver dans les gisements. C'est le cas des feuilles de hêtre, qui ne présentent aucun signe de dégradation.

## CONCLUSION

Grâce à cette étude, nous nous sommes rendus compte que la taphonomie nécessitait de prendre en considération de nombreux paramètres, chacun influençant plus ou moins le déplacement des feuilles. En fonction du milieu, des conditions climatiques, de la topographie, de la morphologie des feuilles et des arbres, il est possible de comprendre le passage de la biocénose à la taphocénose.

Notre étude n'est pas exhaustive. En effet, des relevés plus précis auraient permis une approche plus rigoureuse et une interprétation plus complète. Nous avons néanmoins pu mettre en évidence les problèmes liés à la reconstruction des paléoenvironnements. Notamment, nous avons vu qu'il est difficile de retrouver la biocénose d'origine à partir de la taphocénose.

## REFERENCES

- Godet J.D. (1989). *Guide des bourgeons de nos arbres, arbustes, arbrisseaux*. Delachaux et Niestlé, Lausanne.
- Greenwood D.R. (1991). The taphonomy of plant macrofossils. In: S.K. Donovan (ed.), *The process of fossilisation*, p. 141-169. Columbia University Press, Columbia.
- Martin-Closas C. & Gomez B. (2004). Taphonomie des plantes et interprétations paléocologiques. Une synthèse. *Geobios*, 37 : 65-88.
- Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G., Lecointe A., Timbal J., Dupont P. & Keller R. (1989-1993). *Flore forestière française, Guide écologique illustré, 2 tomes*. Institut pour le Développement forestier, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction de l'Espace rural et de la Forêt, Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts Paris, 4206 p.
- Santa S. (1967). *Identification hivernale des plantes ligneuses de la flore de France. I. Plantes à feuillages caduc*. Impr. CGC, Montpellier.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Bourgeons des arbres déterminés



1.1 : *Salix caprea*



1.2 : *Castanea sativa*



1.3 : *Fagus sylvatica*



1.4 : *Populus tremula*



1.5 : *Salix cinerea*



1.6 : *Acer monpessulanum*



1.7 : *Sorbus aucuparia*



1.8 : *Populus tremula*

Annexe 2 : Feuille de *Sorbus aucuparia*



# DYNAMIQUE DES PALEOINCENDIES SUR LE MASSIF DU CAROUX A LA FIN DE L'HOLOCENE

Chloé Bourdil <sup>1</sup>, Laura Exbrayat <sup>2</sup>, Elisa Fernandez <sup>3</sup>, Aurore Lucas <sup>4</sup>

*Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie*

*Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

<sup>1</sup> chloe.bourdil@orange.fr, <sup>2</sup> lauraexbrayat@ymail.com,

<sup>3</sup> elisa0fernandez@gmail.com, <sup>4</sup> aurore.cletif@gmail.com

Encadrement : Adam Ali

**Résumé** : Cette étude s'intéresse à la dynamique des feux passés et à venir. L'analyse quantitative des charbons de bois contenus dans des séquences sédimentaires de la tourbière de Font-Salesse a permis de reconstituer l'histoire des paléoincendies durant les deux derniers millénaires. Les fortes concentrations en charbons observées à 20 et 85 cm de profondeur indiquent potentiellement des événements de feux. Au regard des enregistrements polliniques, ces épisodes d'incendie pourraient être liés à des pratiques agropastorales à l'origine de l'ouverture des milieux méditerranéens.

**Mots clés** : anthracologie, tourbière, paléofeux, Holocène, massif du Caroux

**Abstract** : This study focuses on past and future fire dynamics. The quantitative charcoal analysis in sedimentary sequences of the fen of Font-Salesse allowed reconstructing the paleofire history for the last two millennia. The high concentrations of charcoals observed between 20 and 85 cm depth indicate potentially local fire events. By comparison with pollen records, these episodes of fires could be related to agro-pastoral practices resulting in the opening of the Mediterranean environments.

**Keywords** : anthracology, peat fen, paleofires, Holocene, Caroux massif

**L**e réchauffement climatique, aujourd'hui sans équivoque, s'est fortement accéléré au cours des cinquante dernières années (IPCC, 2007). Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC), prévoit pour la fin du siècle une augmentation des événements de sécheresse dans le sud de l'Europe (IPCC, 2007) et une modification des régimes de feu (Schumacher & Bugmann, 2006).

Des observations faites sur tous les continents suggèrent que de nombreux systèmes naturels seront affectés par ces hausses de température, incluant les milieux humides et les milieux méditerranéens (IPCC, 2007). La fréquence accrue de courtes périodes de chaleur et de canicules entraînera dans ces

milieux un risque d'incendie plus important, auquel il est nécessaire de s'intéresser.

Afin d'optimiser notre compréhension des relations entre les perturbations dues au feu et la dynamique des écosystèmes, il est indispensable d'avoir une perspective à long terme des processus écologiques associés. La paléoécologie et notamment l'analyse des charbons de bois dans les dépôts lacustres et tourbeux, permet de reconstruire au cours de l'holocène (depuis 11 000 ans), la fréquence des feux au regard des changements du climat et de l'occupation du territoire (Carcaillet et al., 2001).

En région méditerranéenne, les simulations climatiques mettent en perspective des variations drastiques des patrons d'évapotranspiration, avec des zones comme le Maghreb qui enregistreront potentiellement

une baisse de 40 à 60 % des précipitations (IPPC, 2007). Dans cette optique, il est indispensable d'avoir des données sur la dynamique historique des feux, afin de caractériser l'impact des changements climatiques sur la fréquence des feux, notamment dans une perspective de gestion durable des écosystèmes forestiers.

Dans cette étude, nous nous proposons de reconstruire l'histoire des incendies survenus au niveau de la tourbière de Font-Salesse, située dans le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc (Hérault). De précédentes études palynologiques effectuées sur le même site, ont permis de reconstruire l'évolution du couvert végétal durant l'holocène (de Beaulieu, 1969).

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Zone d'étude

#### *Le plateau du Caroux*

Le plateau du Caroux se situe à plus de 1000 mètres d'altitude dans le massif montagneux de « l'Espinouse », à l'extrémité sud du Massif central (ANNEXE 1). Ce site a l'originalité d'abriter des tourbières ; milieux humides peu fréquents dans les montagnes méditerranéennes et dans l'Hérault. De plus, il est situé à l'extrême limite entre la flore Atlantique et celle de la Méditerranée et sur la limite de partage des eaux entre le bassin méditerranéen et la plaine Atlantique. Le plateau est couvert de landes à bruyères et genêts, de pins et de hêtres en futaies, relictives de l'ancienne végétation présente avant l'apogée humaine. Les vents jouent un rôle important dans le climat du massif avec une dominance nord-nord-ouest. Les échantillonnages ont été effectués sur la tourbière de Font-Salesse (longitude nord 43° 36' 6'', latitude est 2° 58' 44'').

Nous avons prélevé deux séquences de tourbe ; l'une située aux abords de la tourbière et proche du ruisseau et l'autre se situe plutôt vers le centre de la tourbière (Annexe 2).

### *Intérêts du lieu*

Les tourbières sont un type d'écosystème complexe aux intérêts hydrologiques, biologiques et patrimoniaux majeurs. Elles se caractérisent notamment par la grande diversité de leurs habitats naturels et la richesse des informations paléoenvironnementales qu'elles renferment. Ces écosystèmes sont formés par l'accumulation progressive de débris végétaux (Carex, mousses, Sphaignes,...). La tourbière de Font-Salesse, au niveau de laquelle nous avons effectué nos prélèvements de tourbe est une tourbière minérotrophe, c'est à dire qu'elle est alimentée par les eaux de ruissellements et par des nappes souterraines.

Grâce aux conditions d'anaérobiose qui règnent dans leur sol, les tourbières sont d'excellents milieux conservateurs. A mesure que se forment et s'accumulent les dépôts de tourbe, des témoins biologiques ou matériels du passé, de nature très diverses, peuvent être piégés dans le sol et s'y retrouver fossilisés. Les tourbières réalisent ainsi un formidable travail d'archivage en accumulant des informations (climat, feux, végétation locale), strate par strate, durant les siècles ou millénaires de leur existence. L'analyse des dépôts tourbeux permet de révéler ces informations. L'étude des charbons conservés dans la tourbe nous permet ainsi de reconstituer l'histoire des paléo-incendies, le paléoclimat ou le paysage végétal des tourbières. Plus on s'enfonce dans la tourbière et plus les charbons sont anciens permettant ainsi de remonter le temps. La grande densité de charbons dans certaines couches révèle ainsi les épisodes de feux.

### 2- Datation au <sup>14</sup>C et modèle âge/ profondeur

N'ayant pas eu la possibilité de réaliser des datations, nous nous sommes référées à des datations <sup>14</sup>C réalisées par de Beaulieu (1969) sur une carotte de tourbe de 80 cm de long, prélevée à Font-Salesse. La carotte a été datée à deux niveaux différents. Un échantillon prélevé à 80 cm a été daté à 1960 ± 50 BP et un second échantillon prélevé à 65 cm correspond à 350 ± 95 BP. Les dates ont été

calibrées grâce au programme CALIB 5.0.1 (Stuiver & Reimer, 1993) afin d'obtenir des années calendaires (Tab. 1). On a utilisé une courbe de lissage de type Lowess permettant de déterminer l'âge des profondeurs non datées (Fig. 1).

Profondeur	Age BP	Age cal. BP
65 cm	350 ± 90	405 (266-544)
80 cm	1960 ± 50	1925 (1810-2040)

Table 1 : Datations des sédiments de la tourbière de Font-Salesse (de Beaulieu, 1969)

### 3- Préparation des échantillons et quantification des charbons

Nous avons effectué des prélèvements de tourbe à l'aide d'un carottier russe hémicirculaire muni d'une chambre de prélèvement de 100 x 7,5 cm à deux endroits différents sur le même site (Annexe 2). Ceci nous a permis d'obtenir deux carottes de tourbe, appelées AB et CD, d'une longueur respective, de 100 cm et 80 cm.

Les carottes ainsi obtenues ont été conservées au réfrigérateur pour éviter qu'elles se dénaturent sous l'effet de la chaleur. Nous avons ensuite découpé les carottes en tranches de 1 cm, puis nous avons prélevé 1 cm<sup>3</sup> de sédiment sur chaque tranche à l'aide d'un emporte-pièce. Pour permettre la défloculation du sédiment, nous avons fait chauffer chaque échantillon dans une solution aqueuse (100 ml) contenant du KOH (en moyenne 30 min à thermostat 5). Le contenu du bêcher a ensuite été tamisé à 160 µm pour ne garder que les charbons de grosse taille correspondant aux feux locaux (distance inférieure à 1000 m) (Lynch et al., 2004a ; Higuera et al., 2007). Enfin, le contenu du tamis a été plongé dans de la javel afin de blanchir la matière organique, permettant ainsi le repérage des charbons.

Le calcul du nombre et de la superficie des charbons a été ensuite effectué grâce à une loupe binoculaire (x 10) reliée au logiciel IMAGE-ANALYSIS sur l'ordinateur.

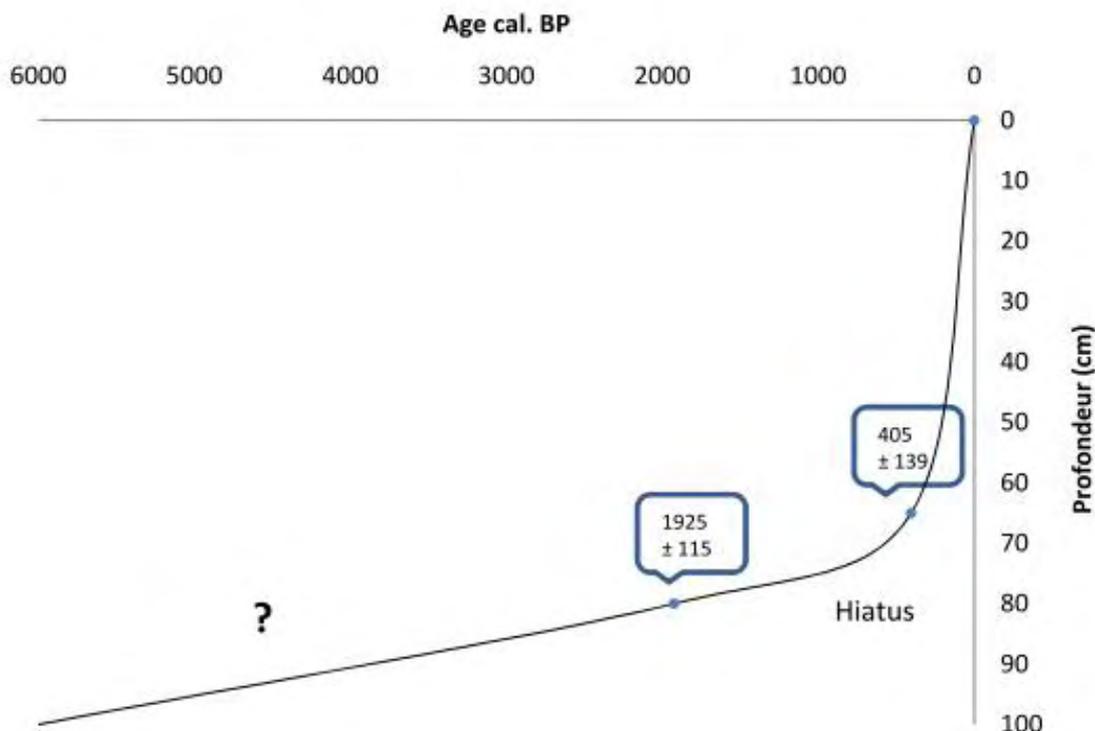


Figure 1. Modèle âge/profondeur de la tourbière de Font-Salesse

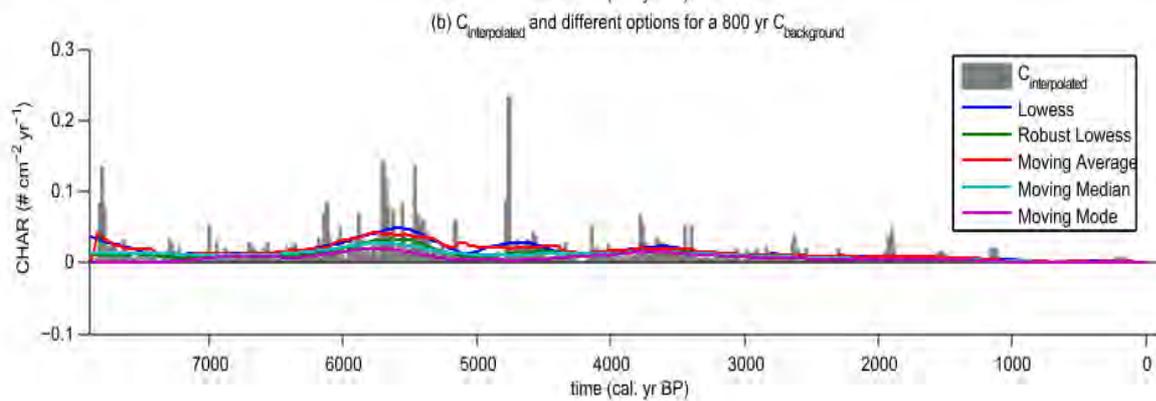


Figure 2 : Représentation du signal global et des différentes options de représentation du bruit de fond (Ali et al., 2009, accepté)

#### 4- Reconstruction des feux

La reconstruction des épisodes de feux à travers l'étude des charbons de bois préservés dans les milieux naturels est décrite Figure 2. La présence d'un événement de feu se caractérise par un pic de charbons ( $CHAR_{peak}$ ) déterminé mathématiquement. Il correspond à la différence entre le signal global de charbons ( $C_{interpolated}$ ) et le signal bruit de fond ( $CHAR_{background}$ ). Ce dernier est dû à un brassage de la tourbe, à des erreurs d'échantillonnages, ainsi qu'à des variations des conditions taphonomiques (intensité et distance du feu). Afin d'en faire une approximation, on le modélise à l'aide de divers modèles mathématiques (moyenne mobile, lowess, etc.). Le modèle retenu est celui pour lequel le rapport suivant est le plus proche de 1 :

$$\text{Signal}_{PEAK} / (\text{Sign.}_{PEAK} + \text{Sign.}_{BACKGROUND})$$

On soustrait ensuite le bruit de fond aux données brutes. Les pics de charbons ainsi obtenus nous permettent de reconstruire les épisodes de feux aux alentours de la tourbière

de Font-Salesse. (Carcaillet et al., 2001 ; Gavin et al., 2006 ; Higuera et al., 2007).

## RESULTATS

### 1- Modèle âge-profondeur

Les 65 premiers centimètres correspondent à un intervalle de temps de  $405 \pm 139$  cal BP tandis que les quinze centimètres suivants correspondent à une période de  $1520 \pm 254$  cal BP. La quantité de sédiments accumulés durant une si longue période (15 cm) paraît très faible par rapport à la quantité de sédiments déposés ces 405 dernières années (65 cm). Il semblerait donc qu'il y ait un hiatus sédimentaire dans l'intervalle 65-80 cm.

En ce qui concerne la carotte AB, le manque de données ne nous permet pas d'obtenir un modèle âge-profondeur entre 80 et 100 cm. Il est donc nécessaire que nous projetions l'allure hypothétique de la courbe sur cet intervalle. Pour cela, nous avons décidé de poursuivre la pente amorcée entre les deux profondeurs datées (Fig. 1).

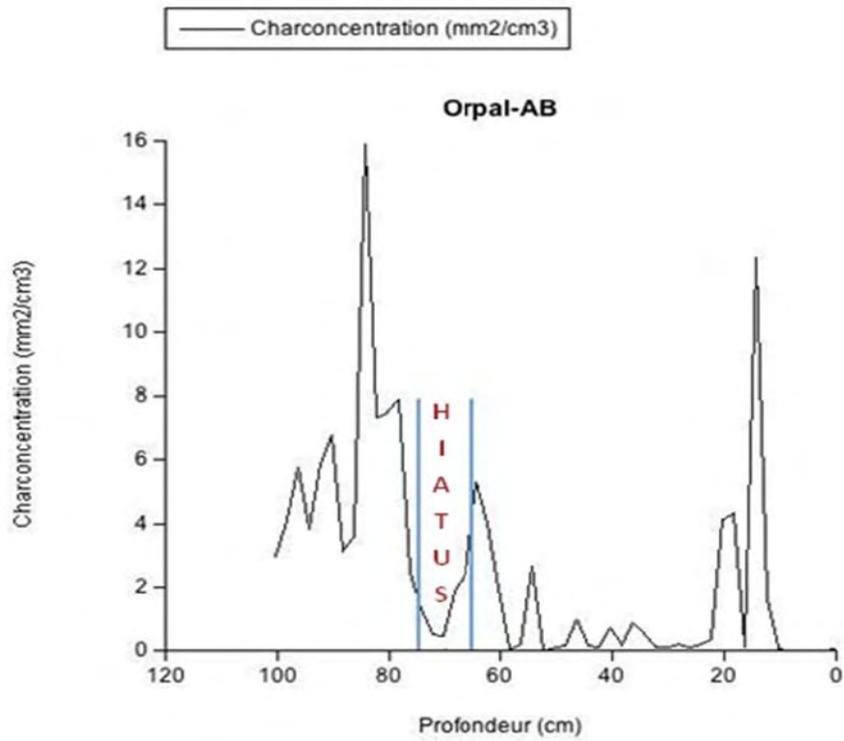


Figure 3 : Concentration en charbons selon la profondeur de la carotte AB

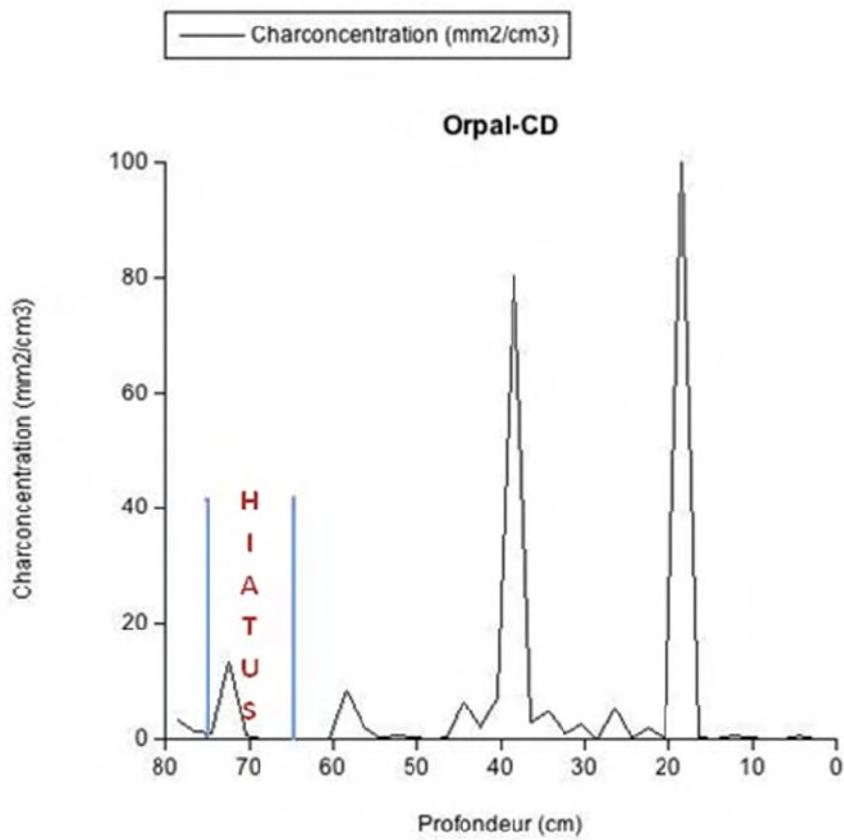


Figure 4 : Concentration en charbons selon la profondeur de la carotte CD

## 2- Concentration en charbons

La concentration de charbons de bois dans la séquence AB (Fig. 3) présente des variations qui oscillent de 16 et 0 mm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>

La partie inférieure (de 60 à 100 cm) est plus concentrée en charbons de bois que la partie supérieure (entre 60 cm et la surface). On observe cependant, un « pic » correspondant à une valeur de 12,3 mm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> à une profondeur de 15 cm.

Une seconde zone de concentration élevée en charbon se situe à 85 cm de profondeur avec un pic à 15,9 mm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>. En revanche, une chute brutale de la concentration s'observe entre 75 et 65 cm, atteignant pratiquement une concentration nulle en charbons.

L'ensemble des données sur la séquence CD (Fig. 4) affiche des concentrations largement supérieures (9 fois supérieures) à celles de la séquence AB. On retrouve cependant une évolution similaire de la concentration en charbon dans ces deux séquences. En effet, les concentrations sont relativement faibles sur l'ensemble de l'échantillon, avec deux pics qui se différencient. Le premier, observé à une profondeur de 38 cm, correspond à une concentration de 80,3 mm<sup>2</sup> / cm<sup>3</sup> tandis que le second, situé à environ 18 cm de la surface montre une concentration en charbons de 99,9 mm<sup>2</sup> / cm<sup>3</sup>. Une très faible concentration, voir une absence totale de charbon entre 60 et 70 cm de profondeur, est également observable.

## 3- Reconstruction des événements de feu

Les mesures de concentration de charbons de bois sont biaisées par le taux de sédimentation qui est variable dans le temps. Nous avons donc tenté de réaliser une courbe d'influx (mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>/an) calculée en fonction du modèle d'âge, et qui représente le taux d'accumulation de charbons de bois par année et non plus par centimètre. Ce type de courbe met en évidence le dépôt des charbons de bois dans le temps, et permet ainsi de reconstruire les événements de feux. Cependant, elle n'a pas pu être réalisée, aux vues de l'invalidité de notre modèle d'âge (Fig. 1).

## DISCUSSION

### 1- Chronologie

de Beaulieu (1969) a mis en évidence dans une précédente étude un hiatus sédimentologique au niveau de la tourbière entre 1925 ± 15 cal BP et 405 ± 139 cal BP. Les résultats que nous avons obtenus semblent appuyer ces observations. En effet, il semble anormal que la concentration en charbons devienne nulle ou quasi-nulle sur cette portion de tourbière qui représente à elle seule 1520 ± 254 cal BP. On dénote également une diminution anormale de la concentration pollinique à ce niveau qui passe de 180 000 à 60 000 grains de pollen.cm-3, avant de remonter à 180 000 grains.cm-3 (Thieblemont et al., 2007). L'hypothèse d'un hiatus sédimentaire lié à la disparition d'une ou de plusieurs parties de tourbe semble très probable.

Afin de réaliser un modèle âge-profondeur valable, il aurait été intéressant de dater nos propres carottes et d'avoir des datations supplémentaires, notamment une à 1 m de profondeur qui correspond à la partie la plus ancienne, une autre entre 80 et 65 cm et une dernière entre 65 cm et la surface.

### 2- Concentrations en charbons

Comme nous l'avons exposé précédemment, nous n'avons pas pu réaliser une courbe d'influx qui nous aurait permis de déterminer avec certitude les épisodes de feux aux alentours de la tourbière. Néanmoins, nous pouvons supposer que les pics de très fortes concentrations en charbons correspondent à des épisodes d'incendies.

Ainsi, il semblerait que nous détectons un premier épisode de feu entre 15 et 20 cm de profondeur. Parallèlement, à cette même période, on observe une régression forestière en milieu méditerranéen, notamment une régression des populations de Hêtres (*Fagus*) à l'étage montagnard et des populations de Chênes (*Quercus*) en ce qui concerne l'étage supraméditerranéen (de Beaulieu, 1969). Cette régression semble s'effectuer au profit des landes à l'étage montagnard et du

Châtaignier (*Castanea*) à l'étage supra-méditerranéen (de Beaulieu, 1969). Plus spécifiquement au niveau de la tourbière, les Cyperacées (*Carex*, *Eriophorum*, etc.), végétaux typiques des tourbières, laissent place aux Ericacées, indicatrices de pâturage (de Beaulieu, 1969). De plus, cet épisode de feux pourrait potentiellement correspondre à l'Ere industrielle (1800-1900), époque durant laquelle la végétation méditerranéenne a subi de nombreuses pressions de la part de l'Homme (Vernet, 1997). On peut donc supposer que les incendies que nous observons à cette date sont d'origine anthropique et qu'ils ont été initiés pour permettre le pâturage ou la mise en place de nouvelles cultures telles que celle du châtaignier ; ce dernier ayant à cette période une grande importance patrimoniale et vivrière (AME, 2002).

Un deuxième pic de feu est observable aux alentours de 85 cm de profondeur. En se référant aux travaux de de Beaulieu (1969), réalisés sur une seconde tourbière du massif du Caroux (tourbières similaires, séparées d'une dizaine de km), on peut étudier la végétation présente sur le plateau avant et après cette période. On s'appuie pour cela sur le principe de la palynostratigraphie qui suppose qu'il n'y a pas de variabilité locale, c'est-à-dire que les deux tourbières ont eu la même évolution au cours du temps. Ainsi, il y a 6000 cal. BP, les populations de bouleaux (*Betula*), de hêtres (*Fagus sylvatica*) et de sapins (*Abies alba*) étaient nombreuses à l'étage montagnard, puis vers 2000 cal BP, les populations diminuent, le sapin disparaissant même complètement (de Beaulieu, 1969). En ce qui concerne le chêne, une diminution est observable également. Toujours à la même période, la quantité de pollen d'arbres (A.P) diminue comparativement à la quantité de pollen d'herbacées (N.A.P) (de Beaulieu, 1969). Ce ratio A.P / N.A.P tend à diminuer dans le temps ce qui traduit une ouverture du milieu. Cette régression forestière est illustrée par le chêne (*Quercus*) ou les autres espèces citées précédemment alors que les landes à callune et des Ericacées se développent fortement en parallèle. Selon le même modèle que précédemment, l'épisode de feux

observable à une profondeur de 85 cm paraît être d'origine anthropique et a semble-t-il permis le pâturage du site, ainsi que la mise en place de nouvelles cultures.

La forte concentration en charbons observable autour de 40 cm de profondeur sur la séquence CD ne nous semble pas correspondre à un réel épisode de feu. D'une part, cette forte concentration ne se retrouve pas dans la séquence AB, et d'autre part, la proximité du ruisseau vis-à-vis du lieu d'échantillonnage de la séquence CD a certainement influé sur cette concentration. En effet, le transport des résidus de feux par le ruisseau a pu entraîner un apport en charbons plus important à ce niveau lors de période de débordement du ruisseau par exemple. Ces conditions taphonomiques expliquent aussi certainement que la concentration en charbons observée au niveau du premier pic soit neuf fois plus élevée dans la séquence CD que dans la carotte AB. Les charbons étant facilement transportables par le ruisseau, ils ont dû se déposer en plus grande quantité au niveau du site d'échantillonnage de la séquence CD. Par ailleurs, l'ensemble des différences de concentrations de charbons observées entre les séquences AB et CD montre une grande variabilité spatiale au sein même de la tourbière de Font-Salesse, et nous amène à nous demander si un seul prélèvement de tourbe peut à lui seul nous indiquer les réels épisodes de feux qui ont eu lieu dans cette localité.

## CONCLUSION

Les incendies de végétation ont toujours pris part à la dynamique des écosystèmes méditerranéens, bien avant que les activités humaines ne rentrent en jeu. Néanmoins, l'utilisation du feu par l'Homme à des fins d'exploitation du milieu, ces deux derniers millénaires, a entraîné des modifications au niveau des patrons de végétation et de la dynamique des feux.

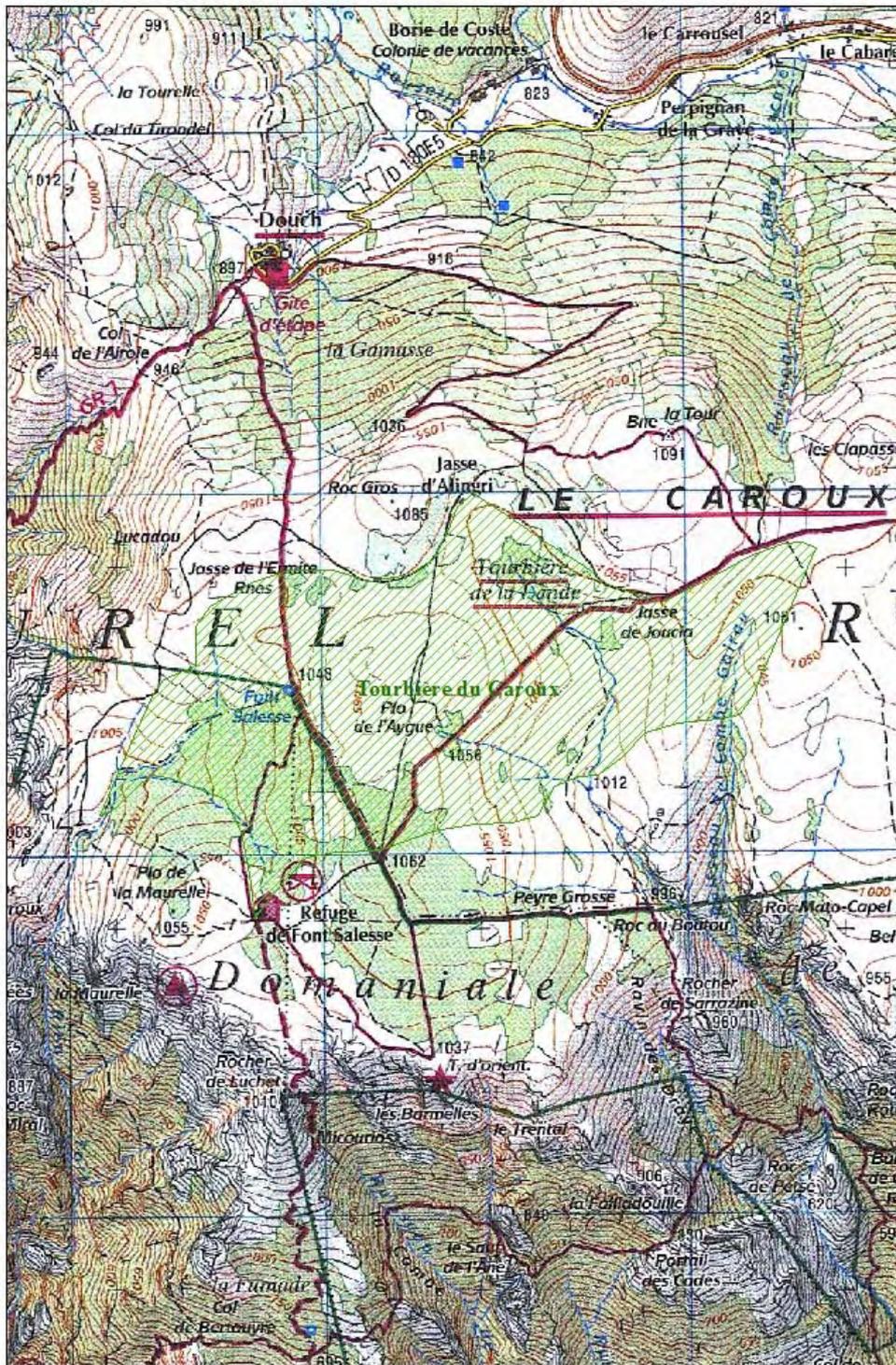
Les épisodes majeurs d'incendies observés au niveau de la tourbière de Font-Salesse correspondent en effet à de longues périodes d'usage agropastoral du feu permettant d'ouvrir les milieux.

Les changements de relation entre végétation et perturbations dans les écosystèmes posent des questions quant à leur stabilité et leur réponse future à de tels événements. Pour cela, il apparaît nécessaire de multiplier à l'avenir les études permettant de caractériser les variations de la fréquence des feux en milieu méditerranéen au cours du temps en fonction des variations climatiques et de l'occupation du territoire.

## REFERENCES

- AME - Agence Méditerranéenne de l'Environnement (2002). *Landes et pelouses en région méditerranéenne, pour une gestion par le pastoralisme*. Imp'act Imprimerie, 120 p.
- Carcaillet C., Bergeron Y., Richard P.J.H., Fréchette B., Gautier S. & Prairie Y.T. (2001). Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forest during the Holocene: Does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *Journal of Ecology*, 89 : 930-946.
- Carcaillet C., Bouvier M., Fréchette B., Larouche A.C. & Richard P.J.H. (2001). Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene*, 11 : 467-476.
- de Beaulieu J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et spores*, 11 : 83-96.
- Gavin D.G., Hu F.S., Lertzman K. & Corbett P. (2006). Weak climatic control of stand-scale fire history during the Late Holocene. *Ecology*, 87 : 1722-1732.
- Higuera P.E., Peters M.E., Brubaker L.B. & Gavin D.G. (2007). Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model. *Quaternary Science Reviews*, 26 : 1790-1809.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lynch J.A., Clark J.S. & Stocks B. (2004). Charcoal production, dispersal, and deposition from the Fort Providence experimental fire: interpreting fire regimes from charcoal records in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 : 1642-1656.
- Schumacher S. & Bugmann H. (2006). The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology*, 12 : 1435-1450.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended 14C database and revised CALIB calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Thieblemont M., Tognetti A. & Toral X. (2007). *Reconstitution palynologique de la végétation passée environnant la tourbière de Font-Salesse sur le massif du Caroux*. Mémoire ORPAL, Université Montpellier-2, Montpellier, 11 p.
- Vernet J.-L. (1997). *L'Homme et la forêt méditerranéenne, de la préhistoire à nos jours*. Editions Errance, 248 p.

# ANNEXES



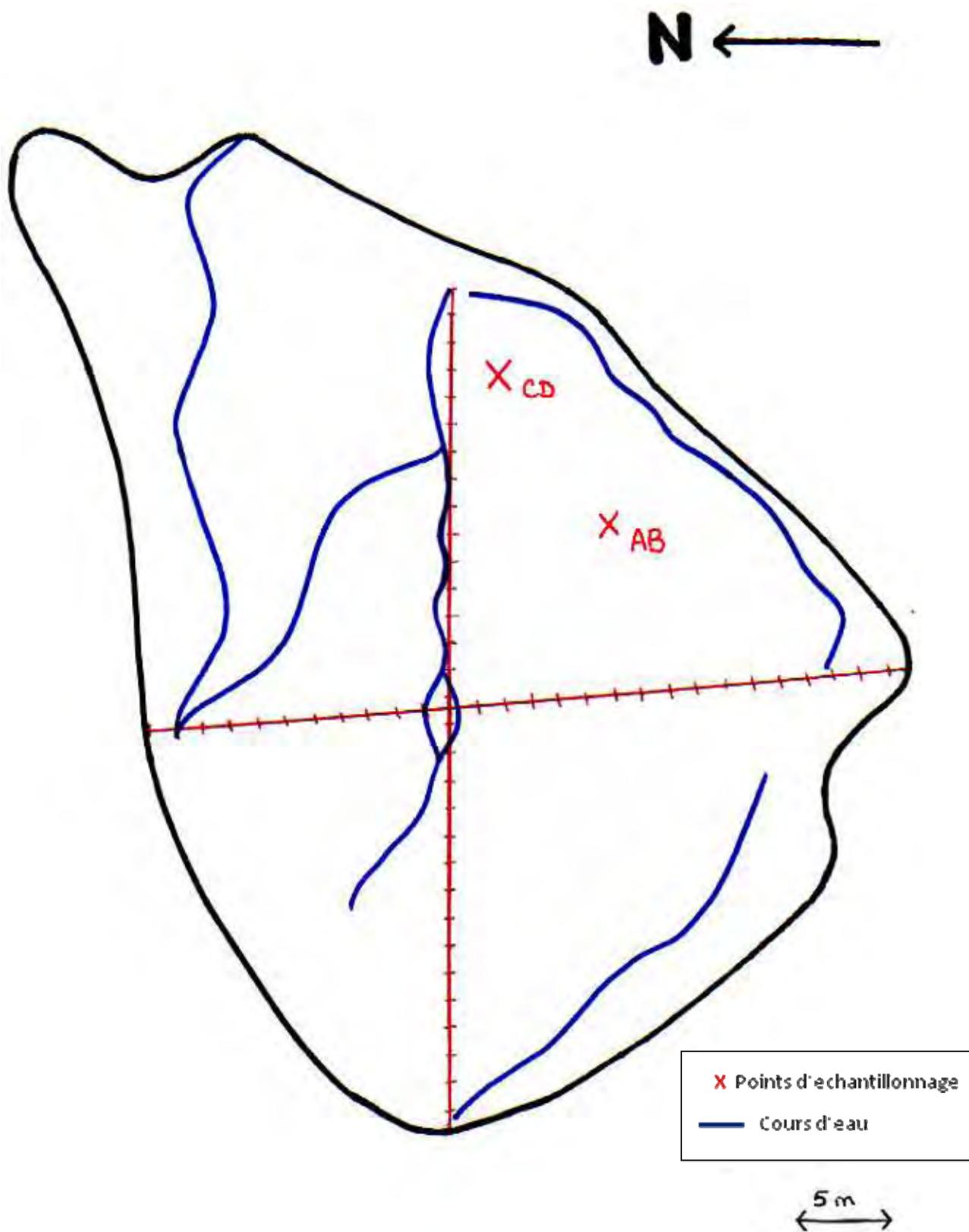
Echelle :  
1/25 000

Source s:  
IGN, 2005  
DIREN Languedoc-Roussillon, 1999

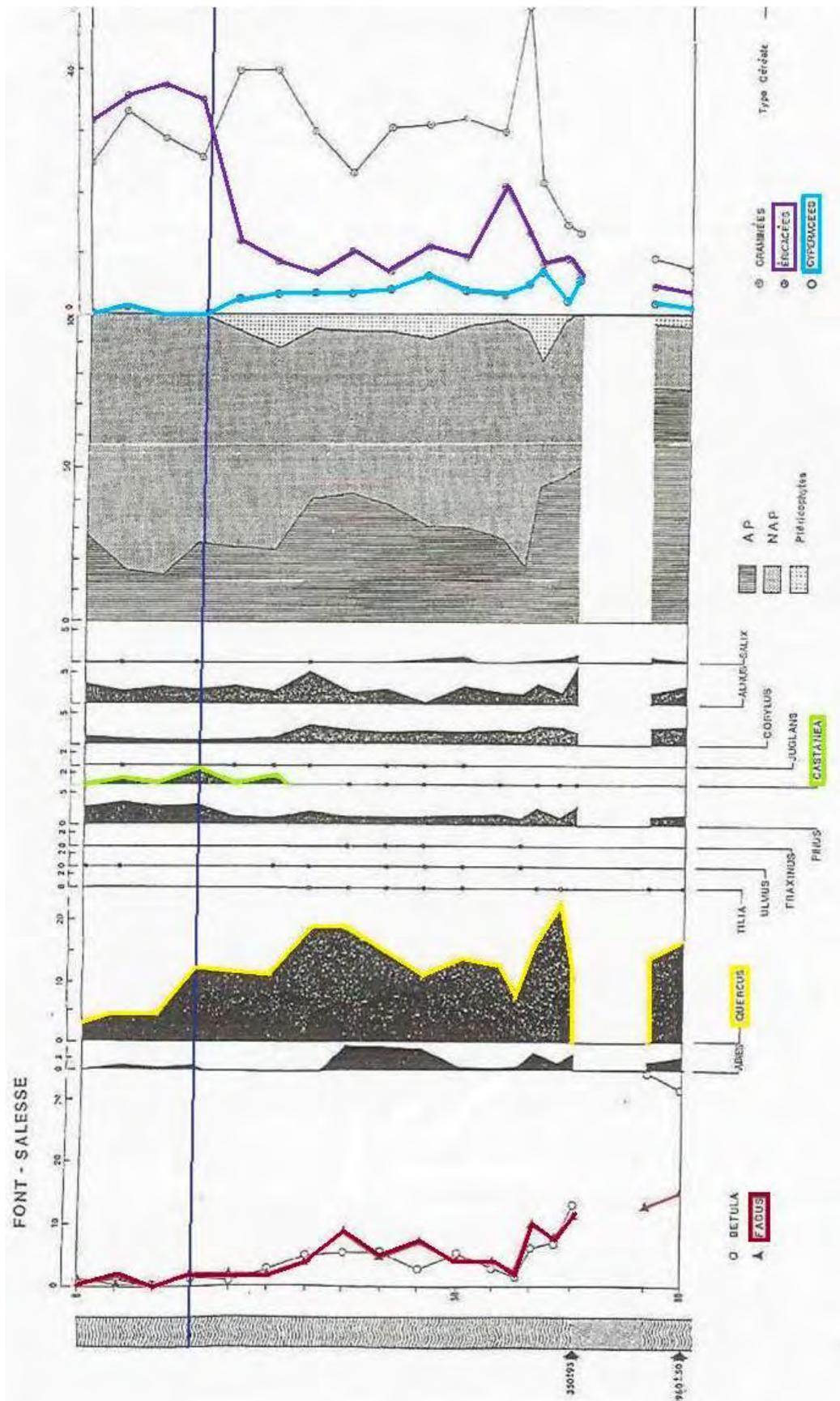
## Légende

 znieff\_type 1\_tourbière\_du\_Caroux

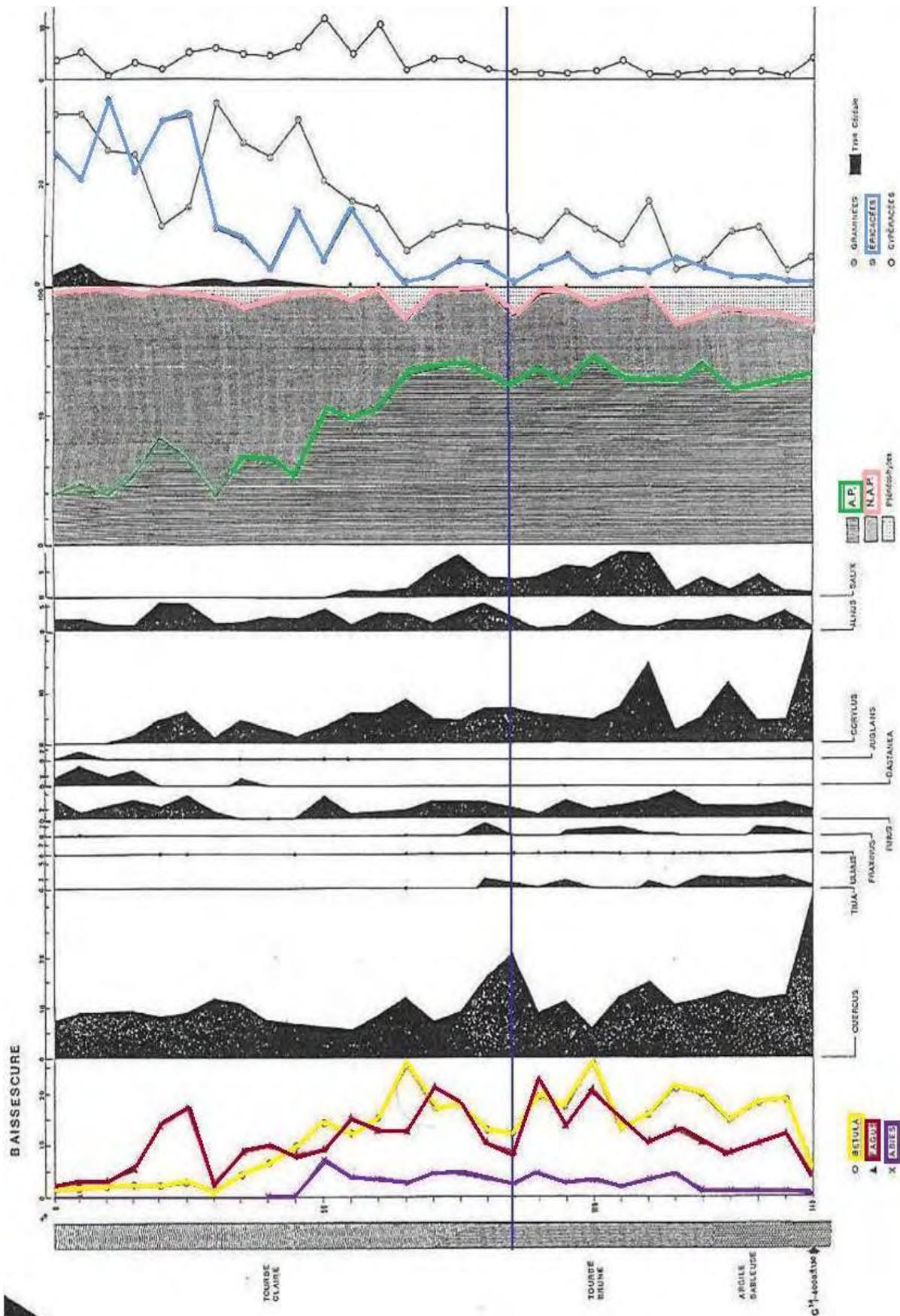
Annexe 1 : Vue satellite du massif du Caroux, Hérault



Annexe 2 : Carte de la tourbière de Font-Salesse



Annexe 3 : Diagramme palynologique de la tourbière de Font-Salesse (de Beaulieu, 1969)



Annexe 4 : Diagramme palynologique de la tourbière de Baissescure (de Beaulieu, 1969)

# CARACTERISATION DES SEDIMENTS DE LA TOURBIERE DE FONT-SALESSE, MASSIF DE L'ESPINOUSE

Gabriel Devique <sup>1</sup>, Amaury Engels <sup>2</sup>, Céline Rosset <sup>3</sup> et Kevin Rossignol <sup>4</sup>

*Institut des Sciences de l'Evolution, Équipe Paléoenvironnements et Paléoclimats  
Université Montpellier-2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5*

<sup>1</sup> gabriel.devique@etud.univ-montp2.fr, <sup>2</sup> amaury.engels@etud.univ-montp2.fr,  
<sup>3</sup> celine.rosset@etud.univ-montp2.fr, <sup>4</sup> kevin.rossignol@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Charly Favier.

**Résumé :** Les tourbières accumulent de la tourbe en raison d'une faible dégradation de la matière organique. Leur dynamique d'évolution est très étudiée dans le domaine de la paléoécologie. La tourbière minerotrophe de Font-Salesse a été subdivisée en plusieurs zones, étudiées le long d'un transect de carottes. Les résultats obtenus montrent que la couverture végétale et le développement de la tourbière sont étroitement liés, et que les sphaignes constituent l'élément essentiel du fonctionnement de la tourbière.

**Mots-clés :** tourbe minerotrophe, dynamique sédimentaire, carottage

**Abstract :** Peatlands accumulate peat because of a weak degradation of organic matter. Their dynamics of evolution is very studied in the field of the palaeoecology. The minerotrophic peatland (fen) of Font-Salesse has been subdivided into several zones, studied along a transect of cores. The obtained results show that the plant cover and the peatland development are strongly linked, and that *Sphagnum* are the main element of the peatland functioning.

**Keywords :** minerotrophic peat, sedimentary dynamics, coring

**L**es tourbières sont des écosystèmes accumulateurs de matière organique saturée en eau, qui couvrent aujourd'hui entre trois et quatre millions de kilomètres carrés à l'échelle du globe (Joosten & Clarke, 2002). La fragilité de ces écosystèmes a conduit l'Organisation des Nations Unies (ONU) à lancer en juin 2002 un programme de développement et de réhabilitation des zones humides et des marécages tourbeux (www.unac.org). L'accumulation de la tourbe est la résultante d'un déséquilibre entre la production de matière organique et sa décomposition. En effet, l'eau stagnante et acide empêche la prolifération de microorganismes nécessaires à sa décom-

position. D'autres paramètres comme le climat (Halsey et al., 1998), les activités anthropiques ou les incendies (Wein & MacLean, 1983) influencent la tourbigenèse. La décomposition très lente permet de conserver des indices de la flore passée, comme des graines, du pollen et des macrorestes ayant gardé une structure reconnaissable (Real et al., 1977). Les tourbières sont ainsi composées de matière organique et de débris végétaux dont les quantités changent en fonction de la profondeur et de la vitesse de décomposition, mais contiennent aussi de la matière minérale apportée par l'eau de ruissellement.

Il existe deux types de tourbières se différenciant par leurs apports hydriques :

- les tourbières minérotrophes, alimentées par l'eau de ruissellement et par la nappe souterraine, qui reçoivent des éléments minéraux en provenance du sous-sol minéral. Leur végétation est dominée par les Cypéracées et les mousses brunes, et comprend parfois des arbustes et quelques arbres épars (S. Muller, comm. pers.).
- les tourbières ombrotrophes, alimentées uniquement par les eaux de pluies, sont souvent issues de tourbières minérotrophes dont la surface s'est élevée et où les précipitations sont suffisantes (S. Muller, comm. pers.). Elles sont très acides, extrêmement pauvres en éléments nutritifs et sont généralement dominées par des sphaignes.

Les tourbières se situent principalement dans les zones boréale et arctique. Elles recouvrent actuellement 60 000 hectares en France, mais cette surface a diminué de moitié durant les cinquante dernières années (Manneville, 2001 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009). Or, en raison de la grande variété des substrats géologiques, de la géomorphologie, des altitudes et des climats, les tourbières présentent en France une grande biodiversité, en particulier végétale. Leur importance paléoécologique et leurs biocénoses typiques montrent tout l'intérêt de comprendre la dynamique des tourbières.

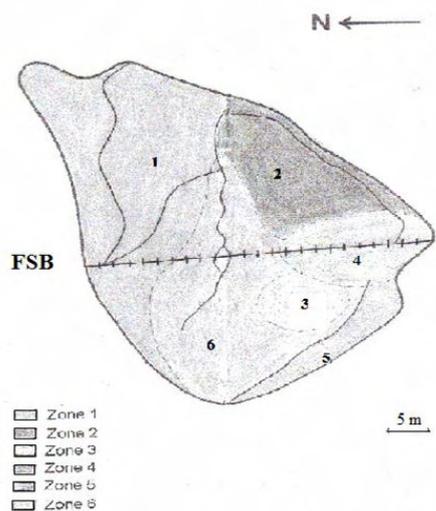
En région méditerranéenne, ces milieux sont rares car le climat sec ne permet que rarement l'accumulation d'eau. Elles se trouvent le plus souvent en moyenne montagne où le climat est plus propice. C'est le cas de la tourbière de Font-Salesse, située sur le mont Caroux (1124 m) dans le massif de l'Espinouse (Parc Naturel du Haut-Languedoc). Cette zone humide a fait l'objet d'études antérieures (de Beaulieu, 1969 ; Caubet et al., 2007). Ce

travail est basé sur ces études et vise à y associer une étude des sédiments tourbeux afin de comprendre la formation et l'évolution de la tourbière et préciser les contraintes subies par les différentes zones.

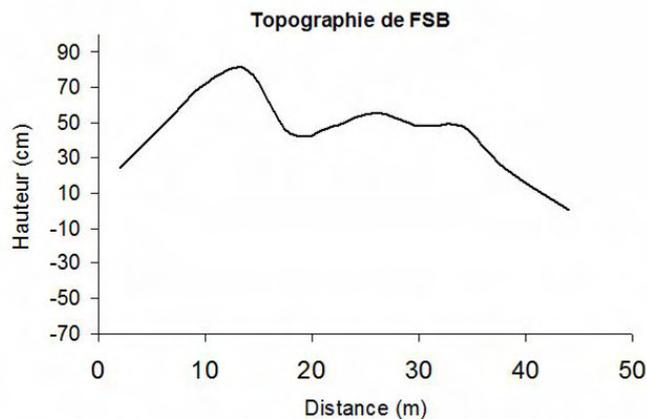
## MATERIELS ET METHODES

Le Mont Caroux est situé au cœur du parc naturel régional du Haut Languedoc et culmine à une altitude de 1124 mètres. Il est encadré à l'ouest par les gorges d'Héric et à l'est par les gorges de la Colombière. La région présente un climat montagnard méditerranéen en altitude, caractérisé par de fortes précipitations durant les équinoxes et par une sécheresse estivale. Il présente parfois des phénomènes climatiques assez violents que l'on nomme « épisodes cévenols ». Ce sont des pluies diluviennes, accompagnées d'orages localisés, concentrées sur quelques heures ou quelques jours. Ces épisodes sont dus à la rencontre de l'air froid originaire de l'Atlantique et de l'air chaud provenant de la Méditerranée. La végétation de la région, comme les hêtraies ou les pâturages abandonnés, indique une forte pression humaine passée.

La tourbière de Font-Salesse (43°35'59''N ; 02°58'29''E) est minérotrophe et se situe à une altitude d'environ 1030 mètres sur la partie ouest du Mont Caroux. Elle est traversée par plusieurs ruisseaux qui s'écoulent d'Est en Ouest. Elle mesure 60 mètres de long (nord-sud) et 45 mètres de large (est-ouest) (Fig. 1) et présente un léger dénivelé d'orientation Nord-Est/ Sud-Ouest. Elle subit des pressions anthropiques dont l'exemple le plus visible est un bassin artificiel situé à l'est. La tourbière a été divisée en différentes zones (Fig. 1) en fonction de la végétation.



Carte de la tourbière du Font-Salesse (ORPAL, 2007)



Topographie du transect FSB, (ORPAL, 2007)

Le zéro désigne le point le plus bas du transect

Figure 1. Cartographie et topographie de la tourbière de Font-Salesse (d'après Caubet et al., 2007)

**Zones 1 et 2 (saulaie périphériques).** Ce sont les zones les plus sèches où l'on trouve un fort couvert arborescent (principalement des saules cendrés et des hêtres), seulement quelques espèces arbustives. On y trouve aussi des joncs et des fougères qui ne sont présents que dans cette partie de la tourbière.

**Zone 3.** Cette zone possède une faible diversité spécifique, on note une abondance de callunes et quelques pins sylvestre et saules cendrés.

**Zone 4 (pinède).** C'est la zone la plus humide de la tourbière. On y trouve deux espèces de pins en grande proportion : le pin sylvestre et le pin à crochets. Ces espèces sont particulières aux tourbières en fin d'évolution ; la forte présence de ces conifères peut être expliquée par la faible diversité végétale de cette zone.

**Zone 5 (saulaie à sphaignes).** Cette zone possède une faible couverture arborescente (uniquement saules et bouleau), mais la diversité au niveau des herbacés est plus importante que dans les autres zones.

**Zones 6 (platières et ruisseau).** On note dans cette partie une absence de strate arborescente

et une strate herbacée bien diversifiée avec un grand nombre d'espèces de *Carex*.

Des carottes sédimentaires ont été prélevées en janvier 2007 à l'aide d'un carottier manuel en suivant un transect (transect FSB). Elles sont répertoriées à l'aide de chiffres: par exemple FSB 22, indique une carotte prélevée à 22 mètres de l'extrémité nord du transect. Au laboratoire, chaque carotte du transect FSB a été analysée de deux façons:

- La première analyse est une délimitation des différentes zones d'une carotte. Celle-ci est faite visuellement en se basant sur les différences de couleurs, la quantité de débris végétaux, la présence de sable...

- La seconde analyse est quantitative. Les échantillons sont prélevés dans les zones déterminées précédemment. On ajoute ensuite de l'eau à pour diluer le prélèvement et avoir ainsi une meilleure vue de l'ensemble. Ensuite, à l'aide d'une loupe binoculaire, on évalue en pourcentage les principaux éléments de la tourbe, autrement dit la matière organique, les débris végétaux et la matière minérale. De plus, tout élément reconnaissable est répertorié.

## RESULTATS

Les résultats de l'analyse sédimentologique sont présentés Fig. 2. Le diagramme est le bilan de l'analyse quantitative et nous indique l'évolution des différents composants de la carotte en fonction de la profondeur. La stratigraphie à droite du diagramme résulte des deux examens décrits précédemment. Les résultats des analyses qualitatives et quantitatives des différentes carottes sont présentés Fig. 3. On remarque dans un premier temps qu'il n'existe pas d'organisation-type. Chaque carotte présente une stratification qui lui est propre, tant du point de vue de la qualité que de la quantité des composants. On note toutefois l'accumulation générale de débris végétaux en

surface, aussi bien herbacés (feuilles de sphaignes, fleurs, tige...) que ligneux.

La proportion de matière organique et de minéraux amorphe augmente avec la profondeur. On note également que les carottes comportent d'autant plus de strates qu'elles sont proches du centre de la tourbière. Une fois ces analyses réalisées et la stratification des carottes déterminée, il nous est possible de les transposer sur la topographie de la tourbière et d'en proposer une organisation sédimentaire (Fig. 4). Cinq types majeurs de tourbe, différant par leur composition (qualitative et quantitative), se juxtaposent et se superposent en couches sédimentaires, peut-être en lien avec la notion de succession.

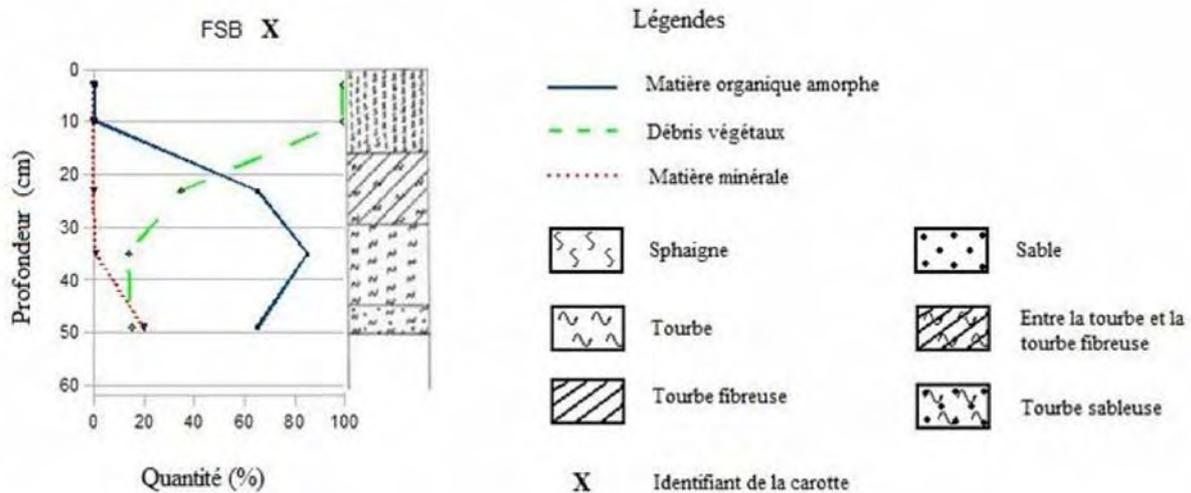


Figure 2 : Résultats des analyses sédimentologiques

## DISCUSSION

La stratigraphie présentée Figure 4 est une proposition de l'organisation des différentes strates de la tourbière, qui retranscrit son évolution passée. Il semble qu'on soit en présence d'une tourbière bombée (Caubet et al., 2007). Ces tourbières sont en général édifiées par des sphaignes auxquelles s'ajoutent d'autres bryophytes (Real et al., 1977). La formation de la tourbe se fait au dessus de l'eau : on parle de tourbières supra-aquatiques (Caubet et al., 2007). La profondeur comparée des carottes permet de

reconstituer la topographie du fond de la tourbière. On remarque que le fond de celle-ci a tendance à suivre la surface ce qui indique une tourbigenèse assez homogène (transect FSB). La profondeur la plus importante se trouve au centre de la tourbière (FSB 22 = 62 cm), alors que les profondeurs les plus faibles se trouvent aux extrémités (FSB 6 = 20 cm). Cette observation suggère que la tourbe s'accumule plus vite au centre de la tourbière ou que la partie centrale est plus ancienne.

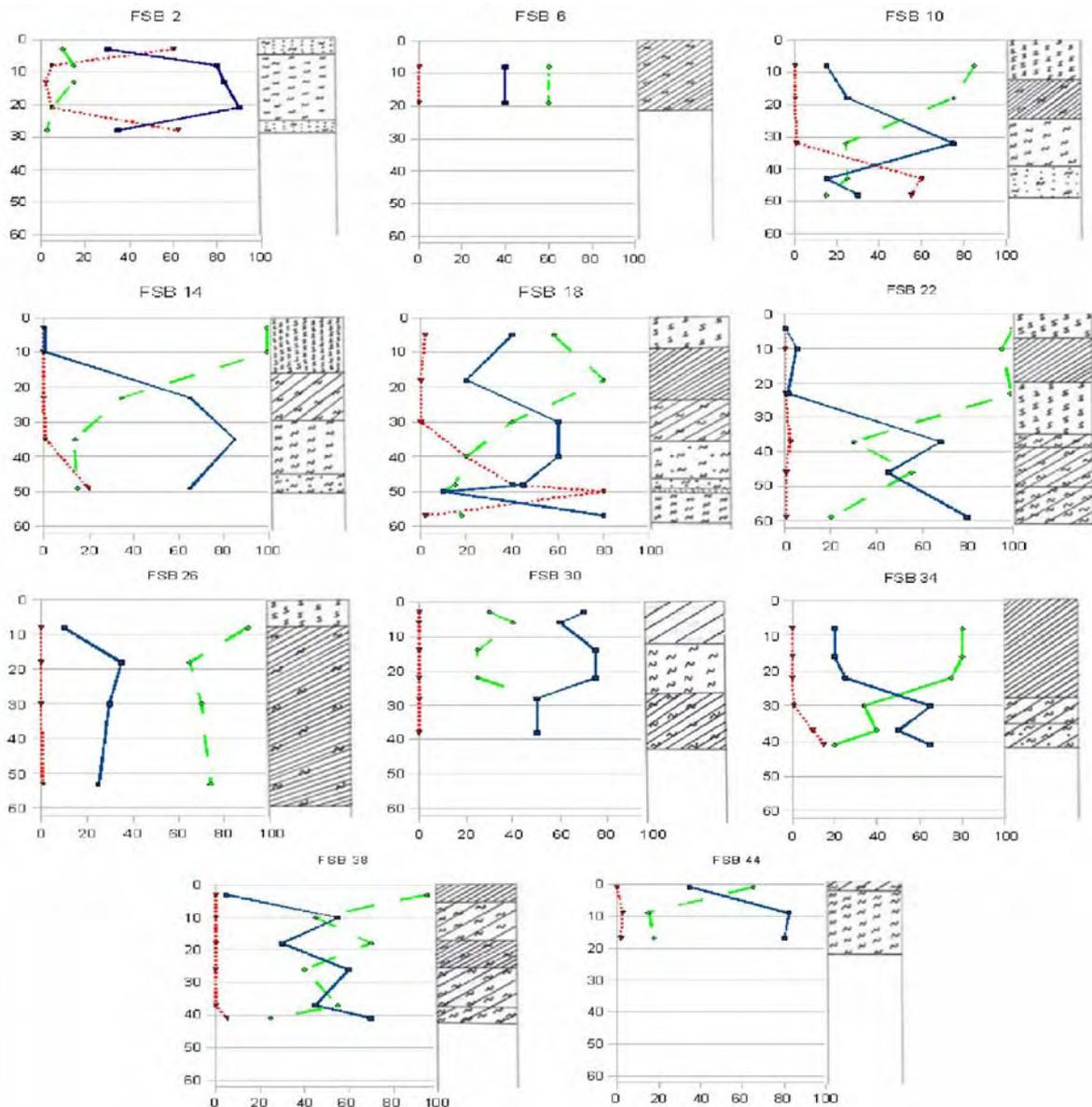


Figure 3 : Diagrammes quantitatifs et stratigraphiques des différentes carottes du transect FSB

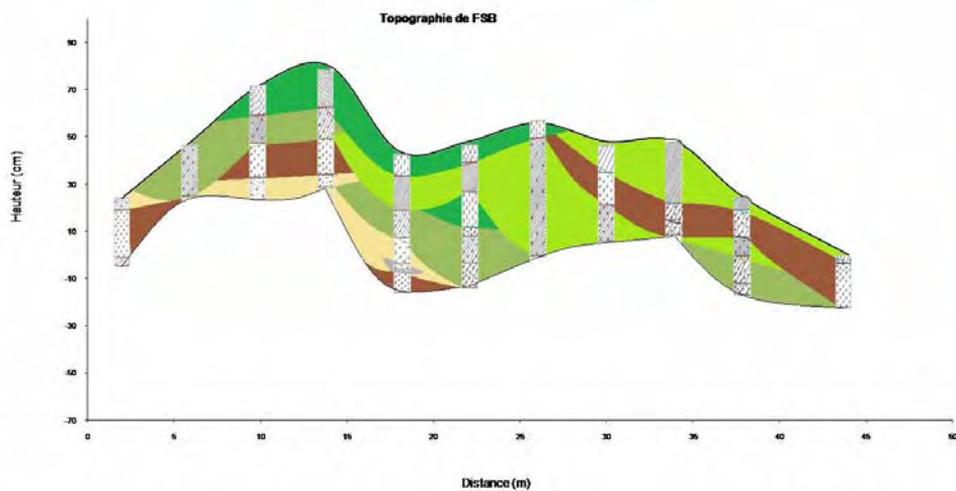


Figure 4 : Stratigraphie de la tourbière le long du transect FSB

La strate basale de la carotte 2 est une tourbe sableuse ce qui peut s'expliquer par la présence d'un ruisseau qui aurait charrié ce sable jusqu'ici. En appliquant le même raisonnement, on peut penser qu'il y avait un ruisseau il y a 1000 ans au niveau de la carotte n°18. Au niveau de la carotte 22, entre 700 et 400 BP, il y a eu une perturbation de la décomposition puisqu'on trouve peu ou pas de matière organique amorphe. En revanche, on peut observer des débris tels que des sphaignes en très bon état de conservation. La décomposition à cet endroit et à cette époque a été considérablement ralentie.

En regardant les couches basales de la stratigraphie, on peut remarquer trois zones distinctes. La première de 0 à 8 mètres correspond à de la tourbe peu fibreuse, la deuxième de 8 à 28 mètres composée principalement de sphaignes et la troisième de 28 à 44 mètres est une tourbe fibreuse. Ces zones définies d'après les couches stratigraphiques superficielles correspondent aux zones de végétation indiquées par la cartographie de la tourbière. On peut donc en déduire que la tourbière évolue principalement en fonction de la végétation, et qu'à première vue, la tourbière évolue selon ces 3 zones. Les sphaignes sont surtout présentes au niveau de la zone centrale tandis qu'au niveau des deux extrémités de la tourbière (carottes 2 et 44), on retrouve presque uniquement de la tourbe amorphe. On peut penser que la zone centrale est le moteur de la tourbière car les sphaignes forment la majorité de la tourbe et que les extrémités sont composées principalement de tourbe car la tourbière aurait tendance à s'étaler. La topographie et la profondeur peuvent soutenir cette hypothèse puisque le centre de la tourbière est plus haut et accumule plus de tourbe que ses bords. Ceci suggère que le point de formation de la tourbière, daté d'environ 2000 ans (de Beaulieu, 1969), correspond au centre de la tourbière actuelle qui a accumulé le plus de matière organique.

Une autre hypothèse peut être avancée pour expliquer la formation et l'évolution de la tourbière : la tourbière aurait pu être une étendue d'eau qui, en se faisant coloniser petit

à petit par les sphaignes, s'est transformée en tourbière. La tourbière serait maintenant en train de « se refermer ». Ses bords s'assècheraient petit à petit. Ceci expliquerait que les extrémités contiennent majoritairement de la tourbe et que le centre, encore bien humide, continue son développement de sphaignes. La tourbière semble en effet en fin de vie (S. Muller, comm. pers) : elle s'assèche lentement et l'envahissement par des ligneux, comme les saules, tend à y réduire l'humidité.

## CONCLUSION

La tourbière de Font-Salesse est une tourbière minérotrophe, avec un centre ombrotrophe et une tourbigenèse globalement homogène. Le témoin en est l'évolution relativement parallèle, sous forme de strates plus ou moins superposées et juxtaposées, entre la surface et le fond de la tourbière. On peut toutefois établir une zonation de la tourbe, résultant de différences au niveau du couvert végétal local. Cette végétation évolue et on note actuellement une colonisation du milieu par les ligneux, favorisant la dégradation de la matière organique par l'apport de dioxygène et conduisant ainsi au comblement de la zone humide. La tourbière de Font-Salesse apparaît ainsi comme une tourbière en fin de vie.

Notre étude a été basée sur des évaluations quantitatives relatives, et réalisées par quatre manipulateurs différents. Les interprétations ont pu être influencées par la perception de l'évaluateur. Par ailleurs, les analyses se sont portées sur des prélèvements effectués en 2007 par une autre équipe, et la conservation des carottes ayant parfois été altérée, la qualité des prélèvements peut parfois être mise en doute (en particulier en ce qui concerne la taille des carottes, du fait d'une perte d'humidité). L'étude des sédiments de la tourbière de Font-Salesse a permis de poser des hypothèses quant à sa dynamique et son évolution. L'étude d'autres tourbières du mont Caroux permettrait de déterminer si les communautés végétales tourbigènes actuelles et passées sont homogènes ou non sur l'ensemble du massif.

## REFERENCES

- Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Contexte et dynamique passés de la végétation d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 : 69-82.
- Caubet S., Chollet S. & Lemarchand C. (2007). *Dynamique de la végétation dans la tourbière de Font-Salesse, Massif du Caroux (Hérault)*. Mémoire ORPAL, Université Montpellier-2, Montpellier, 12 p.
- de Beaulieu J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et spores*, 11 : 83-96.
- Halsey L.A., Vitt D.H. & Bauer I.E (1998). Peatland initiation during the Holocene in continental western Canada. *Climate Dynamics*, 40 : 315-342.
- Joosten, H. & Clarke, D. (2002). *Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision-making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Finlande, 304 p.
- Manneville O., coord. (1999). *Le monde des tourbières et des marais*. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 319 p.
- Real P., Prost J.F., Charlier J., Contet M., Matthey W., Roux H., Robert J.Cl., Cretin J.Y. & François J. (1977). *Connaissance et sauvegarde des tourbières de la chaîne jurassienne*. Comité de liaison pour les recherches écofaunistiques dans le Jura, Besançon, 556 p.
- Wein R.W. & MacLean D.A. (1983). *The role of fire in Northern circumpolar ecosystems*. J. Wiley & Sons, Chichester, 322 p.