

Etude du sol à Fontainebleau

Sylvain Arlot, Valentin Bel Lassen et Sylvain Coq

ENS, Magistère de Biologie

Module Ecologie II

Université Paris VI

Stage encadré par Gladys Loranger et Jean-Pierre Rossi

12 Mai 2003

Table des matières

1	Matériel et méthodes	1
1.1	Site	1
1.2	Étude comparative des quatre stations de la Butte Montceau .	2
1.2.1	Paramètres édaphiques	2
1.2.2	Faune de la litière	5
1.2.3	Conditions de l'étude	6
1.3	Analyses statistiques	7
1.3.1	Analyse des données 2003	7
1.3.2	Analyse des données 1984-2000	7
2	Résultats	8
2.1	Paramètres édaphiques	8
2.1.1	Masse de litière et pH	8
2.1.2	Profils de sol	10
2.2	Faune du sol	10
2.2.1	Mésafaune	10
2.2.2	Macrofaune en 2003	10
2.2.3	Macrofaune de Fontainebleau de 1984 à 2000	14
3	Discussion	17
3.1	Mise en évidence d'un gradient environnemental	17
3.2	Interprétation avec le modèle hiérarchique	18
3.2.1	Absence d'influence du climat	18
3.2.2	Influence de la roche-mère	18
3.2.3	Influence du couvert végétal	20
3.2.4	Impact de la faune du sol	21
3.3	Perspectives	23

Introduction

La décomposition de la matière organique est un des principaux processus qui se déroulent dans le sol. Selon les milieux, celle-ci se déroule de différentes façons, plus ou moins rapides. Des différences importantes peuvent être observées même à une échelle géographique très restreinte. Ainsi, si l'on se promène en forêt de Fontainebleau, en descendant la butte Montceau vers la Seine, on est frappé de constater une grande variation en seulement quelques centaines de mètres. En haut de la butte, une épaisse couche de feuilles mortes — de l'année ou plus anciennes — recouvre le sol, tandis qu'au bord de la Seine, la litière est réduite à une unique couche de feuilles de l'année. Il ne semble pas que les végétations des différents sites fournissent des quantités de matière organique à décomposer très différentes. La cause de ce phénomène est donc à chercher dans les modalités de décomposition de la matière organique. L'objectif du stage que nous avons effectué est d'étudier le lien entre ce processus et les différences observées au niveau de la litière et des animaux présents.

1 Matériel et méthodes

1.1 Site

L'étude a été réalisée du 1^{er} au 4 avril 2003, sur le site de la Butte Montceau, dans la Forêt de Fontainebleau, dans le département de la Seine-et-Marne (77). Il s'agit d'une zone forestière en pente dont la partie la plus basse constitue un rive de la Seine. L'ensemble de la zone est compris entre 50 et 100 *m* d'altitude. Géologiquement, elle se situe dans une zone sédimentaire dans laquelle se succèdent des couches de nature pétrologique variée (sables, calcaires, marnes, argiles). Quatre zones ont été individualisées sur la butte, les différentes analyses ayant été effectuées sur chacune d'entre elles. La distinction entre ces zones est basée sur des critères de végétation et de nature de la roche mère. Cependant, l'établissement de ces zones avait été effectué préalablement et ne constitue donc pas l'un des objectifs de ce stage. La première station, située en haut de pente, correspond à une chênaie acidophile, la roche mère étant du sable de Fontainebleau. La végétation de la deuxième station, située un peu plus bas dans la pente, et de la troisième, encore plus basse, est une chênaie-charmaie. Mais la station 2 est située sur le sable de Fontainebleau, bien que le calcaire de Brie soit plus proche que pour la station 1, tandis que la roche mère de la station 3 est du calcaire de Brie. Enfin, la station 4, située en bas de pente et donc à proximité de la Seine,

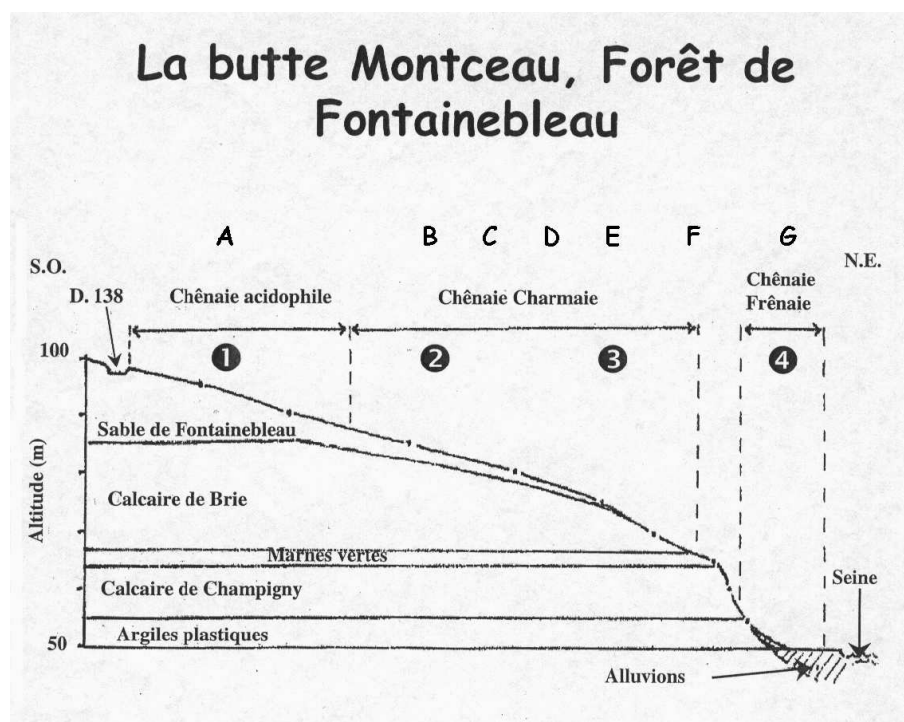


FIG. 1: Coupe géologique de la Butte Montceau et position des stations d'étude.

est une chênaie frêneie dont la roche-mère est en calcaire de Champigny sous lequel se trouvent des argiles plastiques.

1.2 Étude comparative des quatre stations de la Butte Montceau

Afin de réaliser une étude comparative des quatre stations, plusieurs caractéristiques biotiques et abiotiques du sol ont été étudiées.

1.2.1 Paramètres édaphiques

Profils de sol. Dans chacune des quatre stations, trois profils de sol ont été réalisés. Pour ce faire, on utilise une tarière de 130 cm de long (figure 2), qui permet de ramener en surface des cylindres de sol. En plaçant ces cylindres bout à bout, on peut visualiser la succession des différents horizons et mesurer leurs épaisseurs respectives. Lorsque cela était possible, les prélèvements ont été réalisés jusqu'à la profondeur maximale de 130 cm. Cependant, il arrivait parfois, notamment dans les stations où la roche-mère est de nature



FIG. 2: Tarière.

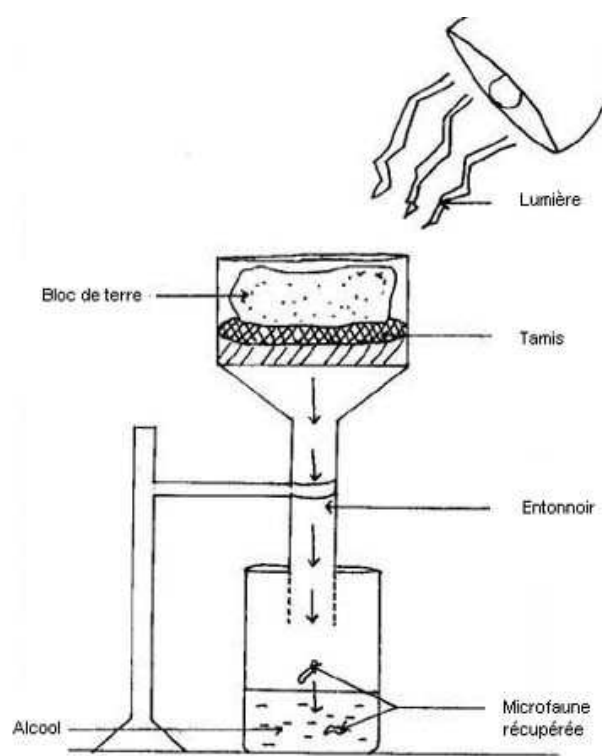


FIG. 3: Montage de Berlèse.

calcaire, que l'on tombe sur des blocs rocheux nous empêchant d'enfoncer plus profondément la tarière. Dans ce cas, nous nous sommes contenté des horizons accessibles (parfois, ça se produisait très tôt, et donc on essayait à d'autres endroits pour avoir une «meilleure» mesure). Nous avons ensuite identifié les différents horizons et mesuré, grâce à un mètre, la longueur de chacun d'entre eux. En déposant à terre sur des sacs en plastique les cylindres de sol extraits, ceux-ci perdent de leur cohérence et se désagrègent souvent, ce qui entraîne une augmentation de la longueur de l'échantillon. Pour calculer l'épaisseur réelle des horizons dans le sol en place, on fait l'hypothèse que le facteur d'augmentation de longueur est identique quelle que soit la profondeur, ce qui permet de corriger les épaisseurs mesurées par un simple calcul de proportionnalité : si l'on note m l'épaisseur mesurée de l'horizon, c l'épaisseur réelle de l'horizon dans le sol en place, l_t la longueur de tarière enfoncée dans le sol et l_p la longueur du profil après extraction, on a alors

$$c = m \times \frac{l_t}{l_p}.$$

La dernière couche se prolongeant au-delà de la profondeur atteinte, l'épaisseur indiquée pour le dernier horizon est toujours un minimum. Pour les stations 3 et 4, seuls deux échantillons ont été pris en compte au lieu de trois, les résultats n'étant pas tous utilisables.

Profil de litière. Dans chaque site, l'épaisseur de la litière a été mesurée. Six mesures correspondant à trois points de prélèvement ont été réalisés dans chaque station. Pour ce faire, on pose sur le sol une planche en bois carrée de 20 cm de côté, fermement maintenue grâce à un manche perpendiculaire. À l'aide d'un couteau denté, on découpe la litière le long des bords de la planche. On retire sol et litière sur l'un des côtés du carré. Depuis cette tranchée, on désolidarise, en découpant horizontalement dans un horizon situé sous la litière, la partie supérieure du sol, contenant notamment la litière, de la partie inférieure. On peut ainsi, à la main, retirer un carré de 20 cm de côté, contenant l'ensemble de la litière et une faible épaisseur de l'horizon suivant. L'épaisseur des différentes couches de litière est mesurée dans deux angles opposés du carré, ce qui explique que l'on ait deux mesures par point de prélèvement. L'épaisseur de l'horizon OL est mesurée par le nombre de couches de feuilles mortes non fragmentées. L'épaisseur de l'horizon OF est mesurée par le nombre de couches de feuilles mortes fragmentées. Enfin, l'épaisseur de l'horizon OH¹ est mesurée en cm, celle-ci étant assez facilement

¹Débris végétaux humifiés peu reconnaissables, amas de boulettes fécales et matériel fongique en décomposition.

reconnaissable par sa couleur foncée assez homogène. Il n'a pas été nécessaire de suivre un tel protocole pour la station 4 en raison de la faible épaisseur de litière.

Masse de litière. On utilise la même planche de 20 *cm* de côté pour prélever dix carrés de litière par site : on coupe une fois de plus selon les contours de la planche, on dégage la litière alentour, et on recueille la litière située sous la planche, en tentant de prendre le moins de sol possible. Ces échantillons sont utilisés pour l'analyse de la macrofaune (voir paragraphe 1.2.2). On place la litière triée à l'étuve à 102°C pendant 48 heures. On pèse alors les différents échantillons séchés, et on ramène les valeurs en g/m^2 .

Pour les stations 3 et 4, il restait un peu de terre avec la litière triée. Nous en avons enlevé le maximum, mais il en restait tout de même plus que pour les stations 1 et 2.

Autres caractéristiques du sol et de la litière. Dans les échantillons passés à l'étuve utilisés ci-dessus, on estime visuellement la proportion de feuilles blanchies, c'est-à-dire colonisées par des champignons de pourriture blanche.

La quantité de turricules de vers de terre a été estimée visuellement sur les sites, et classée qualitativement entre 0 et +++.

Mesure du pH. Dans chaque site, on prélève dix échantillons de sol superficiel à l'aide d'un plantoir à bulbe manuel, après avoir mis le sol à nu en dégageant la litière. On ne prend que les 5 *cm* supérieurs et le diamètre du plantoir est de 6 *cm*, soit un volume de 141 cm^3 . On homogénéise manuellement chaque échantillon, dont on prélève environ 50 *ml*. Les dix prélèvements sont mélangés manuellement dans une bassine pour former un échantillon composite, permettant d'obtenir en une seule mesure une valeur moyenne pour chaque site.

On mélange dans un bécher 100 *ml* de terre issue du mélange composite et 100 *ml* d'eau. On homogénéise la suspension ainsi obtenue par un agitateur magnétique. On mesure alors le pH dans chaque bécher grâce à un pHmètre, en prenant soin d'attendre une stabilisation de la valeur. Pour chaque échantillon composite, cette mesure est réalisée trois fois, pour contrôler son homogénéité.

1.2.2 Faune de la litière

On se contente dans cette étude de la faune de la litière, sans s'intéresser à celle du sol proprement dit. En effet, la méthode de prélèvement utilisée pour

faire remonter la faune du sol, utilisant le formol et donc très toxique, a été abandonnée. Cependant, les données utilisées pour l'analyse en composante principale (voir 1.3.2) correspondent à la faune du sol et non seulement de la litière, données récoltées entre 1984 et 2000.

Analyse de la mésofaune La mésofaune de la litière a été analysée grâce à un montage de Berlèse (figure 3). On prélève grâce au plantoir à bulbe de 6 *cm* de diamètre la litière qui se trouve sur les 28,3 *cm*² correspondants. On ne fait ces prélèvements que dans les stations 1 et 4 ; dans chacune de ces stations, six échantillons sont réalisés. Il s'agit d'un procédé simple basé sur l'effet répulsif de la chaleur et de la lumière pour la mésofaune des litières. On place chaque échantillon de litière dans un entonnoir bouché par un grillage de maille 2 *mm*, donc susceptible de laisser passer la mésofaune (acariens et collemboles principalement). L'entonnoir est placé quelques centimètres sous une ampoule à incandescence, dégageant chaleur et lumière, et quelques centimètres au dessus d'un béccher contenant de l'éthanol à 70%, qui fixe les animaux. Nous avons laissé ce système en place pendant environ trois jours. On recueille ainsi dans chaque béccher la mésofaune correspondant à un prélèvement. On procède alors au comptage de ces animaux à la loupe binoculaire.

Analyse de la macrofaune On utilise comme pour l'analyse de l'épaisseur et de la masse de litière une planche de 20 *cm* de coté. On fait dix prélèvements par station. On délimite avec elle un carré de litière, après avoir éventuellement pris soin de recueillir dans un sac en plastique à zip d'éventuel animaux à fuite rapide, comme des Araignées. Comme précédemment, on coupe les contours de la planche, et recueille la litière dans le sac. Au laboratoire, on trie avec attention la litière, en prélevant tous les animaux détectables à l'œil nu, et en les fixant dans un béccher d'alcool à 70%. Le contenu de chaque béccher, correspondant à celui de chaque prélèvement, est ensuite identifié à l'aide de [2] et [4], puis compté. Il nous est impossible de pousser l'identification jusqu'à l'espèce. Nous nous contentons donc de déterminer l'appartenance à de grands groupes, dont la liste est donnée dans le tableau 6.

1.2.3 Conditions de l'étude

Il est important de préciser les conditions, notamment météorologiques, des différentes mesures que nous venons de détailler. Le 1^{er} avril au matin ont été réalisés les profils de sol et de litière ainsi que les prélèvements pour le pH et la mésofaune. Le site était très sec, étant donné qu'il n'y avait pas eu de

pluie depuis plusieurs semaines. Les mesures de pH ont été réalisées l'après-midi même, et les montages Berlèse ont été mis en place. Les comptages de mésofaune ont ainsi été réalisés le 4 avril au matin, le temps d'extraire les animaux des prélèvements. Il a ensuite plu légèrement dans la nuit du 1^{er} au 2, si bien que le site était un peu humide le 2 au matin, pour les prélèvements de litière et les prélèvements de pH de la station 2². La macrofaune de litière a été extraite l'après-midi même, et la litière triée a alors été mise à l'étuve. Il n'était pas nécessaire de faire les comptages de macrofaune le jour même puisque les animaux prélevés ont été mis dans l'alcool. Ceux-ci ont donc été réalisés le lendemain.

1.3 Analyses statistiques

1.3.1 Analyse des données 2003

Pour tester la croissance ou la décroissance des différentes quantités mesurées entre la station 1 et la station 4, nous avons choisi un test *t* de comparaison de moyennes de deux échantillons indépendants. Nous n'avons indiqué à chaque fois que *p* pour plus de clarté, le nombre de degrés de liberté étant 4 pour le pH, 9 pour la mésofaune, 18 pour la macrofaune et la masse de litière. Pour la relation entre pH et masse de litière, nous avons effectué une régression linéaire sur les moyennes des points obtenus pour les quatre stations. Nous avons réalisé ces tests à l'aide du logiciel Statistica, dont sont également extraits la plupart des graphiques.

1.3.2 Analyse des données 1984-2000

De 1984 à 2000, des mesures de pH, de masse de litière et d'abondance de la macrofaune ont été effectuées à Fontainebleau, sur le site de la butte Montceau. La liste complète des données collectée est donnée en annexe (tableau 6). Il s'agit de relevés effectués par des étudiants au cours de stages de maîtrise. Contrairement à l'étude que nous avons réalisée en 2003, ces données tiennent compte de la faune du sol, qui était extraite en utilisant de l'eau formolée. Les stages ont eu lieu soit en automne, soit au printemps (en hiver pour 1989), mais il n'y a pas eu de mesures aux différentes saisons pour chaque année. Il y a sept stations de prélèvement sur la butte Montceau, notées par des lettres (A à G). Leurs positions géographiques sont indiqués sur la figure 1, ce qui permet de les situer par rapport aux stations 1 à 4. Nous

²Les résultats obtenus la veille pour cette station montraient qu'une erreur de manipulation avait dû être faite, ce qui a obligé à refaire des prélèvements le lendemain.

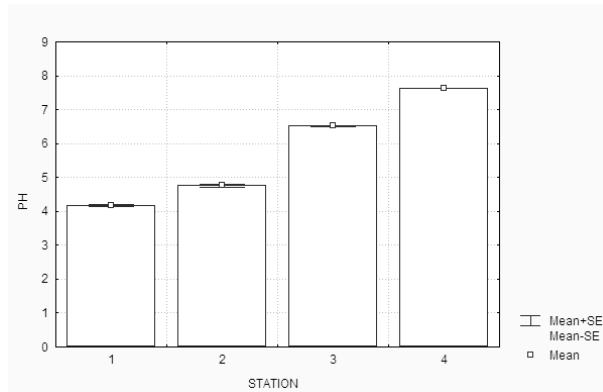


FIG. 4: pH. $p = 5.10^{-8}$.

n'avons cependant pas des données pour toutes les stations chaque année : la liste des données disponibles est en annexe (tableau 7).

Ces données ont été traitées en effectuant une analyse par composantes principales (ACP) sur la matrice des corrélations, les mesures de pH, de masse de litière et d'abondance des groupes taxonomiques n'étant pas de même nature.

L'existence d'effets «station», «saison» et «année» ont également été testées, à l'aide de tests par permutations (test de Mantel), avec 10.000 permutations pour chaque test. Nous nous sommes fixé un seuil de 5% pour dire s'il y a ou non un effet significatif.

2 Résultats

2.1 Paramètres édaphiques

2.1.1 Masse de litière et pH

Le pH augmente significativement ($p = 5.10^{-8}$) de la station 1 à la station 4 (figure 4).

La masse de litière au sol diminue significativement ($p = 3.10^{-7}$) de la station 1 à la station 4 (figure 5).

La figure 6 met en évidence la relation constatée entre le pH et la masse de litière dans les différentes stations de mesure de la butte Montceau : la masse de litière décroît lorsque le pH augmente. Une régression linéaire à été effectuée, montrant que cette décroissance est significative ($R^2 = 0.9894$).

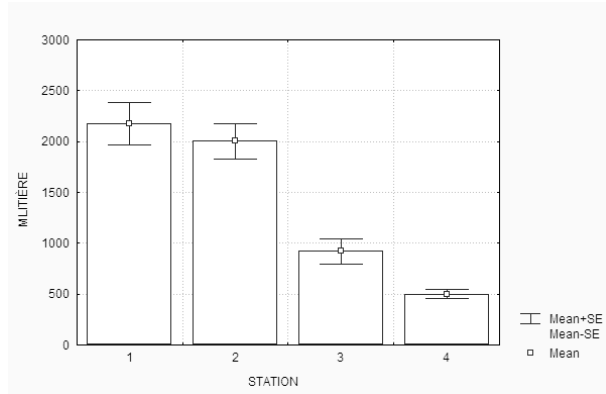


FIG. 5: Masse de litière, exprimée en g/m^2 .
 $p = 3.10^{-7}$.

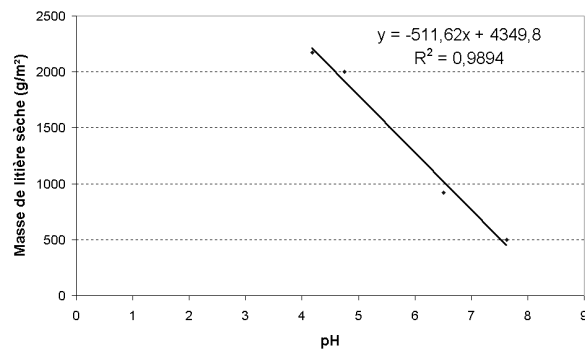


FIG. 6: Masse de litière en fonction du pH. Les valeurs indiquées sont les moyennes, la masse de litière étant exprimée en g/m^2 . La régression linéaire donne : $m_{lit} = -511 \times pH + 4.349 + \epsilon$, $R^2 = 0,9894$, avec m_{lit} en g/m^2 .

2.1.2 Profils de sol

Les profils de litière et de sol moyens obtenus pour les quatre stations sont représentés figure 7. Les valeurs numériques des épaisseurs sont en annexe (tableau 2). Ceci permet d'identifier les différents types de sol et les formes d'humus présents dans les quatre stations. On constate ainsi une diminution de l'épaisseur de la litière en allant de la station 1 à la station 4. En effet, on trouve en station 1 un humus de type dysmoder, et un luvisol épais. En station 2, on a un humus eumoder au-dessus d'un luvisol mince. A l'inverse, la station 3 possède un humus de type oligomull (mull acide) et un brunisol. Enfin, en station 4, un humus de type eumull (mull actif) recouvre un brunisol calcaire.

Il y a de moins en moins de feuilles blanchies de la station 1 à la station 4. Tandis qu'on ne trouve pas de turricules de vers de terre sur les stations 1 et 2, ceux-ci sont abondants dans les stations 3 et 4 (tableau 2).

2.2 Faune du sol

2.2.1 Mésofaune

L'abondance de la mésofaune dans son ensemble baisse de la station 1 à la station 4, de même que pour chaque groupe séparément, mais ces différences ne sont pas significatives. Les résultats des tests statistiques ainsi que les valeurs numériques des abondances sont indiquées dans le tableau 4. L'une des six mesures est à l'origine de l'écart-type très important en station 1, notamment pour les acariens. Cependant, les tendances observées sont les mêmes lorsque l'on retire cette mesure, ou lorsque l'on prend les résultats de la première semaine de stage.

Les proportions des différents groupes sont assez différentes entre les deux stations : les acariens sont majoritaires en station 1 (figure 8), alors qu'ils sont presque absents en station 4 (figure 9).

2.2.2 Macrofaune en 2003

De la station 1 à la station 4, l'abondance totale de la macrofaune diminue (figure 17). A l'intérieur de la plupart des groupes (enchytreides, larves de diptères, larves de coléoptères, chilopodes, diplopodes, figures 11 à 15), cette même décroissance est significative (voir tableau 5). A l'opposé, l'abondance de vers de terre (figure 10) croît de la station 1 à la station 4, mais de manière non-significative ($p = 0,37$).

Les abondances relatives à l'intérieur de chaque station (figure 18) sont différentes suivant les stations, avec une tendance — à vue d'œil — à la

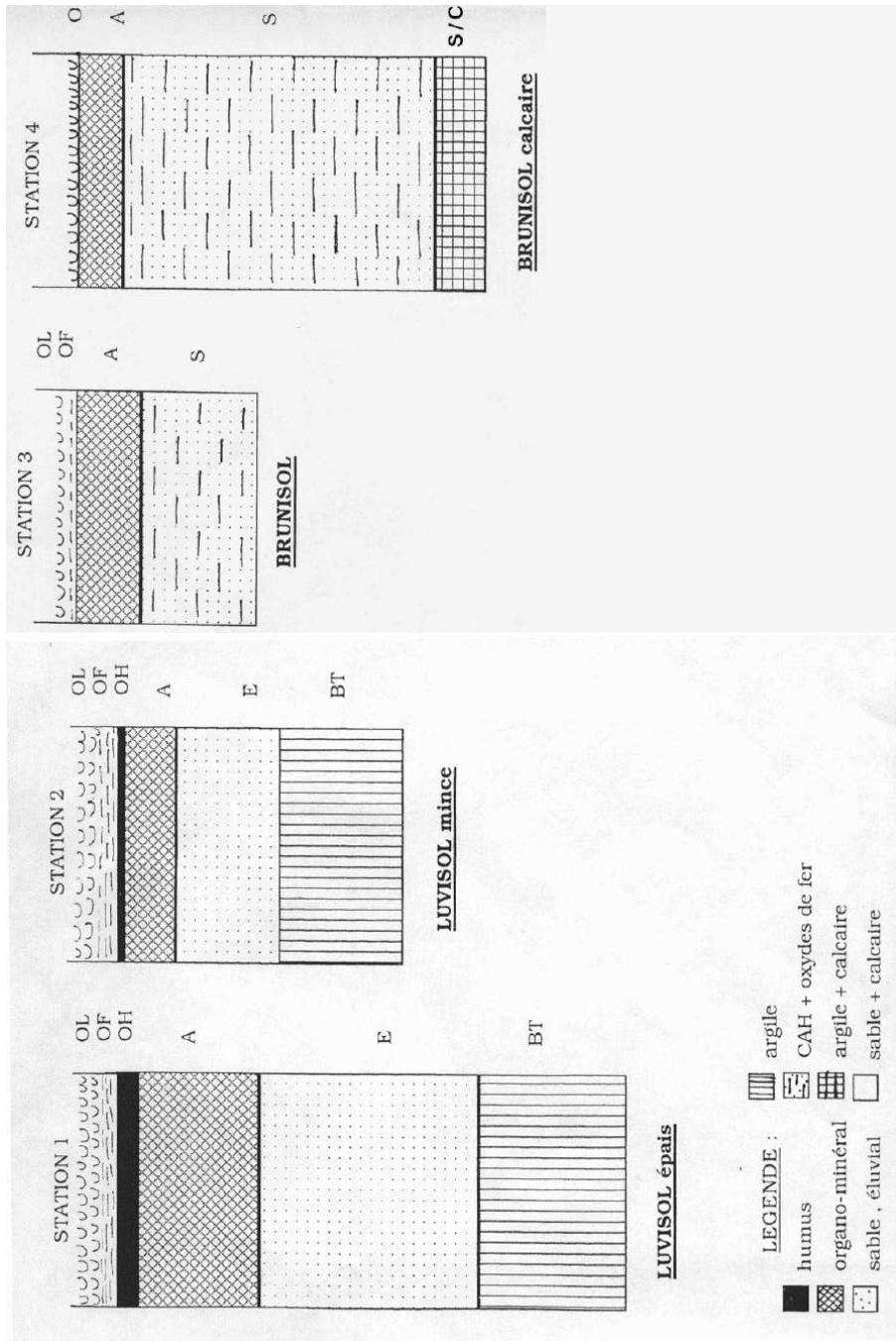


FIG. 7: Profils de sol. (Échelle 1 :19,5)

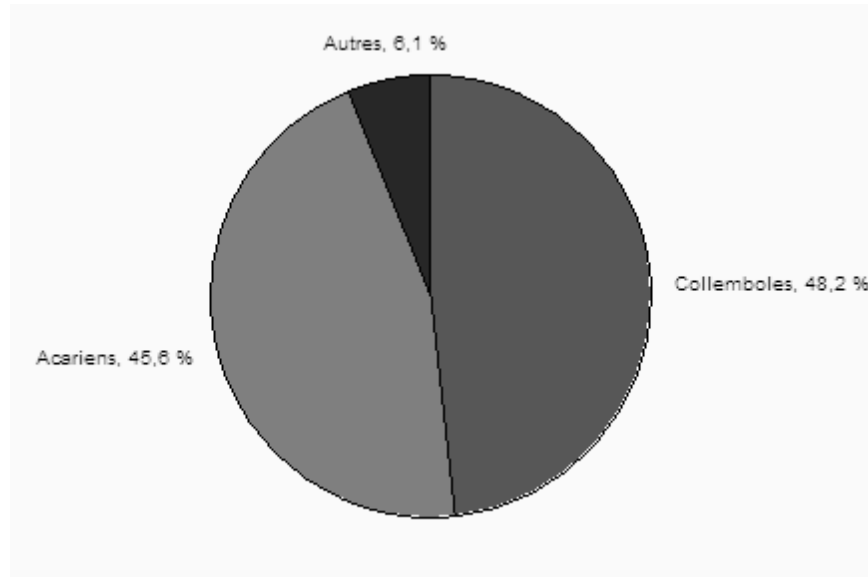


FIG. 8: Répartition de la mésafaune en station 1.

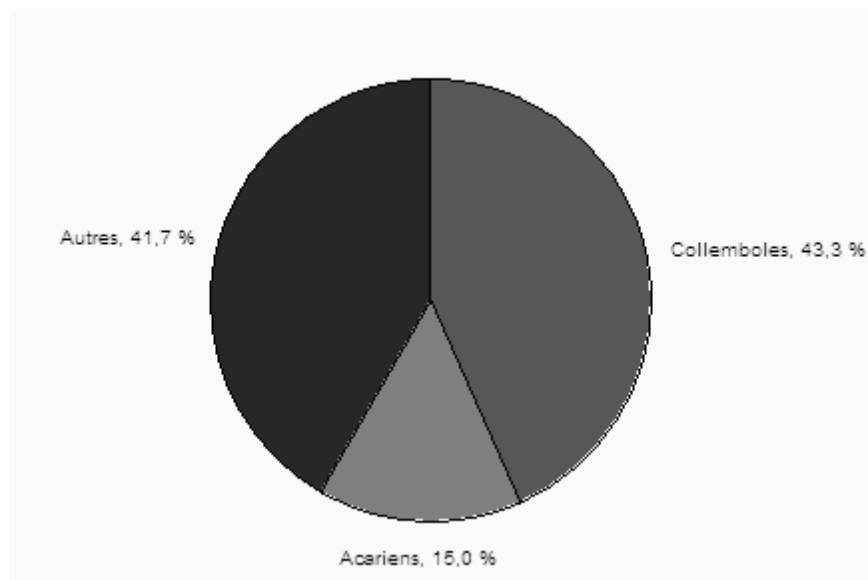


FIG. 9: Répartition de la mésafaune en station 4.

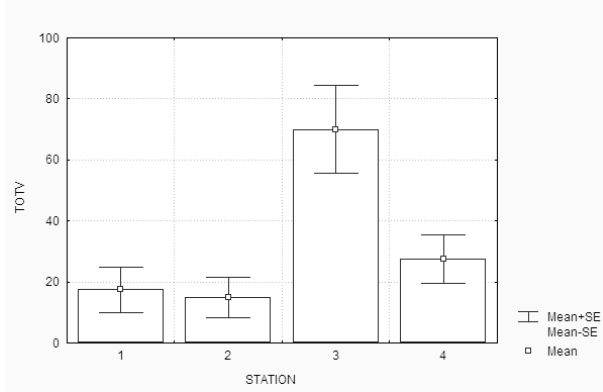


FIG. 10: Vers de terre. $p = 0,370$.

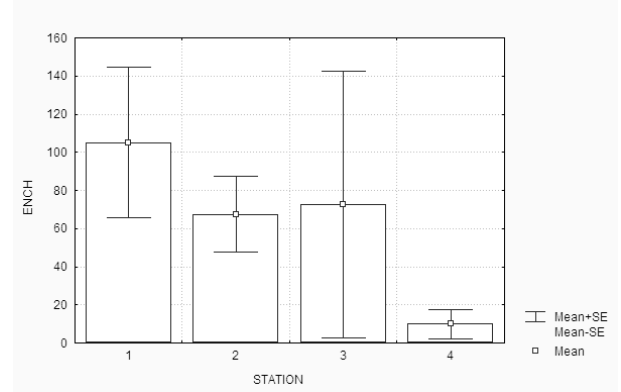


FIG. 11: Enchytreides. $p = 0,029$.

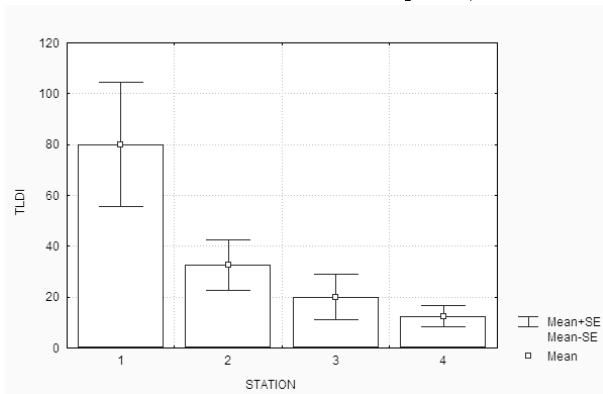


FIG. 12: Larves diptères. $p = 0,014$.

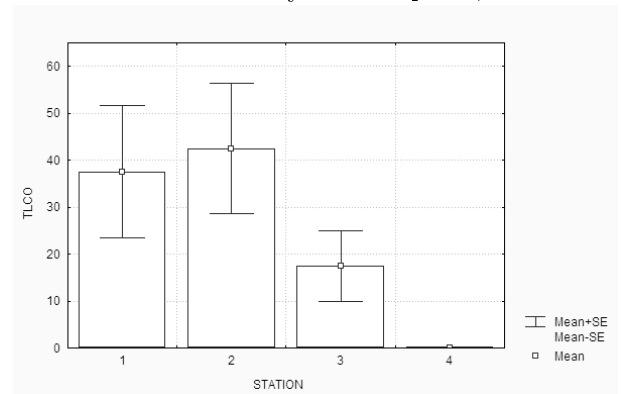


FIG. 13: Larves coléoptères. $p = 0,016$.

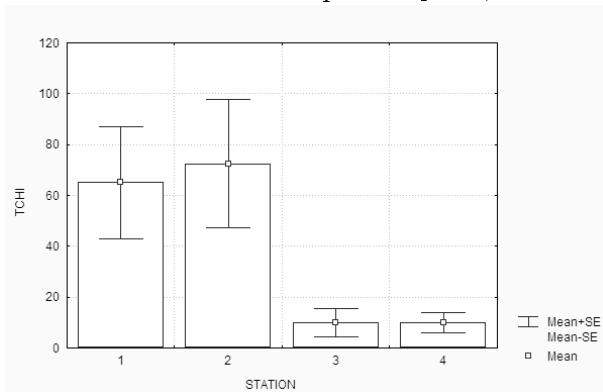


FIG. 14: Chilopodes. $p = 0,025$.

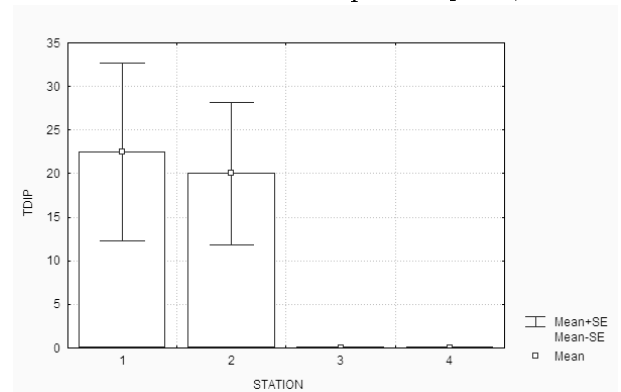


FIG. 15: Diplopoedes. $p = 0,040$.

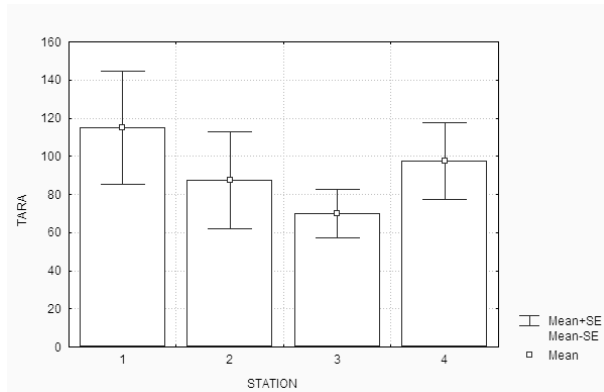


FIG. 16: Arachnides. $p = 0,631$.

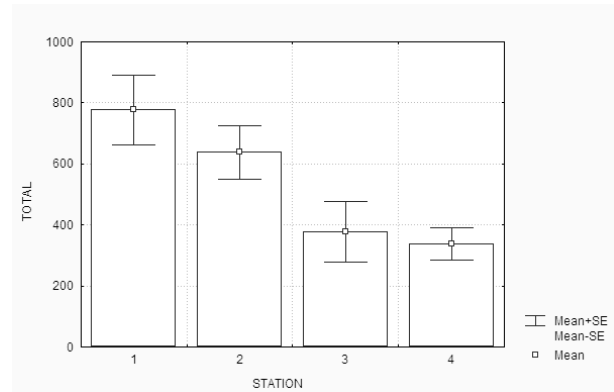


FIG. 17: Total faune. $p = 0,003$.

diversification.

2.2.3 Macrofaune de Fontainebleau de 1984 à 2000

L'analyse par composantes principales réalisée sur les données de macrofaune du sol de Fontainebleau a permis de dégager les deux principaux axes factoriels. L'axe 1 présente une inertie de 21,31% et celle de l'axe 2 vaut 13,35%. Le cercle des corrélations des variables avec ces deux axes est représenté figure 19. L'axe 1 est corrélé positivement avec le pH et l'abondance de vers de terre, et négativement avec la masse de litière et l'abondance de plusieurs groupes taxonomiques tels que les larves de coléoptères, les coléoptères adultes, les chilopodes et les araignées. En revanche, l'abondance de diplopodes, d'isopodes, de limaces et de larves de lépidoptères sont faiblement corrélés à l'axe 1. Toutes les variables exceptées l'abondance de larves de diptères sont négativement corrélées à l'axe 2 : les abondances de diplopodes, vers de terre et escargots le sont fortement, tandis que celles des larves de coléoptères et de diptères, des coléoptères adultes, des araignées et des pseudo-scorpions sont quasiment indépendantes de cet axe.

Les axes 3 et 4 représentent respectivement 8,70% et 7,44% de l'inertie totale. Nous n'avons pas tenu compte de ces résultats en raison de leur faible représentativité.

La projection de l'espace des objets sur le plan des axes factoriels 1 et 2 est représentée en annexe, aux figures 22 (en regroupant par station), 23 (par saison) et 24 (par année). Les tests par permutation ont montré que les effets «station», «saison» et «année» sont significatifs (tableau 1).

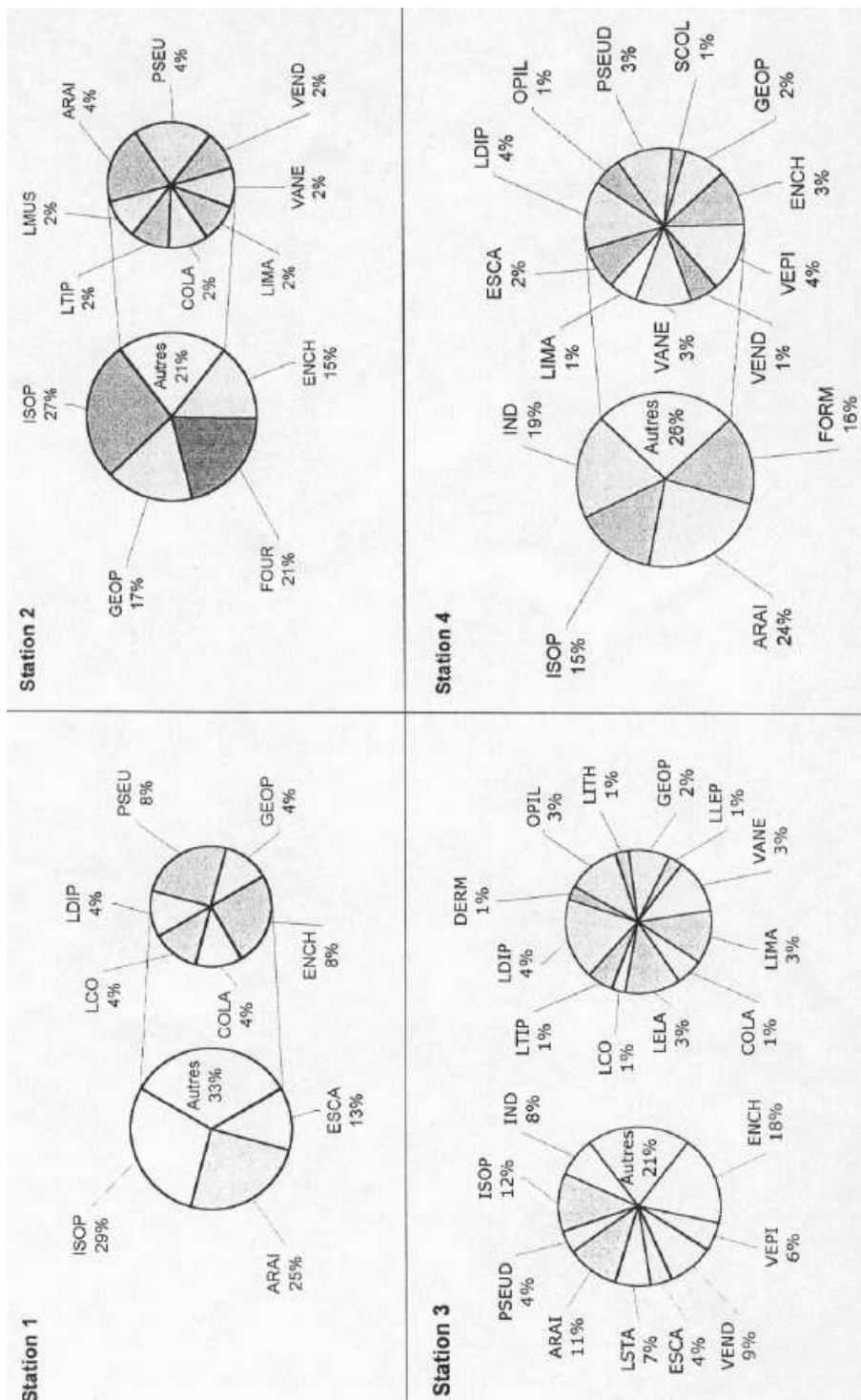


FIG. 18: Répartition de la macrofaune par station.

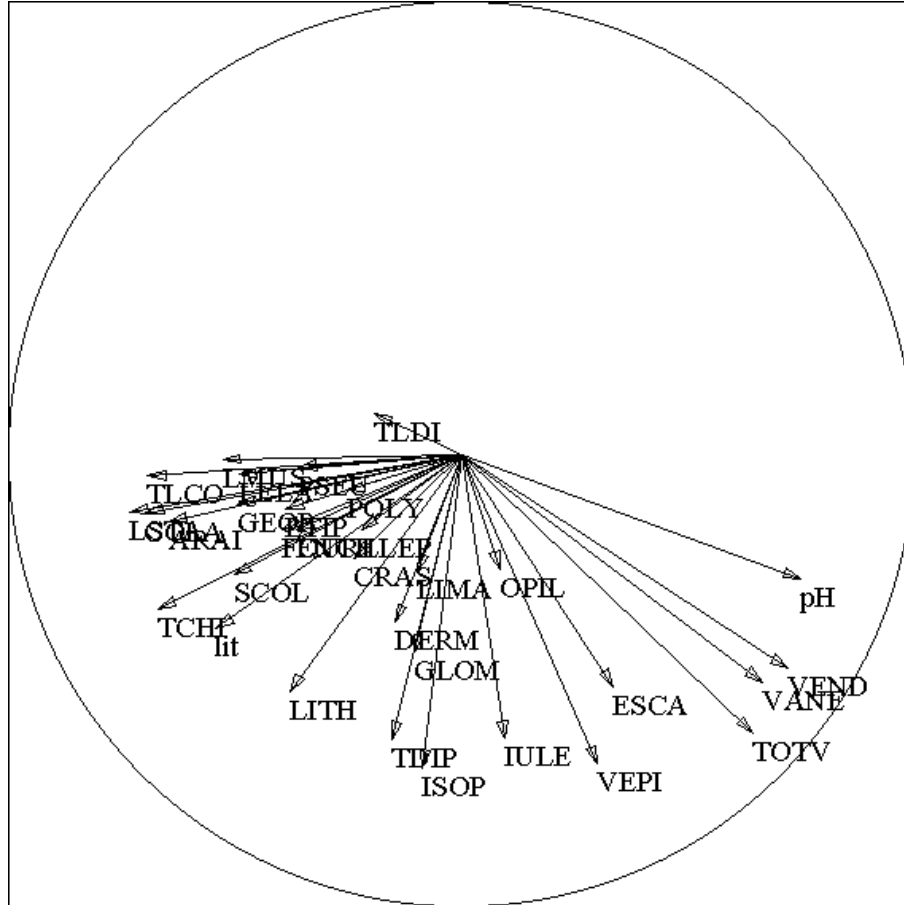


FIG. 19: Cercle des corrélations (l'axe 1 est horizontal et l'axe 2 vertical). La légende est en annexe (tableau 6).

Variable	Effet «station»	Effet «saison»	Effet «année»
X_{obs}	6,6832	1,8745	10,9701
X_{min} simulée	1,3567	0,2587	3,8745
X_{max} simulée	6,6832	2,2939	10,9701
$\mathbb{P}(X \geq X_{obs})$ estimée	$< 0,0001$	$\leq 0,0018$	$< 0,0001$

TAB. 1: Résultats des trois tests par permutation. Ces tests ont chacun été effectués avec 10.000 simulations. X désigne l'inertie inter-groupes calculée pour un regroupement aléatoire, et X_{obs} la valeur correspondant au regroupement testé.

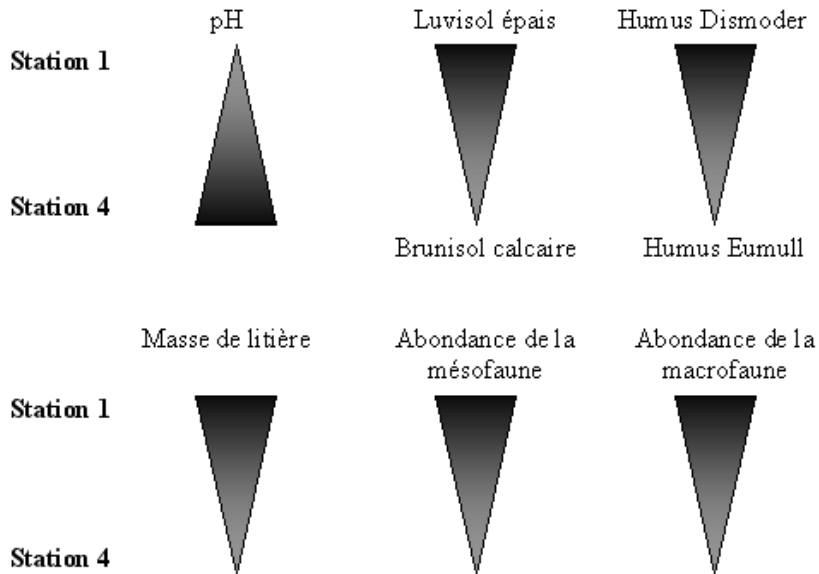


FIG. 20: Récapitulatif des différents gradients mis en évidence.

3 Discussion

3.1 Mise en évidence d'un gradient environnemental

Les résultats des diverses analyses menées ont le plus souvent mis en évidence des gradients d'évolution des paramètres de la station 1 à la station 4. Ceux-ci sont résumés et réunis dans la figure 20.

Cette vision synthétique nous permet d'affirmer que les stations choisies se situent effectivement le long d'un gradient environnemental caractérisé par les variations de nombreux paramètres distincts (pH, type de sol, type d'humus, masse de litière et abondance de la faune). Ce même gradient est mis en évidence par les données de 1984 à 2000, puisque l'effet station est significatif. Il correspond à l'axe 1 de l'analyse par composantes principales (2.2.3) : la figure 22 montre que les stations sont séparées par l'axe 1. Le cercle des corrélations (figure 19) confirme les paramètres corrélés avec ce gradient.

Néanmoins, les observations ne nous permettent pas d'établir les liens de cause à effet entre les différents paramètres : l'approche que nous avons eue reste corrélative. Il peut donc être intéressant d'émettre et de discuter des hypothèses sur les phénomènes qui causent le gradient observé et qui relient l'évolution des différents paramètres le long de ce gradient.

3.2 Interprétation avec le modèle hiérarchique

Une bonne manière de discuter des liens de cause à effet entre les différents phénomènes observés est sans doute d'utiliser la grille d'analyse de Patrick Lavelle : le modèle hiérarchique (1993). Celui-ci introduit une hiérarchie entre les différents phénomènes selon leur échelle : climat, roche-mère, végétation et faune du sol.

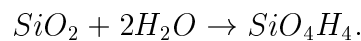
3.2.1 Absence d'influence du climat

Le premier élément susceptible de jouer sur la nature des sols est le climat. En effet, la quantité d'eau reçue a un impact sur l'ensemble des processus qui ont lieu dans le sol : dégradation de la roche mère, oxygénation du sol, nature des peuplements végétaux, etc. La température, l'existence de gel, et les autres facteurs climatiques ont également un rôle pouvant déterminer la nature et le fonctionnement des sols. Mais l'échelle du climat n'est pas adéquate pour expliquer les différences entre les quatre stations étudiées. En effet, ces quatre stations, très proches, bénéficient d'un climat identique.

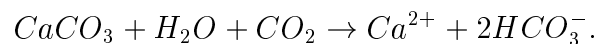
3.2.2 Influence de la roche-mère

En revanche, nous avons vu dans la première partie que les roches-mères différaient suivant les stations. Le matériau originel des stations 1 et 2 est de nature siliceuse (sable de Fontainebleau), tandis que celui des stations 3 et 4 est de nature calcaire. Ceci introduit une grande différence quant aux conditions dans lesquelles ces sols et les communautés qui y vivent se sont formées.

Dans l'établissement du pH. La différence la plus marquée se traduit par des pH du sol différents. On observe en effet une augmentation significative du pH de la station 1 vers la station 4 (figure 4). En effet, la silice se dissout en acide monosilicique, selon une réaction du type :



En solution, on va ainsi obtenir un pH acide ([3] Duchaufour, 2001). Au contraire, dans le cas d'une roche-mère de nature calcaire, l'altération donne lieu à une réaction du type :



Or cet ion hydrogénocarbonate se comporte majoritairement comme un base en solution. Cela donne donc un pH basique.

Dans la structure physique du sol. De plus, le type de roche-mère peut, par l'intermédiaire du pH et des ions, jouer un rôle sur l'état de floculation des argiles. En effet, les ions hydrogène et calcium, chargés positivement, interagissent avec les charges négatives des argiles et les neutralisent. Cela diminue la répulsion entre argiles et augmente donc la floculation. Or, dans le cas de sols pauvres en H^+ et riches en Ca^{2+} , donc de type calcaire, l'effet floculant du Ca^{2+} l'emporte sur l'effet dispersant de la basicité du milieu. Ainsi, on peut penser que les sols des stations 3 et 4 auront des structurations plus fortes, plus agrégatives.

Dans les profils de sol. On observe également une différence au niveau du profil des sols des différentes stations (figure 7) : les processus d'altération ont mené à des profondeurs de sol différentes. Il est d'abord probable que la différence de profondeur des sols soit due à des différences d'intensité des processus d'altération liées à la nature de la roche-mère. En effet, l'érosion d'origine végétale qui intervient lourdement dans la formation du sol est sans doute nettement moins marquée sur une roche calcaire, dure, que lorsqu'elle se produit sur du sable. Cette différence de dureté et de résistance à l'érosion des roches-mères semble pouvoir expliquer les différences de profondeur de sol observées entre les stations siliceuses et les stations calcaires.

La présence de calcaire sous le sable en station 2 (luvisol mince) est sans doute un élément d'explication de sa plus faible profondeur que le luvisol épais de la station 1, où le calcaire, profondément enfoui sous le sable, n'est pas altéré. De même, on peut faire l'hypothèse que la présence de nombreux blocs calcaires dans le brunisol de la station 4, qui s'oppose au calcaire plus massif du brunisol de la station 3, est en partie due à la différence de type de calcaire : calcaire de Brie en 3, calcaire de Champigny en 4.

On pourrait également invoquer la pente, et donc un possible écoulement d'eau du haut vers le bas, pour expliquer la structure des sols. Il est cependant fort probable, au vu de l'épaisseur du sol et de la couverture, que cet effet soit minime.

Impact sur l'abondance en argiles. Dans les paysages de type karstique, l'un des mécanismes qui expliquent les dépôts argileux qui peuvent s'y former est le suivant : les végétaux fixent une certaine catégorie de poussières atmosphériques qui, réagissant avec la silice du sol, conduisent à la formation d'argile. Si les stations étudiées ne se situent pas à proprement parler dans un paysage karstique, ce mécanisme peut tout à fait s'y produire et s'il n'est sans doute pas le seul à générer des argiles, il est sans doute à l'origine d'une partie de ceux qu'on retrouve.

On pourrait donc émettre une première hypothèse pour expliquer que le sol est plus argileux dans les stations 1 et 2 que dans les stations 3 et 4 (figure 7). Le couvert végétal de ces deux groupes de stations n'est pas le même. Il se pourrait donc que les végétaux des stations du haut soient plus efficaces dans la fixation de poussières atmosphériques et augmentent donc l'intensité du phénomène.

Néanmoins, il semble peu vraisemblable qu'une légère variation d'espèces au sein d'une même forêt génère une si grande différence pour un processus a priori commun à toutes les espèces : la fixation de poussières atmosphériques. L'hypothèse suivante paraît plus solide. Il s'agit de remarquer que la silice est présente en bien plus grande quantité dans les stations du haut (sable) que dans les stations du bas (roche calcaire). Ainsi, la réaction avec les poussières atmosphériques se produit sans doute nettement plus efficacement ce qui explique que le sol des stations du haut est plus riche en argile.

3.2.3 Influence du couvert végétal

Quels autres facteurs permettent d'expliquer les gradients dans la décomposition sur la butte Montceau ? Nous avons mentionné en 3.2.2 que les végétations diffèrent entre les stations. Quels effets peuvent avoir les végétaux sur la décomposition et le fonctionnement du sol ? Inversement, comment expliquer cette répartition de la végétation ?

Pas de différence de la rétention d'eau. A la première question, plusieurs effets sont envisageables. Toutes les stations sont forestières ; en faisant l'hypothèse raisonnable que l'interception des précipitations par le couvert est relativement équivalente, on peut supposer que l'impact physique direct de la pluie est identique le long de la pente.

Pas de différence d'apport organique. On fait également l'hypothèse que la quantité de matière organique fournie par le couvert végétal est identique dans les quatre stations. Cette hypothèse est éventuellement contestable et pourrait être testée, mais une simple visite des sites permet de se rendre compte qu'elle n'est pas absurde (au jugé, les différences de densité du couvert végétal ne sont pas flagrantes).

Impact sur la vitesse de décomposition de la litière. Par contre, les essences étant différentes, le matériau à décomposer, à savoir principalement les feuilles d'arbres mortes, seront différentes. Or, suivant la composition de ces feuilles, et notamment les teneurs en azote et en lignine, la qualité de

la litière, c'est-à-dire sa facilité à être décomposée, varie. Ainsi, les Charmes (*Carpinus betulus L.*) et les Frênes (*Fraxinus excelsior L.*) produisent des litières de bonne qualité, tandis que le Chêne (*Quercus robur L.*) et plus encore le Hêtre (*Fagus sylvatica Mill.*) produisent des litières de moins bonne qualité. Or les Chênes sont plus abondants dans les stations du haut, les Frênes plus abondants en bas, et les Charmes plutôt plus abondants en bas (tableaux 8 et 9, en annexe). Les Hêtres, quant à eux, sont également répartis le long de la pente. Ces répartitions sont cohérentes avec les données concernant la décomposition (gradient de quantité de litière, et donc de rapidité de décomposition de la station 1 vers la station 4). En effet, les essences produisant des litières de mauvaise qualité sont plutôt en haut, tandis que celles produisant des litières de bonne qualité sont plutôt en bas.

Origine de la variation du couvert végétal. Mais cela n'est pas suffisant pour fournir une explication satisfaisante. En effet, nous avons vu que les essences d'arbres constituent un élément de réponse au gradient de décomposition, mais comment expliquer une telle répartition de la végétation ? Un élément de réponse a pu être trouvé dans le «Guide des groupements végétaux de la région Parisienne», de M. Bournérias [1]. Il semblerait que la Chênaie, associée à des Hêtres (station 1) est soit climacique, soit le produit d'un traitement en taillis (rejet à partir d'une souche commune d'un bouquet de troncs, la cépée) d'une chênaie-charmaie. Pour la chênaie-charmaie de la station 2, sur sol plutôt acide, et associée à des hêtres, il semblerait qu'elle soit souvent due à un traitement en taillis d'une hêtraie (le Hêtre disparaît si on le traite en taillis), mais où certains Hêtres dits de réserve auraient été conservés en futaie. Les stations 3 et 4, sur sol calcaire, pourraient provenir d'un traitement similaire à partir d'une hêtraie calcaricole. Il est évident que ce ne sont là que des hypothèses, qui font peut-être trop belle part à la gestion de la forêt par l'Homme. Néanmoins, il serait intéressant de s'informer auprès des forestiers afin de savoir quel traitement a été réalisé.

Par ailleurs, les différences de qualité de sol (pH, argile . . .) déjà discutées en rapport avec la roche-mère peuvent naturellement elles-aussi influencer la nature du couvert végétal.

3.2.4 Impact de la faune du sol

Variations quantitatives de la faune Nous avons vu différents facteurs susceptibles d'intervenir dans le gradient de quantité de litière, et donc dans le gradient de vitesse de décomposition. Mais il ne faut pas perdre de vue que la décomposition est un phénomène biologique, réalisé par des êtres vivants. Il s'agit donc à présent de comprendre si des variations dans la composition

spécifique et les densités peuvent expliquer des différences dans les processus de décomposition.

Concernant la faune, on observe une décroissance du nombre total d'individus, ainsi que de l'abondance des groupes de mésofaune et de la plupart des groupes de macrofaune (tableau 4, figures 10 à 17). Une première explication très simple est que la litière étant moins abondante en 4 qu'en 1, les animaux de litière sont également moins abondants. Dans les stations situées en bas de pente, sur des eumulls et des oligomulls, la couche OF, dans laquelle l'action de comminution par la mésofaune est souvent forte, est très fine, car très rapidement transformée en matière organique assimilable. Ainsi, le milieu contenant les ressources de la mésofaune est limité. Pour des raisons trophiques, l'abondance de la macrofaune s'en trouve également affectée.

Cependant, il serait relativement paradoxal de se contenter d'une telle hypothèse. Cela consisterait à dire que la faible quantité de litière, résultat d'une forte activité biologique, explique la faible abondance faunistique. Pour résoudre le paradoxe, on peut proposer que notre point de vue ne prend pas en compte les variations saisonnières. Celles-ci sont en effet susceptibles d'expliquer les résultats de la manière suivante : en automne, dans les stations du bas, l'apport par la chute des feuilles de litière fraîche de bonne qualité provoque un «boom» démographique de la faune qui consomme cette litière. Son activité est alors supérieure à celle de la station du haut. En revanche, une fois la litière consommée, la microfaune rentre en quiescence suite à la rareté des ressources, provoquant une chute démographique dans les niveaux trophiques supérieurs. Parallèlement, dans les stations du haut, la grande quantité de litière de mauvaise qualité tamponne l'activité biologique à un niveau intermédiaire entre l'activité des stations du bas au printemps et celle de ces mêmes stations en automne. Cette hypothèse est soutenue par les données de macrofaune de 1984 à 2000, puisqu'un effet saison significatif a été mis en évidence (tableau 1). On ne peut cependant pas distinguer cet effet de l'effet année, puisque nous ne disposons pas de données à des saisons différentes la même année (tableau 7). De plus, l'axe 2 dégagé par l'ACP sépare bien les saisons et les années (figures 23 et 24) et a un effet dans le même sens sur presque toutes les variables (figure 19). Ceci renforce l'hypothèse formulée précédemment.

Variations qualitatives de la faune. Les proportions des taxons de mésofaune sont différentes suivant les stations (figures 8 et 8). Ainsi, si celle des Collemboles reste relativement constante entre les stations 1 et 4, celle des Acariens est très faible en 4. Cela peut se comprendre si l'on admet l'hypothèse saisonnière : au printemps, les micro-organismes détritivores entrent

en quiescence dans la station 4, restreignant ainsi les ressources des Collemboles. Comme nous l'avons déjà expliqué, cela fait chuter la démographie des Collemboles, mais cette chute a un impact encore plus fort sur celle des Acariens. Les Acariens se situent en effet souvent à un niveau trophique supérieur aux Collemboles dont ils sont même parfois les prédateurs directs. Or il est fréquent que le prédateur pâtisse de manière plus que proportionnelle de la chute du nombre de proies. Dans notre cas, cela pourrait s'expliquer par l'existence d'un refuge pour une faible partie des Collemboles dans des pores trop étroits pour les Acariens.

Tentons à présent de comprendre l'impact de la Pourriture Blanche. Celle-ci est beaucoup plus présente dans les stations de haut de pente qu'en bas. Or les Pourritures Blanches. Celles-ci sont capables de décomposer la lignine et les composés tanniques. Or nous avons vu que la litière de la station 1 est de mauvaise qualité, donc riche en lignine, tandis que celle de la station 4 est de plus mauvaise qualité, donc plus pauvre en lignine. Il est donc cohérent que la Pourriture Blanche soit plutôt localisée dans les stations hautes.

A l'opposé, les Vers de Terre sont peu présents en 1 et 2, très présents en 3, et moyennement présents en 4. On peut proposer plusieurs hypothèses pour expliquer ce résultat :

1. Le protocole mis en œuvre risque de favoriser la capture de vers dans les stations basses. En effet, il est possible que ces animaux se capturent rarement au hasard des feuilles ramassées mais plutôt à la vue. Dans ce cas, la visibilité étant meilleure dans les stations basses (litière moins abondante), la probabilité de capture des vers est augmentée : dans les stations hautes, le temps de ramasser les feuilles pour améliorer la visibilité, certains vers ont sans doute le temps de s'enfouir dans le sol et d'échapper à la capture.
2. Les vers de terre préfèrent en général les milieux à rapport bactéries/champignons élevés. Or à en juger par l'abondance des pourritures blanches dans les stations hautes, ce rapport y est peut-être plus faible. Cela expliquerait alors que l'on trouve plus de vers dans les stations basses.

3.3 Perspectives

Nous avons émis bon nombre d'hypothèses au cours de cette discussion. Voyons quelles approches complémentaires seraient susceptibles de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses.

Il serait bien entendu nécessaire de tester l'hypothèse selon laquelle la quantité de matériel biologique qui tombe au sol est à peu près équivalente

dans les différentes stations. Une conclusion négative remettrait entièrement en cause les conclusions de notre étude. Pour tester cette hypothèse, le plus simple serait sans doute de mesurer la biomasse sur pied, dont on peut estimer qu'une proportion constante se retrouve dans la litière chaque année. Une approche plus rigoureuse consisterait à effectuer des prélèvements de litière tout au long de l'année afin de pouvoir comparer d'une part la quantité annuelle de litière qui tombe dans chaque site et d'autre part les différentes dynamiques de minéralisation de cette litière.

Nous avons posé l'hypothèse dans la partie 3.2.2 que les épaisseurs de sols dépendent en partie de la dureté de la roche mère. Il serait alors intéressant de planter des plantes équivalentes sur des sols jeunes et peu profonds issus de roche-mère différentes, et de voir si on trouve à terme des profondeurs de sol fonction de la dureté de la roche. Cependant, il faudrait dans ce cas utiliser des espèces végétales dont les performances dépendent très peu des conditions de sol.

Nous avons également émis l'hypothèse que la plus faible abondance de la faune du sol est due à un rythme saisonnier. Il serait donc très intéressant de faire une étude comparable à la notre à plusieurs dates d'un même année, afin de voir si au moment de la chute des feuilles, on trouve effectivement plus de faune en bas qu'en haut. Il faudrait aussi à l'avenir mesurer les conditions climatiques précédant les mesures pour évaluer le rôle de ce facteur dans l'effet «année».

L'hypothèse formulée pour expliquer la différence des stations en terme de richesse en argile est relativement fragile et nécessiterait d'être vérifiée. Néanmoins, une approche expérimentale semble délicate et l'étude complémentaire la plus envisageable consisterait en un élargissement du panel des sites explorés en forêt de Fontainebleau. Si celui-ci renforce la corrélation entre teneur de la roche-mère en silice et richesse du sol en argile, on pourrait alors soutenir l'hypothèse formulée avec un peu plus de poids.

Enfin, des mesures granulométriques dans les différentes stations permettraient de tester le mécanisme de floculation qui nous a poussé à proposer que les agrégats du sol des stations du bas soient plus gros que ceux des stations du haut.

Conclusion

Cette étude permet d'envisager les processus de fonctionnement des sols de manière relativement diversifiée et intéressante. Afin de ne pas se perdre dans cette variété, il n'est pas inintéressant de récapituler les principaux mécanismes suggérés par la discussion. C'est l'objet de la figure 21

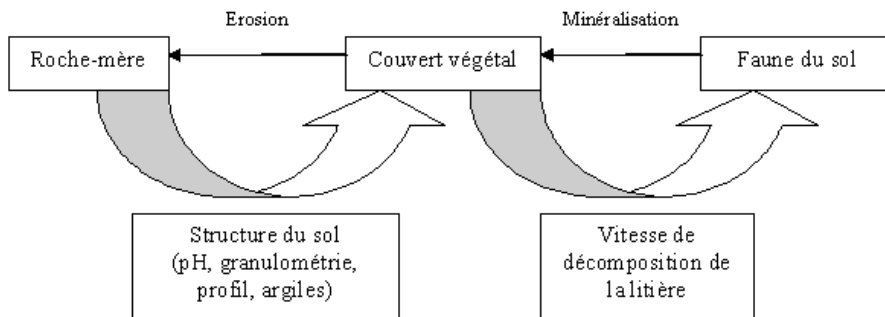


FIG. 21: Schéma bilan.

Si nous avons choisi dans l'interprétation une analyse par le modèle hiérarchique, il ne faut pas oublier les rétroactions que nous avons néanmoins mentionné plus ou moins explicitement au cours de la discussion. Il est également nécessaire de rappeler les limites des résultats proposés notamment en ce qui concerne l'éclectisme et le degré de certitudes des perspectives qu'ils offrent sur la compréhension des mécanismes qui conduisent au gradient environnemental. L'élément manquant le plus fondamental dans la compréhension du gradient environnemental et de ses origines est sans doute un suivi plus dynamique du système. Mais il va de soi que cette exigence excède largement les possibilités d'un stage de quatre jours.

Références

- [1] Marcel Bournévias, Gérard Arnal et Christian Bock. *Guide des groupements végétaux de la région parisienne*. Collection Botanique. Belin, 2001.
- [2] Michael Chinery. *Les insectes d'Europe*. Multiguide nature. Bordas, 1986.
- [3] Philippe Duchaufour. *Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement*. Collection Sciences Sup. Dunod, Paris, 2001.
- [4] Y. de Coineau, R. Cléva et G. du Chatenet. *Ces animaux minuscules qui nous entourent*. Guides Pratiques du Naturaliste. Delachaux et Niestlé, 1997.

Annexe

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
F. b. ¹	+++	+++	++	+
Turr. ²	0	0	++	+++

Litière :

OL ³	9,5 (2,4)	15,0 (7,4)	3,2 (1,3)	1
OF ³	8,8 (4,1)	13,8 (6,3)	2,6 (0,9)	0
OH ⁴	2,5 (1,1)	1,3 (0,8)	0	0

Sol :

A ⁴	17,2 (4,3)	13,7 (1,9)	19,9 (5,9)	37,7 (31,5)
E ⁴	65,1 (16,7)	32,3 (12,8)		
BT ⁴	> 35,2 (7,7)	29,3 (20,1)		
BT/C ⁴	[12,5 (0)] ⁵	> 11,0 (2,9)		
S ⁴			28,1 (5,8)	55,1 (42,5)
S/C ⁴			> 5,5 (0)	> 9,7 (0)

¹Feuilles blanchies : + = < 50% ; ++ = 50% ; +++ = > 50%.

²Turricules de vers de terre (observés qualitativement).

³Épaisseur exprimée en nombre de feuilles.

⁴Épaisseur exprimée en *cm*.

⁵Cette couche n'ayant été atteinte qu'une seule fois, la valeur est donnée ici à titre indicatif.

TAB. 2: Organisation verticale du sol, estimation du pourcentage de feuilles blanches et de l'abondance de turricules. Les valeurs données sont les moyennes, et les valeurs entre parenthèses les écarts-types.

Station	1	2	3	4	p
pH	4,18 (0,06)	4,75 (0,07)	6,51 (0,01)	7,41 (0,36)	5.10^{-8}
m_{lit}	2.172 (26,4)	2.003 (22,25)	920,4 (15,96)	499,0 (5,83)	3.10^{-7}

TAB. 3: Masse de litière et pH du sol. Les valeurs données sont les moyennes, et les valeurs entre parenthèses les écarts-types. La masse de litière sèche m_{lit} est exprimée en g/m^2 . La dernière colonne donne le résultat d'un test t entre stations 1 et 4.

Taxon \ Station	Station 1	Station 4	p
Collemboles	12,0 (9,4)	3,7 (3,7)	0,095
Acariens	49,8 (90,1)	1,3 (0,9)	0,267
Autres	3,8 (2,7)	3,5 (4,4)	0,894
Total	65,4 (99,7)	8,5 (7,0)	0,239

TAB. 4: Abondance de la mésofaune dans la litière des stations 1 et 4. Les données sont exprimées en *milliers* d'individus par m^2 . Les valeurs entre parenthèses sont les écarts-types. Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence.

Taxon \ Station	Station 1	Station 4	p
TOTV	17,5	27,5	0,370
ENCH	105	10,0	0,029
TLDI	80,0	12,5	0,014
TLCO	37,5	0	0,016
TCHI	65,0	10,0	0,025
TDIP	22,5	0	0,040
TARA	115	97,5	0,631
Autres	335	180	0,067
Total	777,5	337,5	0,003

TAB. 5: Abondance de la macrofaune dans la litière des stations 1 et 4. Les données sont exprimées en *milliers* d'individus par m^2 . Les valeurs entre parenthèses sont les écarts-types. La dernière colonne donne le résultat du test t qui a été effectué.

Code	Variable	Code	Variable
ENCH	Enchytreides	<i>Arachnides</i>	
<i>Vers de terre</i>		OPIL	Opilions
VEPI	Épigés	ARAI	Araignées
VEND	Endogés	PSEU	Pseudoscorpions
VANE	Anéciques	<i>Diplopodes</i>	
TOTV	Total vers	IULE	Iules
LIMA	Limaces	POLY	Polydesmes
ESCA	Escargots	GLOM	Glomeridae
COLA	Coléoptères adultes	CRAS	Craspedosomides
<i>Larves coléoptères</i>		TDIP	Total diplododes
LSTA	Larves Staphylins	<i>Chilopodes</i>	
LELA	Larves Elateridae	LITH	Lithobies
TLCO	Total larves coléoptères	SCOL	Scolopendres
<i>Larves diptères</i>		GEOP	Géophiles
LTIP	Larves Tipulidae	TCHI	Total chilopodes
LMUS	Larves Muscidae	LLEP	Larves lépidoptères
TLDI	Total larves diptères	ISOP	Isopodes
DERM	Dermaptères	LITI	Masse litière (g/m^2)
FOUR	Fourmis	PH	pH

TAB. 6: Variables de l'ACP.

Année	Saison	Station						
		A ¹	B ²	C	D	E ³	F	G ⁴
1984	Automne	×	×	×	×	×	×	×
1985	Printemps	×	×	×	×	×		×
1986	Automne	×	×	×			×	×
1988	Printemps	×		×		×		×
1989	Hiver	×		×		×		×
1991	Printemps	×		×		×		×
1992	Automne	×		×	×	×		×
1993	Printemps	×		×	×	×		×
1994	Printemps	×	×	×	×			
1995	Printemps	×		×	×	×		×
1996a ⁵	Printemps	×		×	×	×		×
1996b ⁵	Printemps	×		×	×	×		×
1997a ⁵	Printemps	×		×	×	×		×
1997b ⁵	Printemps	×		×	×	×		×
1999	Printemps	×	×	×			×	×
2000a ⁵	Printemps	×	×		×			×
2000b ⁵	Printemps	×	×		×			×

TAB. 7: Données de l'ACP (chaque croix correspond à un point de l'espace des objets).

¹Station 1.

²Station 2.

³Station 3.

⁴Station 4.

⁵Il y a eu deux stages certaines années.

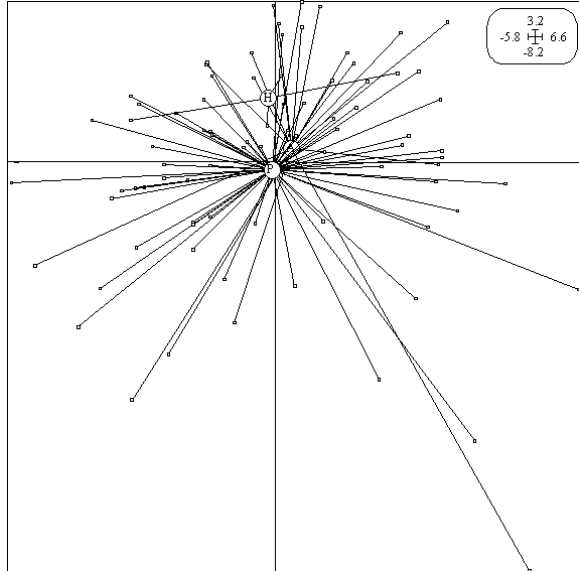
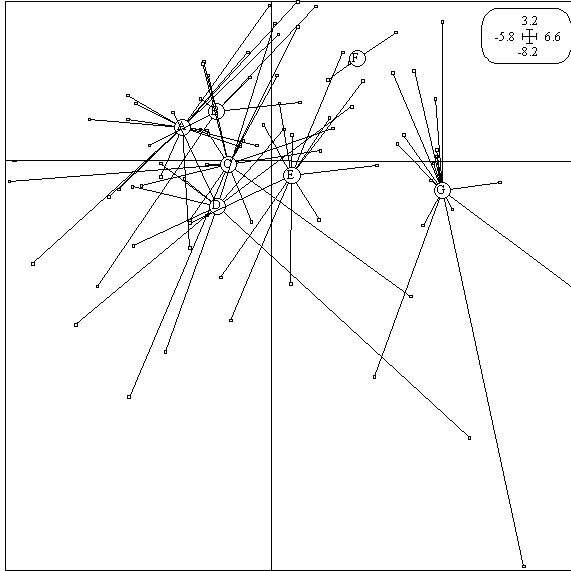


FIG. 22: Espace des objets : projection sur les axes 1 et 2 (regroupement par station). FIG. 23: Espace des objets : projection sur les axes 1 et 2 (regroupement par saison).

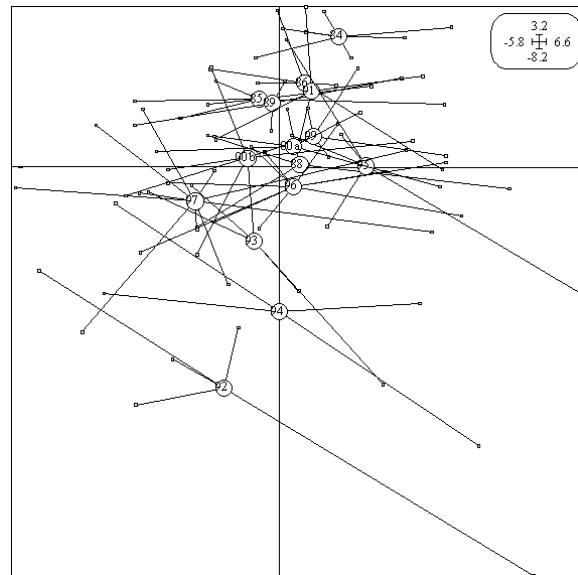


FIG. 24: Espace des objets : projection sur les axes 1 et 2 (regroupement par année).

TAB. 8: Espèces végétales recensées dans les quatre stations de la «Butte du Montceau».

Espèces végétales	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
1 . Chêne (<i>Quercus robur L.</i>)	+++	+++	++	+
	sols meubles, bien drainés, secs			
2 . Charme (<i>Carpinus betulus L.</i>)	+	++	+++	++
	sols argileux, frais, humides, ne fuit pas le calcaire			
3 . Faux Platane (<i>Acer pseudoplatanus L.</i>)	+	+	++	+++
	sols riches, meubles, frais, quelque soit sa nature			
4 . Hêtre (<i>Fagus sylvatica Mill.</i>)	++	++	++	++
	sols meubles et frais			
5 . Ronce (<i>Rubus fruticosus L.</i>)	++	+++	+++	-
6 . Euphorbe (<i>Euphorbia amygdaloides</i>)	++	+	-	-
7 . Tilleul (<i>Tilia cordata Mill.</i>)	-	-	-	+
	sols frais, assez profonds, argilo-silicieux			
8 . Bouleau (<i>Betula pendula</i>)	-	+	-	-
	pousse bien sur sols acides, sols sablonneux/rocheaux			
9 . Anémone (<i>Anemone nemorosa L.</i>)	-	++	++	++
	tous les sols sauf les sols très acides			
10 . Violette (<i>Viola reichenbachiana</i>)	-	++	-	++
11 . Coudrier (<i>Corylus avellana L.</i>)	-	+	-	-
	sols peu acides, et éventuellement calcaire			

TAB. 9: Espèces végétales recensées dans les quatre stations de la «Butte du Montceau» (suite).

Espèces végétales	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
12 . Millet (<i>Millium effusum L.</i>)	++	++	-	-
13 . Stellaire (<i>Stellaria holostea L.</i>)	-	-	++	-
	sols plutôt neutres			
14 . Vicia (<i>Vicia sylvatica L.</i>)	-	-	++	-
15 . Aubépine (<i>Cataegus monogyna Jacq.</i>)	-	-	+	-
	sol neutre, ou légèrement basique			
16 . Erable champêtre (<i>Acer campestre L.</i>)	-	-	+	-
	sols calcaires			
17 . Arum (<i>Arum maculatum L.</i>)	-	-	-	++
18 . Marronnier Faux-Chataîgnier (<i>Aesculus Hippocastanum L.</i>)	-	-	-	+
	tous les sols, frais et profonds, non saturés en eau			
19 . Lierre grimpant (<i>Hedera helix L.</i>)	++	++	++	++
20 . Frêne élevé (<i>Fraxinus excelsior L.</i>)	-	-	-	+
	tous les sols, même calcaires, profonds et bien alimentés en eau			
21 . Renoncule (<i>Ranunculus ficaria</i>)	-	-	-	+
22 . Renoncule Tête d'or (<i>Ranunculus auricomus L.</i>)	-	-	-	+
23 . Polypode vulgaire (<i>Polypodium vulgare L.</i>)	+	-	-	-