

NOM : PRENOM :

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS CONCOURS EXTERNE - ÉPREUVES D'ADMISSION - session 2025
TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR B
Durée totale : 6 heures

« Dégradation de litières forestières »

Les forêts sont les biomes terrestres les plus répandus, couvrant environ 30% de la surface des continents. Environ 10% de la production primaire forestière est utilisée par les herbivores, alors que les 90% de la production restante participent à la formation de la litière, constituée majoritairement d'éléments d'origine végétale. La production de feuilles de litière dans les forêts peut représenter de 100 à 1400 g (poids sec) /m²/an. L'ensemble des transformations subies par cette abondante nécromasse constitue un processus fondamental, non seulement dans le fonctionnement des sols forestiers, mais aussi dans celui des écosystèmes forestiers dans leur globalité. Ce dossier comporte 41 pages : chaque grande partie est indépendante.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres ou espaces réservés à cet effet.

Plusieurs questions des parties I à III nécessitent des manipulations et doivent, pour certaines, **être évaluées par un examinateur pendant l'épreuve** : prévoyez donc votre organisation en conséquence. **Dans le cadre de ces évaluations en cours d'épreuve, il ne vous sera pas possible de communiquer oralement avec l'examinateur.** Vous devez donc **présenter par écrit**, sur des feuilles mises à votre disposition, vos productions **puis appeler un examinateur**.

Vous pouvez utiliser des feuilles de brouillon pour présenter ou compléter une présentation qui est évaluée pendant l'épreuve (dessin d'observation, tableau de légende de dissection...). Les **annexes** sur lesquelles des présentations sont demandées doivent être rendues avec votre copie.

Table des matières

Partie I – Etude d'éléments collectés en automne dans des litières forestières	3
I – Identification et interprétation biologique d'éléments collectés en automne dans différentes litières forestières	3
Partie II – Dégradation d'une litière monospécifique	6
II.A – A l'échelle de l'échantillon.....	6
II.B – A l'échelle de l'organe.....	8
II.C – A l'échelle des tissus	10
Partie III – Etude d'une station forestière.....	12
III.A – Caractérisation pédologique	13
III.B – Caractérisation écologique	15
Partie IV – Influence de la gestion forestière sur la dégradation microbienne de litières forestières	20
Partie V – Biodiversité des êtres vivants des litières forestières.....	24
V.A – Biodiversité microbienne	25
V.B – Biodiversité morphologique d'êtres vivants de litières forestières	27
V.C – Biodiversité de la mésofaune et de la macrofaune	28
V.D – Caractérisation d'un organisme de la macrofaune.....	30
Partie VI – Comparaison de deux types d'humus.....	34

VI.A – Identification de deux types d’humus	34
VI.B – Comparaison des communautés.....	35
VI.C–Comparaison des réseaux trophiques.....	38
VI.D–Comparaison de la dégradation de la litière.....	43

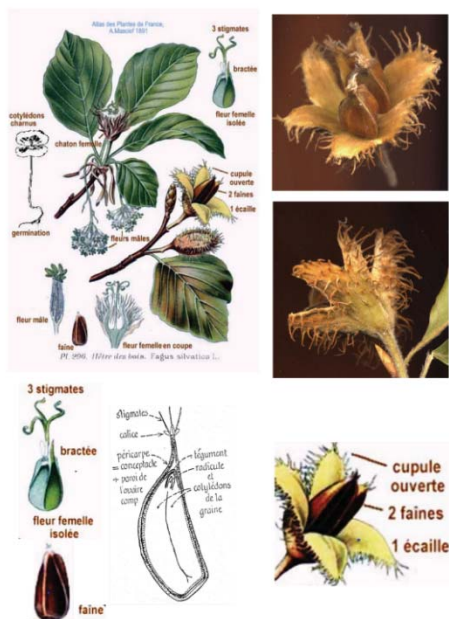
AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DU DOCUMENT
Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier ainsi que la totalité des annexes

Partie I – Etude d’éléments collectés en automne dans des litières forestières

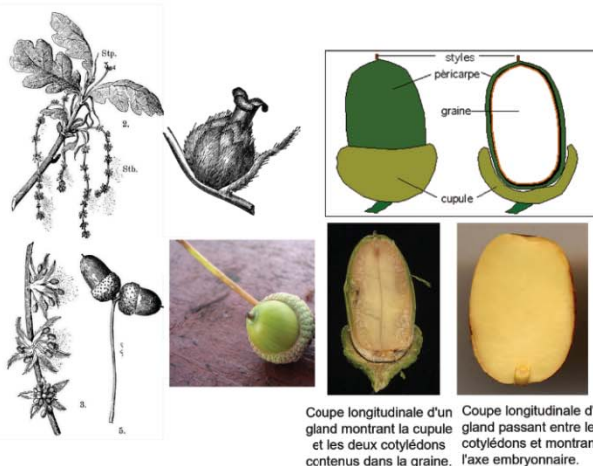
I – Identification et interprétation biologique d’éléments collectés en automne dans différentes litières forestières

I.1 Vous avez à disposition 5 échantillons, notés A, B, C, D et E, d’éléments récoltés dans différentes litières forestières. **Réaliser une analyse morpho-anatomique** la plus complète possible des échantillons et nommer les différentes structures identifiées. **Présenter et annoter votre travail sur votre paillasse et appeler un examinateur.**

La cupule résulte de la transformation de l'involucre (collerette d'écaillés ou de bractées libres et compactes ou soudées ensemble à la base d'une inflorescence). Le rôle de la cupule est de tenir et protéger le fruit (akène) lors de sa période de croissance jusqu'à son arrivée à maturité. Les 3 espèces présentées présentent ces structures (cupulifères) sont des Fagacées.



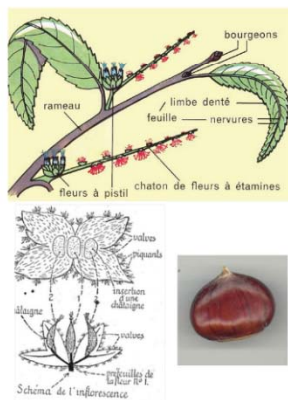
Hêtre:
Cupule issue de la transformation de l'involucre recouvert de piquant s'ouvrant par 4 fentes et libérant généralement 2 akènes (les faines)



Coupe longitudinale d'un gland montrant la cupule et les deux cotylédons contenus dans la graine. l'axe embryonnaire.

Chêne pédonculé

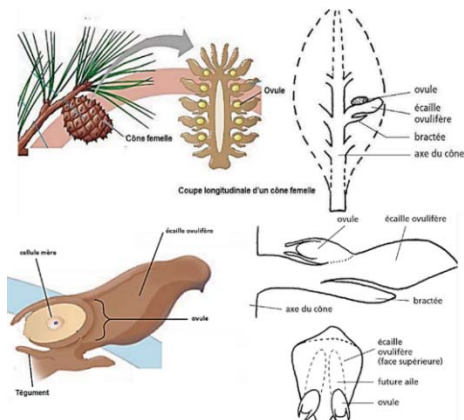
Les fleurs femelles portant 3 stigmates rouges et visqueux sont groupées par 1 à 4 fleurs à l'extrémité d'un long pédoncule de 3 à 10 cm, dressé vers le haut (caractéristique de l'espèce). Les glands sont souvent groupés par 3 (avec la présence possible de cupule avortée) sur un long pédoncule glabre. La cupule subhémisphérique, peu profonde, couvre de 1/4 à la moitié du gland, est munie d'écaillés imbriquées triangulaires, espacées, peu nombreuses, très longuement soudées à la paroi de la cupule. Les glands, akènes ovoïdes de 1,5-4 cm sur 8-16 mm, tronqués à la base sont glabres à apex légèrement déprimé et portant le reste des styles.



Châtaignier

-Les fleurs unisexuées mâles, très nombreuses, sont portées par des chatons dressés. Elles contiennent 8 à 15 étamines.

-Les fleurs unisexuées femelles, discrètes, sont groupées en inflorescences à la base de certains chatons mâles du haut des branches. Chaque inflorescence comporte 3 fleurs serrées dans un involucre. Chaque fleur est surmontée de (3) 6 styles indiquant que le pistil est composé de (3) 6 carpelles soudés contenant chacun 2 ovules. Une fois fécondées, les fleurs gonflent et se transforment en fruits secs indéhiscents (akènes) : les châtaignes. Chaque châtaigne reste coiffée des 6 styles disposés en plumet. La cupule grandit et forme de petites épines vertes et molles qui jaunissent se dessèchent et durcissent. La cupule forme une bogue qui se fend en 4 valves libérant généralement 3 châtaignes correspondant aux 3 fleurs de départ. Chaque châtaigne contient plusieurs graines recouvertes d'un tégument laineux, le tan, cloisonnant plus ou moins le fruit.



Pin sylvestre

Les cônes femelles sont de forme ovoïde à conique et font de 3 à 7 cm de long pour 2-3 cm de large. D'abord d'un vert intense, ils deviennent ensuite brun-rouge. Chaque écaille du cône porte 2 ovules à sa base. Une fois le cône mûr, les écailles s'écartent les unes des autres et libèrent des graines ovoïdes de 3 à 5 mm de longueur, chacune étant dotée d'une aile qui fait trois fois sa taille. Les cônes finissent par tomber.



Epicéa commun

Les cônes femelles initialement rouges et dressés deviennent pendants après la fécondation. Ils deviennent alors bruns et grandissent jusqu'à atteindre entre 10 et 18 cm de longueur en septembre ou octobre. Les écailles sont losangiques, peu épaisses mais coriaces, et la forme de leur extrémité varie selon les races (arrondies ou en double-pointe). À maturité, les écailles s'écartent pour laisser tomber les graines, mais ne se désarticulent pas. Le cône finit par tomber en hiver.

Chez les pinophytes, l'appareil reproducteur femelle est représenté par des cônes développés au sommet des pousses de l'année. Les cônes femelles persistent plusieurs années sur les rameaux. Le cône femelle est formé de plusieurs écailles serrées autour d'un axe. Sur la face inférieure de chaque écaille se trouve une bractée, et sur sa face supérieure se trouvent deux ovules contenant chacun un gamétophyte femelle, on parle d'écaille ovulifère.

I.2 Indiquer, dans le tableau ci-après, **la position systématique** des organismes ayant produit ces échantillons.

Echantillon		Position systématique
		Eucaryotes Bicontes Lignée verte Metabiontes Chlorobiontes Streptophytes Phragmodesmophytes Plasmodesmophytes Embryophytes Stomatophytes Hemitracheophytes Tracheophytes Euphyllophytes Spermatophytes
A		<i>Fagus sylvatica</i> Hêtre
B	Angiospermes Eudicotyledones Rosidees Fabidees Fagales Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Châtaignier
C		<i>Quercus robur</i> Chêne pédonculé
D	Gymnospermes Pinophytes	<i>Pinus (sylvestris)</i> Pin
E	Pinales Pinaceae	<i>Picea abies</i> Epicea

Seuls les termes surlignés en jaunes étaient attendus. La citation pertinente d'autres taxon a été valorisée par l'attribution de points bonus. Des échantillons très communs, tels qu'une châtaigne, n'ont pas été reconnus pas un nombre non négligeable de candidats. L'emboîtement des taxons n'est pas maîtrisé par un trop grand nombre de candidats.

La partie I a été partiellement ou totalement traitée par 87% des candidats présents.

Partie II – Dégradation d'une litière monospécifique

II.A – A l'échelle de l'échantillon

Les photographies ci-dessous représentent une litière monospécifique observable *in situ* (en haut) et différents stades d'évolution des feuilles (en bas).



Feuille fraîche



Stade 1



Stade 2



Stade 3

D'après Montemagno, A., Hissler, C., Bense, V., Teuling, A. J., Ziebel, J., & Pfister, L. (2022). *Biogeosciences*, 19(13), 3111-3129.

Document II - 1 : Changements temporels d'une litière monospécifique

II.A.1 Expliquer le changement de coloration observable entre les feuilles fraîches et le stade 1. **Proposer un protocole expérimental** permettant de le mettre en évidence et indiquer les résultats attendus.

Changement de coloration des feuilles À partir de septembre, les journées sont raccourcies, à tel point que les arbres ne reçoivent plus autant de lumière que précédemment. Ils ralentissent alors leur métabolisme et effectuent de moins en moins la photosynthèse. Progressivement, la chlorophylle qui colorait leurs feuilles est détruite, et laisse voir la couleur des carotènes (oranges) et des xanthophylles (jaunâtres). De plus, ils accumulent des tannins protégeant la feuille des excès de lumière (dont la chlorophylle ne les protège plus !) et des stress du froid automnal : les anthocyanes (rouges) et/ou les flavonoïdes (jaunes). Ces familles de pigments donnent aux arbres leurs couleurs chaudes ! À la mort de la feuille, les tannins s'oxydent et donnent la couleur brune des feuilles mortes (<https://www.mnhn.fr/fr/pourquoi-la-couleur-des-feuilles-change-t-elle-a-l-automne>)

Si la majorité des candidats cite la disparition de la chlorophylle, les autres pigments ne sont quasiment pas évoqués.

Protocole expérimental et résultat attendu

Une chromatographie sur papier ou sur couche mince peut être réalisée sur des extraits pigmentaires de feuilles présentant différentes colorations (verte et brune au minimum).

La chromatographie permet une séparation des pigments en fonction de leurs propriétés : selon leur affinité relative pour un solvant mobile (l'éluant) et pour un support poreux, les molécules migrent avec l'éluant à des vitesses différentes. A l'issue de la migration, elles occupent différentes positions sur le support.

Sur l'exemple ci-dessous (Couche mince) on observe pour la feuille verte 1 au-dessus du dépôt initial deux tâches vertes correspondant à la chlorophylle b (vert jaune) et la chlorophylle a (vert bleu), une tâche jaune correspondant aux xanthophylles et en haut de la plaque une tache orangée correspondant aux carotènes.

Pour les feuilles de couleur jaune à brune on observe une disparition des chlorophylles et une persistance des pigments jaunes et orangés (xanthophylles et carotènes). L'intensité des tâches jaunes diminue lorsque les feuilles passent du jaune au brun.



Photo 6. Chromatographie de 4 extraits de feuille d'automne

<https://le-changement-de-couleur-des-feuilles-en-automne-18.webself.net/developpement>

Quelques propositions fantaisistes (Berlèse, barcoding, etc.) et lorsque la chromatographie est évoquée son principe n'est pas clairement explicité par un grand nombre qui candidats qui ne mentionne pas la nature du solvant et son rôle.

II.A.2 Caractériser les différents stades (stades 1, 2 et 3) d'évolution d'une litière monospécifique

Stade 1 : les feuilles sont entières (non fragmentée) et de couleur brun clair. Ces feuilles forment la litière fraîche ou nouvelle (feuilles de l'année)

Stade 2 : les feuilles sont légèrement altérées, blanchies et ramollies, décolorées ou de couleur brun foncé. Ces feuilles forment la litière vieillie.

Stade 3 : les feuilles sont fragmentées partiellement décomposées et de couleur gris-noir). Elles forment la litière fragmentée

La réponse à cette question devait s'appuyer sur l'exploitation des documents et non sur une restitution plus ou moins pertinente de connaissances. Le jury rappelle qu'une lecture attentive des questions devrait permettre d'éviter ce type d'erreur.

II.B – A l'échelle de l'organe

II.B.1 Réaliser plusieurs coupes transversales (partielles ou totales) de feuille fraîche de hêtre (échantillon 1 disponible sur votre paillasse) et les répartir en deux lots. Une ou plusieurs coupes du lot 1 seront montées entre lame et lamelle sans coloration (cf partie II.B.5), une ou plusieurs coupes du lot 2 seront colorées (cf. II.B.2)

II.B.2 Réaliser une coloration au carmino-vert d'une ou plusieurs coupes transversales du lot 2

Protocole de coloration d'une coupe fine au carmino-vert d'iode

- Placer les coupes pendant 20 minutes dans l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).
- Réaliser 2 bains dans de l'eau pendant 2 à 3 minutes.
- Placer les coupes 2 minutes dans l'acide acétique dilué.
- Colorer les coupes pendant 5 minutes dans le carmino-vert d'iode.
- Monter la coloration dans de l'eau entre lame et lamelle.



De nombreux candidats ont réalisé des préparations de très bonne qualité (exemple ci-dessus).

II.B.3 Préciser l'intérêt d'une telle coloration

Cette coloration consiste en une coloration de la cellulose et de la lignine par le carmin vert d'iode : la cellulose est colorée en rouge et la lignine en vert.

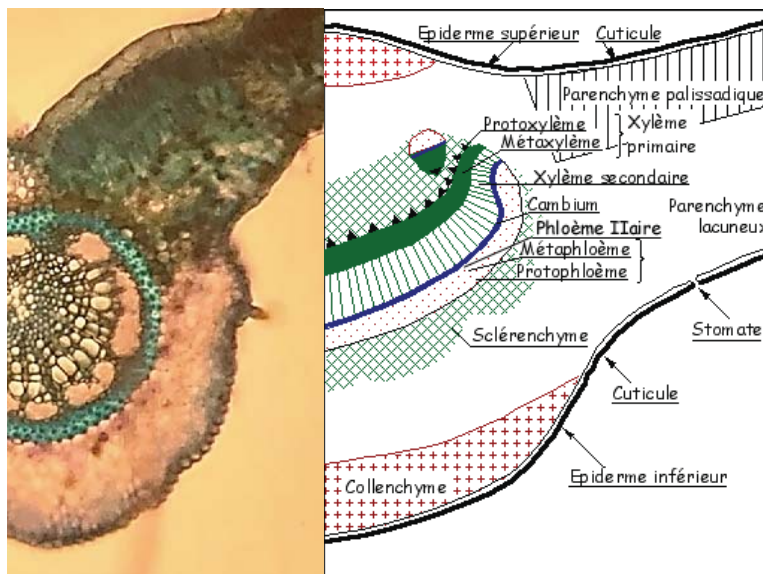
La coloration carmin-vert d'iode n'est pas une coloration spécifique de la lignine et de la cellulose, ces colorants ont seulement une affinité plus prononcée vis-à-vis de ces composés chimiques. Ainsi, en présence de seul carmin aluné tout est coloré en rouge, et réciproquement tout est coloré en vert par le vert d'iode : c'est l'association des deux colorants qui aboutit à une coloration différentielle des parois. Cette dernière constitue un caractère important pour l'identification des tissus.

Fiche technique Protocole : Coloration au Carmin-Vert d'iode V. Garlatti - T. Bertin Université de Toulon

La notion de coloration différentielle n'a pas été citée de même que son intérêt dans la diagnose histologique. Là encore, une lecture attentive de la question permettait d'élaborer une réponse pertinente.

II.B.4 Schématiser (sur l'Annexe I) une des coupes du lot 2 de votre choix en utilisant les figurés conventionnels.

Appeler un examinateur pour vérifier l'adéquation entre votre schéma et la préparation présentée



Document II-2 : Coupe transversale de feuille de hêtre sénescence.
BP : pigments bruns de nature polyphénolique

II.B.5 Comparer l'une de vos coupes transversales de feuille fraîche (non colorée) et la coupe transversale de feuille sénescence présentée dans le document II-2.

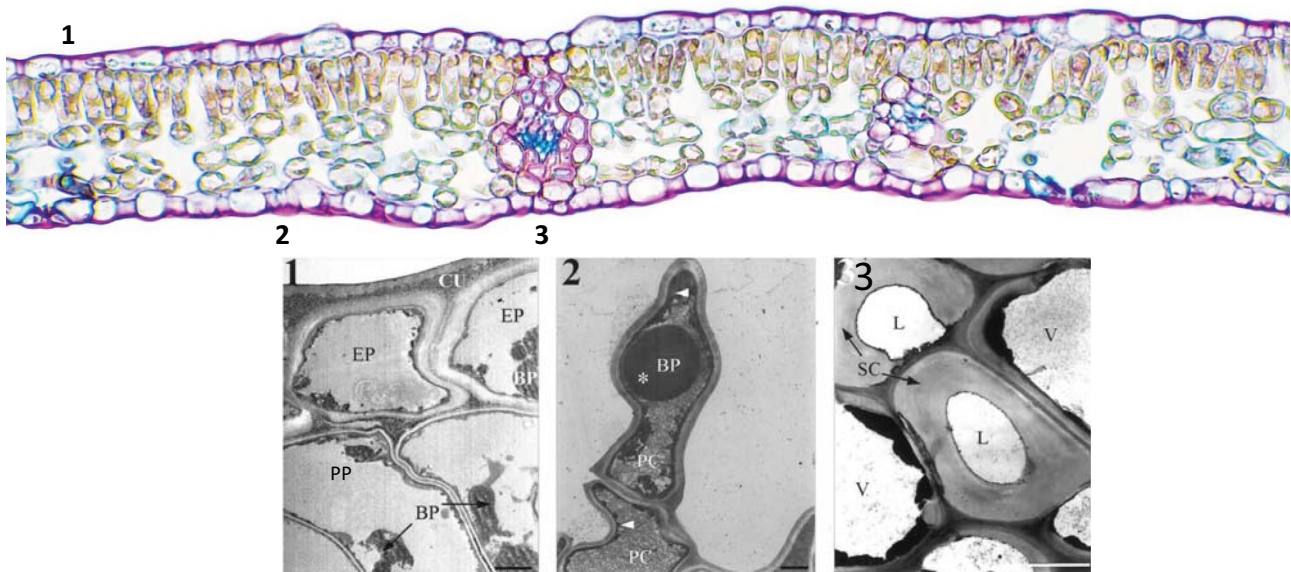
La morphologie foliaire est identique.

Dans la feuille sénescence on observe une dégradation tissulaire caractérisée par:

- la décoloration des tissus photosynthétiques par disparition de la chlorophylle. La coupe est globalement colorée par des pigments bruns (bien visible dans les parenchymes)
- l'accumulation de pigments bruns (BP) de nature polyphénoliques

Les candidats se sont surtout attachés à montrer les différences en omettant les points communs. Une présentation synthétique sous forme de tableau été valorisée.

II.C – A l'échelle des tissus



Document II-3 : Localisation de différents tissus (1,2,3) sur une coupe de feuille fraîche (haut) et MET de ces tissus dans des feuilles de hêtre sénescences non dégradées stérilisées (bas).

V : vaisseau. Les pointes de flèches montrent la localisation des BP. Barre : 2 µm. D'après <http://www.nirgal.net> et Rihani, M. et al. (2001). Eur J. Soil Biol, 37, 75-84.

II.C.1 Compléter les légendes

CU: Cuticule

EP: Epiderme

PP: Parenchyme palissadique

PC: Parenchyme lacuneux

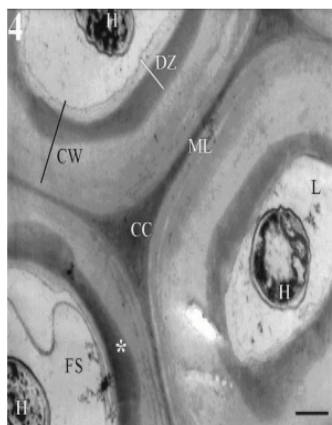
SC: Sclérenchyme

L : Lumen ou lumière

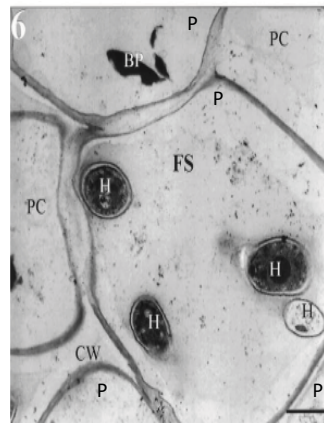
La question a été globalement bien réussie mais les copies reflètent une difficulté à mettre en relation les éléments localisés sur la coupe totale et les images en MET des tissus concernés.

Les documents suivants (Rihani, M. et al. (2001). Eur J. Soil Biol, 37, 75-84) permettent de caractériser l'activité de *Sporotrichum pulverulentum* (champignon de la pourriture blanche) sur différents tissus foliaires.

CW: paroi cellulaire



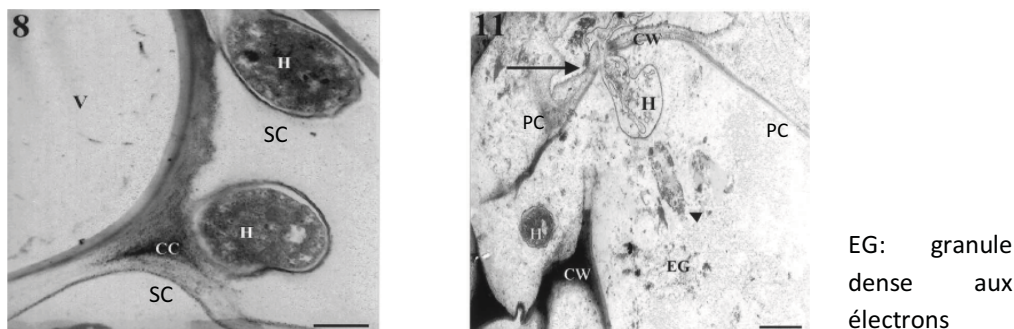
FS: gaine fongique



PC: cellule du

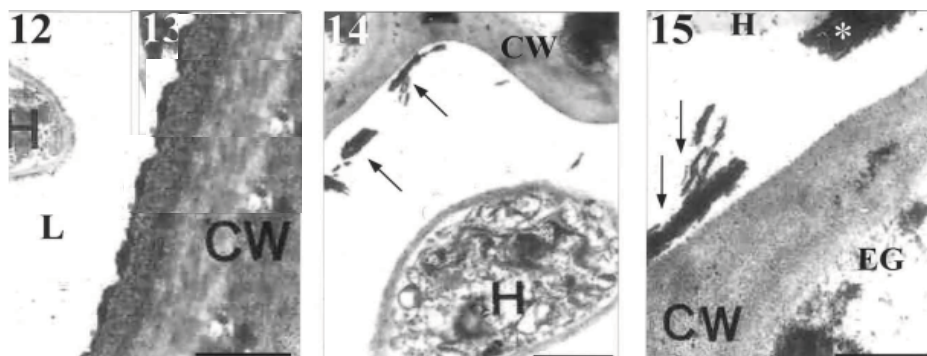
Document II-4 : MET montrant l'aspect de stades précoces de la dégradation de deux types cellulaires par *Sporotrichum pulverulentum*

4: cellules du SC , * : zone dégradée (barre 1µm) et 6: cellules du PC (barre 2µm)



Document II-5 : MET montrant l'aspect de **stades avancés de la dégradation** de deux types cellulaires par *Sporotrichum pulverulentum*

8: cellules du SC entourant un vaisseau (barre 1.5 μm) et 11: cellules du PC (barre 2 μm)



Document II-6 : MET montrant la **localisation cytochimique** (pointe de flèche) du marquage de l'**activité cellulase** dans des feuilles colonisées par *Sporotrichum pulverulentum*

12: SC colonisé mais non dégradé (Barre 0.5 μm) 14 : SC colonisé et dégradé barre 1 μm 15: *idem* (barre 0.5 μm)

II.C.2 Caractériser les différentes étapes de dégradation des tissus foliaires par *Sporotrichum pulverulentum* et préciser les modalités d'action de cet agent de la pourriture blanche

Stades précoces de la dégradation

Sclérenchyme :

- Colonisation de la lumière des fibres par les hyphes
- Dégradation de la paroi secondaire au niveau de la face luminale

Stades avancés de la dégradation

- Dégradation poussée de la paroi secondaire des cellules du sclérenchyme et des coins cellulaires
- Hyphes plaqués contre les parois secondaires

Modalité d'action

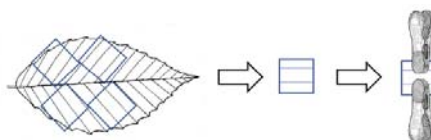
- Pas de marquage autour des hyphes dans le lumen
- Marquage au niveau de la paroi secondaire sur des débris cellulaires
- Marquage associé à une délamination de la paroi
- La distance entre les hyphes et le marquage suggère une diffusion des enzymes
- Les hyphes sécrètent des exoenzymes assurant la dégradation (de la lignine et) de la cellulose

Parenchyme lacuneux :

- Colonisation des cellules parenchymateuses par les hyphes
- Elargissement des cellules
- Raréfaction voire disparition des pigments bruns
- Désorganisation cellulaire du parenchyme par dégradation des parois cellulaires
- Colonisation fongique par les zones fragilisées des parois

Les candidats ont eu des difficultés à identifier (ou à expliciter) les différences entre les stades et entre les tissus. La notion d'exo-enzyme a régulièrement été mobilisée mais rarement argumentée à partir de l'analyse du document II-6.

II.C.3 Comparer la résistance d'une feuille fraîche (échantillon 2), d'une feuille au stade 1 ayant subi un lessivage (échantillon 3) et d'une feuille au stade 2 collectée *in situ* (échantillon 4). Découper dans chaque échantillon au moins un carré d'environ 1cm de côté en évitant la nervure principale (voir schéma ci-dessous). A l'horaire de passage au poste de mesure, positionner un carré de feuille entre les deux pinces en orientant les nervures parallèlement aux pinces et de manière à exercer, dans la mesure du possible, une traction uniquement sur le limbe des feuilles. Ajouter graduellement du sable dans le récipient jusqu'à la rupture du carré de feuille en deux parties. Déterminer la masse de sable ayant provoqué la rupture. Cette masse est proportionnelle à la résistance de la feuille.



Résultats et interprétation critique

Feuille fraîche :

-moyenne : 301,8
-écart-type : 148,4
-effectif : 42

Feuille stade 1 :

-moyenne : 287,1
-écart-type : 206,5
-effectif : 38

Feuille stade 2 :

-moyenne : 257,8
-écart-type : 201,8
-effectif : 29

En théorie la masse nécessaire à la rupture de feuilles : fraîche>stade1>stade2 du fait de la fragilisation des parois cellulaires par l'activité microbienne (fongique et bactérienne).

Problème de significativité de mesures ponctuelles qui pourrait être corrigé en multipliant les mesures.

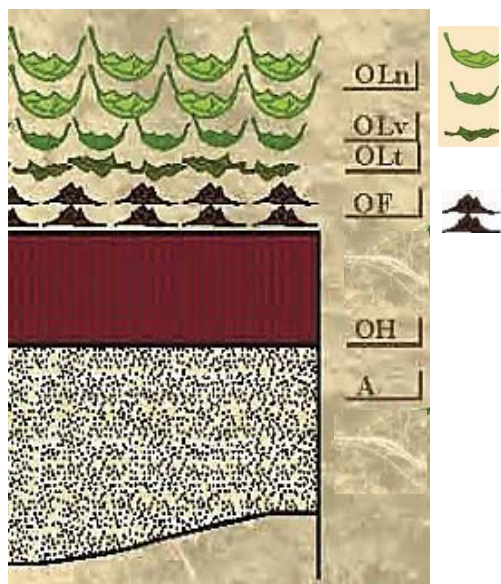
Peu de candidats ont effectué des répliques, les résultats ont rarement été présentés sous forme de tableau. Lorsque les candidats ont constaté un écart par rapport aux résultats attendus (diminution de la résistance en lien avec les observations précédentes sur la dégradation des parois c.f. partie II-C-2), ils ont eu des difficultés à formuler des conclusions critiques (nombre de feuilles testées, origine des feuilles, etc). Les moyennes des valeurs obtenues par l'ensemble des candidats sont rapportées dans le cadre ci-dessus (les écart-types sont très importants et les différences ne sont pas significatives).

La partie II a été partiellement ou totalement traitée par 100% des candidats présents.

Partie III – Etude d'une station forestière

III.A – Caractérisation pédologique

L'objectif de cet exercice est d'analyser les caractéristiques d'un sol au moyen d'observations et de manipulations réalisées sur l'échantillon 5 correspondant à une « petite carotte » de sol. La description d'un sol étant réalisée par couches horizontales présentant des caractéristiques homogènes appelés horizons **vous veillerez à exploiter de manière optimale cet échantillon.**



OL: (**L: Litière**) débris, essentiellement végétaux, reconnaissables à

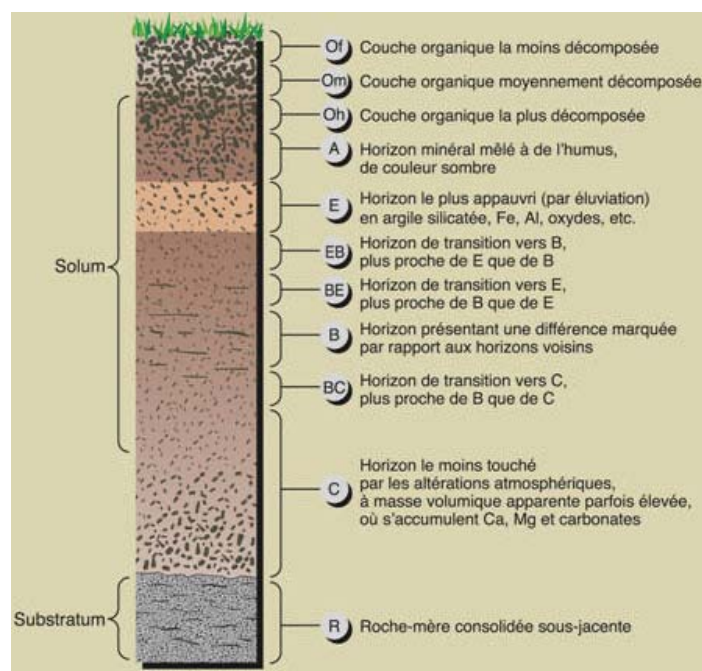
-(OLt): (**t: transition**) Débris fragmentés en petits morceaux libres entre eux

OF: (**F: fragmentation**) résidus végétaux fragmentés (les organes végétaux ne sont plus identifiables) en mélange avec de la matière organique fine (<70%) formant des boulettes millimétriques.

OH: (**H: humique**): horizon contenant plus de 70% de matière organique fine avec souvent beaucoup de petites racines (aspect de terreau, couleur marc de café avec peu d'éléments minéraux)

A: **horizon organo-minéral** dans lequel la matière organique provenant des horizons superficiels se mélange avec la matière minérale des horizons sous-jacents. La matière organique lui donne une coloration généralement plus sombre que ces derniers.

Document III-1 : Nomenclature des horizons organiques et organo- minéraux constituant l'humus d'après https://hautsdefrance-normandie.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpfold/434622_etude_des_sols_forestiers_1_1.pdf

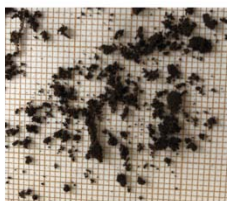


Document III-2 : nomenclature des horizons d'un sol d'après https://unt.univ-cotedazur.fr/uoh/degsol/img/exemple_profil_podologique.jpg

Matériel à disposition

- Matériel optique : loupe et microscope optique
- Bandelette de papier millimétré
- Réactifs chimiques : acide chlorhydrique, eau distillée, bandelettes pH (gamme étalon cf. feuille annexe), bandelettes nitrates (gamme étalon cf. feuille annexe).
- Verrerie : tubes à essai, béchers, verres de montre ou boîtes de Petri

III.A-1 À l'aide d'observations et de manipulations appropriées, **déterminer** les **caractéristiques** physiques, chimiques et biologiques de l'échantillon de sol. Expliquer sur **l'annexe II** votre démarche, les protocoles mis en œuvre et dégagez les arguments qui permettent de répondre à cette question. **Appelez un examinateur pour vérifier l'adéquation entre vos observations et les conclusions formulées.**



OA: formant des boulettes millimétriques

Suspension de l'horizon OA dans l'eau distillée: pH acide et faible teneur en nitrates


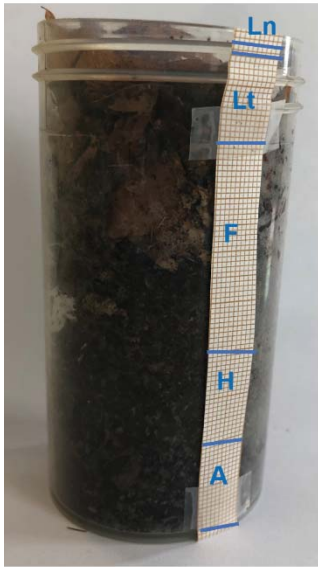


OA: Empreinte non apparente dans une boule d'échantillon humide: peu de limons



OA: Difficulté à former un boudin. Le boudin se rompt avant de pouvoir former un anneau (argiles <20%)

III.A-2 Synthétiser vos observations sur un schéma de l'échantillon



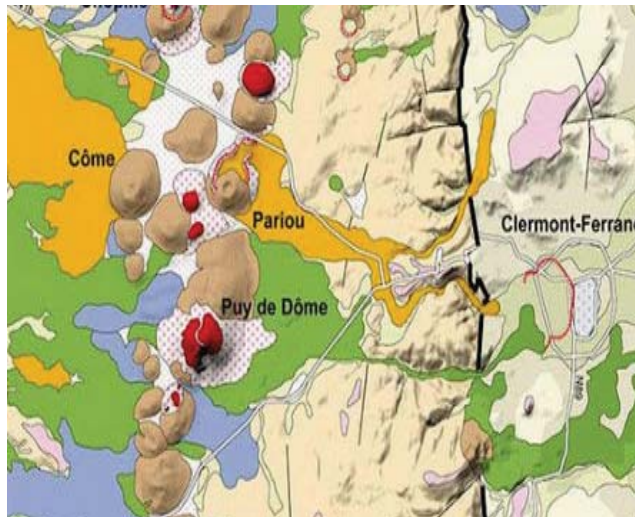
L'échantillon montre des séparations nettes entre les horizons avec **une litière très épaisse** (en particulier Olt et OF) et un **horizon H assez épais**. L'analyse macroscopique montre des traces visibles de débris végétaux indiquant **une litière mal décomposée** et une couleur noire indiquant la **présence importante de matière organique** (confirmé par la faible teneur en nitrates dans OA indiquant une faible minéralisation). Le pH est de l'ordre de 4-5. Il s'agit donc **d'un sol acide et pauvre** (avec un humus de type *mor* ou *moder acide*). L'échantillon a été prélevé sur une station d'altitude moyenne, aux conditions de température assez basses qui favorisent le développement des champignons au détriment de celui des bactéries. *Les champignons contribuent à l'acidité du milieu qui n'est pas tamponné car la roche mère est siliceuse.*

De trop nombreux candidats n'ont pas répondu à la consigne en produisant un texte paraphasant les légendes des documents III-1 et III-2 alors qu'il était clairement demandé de produire un schéma synthétique. Ce dernier devait comporter un certain nombre de conclusions émises suite aux observations et manipulations réalisées. Les rares schémas réalisés sont restés trop peu informatifs.

III.B – Caractérisation écologique

La station (photographie de gauche) dans laquelle a été prélevé l'échantillon de sol (Echantillon 5) est localisée (cercle rouge) sur la carte topographique IGN de la chaîne des puys au 1 : 25000. Elle est située à environ 1 Km à l'Est du sommet du Puy de Dôme.

La carte ci-dessous est une carte géologique simplifiée de la Chaîne des Puys (Illustration de A. Portal, d'après Boivin et al., 2017). La distance à vol d'oiseau entre le sommet du Puy de Dôme (altitude 1465m) et le centre du Maar de Clermont-Ferrand (altitude 386m) est d'environ 10 Km.



III.B-1 Dire en quoi les **caractéristiques géologiques** de la station peuvent contribuer à expliquer l'une des caractéristiques du sol (échantillon 5) mise en évidence dans la partie III.

Les données cartographiques permettent de localiser le site de prélèvement sur une roche mère constituée de brèches trachytiques émises lors de l'éruption du puy de Dôme (Sommet du Puy de Dôme distant d'environ 10km du centre du Marr de Clermont Ferrand et échantillon prélevé à 1km à l'est du sommet)
Caractéristiques pétrologiques de la trachyte du Puy de Dôme (<https://www.geoforum.fr>) : Variété de trachyte à phénocristaux feldspathiques, oligoclase potassique + biotite, tridymite et cristobalite. Structure microlitique trachytique. Roche claire, grise, relativement friable. Les brèches constituent des produits meubles formées soit par des brèches d'écroulement ou des brèches de nuée ardente) lors de l'éruption péleénne de caractère cataclysmal.

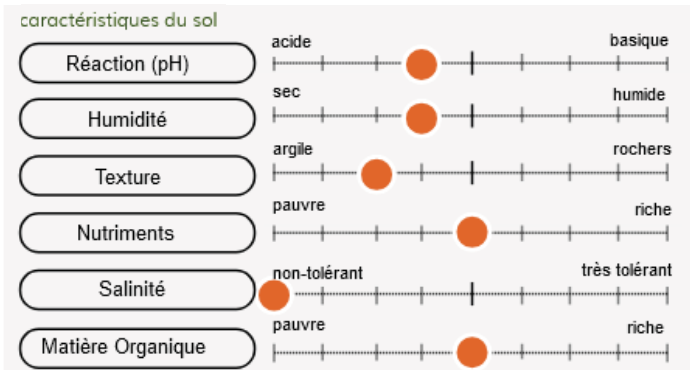
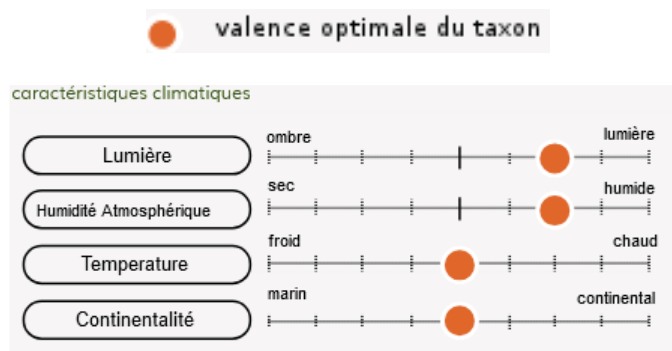
La roche mère plutôt siliceuse et ne tamponne pas l'acidité du sol résultant de la dégradation de la matière organique et de l'activité des microorganismes assurant sa décomposition.

Cette question a globalement été réussie par les candidats l'ayant traitée.

Sur l'extrait de carte de végétation de Clermont-Ferrand au 1 : 200000, (Œuvre collective CNRS) sont localisés la station étudiée (cercle rouge) et le sommet du Puy de Dôme (cercle noir)



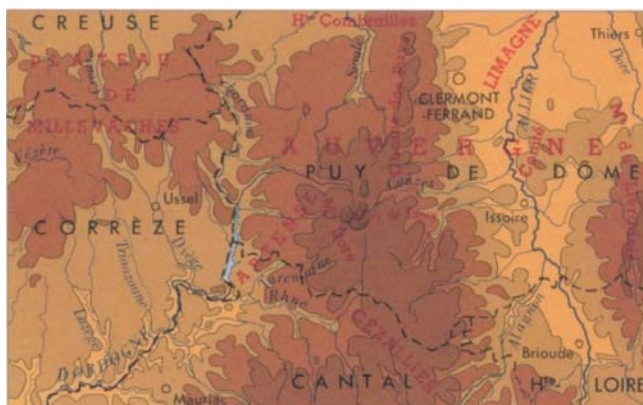
Les données écologiques concernant le Hêtre présentées ci-dessous proviennent de l'encyclopédie botanique collaborative Tela Botanica



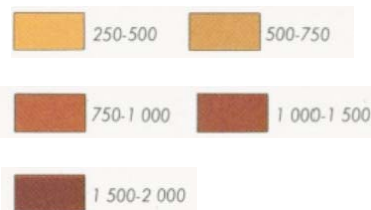
Lumière	1 : hypersciaphiles (10 lux) 2 : persciaphiles (50 lux) 3 : sciaphiles (100 lux) 4 : hémisciaphiles (1000 lux) 5 : hélioclines à sciaclines (5 000 lux) 6 : hémihéliophiles (10 000 lux) 7 : héliophiles (50 000 lux) 8 : perhéliophiles (75 000 lux) 9 : hyperhéliophiles (100 000 lux)
Humidité atmosphérique	1 : aéroxérophiles (10%) 2 : intermédiaires (20%) 3 : aéromésoxérophiles (30%) 4 : intermédiaires (40%) 5 : aéromésohydriques (50%) 6 : intermédiaires (60%) 7 : aéromésohygrophiles (70%) 8 : intermédiaires (80%) 9 : aérohydrophiles (90%)
Température	1 : alpines à nivales, altiméditerranéennes ($T \approx 0^{\circ}\text{C}$) 2 : subalpines, oroméditerranéennes ($T \approx 5^{\circ}\text{C}$) 3 : montagnardes ($T \approx 7^{\circ}\text{C}$) 4 : collinéennes, planitiales psychrophiles (psychro-atlantiques, psychrocentro-européennes) ($T \approx 9^{\circ}\text{C}$) 5 : planitiales à montagnardes ($T \approx 7-10^{\circ}\text{C}$) 6 : planitiales thermophiles (thermo-atlantiques, thermocentro-européennes) et sub- à supraméditerranéennes ($T \approx 12^{\circ}\text{C}$) 7 : eury méditerranéennes, méditerranéo-atlantiques ($T \approx 13^{\circ}\text{C}$) 8 : mésoméditerranéennes ($T \approx 15^{\circ}\text{C}$) 9 : thermoméditerranéennes à subdésertiques (inframéditerranéennes) ($T \approx 18^{\circ}\text{C}$)
Continentalité	1 : marines à maritimes ($AT \approx 8^{\circ}\text{C}$) 2 : hyperocéaniques ($AT \approx 10^{\circ}\text{C}$) 3 : océaniques ($AT \approx 17^{\circ}\text{C}$) 4 : subocéaniques ($AT \approx 19^{\circ}\text{C}$) 5 : intermédiaires ($AT \approx 21^{\circ}\text{C}$) 6 : précontinentales ($AT \approx 23^{\circ}\text{C}$) 7 : subcontinentales ($AT \approx 25^{\circ}\text{C}$) 8 : continentales ($AT \approx 30^{\circ}\text{C}$) 9 : hypercontinentales ($AT \approx 40^{\circ}\text{C}$)

Réaction (pH)	1 : hyperacidophiles ($3,0 < \text{pH} < 4,0$) 2 : peracidophiles ($4,0 < \text{pH} < 4,5$) 3 : acidophiles ($4,5 < \text{pH} < 5,0$) 4 : acidoclines ($5,0 < \text{pH} < 5,5$) 5 : neutroclines ($5,5 < \text{pH} < 6,5$) 6 : basoclines ($6,5 < \text{pH} < 7,0$) 7 : basophiles ($7,0 < \text{pH} < 7,5$) 8 : perbasophiles ($7,5 < \text{pH} < 8,0$) 9 : hyperbasophiles ($8,0 < \text{pH} < 9,0$)
Humidité	1 : hyperxérophiles (sclérophiles, ligneuses microphylls, réviscentes) 2 : perxérophiles (caulocrassuléscentes subaphylles, coussinets) 3 : xérophiles (velues, aiguillonnées, cuticule épaisse) 4 : mésoxérophiles 5 : mésohydriques (jamais inondé, feuilles malacophylles) 6 : mésohygroclines, mésohygrophiles 7 : hygrophiles (durée d'inondation en quelques semaines) 8 : hydrophiles (durée d'inondation en plusieurs mois) 9 : amphibies ou aquatiques
Texture	1 : argile 2 : intermédiaire 3 : limon 4 : sable fin 5 : sable grossier 6 : graviers 7 : galets, rocaillies 8 : blocs, dalles, replats rocheux 9 : fissures verticales des parois
Nutriments	1 : hyperoligotrophiles ($\approx 100 \mu\text{g N/l}$) 2 : peroligotrophiles ($\approx 200 \mu\text{g N/l}$) 3 : oligotrophiles ($\approx 300 \mu\text{g N/l}$) 4 : méso-oligotrophiles ($\approx 400 \mu\text{g N/l}$) 5 : mésotrophiles ($\approx 500 \mu\text{g N/l}$) 6 : méso-eutrophiles ($\approx 750 \mu\text{g N/l}$) 7 : eutrophiles ($\approx 1000 \mu\text{g N/l}$) 8 : pereutrophiles ($\approx 1250 \mu\text{g N/l}$) 9 : hypereutrophiles ($\approx 1500 \mu\text{g N/l}$)
Salinité	0 : ne supportant pas le sel 1 : hyperoligohalines, [0-0,1% Cl-] 2 : peroligohalines, [0,1-0,3% Cl-] 3 : oligohalines, [0,3-0,5% Cl-] 4 : meso-oligohalines, [0,5-0,7% Cl-] 5 : mesohalines, [0,7-0,9% Cl-] 6 : meso-euhalines, [0,9-1,2% Cl-] 7 : euhalines, [1,2-1,6% Cl-] 8 : polyhalines, [1,6-2,3% Cl-] 9 : hyperhalines, [$>2,3\%$ Cl-]
Matière Organique	1 : lithosol, peyrosol, régosol 2 : mull carbonaté 3 : mull actif 4 : mull acide 5 : moder 6 : mor, hydromor, xéromor 7 : ranker, tangel 8 : anmoor, gyttja 9 : tourbe

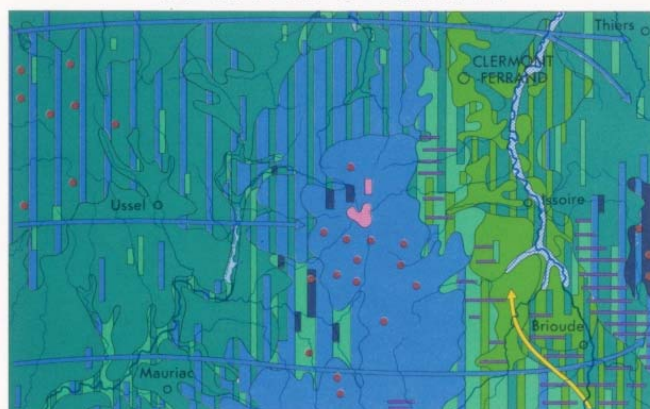
Les cartons suivants, à l'échelle 1 : 1 250 000, sont issus de la carte de végétation de Clermont-Ferrand (CNRS). L'isotherme 5°C à l'ouest de Clermont-Ferrand correspond au Puy de Dôme.



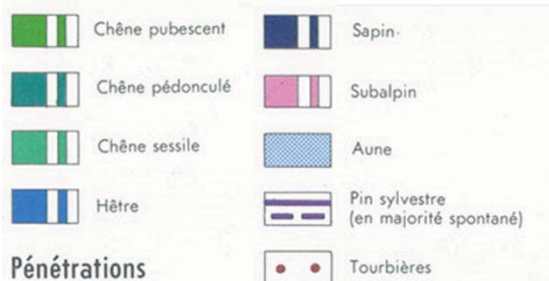
Altitude (m)



A. CARTON BOTANIQUE



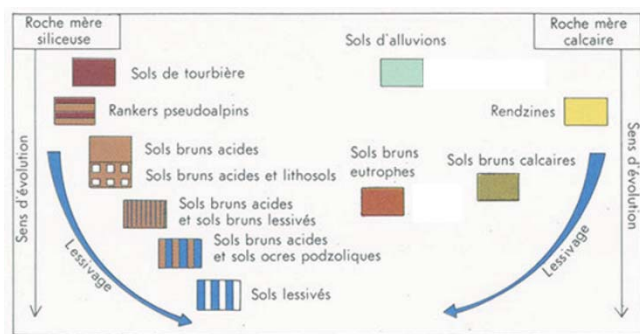
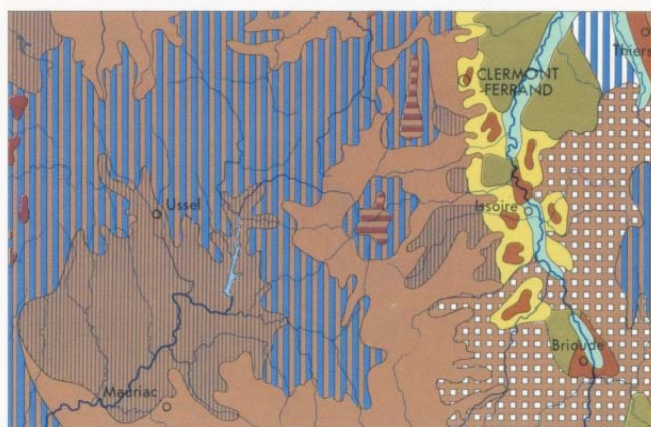
Etages de végétation



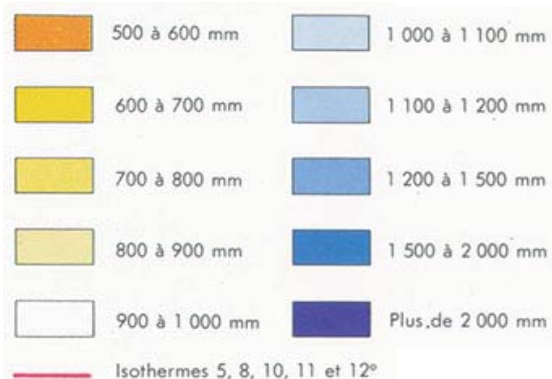
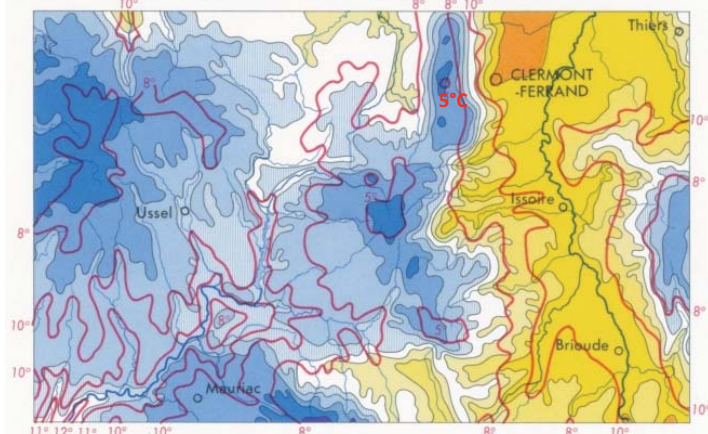
Pénétrations



B. CARTON ÉDAPHOLOGIQUE



E. CARTON PLUVIOTHERMIQUE



III.B-2 En utilisant l'ensemble documentaire à votre disposition dans la partie III, **expliquer** en quoi les caractéristiques géographiques, géologiques et pédologique de la station peuvent contribuer à expliquer la présence de la hêtraie dans la station étudiée. L'argumentation devra s'appuyer sur une exploitation explicite des documents.

Les données cartographiques permettent de localiser le sommet du Puy de Dôme par l'isotherme 5°C sur le carton pluviométrique et de localiser approximativement le site de prélèvement sur tous les cartons (distance Puy de Dôme-Clermont-Ferrand environ 10km et site de prélèvement à 1km à l'Est du sommet).

On extrait donc les informations suivantes pour les caractéristiques géographiques et pédologiques du site

- altitude de 950m (carte topographique) plus précise que celle du carton de la carte de végétation sur lequel le site est localisé dans la classe altitudinale de 1000-1500m

- isotherme 8°C (5°C toléré)
- pluviométrie entre 1200 et 1500mm
- sol brun acide

Le carton botanique indique la série du hêtre et des influences atlantiques venues de l'Ouest et l'extrait de carte de végétation confirme la série du hêtre de l'étage montagnard sous forme de bois (hêtraie)

Les données écologiques de Tela botanica indiquent comme valence optimale pour le hêtre :

- 5 pour la température: planitiaires à montagnardes ($T \approx 7-10^{\circ}\text{C}$)
- 5 pour la continentalité : intermédiaire ($AT \approx 21^{\circ}\text{C}$)
- 4 pour le pH :acidocline ($5 < \text{pH} < 5.5$)
- 4 pour l'humidité : mésoxérophile
- 3 pour la texture : limon
- 5 pour les nutriments (mésotrophyle 500 $\mu\text{gN.L}$)
- 0 pour la salinité : ne supportant pas le sel
- 5 pour l'humus : moder

Le site de prélèvement présente une majorité de caractéristiques écologiques abiotiques correspondant à la valence optimale pour le hêtre. La formation végétale sur le site correspond donc à la formation climacique de l'étage montagnard de la moyenne montagne auvergnate : la hêtraie.

Cette question a globalement été mal traitée par une majorité de candidats qui, au lieu de croiser les données cartographiques **de la station étudiée** avec les exigences écologiques du hêtre, a commenté la distribution de la hêtraie sur l'ensemble de la région couverte par la carte de végétation. Une caractérisation **précise et argumentée** des facteurs abiotiques au niveau de la station été attendue afin de confronter la végétation potentiellement observable à cet endroit avec la végétation effectivement observée. Ces candidats n'ont pas pu montrer qu'ils maîtrisaient les méthodes d'analyse cartographique attendues dans cet exercice alors qu'une plus lecture attentive de la question aurait pu permettre d'éviter ce genre d'erreur.

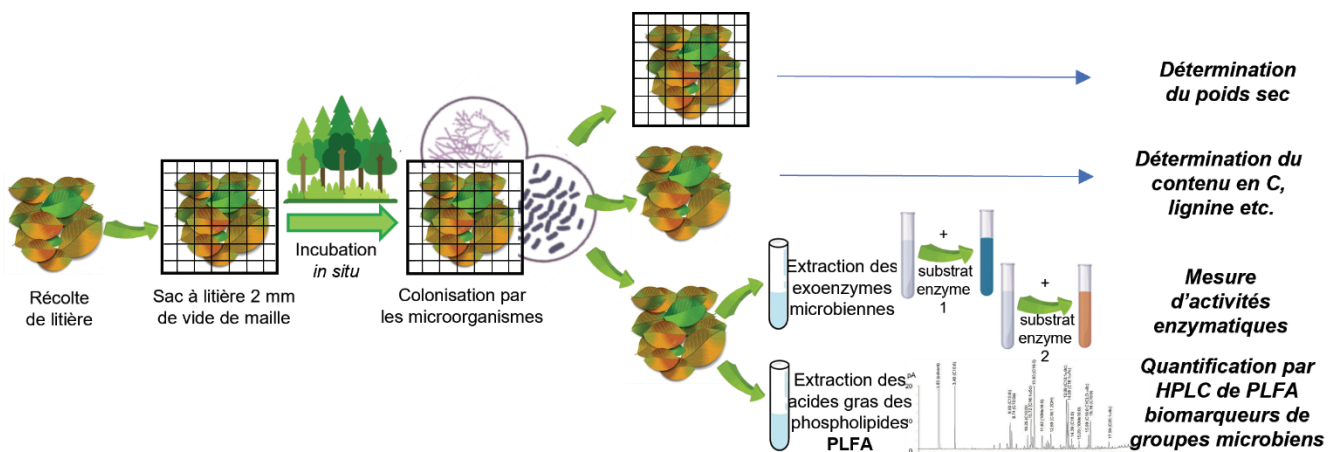
La partie III a été partiellement ou totalement traitée par 100% des candidats présents.

Partie IV – Influence de la gestion forestière sur la dégradation microbienne de litières forestières

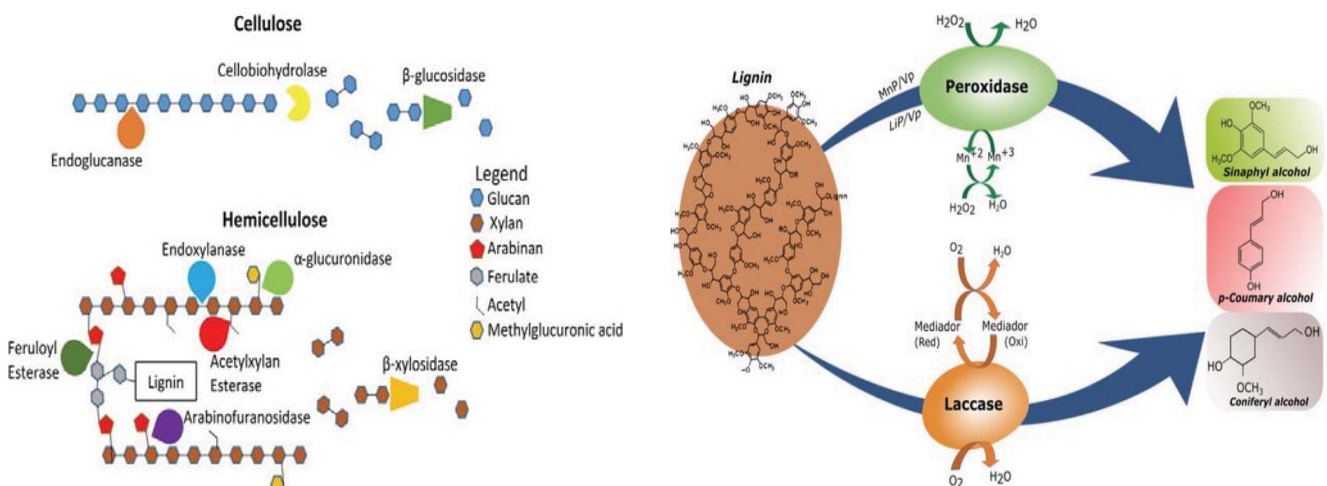
L'étude porte sur la dégradation microbienne de la litière de trois forêts allemandes localisées dans la même région (caractéristiques climatiques et pédologiques homogènes) mais gérées de manière différente (D'après Purahong, W. et al. (2014) *Scientific reports* et Purahong, W et al. (2014). *PloS one*).

- **BA**: une forêt équienne de hêtre européen (forêt semi-naturelle avec régénération naturelle, structure forestière composée d'arbres de même âge i. e. équienne)
- **BS** : une forêt de hêtres européens exploitée sélectivement (gestion forestière avec des coupes d'arbres sélectionnés, régénération naturelle, structure forestière in équienne)
- **BU**: réserve forestière de feuillus non gérée dominée par le hêtre européen (structure forestière in équienne)

Le protocole expérimental a consisté à collecter de la litière dans chacune de ces forêts, à la caractériser et à incubier *in situ*, dans chacune de ces forêts, des sacs à litière dont le vide de maille permet la colonisation des feuilles par des microorganismes. Le poids sec de litière, la qualité de la litière, l'activité de différentes enzymes microbiennes et la biomasse microbienne (estimée à l'aide d'acides gras des phospholipides ou PLFA marqueurs de différents groupes microbiens) ont été mesurés après 0, 89, 180, 284 et 473 jours d'incubation.



Document IV-1 : Protocole expérimental



Document IV-2 : Réactions catalysées par les enzymes étudiées

Forest management practice	Litter composition (%)		
	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Acer sp.</i>	<i>Fraxinus sp.</i>
Beech age-class forest (BA)	85	10	5
Beech selection cutting forest (BS)	90	10	0
Beech unmanaged forest (BU)	100	0	0

Nutrient	Age-class beech forest (BA)	Selection cutting beech forest (BS)	Unmanaged beech forest (BU)
Total C (%)	47.61±0.17	47.34±0.16	48.81±0.22
Total N (%)	0.97±0.01	1.04±0.00	0.84±0.03
C/N	48.92±0.20	45.52±0.15	58.38±2.18
Total lignin/N	43.13±0.25	39.74±0.00	56.27±1.90

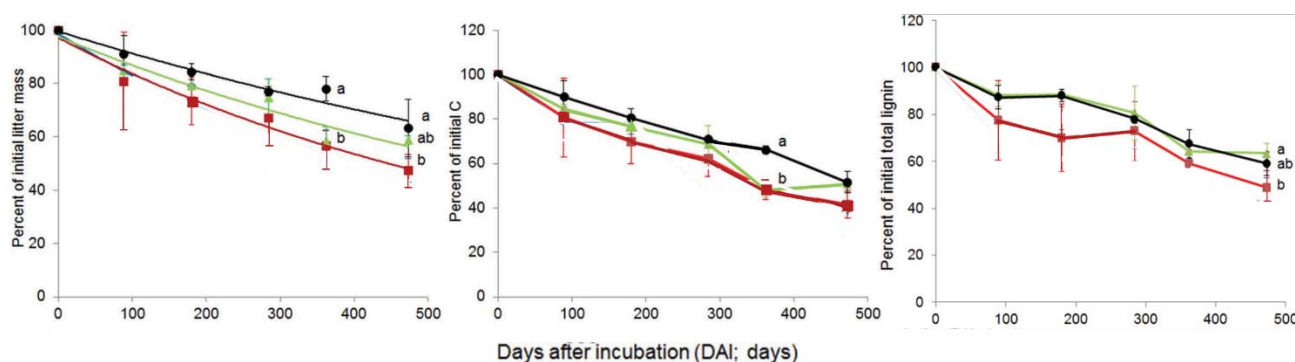
Document IV-3 : Compositions spécifique et biochimique initiales des litières des forêts étudiées

IV-1 Comparer les litières des forêts BA, BS et BU

Le hêtre est très largement dominant dans ces trois litières mais on observe que le % de la litière d'autres espèces arborescentes (Erable et Frêne) est plus élevé dans les forêts gérées que dans la réserve forestière (BU). Les conditions édaphiques et climatiques étant comparable ces différences peuvent être attribuées au mode de gestion forestière.

Le contenu en C des trois litières est comparable mais la teneur en N des litières des forêts gérées (BA et BS) est supérieure à celle de la litière de la réserve forestière: le rapport C/N est donc supérieur dans cette dernière. Le rapport lignine totale/N est également supérieur dans la litière de BU.

Cette question a globalement été bien traitée.

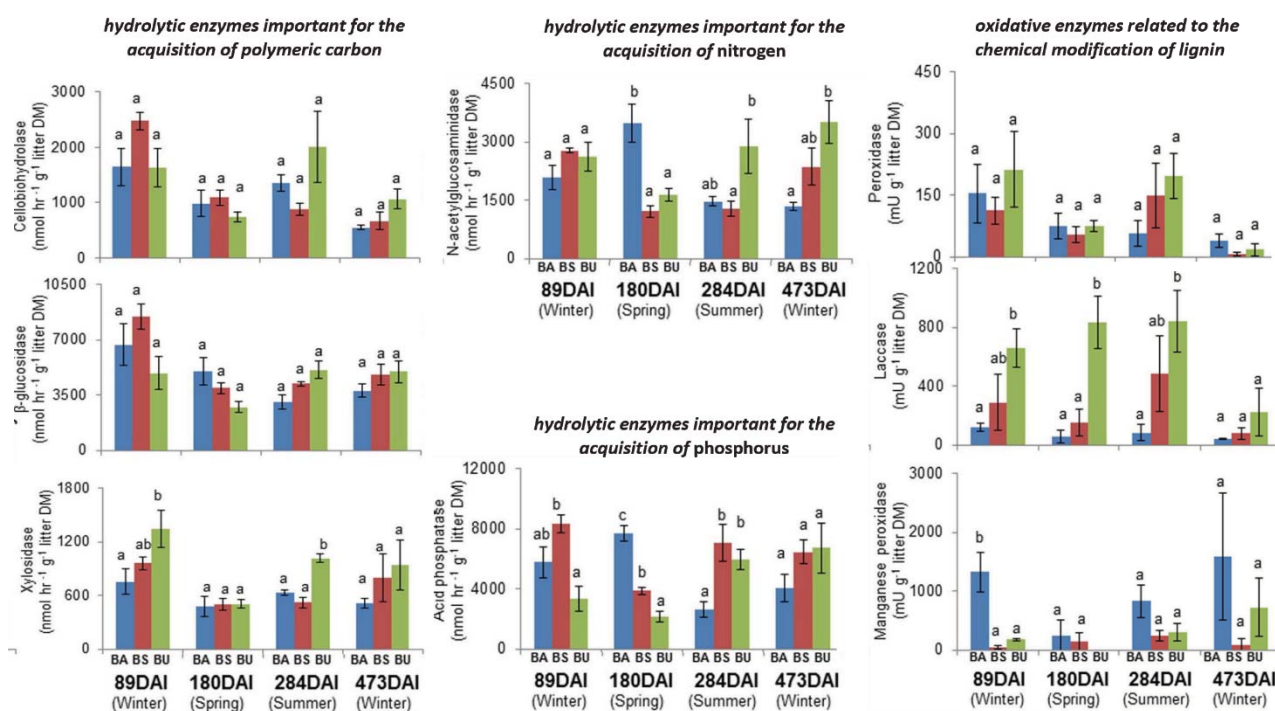


Document IV-4 : Pourcentage de la masse initiale de litière, du contenu initial en C et en lignine au cours du temps sous différents modes de gestion forestière (rouge: BA, vert: BS et noir BU) . Des lettres différentes indiquent des différences significatives (P<0,05) entre les échantillons.

IV-2 Comparer l'évolution temporelle des litières de forêts différant par leur mode de gestion

Au bout de 473 jours, la litière de la forêt BU est moins dégradée (% de masse restante supérieure) que celle de la forêts BA. Si le % restant de C initial est comparable dans les trois forêts le % restant de lignine initial est supérieur dans les forêts dont la gestion est plus limitée (BS et BU) que dans la forêt gérée (BA). La dégradation de la litière est donc globalement plus importante dans la forêt la plus affectée par la gestion que dans les deux autres forêts semi-naturelles. Cela est probablement due à la qualité de la litière composée d'un mélange de feuilles de 3 différentes espèces dans BS et monospécifique riche en lignine dans BU.

La significativité des résultats a rarement été prise en compte et très peu de candidats ont relié la dégradation de la litière avec la qualité de cette dernière (question IV-1).



Document IV-5 : Activités enzymatiques (moyenne \pm SE) dans les échantillons de litière des forêts BA (bleu), BS (rouge) et BU (vert) à quatre dates d'échantillonnage (DAI: jours après le début de l'incubation). Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0,05$) entre les échantillons.

IV-3 Analyser les résultats obtenus pour les différentes activités enzymatiques

Les activités cellobiohydrolases et β -glucosidases (dégradant la cellulose) et peroxydases ne présentent aucune différence significative au cours du temps pour les différentes forêts.

L'activité xyloxydase (dégradation des hémicellulose) est supérieure pour BU au 89^{ème} (hiver 1) et 284^{ème} (été) jours d'incubation

L'activité N-acétylglucosaminidase est supérieure pour BA le 180^{ème} jour et supérieure pour BU les derniers jours d'incubation (284 :été et 473j : hiver 2)

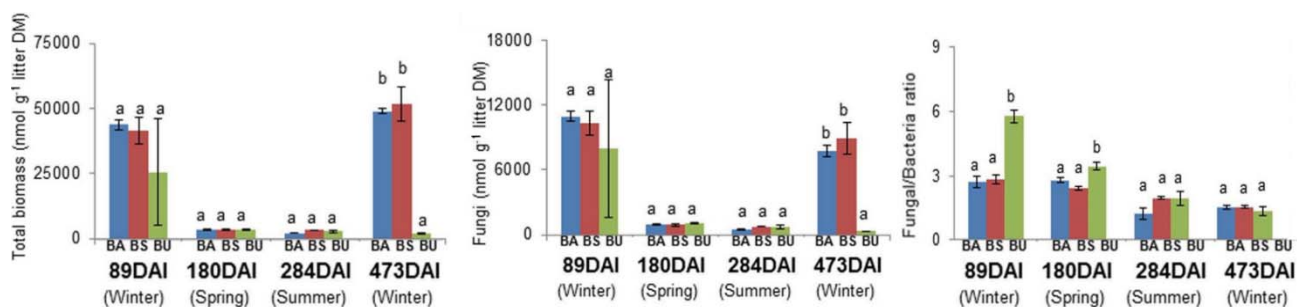
L'activité phosphatase acide est supérieure pour BA le 180^{ème} jour (printemps) et pour BS et BU le 284^{ème} jour (été)

L'activité laccase (dégradation de la lignine) est supérieure pour BU jusqu'au 284^{ème} jour (toute l'année 1)

Activité Mn peroxydase (dégradation de la lignine) est supérieure pour BA le 89^{ème} jour d'incubation (hiver)

Les activités enzymatiques ne présentent ni évolution temporelle très marquée ni d'effet très significatif du mode de gestion forestière.

La significativité des résultats ayant rarement été prise en compte, les candidats n'ont pas réussi à regrouper explicitement des activités enzymatiques montrant des distributions comparables (sans différence significative). Les analyses englobant plusieurs activités enzymatiques présentant des variations significatives ont souvent rendu les réponses confuses. Très peu de candidats ont identifié une évolution temporelle peu marquée des activités enzymatiques.



Document IV-6 : Biomasse microbienne totale et biomasse fungique estimées par quantification de PFLA biomarqueurs et rapport entre biomasse fungique/ biomasse bactérienne (mean \pm SE) dans les forêts BA (bleu), BS (rouge) et BU (vert) Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0,05$) entre les échantillons.

IV-4 Comparer l'évolution temporelle des /biomasses microbiennes dans les litières de forêts dont la gestion est différente

Les biomasses microbiennes et fungiques montrent une nette évolution saisonnière dans les trois litières. Ces biomasses sont maximales en hiver et très faibles au printemps et en été. Les biomasses ne sont pas différentes significativement entre les litières à l'exception de celles, très faibles, mesurées dans la forêt non gérée (BU) lors du second hiver (jour 473).

Les rapports Fungi/Bacteria diminuent au cours du temps dans les trois litières traduisant un changement des communautés microbiennes entre les étapes précoces (hiver et printemps de la première année) et tardives (été et hiver de la seconde année) de la dégradation de la litière. La litière de la forêt non gérée (BU) a, dans les stades précoces, un rapport fungi/bactérie supérieur à celle des forêts BA et BS (peut être en lien avec la qualité biochimique de cette litière plus riche en lignine que les deux autres).

La variation saisonnière des biomasses microbiennes a généralement bien été identifiée. Cependant, peu de candidats ont mis en évidence un changement des communautés microbiennes entre périodes précoces (jours 89 et 180) et tardives (jours 284-473) de dégradation des litières.

IV-5 Conclure sur l'influence de la gestion forestière sur la dégradation des litières forestières

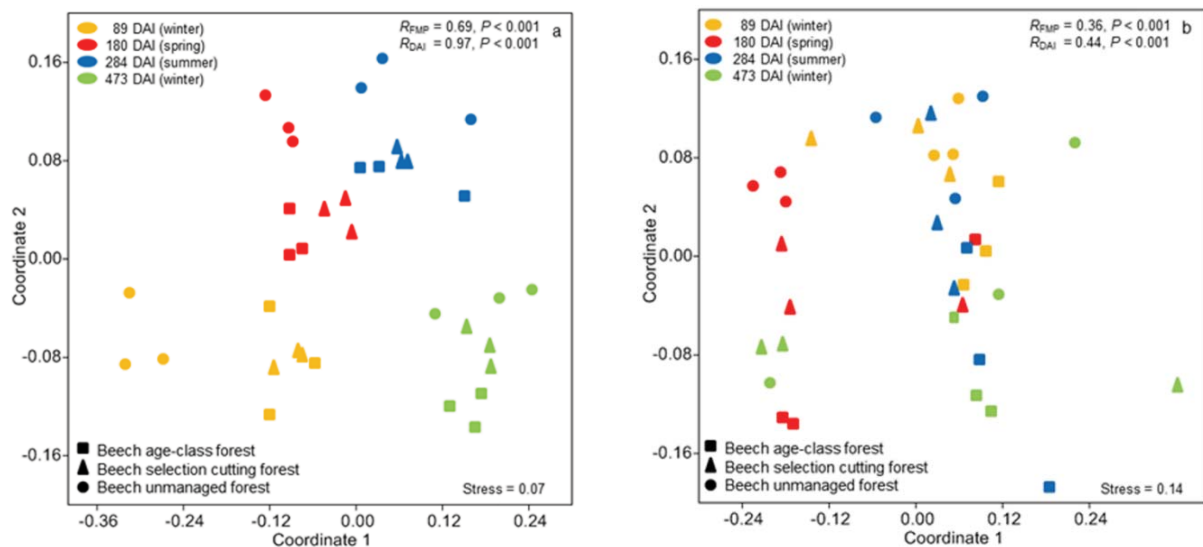
La gestion forestière a une influence sur la diversité forestière et la composition qualitative des litières (la forêt équienne (BA) et la forêt gérée de manière sélective (BS) ont une litière mixte contrairement à la réserve forestière monospécifique (BU). Cette dernière a un rapport C/N élevé et est plus riche en lignine (rapport lignine/N) : elle est globalement moins rapidement dégradée que les deux autres litières.

La gestion forestière ne semble pas avoir d'impact significatif sur les activités des enzymes responsables de la dégradation des litières mais semble affecter la composition microbienne qui est enrichie en champignon pendant les phases précoces de dégradation de la litière dans la réserve non gérée (BU).

La gestion forestière semble augmenter le taux de décomposition de la litière (accélérer le recyclage des éléments).

Les candidats ayant obtenu la meilleure note à cette question sont ceux qui ont utilisé les conclusions formulées aux quatre questions précédentes pour répondre à celle-ci. Certains candidats ont toutefois tiré une conclusion contraire à ce qu'ils avaient démontré dans les questions précédentes. Cela est probablement dû au fait que la conclusion à laquelle il s'attendait (une dégradation plus rapide de la litière forestière dans la forêt la moins impactée par la gestion forestière) est **infirmée** par les résultats expérimentaux.

Un traitement statistique permettant de représenter dans l'espace la similarité entre des objets (NMDS) a été appliqué aux échantillons (les objets similaires étant les plus proches). La qualité de l'ajustement de la distance entre objets dans l'espace est mesurée par la valeur du stress (plus celle-ci est faible plus la représentation est exacte).



Document IV-7 : NMDS de (a, à gauche) la structure de la communauté microbienne et (b, à droite) des activités de 8 enzymes. La structure de la communauté microbienne est estimée à l'aide des PFLA marqueurs permettant de quantifier les champignons et 4 groupes bactériens : Actinomycètes, bactéries anaérobies, bactéries Gram+ et Gram-. R indique le degré de séparation entre les groupes ($R = 0$, groupes pas différents ; $R = 1$, groupes complètement différents). Les indices FMP et DAI indiquent respectivement le type de gestion du système forestier et les jours après le début de l'incubation.

IV-6 Comparer les résultats obtenus pour la structure de la communauté microbienne et les activités enzymatiques microbiennes et **formuler une conclusion** relative aux liens existant entre la structure et la fonction de la communauté microbienne étudiées au cours de ce travail.

L'analyse MDS montre un patron très net de regroupement des prélèvements en fonction de la durée d'incubation (4 groupes nettement séparés) traduisant une évolution temporelle de la structure des communautés bactériennes au cours de la dégradation des litières. Dans chacun de ces 4 groupes on constate une séparation des communautés microbiennes de la litière de la forêt non gérée (BU cercle) et celles des forêts gérées (BA carré et BS triangles) traduisant un effet de la gestion forestière sur la composition de la communauté microbienne.

Ce patron n'est pas observé pour les activités enzymatiques pour lesquelles aucun regroupement en fonction de la durée ou de la gestion forestière n'est observable (activités enzymatiques comparables pour des échantillons de différentes litières et/ou après différentes durées d'incubation).

La structure des communautés microbiennes ne détermine ses fonctions de dégradation des litières probablement du fait de la redondance fonctionnelle de différents groupes bactériens et fongiques.

Peu de candidats ont analysé ce document. Lorsqu'elle a été faite, l'analyse est restée très confuse. Rares sont les candidats qui ont réussi à mobiliser la notion de redondance fonctionnelle applicable aux micro-organismes dans le contexte de dégradation des litières forestières étudié ici.

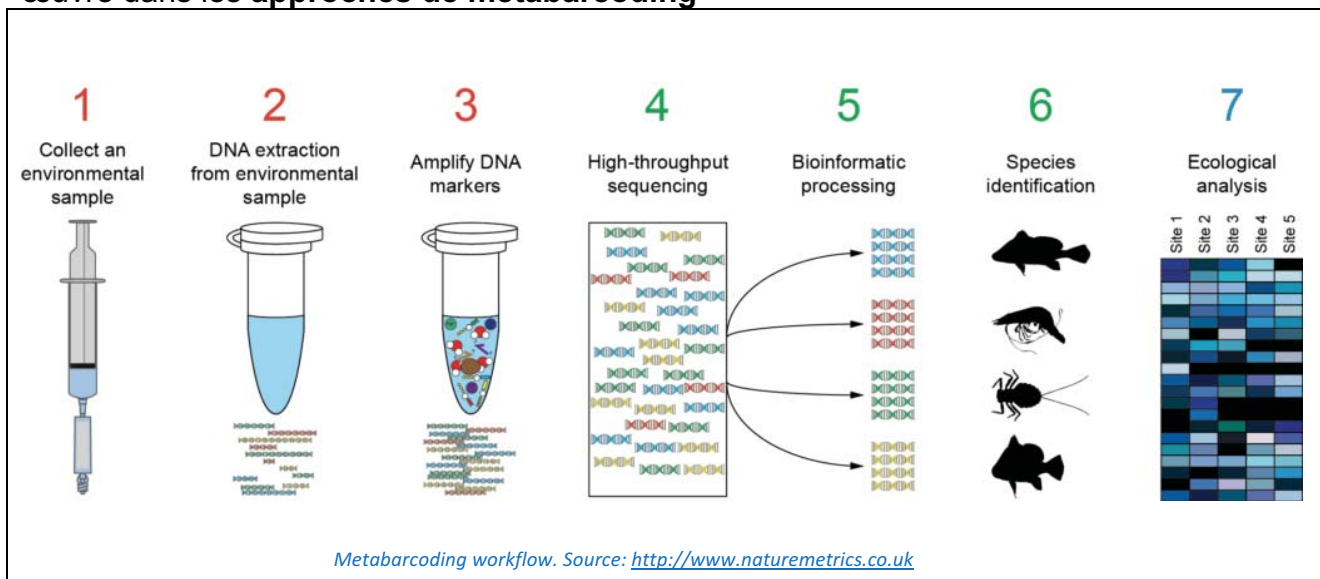
La partie IV a été partiellement ou totalement traitée par 92% des candidats présents mais 30% de ces candidats ont obtenus une note assez faible.

Partie V – Biodiversité des êtres vivants des litières forestières

V.A – Biodiversité microbienne

Lors d'une étude menée sur la litière d'une réserve forestière de feuillus dominée par le hêtre européen (Répartition inégale des âges, âge des arbres jusqu'à >100 ans, recouvrement par des arbres > 10 m = 85 %), les microorganismes ont été suivis au cours d'une incubation de sacs à litières *in situ* (document IV-1) à l'aide d'une approche de metabarcoding. (D'après Purahong, et al. (2016) *Molecular ecology*, 25(16), 4059-4074).

V-A.1 Rappel brièvement, sous la forme de votre choix, les **différentes étapes** mise en œuvre dans les **approches de metabarcoding**



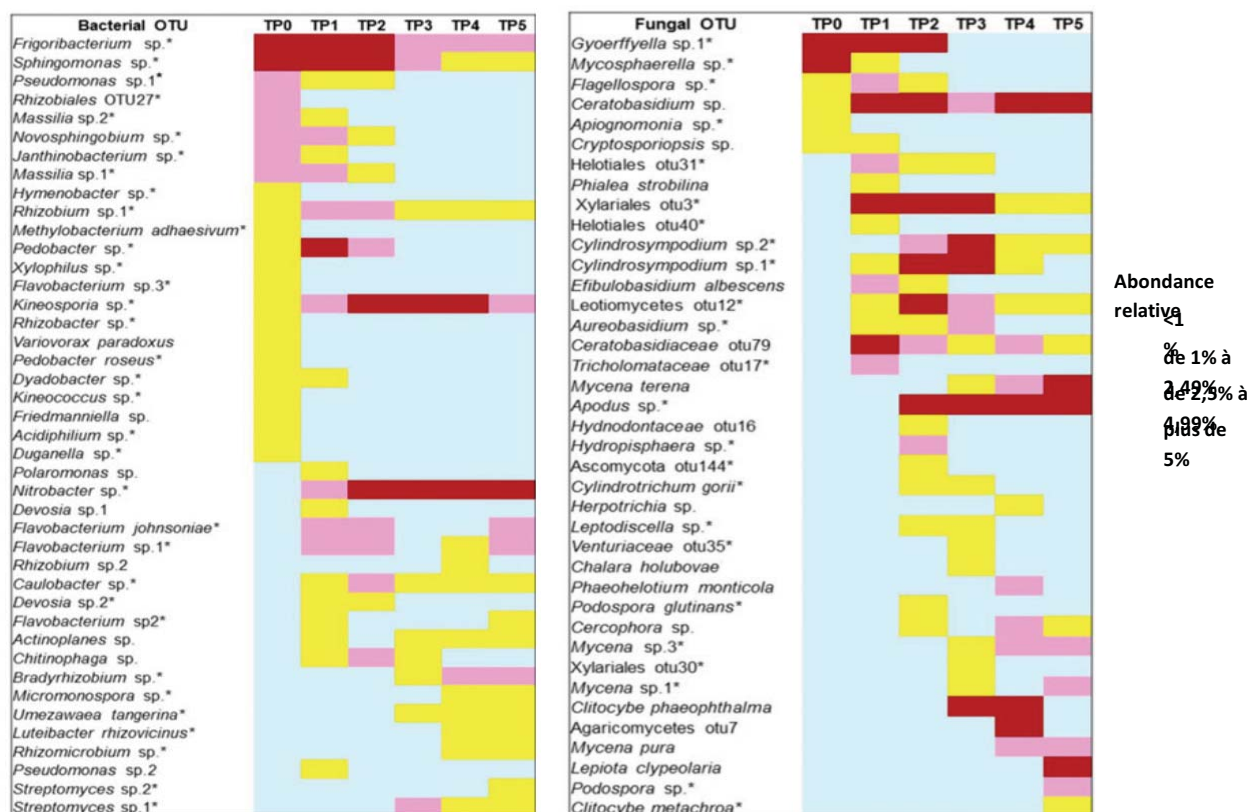
Si l'approche de metabarcoding semble connue, les différents étapes permettant d'obtenir ce type de résultats le sont rarement ou le sont très partiellement.

Au total, 86 609 et 85 979 lectures de qualité satisfaisante ont été obtenues. Après le retrait de séquences chimériques, elles ont été regroupées en 3346 OTU bactériennes et 771 OTU fongiques. La suppression des OTU de faible abondance (c'est-à-dire des singletons aux tripletons) aboutit à un jeu de données contenant 908 OTU bactériennes et 225 OTU fongiques.

V-A.2 Définir une OTU

Une unité taxonomique opérationnelle (OTU) est une *définition* opérationnelle utilisée pour classer des groupes d'individus étroitement liés qui sont regroupés en fonction de la similarité de séquences spécifiques (généralement le seuil de clusterisation est fixé à 97% en faisant l'hypothèse que cela correspond à une espèce). Les OTU sont donc des proxy pour les espèces ou des groupes taxonomiques supérieurs.

Alors que ce type de méthode moléculaire est largement utilisée en écologie, cette définition semble inconnue des candidats (aucun candidat n'a répondu à cette question !). Le jury tient à souligner qu'une **connaissance des méthodes d'étude est indispensable à un regard critique sur les résultats obtenus.**



Document V-1 : Evolution temporelle des communautés bactériennes et fongiques dans une litière de réserve forestière. Les figures concernent les OTU bactériennes et fongiques dominantes (représentant au moins 1 % de l'abondance relative à au moins une date d'échantillonnage). *: effet significatif ($P < 0,05$) de la durée d'incubation sur les abondances relatives des OTU bactériennes et fongiques. TP0 à 5 correspondent à 0, 89, 180, 284 et 473 jours d'incubation *in situ* des sacs à litière.

V-A.3 Analyser les résultats obtenus concernant les communautés bactériennes et fongiques

La communauté bactérienne de la litière de feuilles était initialement fortement dominée par deux OTU: *Frigoribacterium* sp. et *Sphingomonas* sp. Ces deux OTU sont restées dominantes après 89 et 180 jours mais leurs abondances relatives ont progressivement diminué jusqu'à 473 jours. La majorité des OTU bactériennes dominantes à un stade précoce diminue ou devient absente dans les stades ultérieurs. Deux OTU bactériennes, peu abondantes initialement (*Nitrobacter* sp. et *Kineosporia* sp.) ont ensuite maintenu des abondances élevées jusqu'à la fin de l'expérience (180– 473 jours) alors que *Bradyrhizobium* sp dominait uniquement au cours des dernières étapes de décomposition de litière de feuilles (284 à 473 jours).

Les OTU fongiques les plus abondantes montrent également un patron saisonnier. A *Gyoeffyaella* sp et *Mycosphaerella* sp. dominantes initialement succèdent Xylariales OTU 3, *Cylindrosyndrium* sp.1, et *Leotiomyces* OTU 12 des jours 89 à 180 puis *Clitocybe* spp., *Mycena* spp., et *Lepiota* spp. des jours 284 à 473 jours.

Les communautés bactériennes et fongiques montrent une succession écologique au cours de la dégradation de la litière.

Lorsque cette question a été abordée, les candidats se sont souvent contentés d'une description partielle et superficielle. Ils se sont rarement appuyés sur quelques OTU précises (le raisonnement pouvait être construit à partir de l'analyse des OTU identifiées en rouge représentant plus de 5% de l'abondance relative). Les termes employés ont souvent été non informatifs ("varient", "sont modifiés"...), l'exploitation des résultats et la formulation d'hypothèses explicatives sont restées le plus souvent inexistantes.

V.B – Biodiversité morphologique d'êtres vivants de litières forestières

Cet exercice est un exercice de reconnaissance raisonnée d'organismes à partir de vidéos.

V.B-1 Après avoir visionné les vidéos, proposer une position systématique des organismes en précisant les caractères que vous avez retenus pour faire cette proposition

Vidéo N°	Position systématique argumentée
1	<ul style="list-style-type: none"> -Cellule avec cytoplasme à aspect granuleux (organites ?) : Eucaryote -Cellule mobile à l'aide de deux flagelles : Biconte -Organites légèrement colorés en vert-brun : Chromoalvéolés -nom vernaculaire Flagellé dont la position phylogénétique est SAR, Rhizarien, Cercozoaire
2	<ul style="list-style-type: none"> -Organisme pluricellulaire mobile: Eucaryote Uniconte Métazoaire Eumétazoaire -partie antérieure portant les ocelles : Bilatérien -organisme vermiforme aplati : Plathelminthe Les plathelminthes sont des Protostomiens Spiraliens Rousphozoaires
3	<ul style="list-style-type: none"> -Organisme pluricellulaire mobile: Eucaryote Uniconte Métazoaire Eumétazoaire -partie antérieure/postérieure identifiables au cours du déplacement: Bilatérien -organisme vermiforme dont l'extrémité postérieure est effilée : Nématode Les Nématodes sont des Protostomiens Ecdysozoaires
4	<ul style="list-style-type: none"> -organisme mobile effectuant des déplacement amiboïdes grâce à des pseudopodes -pseudopodes dépassant d'une structure protectrice la thèque Nom vernaculaire : Amibe à thèque ou thécamébien Les amibes sont des Eucaryotes, unicontes, Amebozoa
5	<ul style="list-style-type: none"> -Organisme pluricellulaire mobile: Eucaryote Uniconte Métazoaire Eumétazoaire -partie antérieure identifiable au cours du déplacement : Bilatérien -organisme segmenté (4 segments) se déplaçant avec des pseudopodes (4 paires) -organisme à allure de petit ours marchant lentement : Tardigrade Les tardigrades sont des Protostomiens Ecdysozoaires Panarthropodes
6	<ul style="list-style-type: none"> -Organisme pluricellulaire mobile: Eucaryote Uniconte Métazoaire Eumétazoaire -partie antérieure identifiable par la présence d'antennules et antennes: Bilatérien -corps formé de segments portant des appendices articulés : euarthropodes -corps formé de 4 régions : Céphalon portant un œil composé et furca portant des soies : Crustacés copépodes (Harpacticoïdes) Les Copépodes sont des Protostomiens Ecdysozoaires Panarthropodes Euarthropodes Mandibulates Pancrustacés Altocrustacés Vericrustacés
7	<ul style="list-style-type: none"> -Cellule avec cytoplasme à aspect granuleux (organites ?) : Eucaryote -cellule mobile effectuant des déplacement amiboïdes grâce à des pseudopodes Nom vernaculaire : Amibe nue Les amibes sont des Eucaryotes, unicontes, Amebozoa

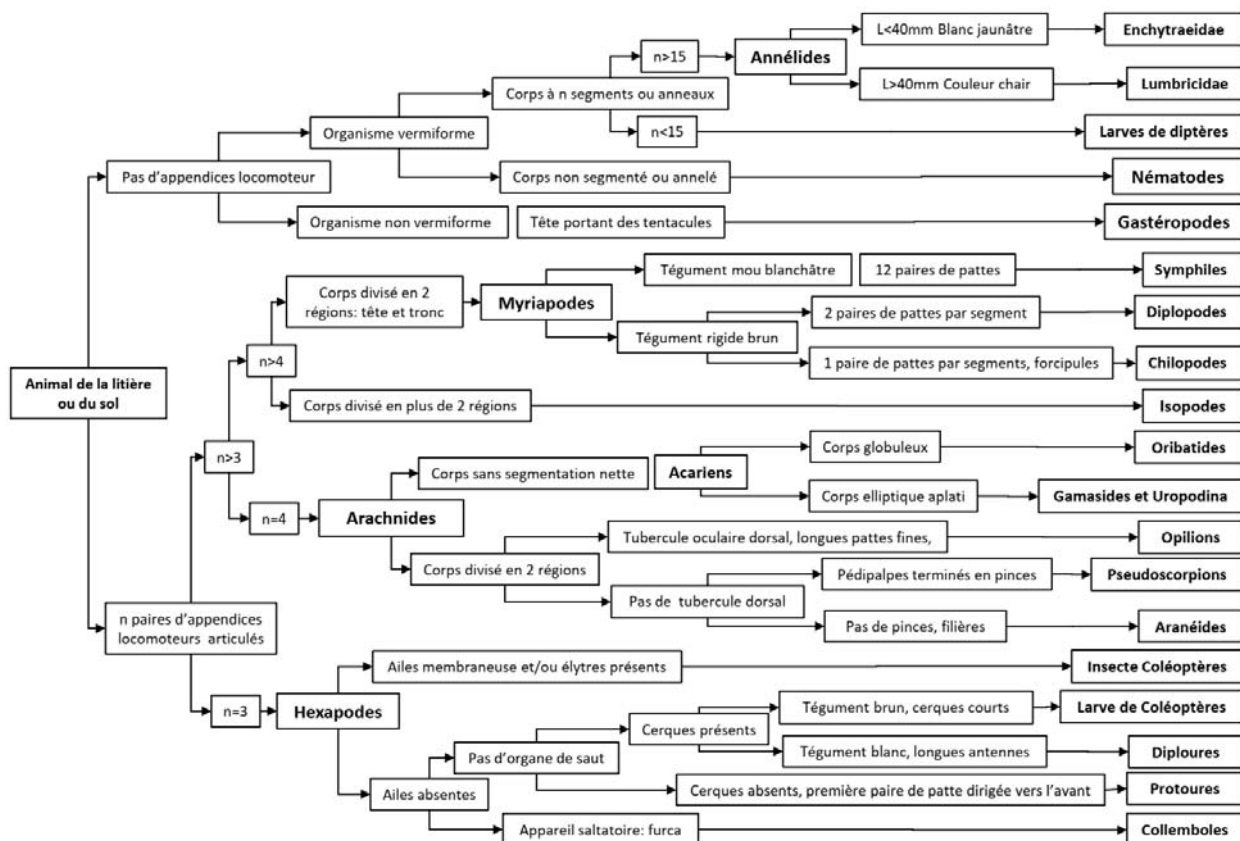
Un réel effort de certains candidats pour reconnaître les organismes présentés a été noté. Le défaut a souvent été le manque d'argumentation des réponses et la non prise en compte de la taille des organismes (microscopiques pour la plupart) ce qui amené à des confusions plus ou moins importantes.

V.C – Biodiversité de la mésofaune et de la macrofaune



Document V-2 : Collection d'organismes d'une litière forestière

V.C-1 En utilisant la clef de détermination ci-dessous, **identifier les organismes** de la collection (document V-2). **Préciser** ces déterminations à l'aide de vos connaissances.



N°	Détermination	N°	Détermination	N°	Détermination	N°	Détermination
1	Annelide Enchytraeidae	6	Hexapode Protoure	11	Myriapode Diplopode	16	Arachnide Opilion
2	Acarien Oribate	7	Hexapode Collembole	12	Hexapode Larve de Coléoptère	17	Myriapode Chilopode
3	Acarien <i>Gamaside</i> ou Uropodina	8	Acarien <i>Gamaside</i> ou Uropodina	13	Larve de Diptère	18	Hexapode Coléoptère <i>Carabus auratus</i>
4	Myriapode Symphile	9	Gastéropode	14	Arachnide Aranéide	19	Hexapode Coleoptère Staphilin (<i>Ocypus olens ex- Staphylinus olens</i>)
5	Hexapode Diploure	10	Annélides Lumbricidae	15	Arachnide Pseudoscorpion		

Pratiquement tous les candidats ont essayé de remplir ce tableau mais les déterminations se sont parfois résumées à un seul des termes mentionnés dans la clef. Toutefois quelques déterminations assez farfelues par rapport aux images proposées ont également été relevées !

V.D – Caractérisation d'un organisme de la macrofaune

V.D-1 Présenter (sur l'annexe III) selon la/les méthode(s) de votre choix (dessin d'observation, étiquettes ...) l'échantillon 6 fourni, en mettant en évidence les caractéristiques qui vous permettent de le positionner dans la classification du vivant.

Appelez un examinateur pour vérifier l'adéquation entre vos observations et les conclusions formulées.

Annexe III

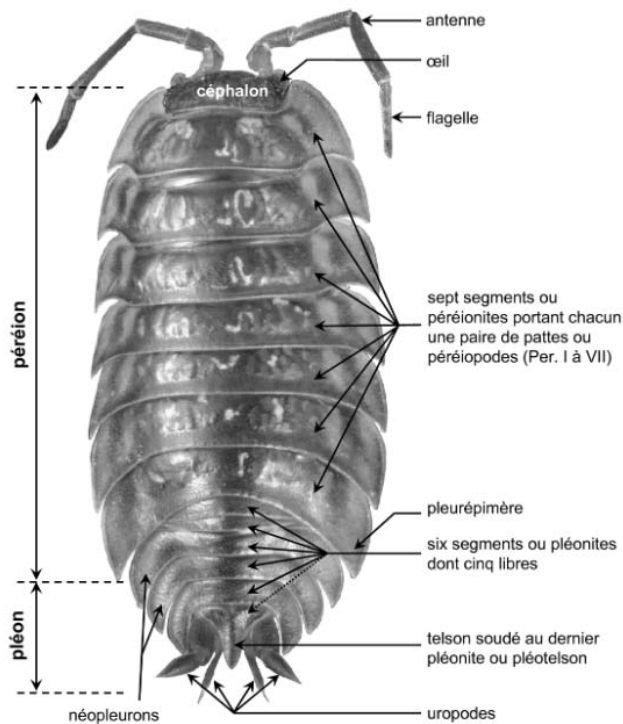


Figure A1. Morphologie générale d'un Isopode terrestre.
Vue dorsale d'*Oniscus asellus* Linnaeus, 1758.
(Cliché : C. MOUQUET)

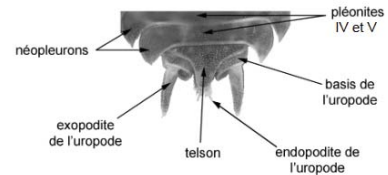


Figure A2. Détail de la partie postérieure du corps d'un Isopode terrestre.
Vue dorsale du pléon, du telson et des uropodes chez *Porcellio gallicus* Dollfus, 1904.
(Cliché : C. MOUQUET)

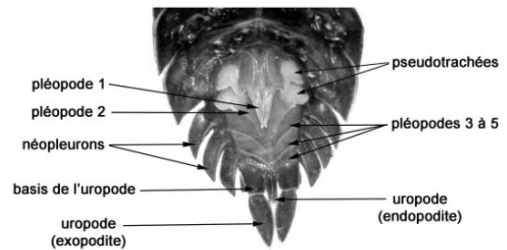


Figure A3. Face ventrale du pléon d'un mâle de *Porcellio scaber* Latreille, 1804.
(Cliché : C. MOUQUET)



Figure A4. Face ventrale du pléon d'une femelle de *Porcellio scaber* Latreille, 1804.
(Cliché : C. MOUQUET)

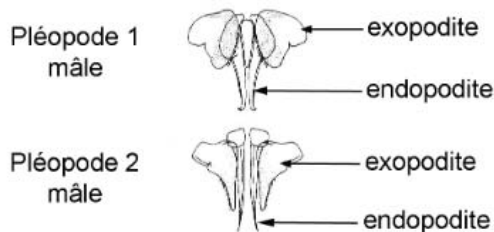


Figure A5. Morphologie des pléopodes (paires 1 et 2)
d'un mâle d'Isopode terrestre
(d'après HOPKIN, 1991).

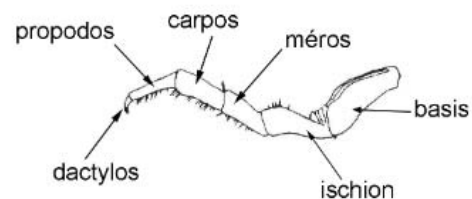
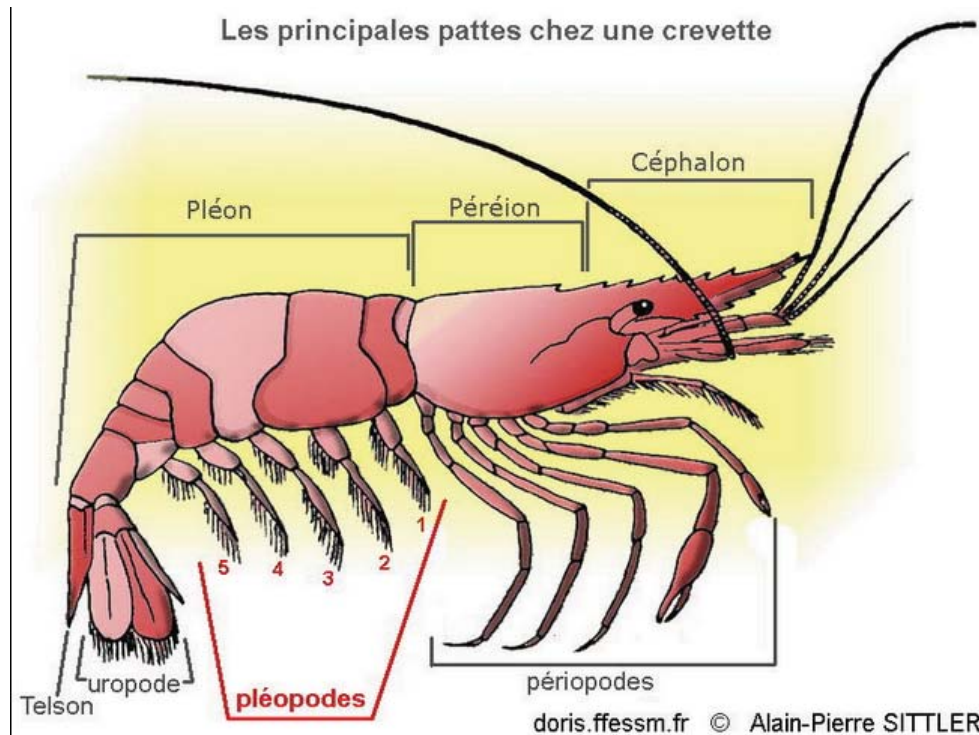


Figure A6. Détail de la morphologie d'un péreïopode
d'Isopode terrestre
(d'après HOPKIN, 1991).

http://www.gretia.org/phocadownload/cahiers_gretia/IA02/Cle_Cloportes_11_oct_N_B_PDF1.3-1.pdf



Les candidats devaient réaliser un dessin d'observation rigoureux de la face dorsale et/ou ventrale d'un cloporte, accompagné d'un titre explicite et éventuellement du grossissement utilisé. Le soin apporté à la représentation anatomique ainsi qu'à l'annotation du dessin permettait d'évaluer leur capacité à identifier et nommer les principales structures morphologiques (antennes, yeux, céphalon, péréion, pléon, telson, uropodes, pléopodes et périopodes). Une attention particulière était portée à la qualité des légendes, à leur précision terminologique et à leur positionnement. La mobilisation d'éléments de comparaison avec un crustacé aquatique, lorsqu'elle était présente, constituait un indicateur supplémentaire de la compréhension de l'appartenance du cloporte aux Crustacés, malgré sa vie terrestre.

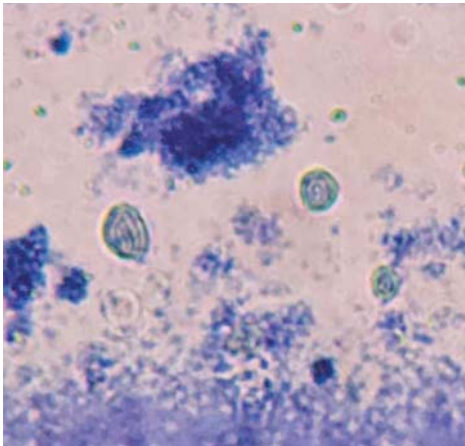
V.D-2 À l'aide d'un prélèvement de votre choix et en utilisant le protocole fourni, **mettre en évidence** certains éléments du contenu du tube digestif de l'échantillon 6 (sur l'annexe III).

Protocole de coloration gram

Faire un frottis : nettoyer une lame à l'alcool. Effectuer le prélèvement de votre choix et le frotter sur la lame. Laisser sécher à l'air. Fixer l'échantillon à la chaleur.

Coloration (*attention aux éclaboussures, mettez des gants*)

- Déposer quelques gouttes de solution de violet de gentiane (cristal violet) sur le frottis fixé. Laisser agir 1 minute. Jeter l'excès de colorant dans un bécher. Rincer **très brièvement** en faisant couler de l'H₂O sur la lame au-dessus du frottis (pas directement sur le frottis).
- Déposer quelques gouttes de Lugol sur le frottis. Laisser agir 1 minute. Jeter la solution de Lugol dans un bécher et rincer **très brièvement** à l'H₂O comme précédemment décrit.
- Décolorer en faisant couler la solution de décoloration (alcool 90) sur la lame jusqu'à ce que le violet ne s'écoule plus du frottis (5 à 10 secondes). Rincer à l'H₂O. Laisser sécher à l'air.
- Observer au microscope.



Les candidats devaient réaliser une observation microscopique du contenu du tube digestif de cloportes après coloration de type de Gram. L'épreuve visait à évaluer leur capacité à effectuer correctement un prélèvement, à préparer une lame (choix du montage, coloration, grossissement adapté) et à produire un dessin d'observation scientifique rigoureux. Les éléments attendus comprenaient l'identification de bactéries, ainsi que la reconnaissance de fragments de matière organique en cours de décomposition. Le soin apporté au dessin, la pertinence des légendes et la capacité à discriminer les différents éléments observés constituaient des critères essentiels d'évaluation.

V.D-3 Préciser le(s) rôle(s) assuré(s) par ces éléments dans la biologie de l'organisme étudié.

Les candidats devaient expliquer le rôle des bactéries, notamment celles du microbiote intestinal des cloportes, dans les étapes finales de la décomposition de la matière organique. L'objectif était de vérifier leur capacité à mobiliser des connaissances sur la production d'enzymes capables de dégrader des polymères complexes (ex. : lignine, cellulose), et à établir un lien fonctionnel entre ce processus microbiologique et la biologie de l'organisme. L'argumentation attendue devait faire apparaître que le microbiote contribue activement à la digestion des éléments de la micromasse de la litière, participant ainsi au recyclage de la matière. La pertinence scientifique des propos et la cohérence du raisonnement étaient des éléments clés dans l'évaluation des réponses.

La majorité des candidats a correctement réalisé la coloration de type Gram et a su mettre en évidence la présence de bactéries impliquées dans les processus de digestion. Toutefois, la notion de *microbiote intestinal*, attendue pour qualifier cette communauté bactérienne spécifique, a été rarement explicitée. De même, le lien entre cette fonction microbienne et la biologie propre du cloporte en tant qu'organisme détritivore a souvent été omis ou peu développé.

V.D-4 Comparer le comportement des organismes (de la même espèce que l'échantillon 6) soumis à un stress simulant un changement climatique (augmentation des températures et sécheresse selon le scénario intermédiaire du GIEC) à celui d'organismes non stressés. Vous utiliserez le logiciel **ToxTrac pour analyser les vidéos et remplir le tableau suivant.**

Condition	Nom de la vidéo	Distance parcourue (mm)	Vitesse moyenne (mm/s)	Temps en mouvement (rate)	Taux d'exploration (rate)
Actuelle	Actuel1	1031,5	8,6	77%	30%
Actuelle	Actuel2	772,35	6,64	86%	29%
Stressé	Stress1	1146,85	9,61	93%	37%
Stressé	Stress2	1392,56	11,61	93%	37%

Voici ci-dessus les données attendues dans le tableau suite à l'analyse des vidéos.

La plupart des candidats a réussi à extraire correctement les données issues de l'analyse des vidéos à l'aide du logiciel ToxTrac, en suivant le protocole fourni sous forme de tutoriel vidéo. Les difficultés rencontrées, lorsqu'elles ont été présentes, étaient le plus souvent liées à une non-application rigoureuse du tutoriel, en particulier à l'oubli de fermer les fenêtres de calibrage, ce qui a perturbé la stabilité du logiciel.

V.D-5 Sur la base de votre tableau rempli, comparer les deux groupes d'organismes (conditions actuelles vs stress). Identifier les différences majeures en termes de comportement et les implications de ces comportements pour ces organismes en milieu naturel dans un contexte de changement climatique.

Les candidats devaient analyser et comparer les comportements locomoteurs de cloportes soumis à des conditions de stress (hausse de température et baisse d'humidité, simulant un changement climatique) avec ceux observés en conditions dites « actuelles ». À partir des variables extraites des vidéos (vitesse, distance parcourue, fréquence de déplacement, taux d'exploration), les candidats étaient attendus sur une interprétation des tendances comportementales, mettant en évidence une plus forte activité chez les individus stressés. L'exploitation quantitative des données fournies (extraits d'un tableau) devait permettre d'appuyer l'analyse, en intégrant une réflexion sur le faible nombre de réplicats (2 vidéos par condition), et la nécessité de données supplémentaires ou d'analyses statistiques pour renforcer les conclusions. Enfin, une discussion sur les implications écologiques de ces résultats était attendue, notamment en lien avec la sensibilité des cloportes à la déshydratation et l'interprétation possible de l'augmentation de la mobilité comme stratégie de fuite face à un stress environnemental.

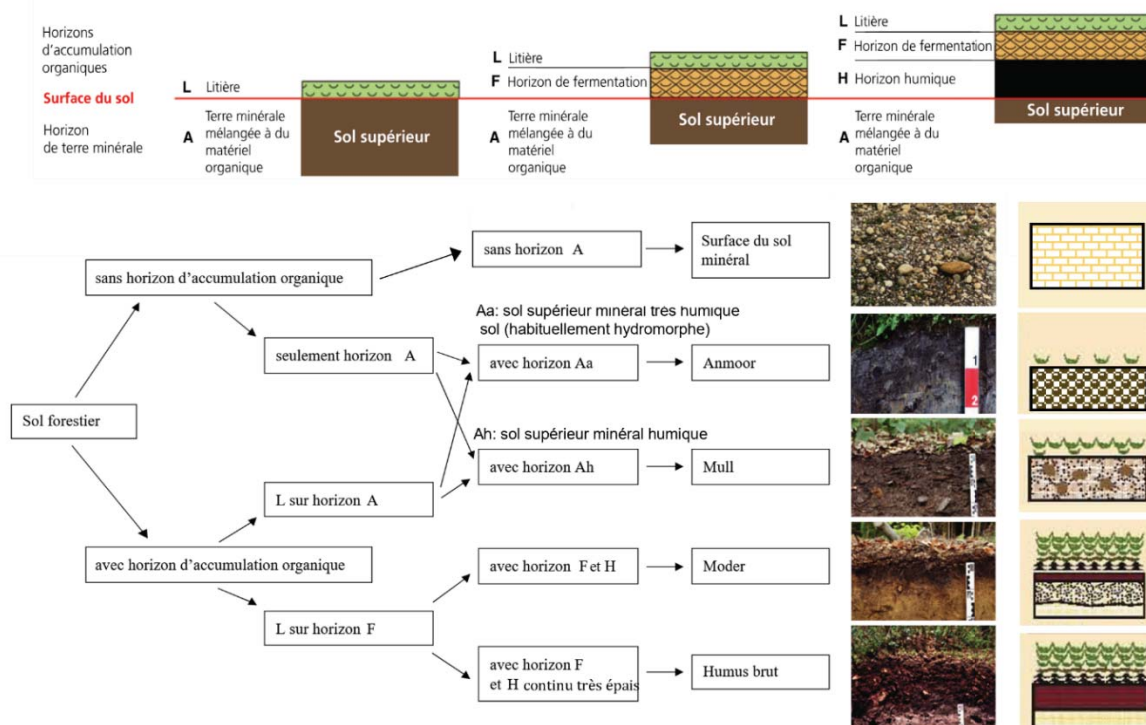
Appelez un examinateur pour vérifier l'adéquation entre vos observations et les conclusions formulées.

L'un des attendus a souvent été négligé : l'expression d'un esprit critique, notamment à travers la mention du nombre limité de réplicats et de l'absence d'analyses statistiques nécessaires pour valider les résultats observés.

La partie V a été partiellement ou totalement traitée par 100% des candidats présents même si 10% de ces candidats ont obtenus une note assez faible.

Partie VI – Comparaison de deux types d'humus

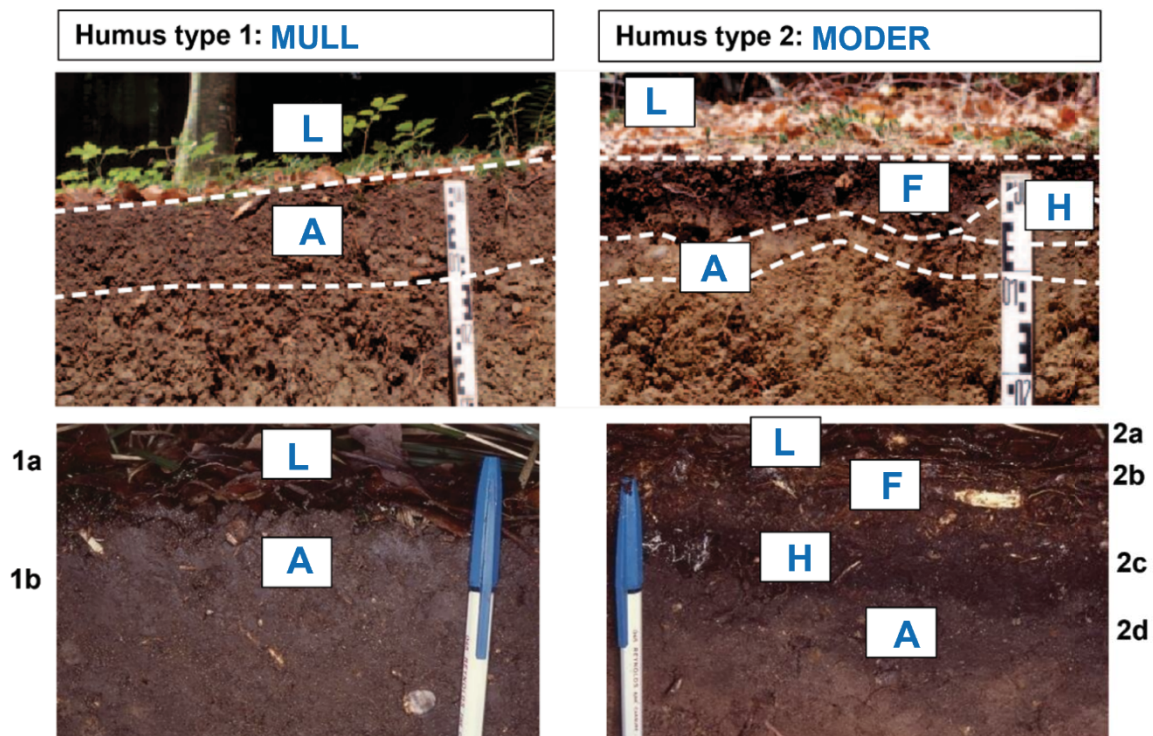
VI.A – Identification de deux types d'humus



Document VI-1 : Clef simplifiée de détermination des principaux types d'humus forestiers

Modifié d'après <https://www.waldwissen.net/fr/habitat-forestier>

VI.A.1 Dans les cadres prévus à cet effet, **nommer** les différents horizons en utilisant les lettres mentionnées dans la clef simplifiée et **nommer** les deux types d'humus



Document VI-2 : Profils pédologiques complets et horizons superficiels de deux sols forestiers d'après Lüscher, P. et al. (2009) et Ponge J-F, Milsil, 8(5), 12-14 (2015)

VI.B – Comparaison des communautés

	Humus type 1			Humus type 2		
	S	N	B	S	N	B
Microfauna						
Flagellata	—	2.7×10^9	54	—	—	—
Amoebina	—	3.5×10^9	1133	—	—	—
Testacea	65	84×10^6	343	51	57×10^6	256
Turbellaria	3	859	8	3	1882	4
Nematoda	65	732000	146	—	—	—
Tardigrada	4	4207	4	—	41 ^{a)}	9 ^{a)}
Harpacticoida	—	3873	2	1	3300 ^{a)}	0.6 ^{a)}
Saprophagous and microphytophagous mesofauna						
Enchytraeidae	36	22300	600	15	108000	1640
Cryptostigmata	61	25900	180	72	101810	195
Uropodina	11	3390	26	4	1525	—
Symphyla	2	57	—	1	—	—
Diplura	—	161	—	> 1	277	—
Protura	—	2481	—	> 1	278	—
Collembola	48	37835	153	> 11	63000	246
Zoophagous mesofauna						
Gamasina	67	2620	45	13	10800	397
Saprophagous macrofauna						
Gastropoda	30	120	430	4	0	0
Lumbricidae	11	205	10700	4	19	168
Isopoda	6	286	93	0	0	0
Diplopoda	6	55	618	1	0	0
Elateridae larvae	11	37	104	4	332	706
Diptera larvae	37 ^{b)}	2843	161	40 ^{b)}	7415	628
(>245 spp.)						
Zoophagous macrofauna						
Araneida	102	140	47	93	462	173
Pseudoscorpionida	3	35	16	2	89	10
Opilionida	8	19	11	4	20 ^{a)}	6 ^{a)}
Chilopoda	10	187	265	7	74	155
Carabidae	24	5	144	26	7	93
Staphylinidae	85	103	76	117	314	180

^{a)} single measurement; ^{b)} families.

— = not studied; 0 = not present. Data from different sources (see text). Some minor groups are omitted. For

Document VI-3 : Richesse spécifique (S), densité annuelle moyenne (N en ind.m⁻²) et biomasse annuelle moyenne (B en mg poids sec.m⁻²) de la « faune » du sol de deux forêts allemandes présentant un humus de type 1 ou 2. D'après Schaefer, M., and J. Schauer mann (1990).

VI.B-1 Proposer des méthodes d'échantillonnage de la micro, meso et macrofaune

Pour étudier la microfaune, faire une suspension d'une carotte de sol dans de l'eau, faire décanter et observer le surnageant au microscope (si le volume de surnageant est important utiliser une cuve à sédimenter)



Pour étudier la mésofaune et la macrofaune utiliser un appareil de type Berlese soit avec deux grilles de vide de maille différent (pour séparer meso et macrofaune) soit collecter les organismes en utilisant une grille de grand vide de maille et les séparer par tamisage. Un mélange de solvants (heptane-eau) peut également être utilisé pour séparer par densité les petits organismes.

Le jury a principalement relevé des proposition d'utilisation de la technique de Berlese de façon indistincte pour toutes les fractions de taille d'organismes vivants dans la litière. Ceci témoigne d'une réelle méconnaissance des méthodes d'étude des microorganismes.

VI.B-2 Expliciter les cinq catégories utilisées pour présenter les résultats

La « faune du sol » peut être étudiée par fraction de taille. On distingue la micro-meso-macro-mégafaune dont les limites de taille théoriques sont : $<0,2\text{mm}$; $0,2\text{mm} < \text{taille} < 2\text{mm}$ et $2\text{mm} < \text{taille} < 20\text{mm}$.

Les organismes macroscopiques ($>2\text{mm}$) qui consomment la matière organique :

- de la nécromasse sont saprophages,
- des organismes photosynthétiques microscopiques sont microphytophages
- des organismes animaux sont zoophages.

Cette question a été inégalement réussie par les candidats.

VI.B-3 Compléter le tableau suivant et comparer les densités et biomasses moyennes des individus de la microfaune, mésofaune et macrofaune dans l'humus de type 1.

Humus de type 1	Densité	Biomasse
Microfaune	$6.21 \cdot 10^9 \text{ ind.m}^{-2}$	$1690 \text{ mg PS .m}^{-2}$
Mésofaune	$9,47 \cdot 10^4 \text{ ind.m}^{-2}$	$1004 \text{ mg PS .m}^{-2}$
Macrofaune	$4,04 \cdot 10^3 \text{ ind.m}^{-2}$	$12665 \text{ mg PS .m}^{-2}$

Comparaison des densités et biomasses dans l'humus de Type 1

La microfaune représente 99,99% des individus et 11,00 % de la biomasse

La mésofaune représente 0,001% des individus et 6,54 % de la biomasse

La macrofaune représente $<0,001$ % des individus et 82,46% de la biomasse

Les organismes de la « microfaune » sont 100000 plus nombreux que ceux de la mésofaune qui sont eux-mêmes 23 fois plus nombreux que ceux de la macrofaune.

La biomasse de la macrofaune est 7,5 fois de celle de la mésofaune qui est 1,68 fois moins importante que celle de la microfaune

VI.B-4 En utilisant uniquement les données obtenues pour les taxons ayant fait l'objet d'une détermination à l'espèce dans les deux types d'humus, compléter le tableau suivant et comparer les richesses spécifiques des microfaunes, mésofaunes et macrofaunes

S	Humus de type 1	Humus de type 2
Microfaune	137	55
Mésofaune	225	118
Macrofaune	296	262

Comparaison des richesses spécifiques dans les deux types d'humus

Quel que soit la fraction de taille étudiée la richesse spécifique est supérieure dans l'humus mull (type1) par rapport à l'humus moder (de type 2). Cette différence est plus importante pour la mésofaune près de 2 fois (1.9) plus diversifiée dans l'humus de type mull que dans l'humus moder.

Lorsqu'elles ont été traitées, les deux questions précédentes l'ont souvent été correctement. Les candidats sont parvenus à interpréter les résultats souvent de façon « empirique » sans que les applications numériques soient justes. Lorsque celles-ci l'étaient, les réponses ont rarement été discutées au moyen de quantifications (comparaison chiffrée des différences).

VI.B-5 En utilisant les valeurs de densité mentionnées dans le document **VI-3**, **calculer** les indices de diversité de la **macrofaune saprophage** des deux types d'humus. **Compléter** le tableau ci-dessous et **commenter** les résultats.

Remarque: Les indices de diversité sont théoriquement calculés pour des espèces. Les valeurs calculées ici sont des approximations utilisant les niveaux taxonomiques (non homogènes) listés dans la publication pour estimer la biodiversité.

Indice de diversité	Macrofaune saprophage	
	Humus de type 1	Humus de type 2
<i>S</i> richesse spécifique ici nombre de taxons	6	3
H' Indice de Shannon	1.11	0.28
E indice de Pielou $H = H'/H_{\max}$ avec $H_{\max} = \log_2 S$	0,43	0,17

Comparaison des indices de diversité de la macrofaune saprophage des 2 types d'humus

La **biodiversité est supérieure** pour la macrofaune saprophage de **l'humus mull** (H' humus de type 1 supérieur à celui de l'humus de type 2). Les deux communautés sont caractérisées par la très forte dominance du même taxon les larves de diptères expliquant les valeurs de l'indice de Pielou largement inférieure à 1. **L'équitabilité ou equirépartition** est toutefois plus forte dans **l'humus mull** (E supérieur)

Le jury a été étonné de constater qu'un exercice aussi classique en écologie qu'un calcul d'indice de diversité, avait rarement été fait par les candidats. Quelques valeurs correctes pour la richesse spécifique de H1 ont été obtenues alors qu'un seul candidat a effectué un calcul juste pour H2! Le reste des valeurs a été assez fantaisiste! Si la comparaison de la diversité a été tentée parfois même en l'absence de valeurs calculées, l'équitabilité n'a jamais été discutée.

VI.B-6 Comparer la biomasse totale et la répartition de la biomasse dans la mésofaune et la macrofaune dans les deux types d'humus

-La biomasse de la « faune » est environ 3 fois plus forte dans l'humus de type 1 ou mull: 15,359 g poids sec.m⁻² que dans l'humus de type moder ou type 2: 4,866 g poids sec.m⁻²

-La macrofaune contribue à 92,62% de la biomasse de la meso et macrofaune confondue dans l'humus de type mull alors que la répartition de la biomasse dans la mesofaune et la macrofaune est plus équilibrée dans l'humus moder (53,90% pour la mesofaune et 46,10% pour la macrofaune).

- Les lumbricidae de la macrofaune représentent 78,28% de la biomasse meso+macrofaune dans l'humus mull alors que les enchytréides de la mesofaune représentent 35,68% de cette biomasse dans l'humus de type moder.

-Les larves d'insectes représentent une part importante de la biomasse dans l'humus moder (respectivement 15,36 pour les larve de coléoptères elateridae et 15.66 pour les larves de diptères).

-La plus forte biomasse de prédateurs est rencontrée chez les Chilopodes de la macrofaune pour l'humus de type mull (1,94% de la biomasse meso+macrofaune) et chez les Acariens Gamasides de la mésofaune dans l'humus moder (8,64% de cette biomasse).

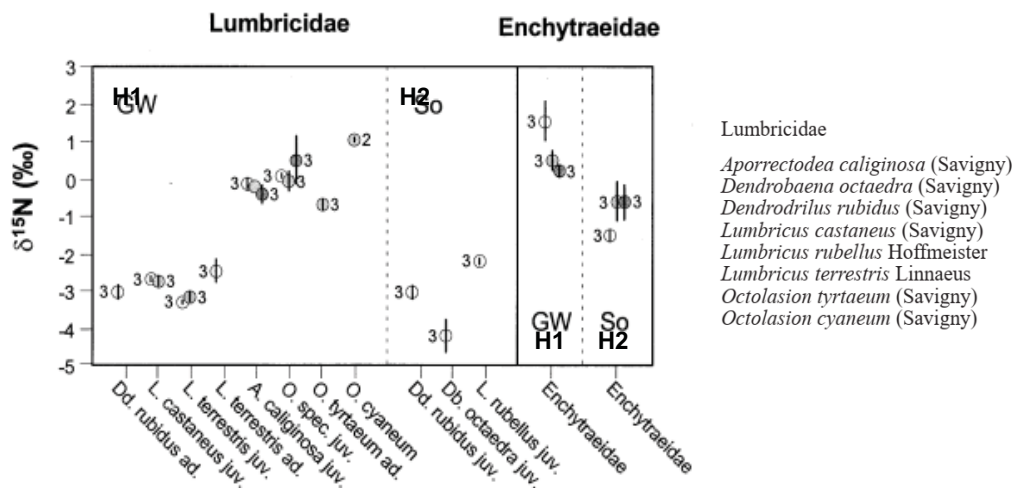
Les Araneides, Chilopodes et Staphylinidae de la macrofaune contribuent chacun pour plus de 3,5 % de cette biomasse dans l'humus moder (3,76%;3,37% et 3,92 respectivement)

Certains candidats ont pensé à utiliser les données fournies pour quantifier leur comparaison, même si les calculs n'étaient pas toujours corrects, cette démarche a été valorisée. Un seul candidat a comparé explicitement les lumbricidés et les enchytréides et les prédateurs n'ont jamais été mentionnés. D'une manière générale les comparaisons ne sont ni discutée ni interprétées.

VI.C–Comparaison des réseaux trophiques

De nombreux auteurs ont émis l'hypothèse que la nutrition des espèces saprophages était plutôt basée sur les micro-organismes colonisant la litière et les matériaux du sol plutôt que sur la matière organique morte elle-même, mais l'identification des ressources alimentaires des organismes du sol par des méthodes directes reste délicate. En effet, la petite taille de la majorité de ces organismes entrave les observations directes du contenu intestinal et certains de ces organismes ingèrent des fragments de proies impossibles à identifier visuellement. Les rapports des isotopes stables des organismes se sont révélés utiles pour identifier les relations trophiques dans les habitats aquatiques et terrestres. Sur la base d'une compilation des rapports $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ d'un grand nombre d'organismes, Minagawa et Wada (1984) ont conclu qu'en moyenne, les niveaux trophiques adjacents diffèrent de 3,4 unités $\delta^{15}\text{N}$ (on retiendra une augmentation d'environ 3 unités entre le niveau trophique n et le niveau trophique $n+1$).

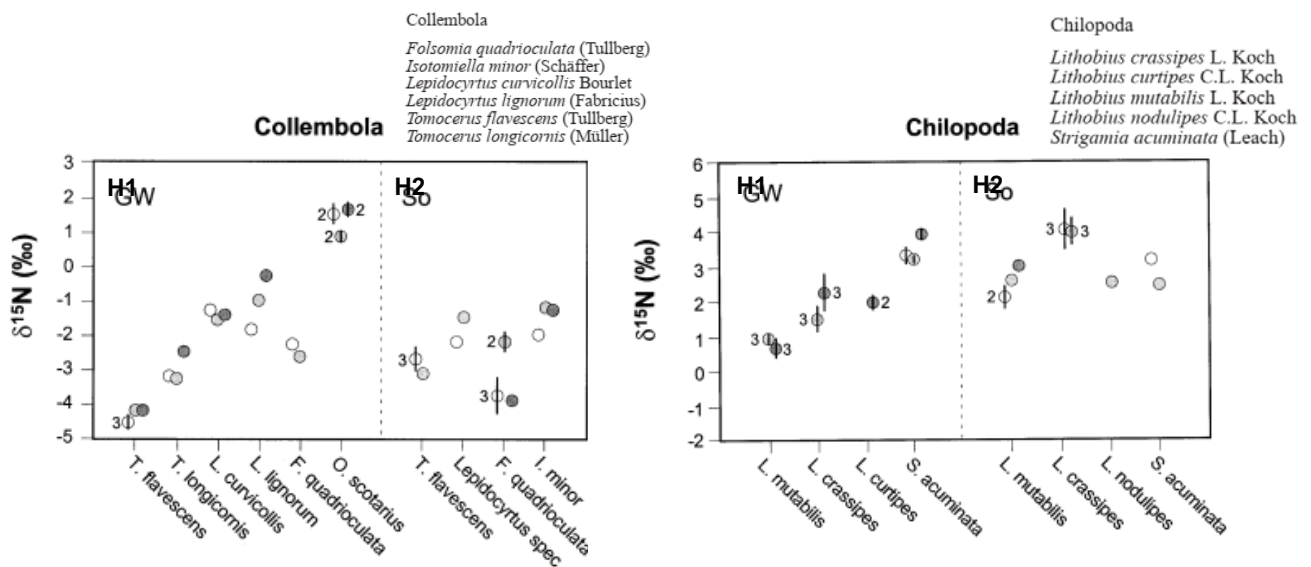
Les résultats suivants concernent des organismes prélevés dans les 2 sites présentant le même type de forêt, mais caractérisés par des sols comportant un humus de type 1 (H1) ou de type 2 (H2). D'après Scheu, S., & Falca, M. (2000). *Oecologia*, 123, 285-296



Document VI-4 : $\delta^{15}\text{N}$ des espèces de Lumbricidae et Enchytraeidae dans les sols avec humus de type 1 (H1) et de type 2 (H2). Le nombre de répliques est indiqué ; les barres représentent les écart-types. Les noms complets des espèces de Lumbricidés sont précisés.

VI.C-1 Analyser les résultats obtenus pour les Lumbricidae et Enchytraeidae dans les deux sols

La diversité des lombricidés est plus importante dans l'humus mull que dans l'humus moder respectivement 8 et 3 espèces. Les espèces de lombrics de l'humus mull se répartissent en deux groupes l'un ayant un $\delta^{15}\text{N}$ de l'ordre de -3 et l'autre de l'ordre de 0 qui traduit une différence de niveau trophique parmi ces fousisseurs. Tous les lombricidés de l'humus moder ont un $\delta^{15}\text{N}$ autour de -3 alors que les Enchytréides, quel que soit l'humus, ont un $\delta^{15}\text{N}$ compris entre -1 et +1. Ces résultats tendent à montrer que les enchytréides et certains lombricidés occupent un niveau trophique supérieur, en consommant les microorganismes colonisant la litière, à celui d'autres lombricidés plutôt saprophages.



Document VI-5 : $\delta^{15}\text{N}$ des espèces de Collemboles et Chilopodes dans les sols avec humus de type1 (H1) et de type 2 (H2). Le nombre de répliques est indiqué; les barres représentent l'écart-type. Les noms complets des espèces sont précisés.

VI.C-2 Analyser les résultats obtenus pour les Collemboles et les Chilopodes dans les deux sols

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des Collemboles de l'humus moder sont réparties autour de la valeur $\delta^{15} = -3$ alors que dans l'humus mull elles s'échelonnent de -4.5 à 2 traduisant des différences de régime alimentaire : certaines espèces étant potentiellement saprophage avec un δ^{15} autour de -3, d'autres microphages avec δ^{15} proche de 0 et les δ^{15} intermédiaires pouvant s'expliquer par un régime mixte (saprophage et microphage). Les Chilopodes présentent globalement un δ^{15} compris entre 2 et 5 (moyenne environ 3) ils exercent probablement leur prédation sur les microphages alors qu'une espèce de l'humus mull dont le δ^{15} est de 1 (*L. mutabilis*) pourrait exercer une prédation sur les organismes saprophages de cet environnement

Les deux questions précédentes ont posé problème à un certain nombre de candidats parmi ceux, peu nombreux, ayant essayé d'y répondre. Alors que les variations de $\delta^{15}\text{N}$ entre niveaux trophiques étaient clairement expliquées, certains candidats ont pensé que les documents retraçaient directement des chaînes alimentaires en recherchant par exemple quelles espèces de lombrics pouvaient être prédatrices d'autres espèces de ...lombrics ! Ces questions ont donc été déterminantes et ont permis de valoriser les candidats qui ont fait un lien entre les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et les différents niveaux trophiques (voir question suivante)

VI.C-3 Proposer une étendue de valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ correspondant à trois niveaux trophiques que vous explicitez. Cette proposition devra être **argumentée**.

En se basant sur l'exemple des Lumbricides et des Chilopodes on peut proposer que les organismes ayant un δ^{15} :

- de l'ordre de -3 [-4,5—2,5] pourraient être saprophage : consommateurs I
- de l'ordre de 0 [-2—2] pourraient être microphages : consommateurs II
- de l'ordre de 3 [2-5] pourraient être : prédateurs I
- de l'ordre de 6 pourraient être : prédateurs II



Document VI-6 : Dentition de l'espèce commune de Soricidé photographiée. (A) Vue de la dentition supérieure et vue latérale de la dentition inférieure gauche. Largeur de l'image d'origine = 1,9 cm. (B) Vue de la dentition inférieure. Largeur de l'image d'origine = 1,1 cm. (C) Image de tomodensitométrie du crâne Largeur de l'image d'origine = 1,3 cm (D) Détail des molaires supérieures gauches
<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/shrew>

VI.C-4 En vous appuyant sur le document VI-6, **déterminer** le régime alimentaire des Soricidae

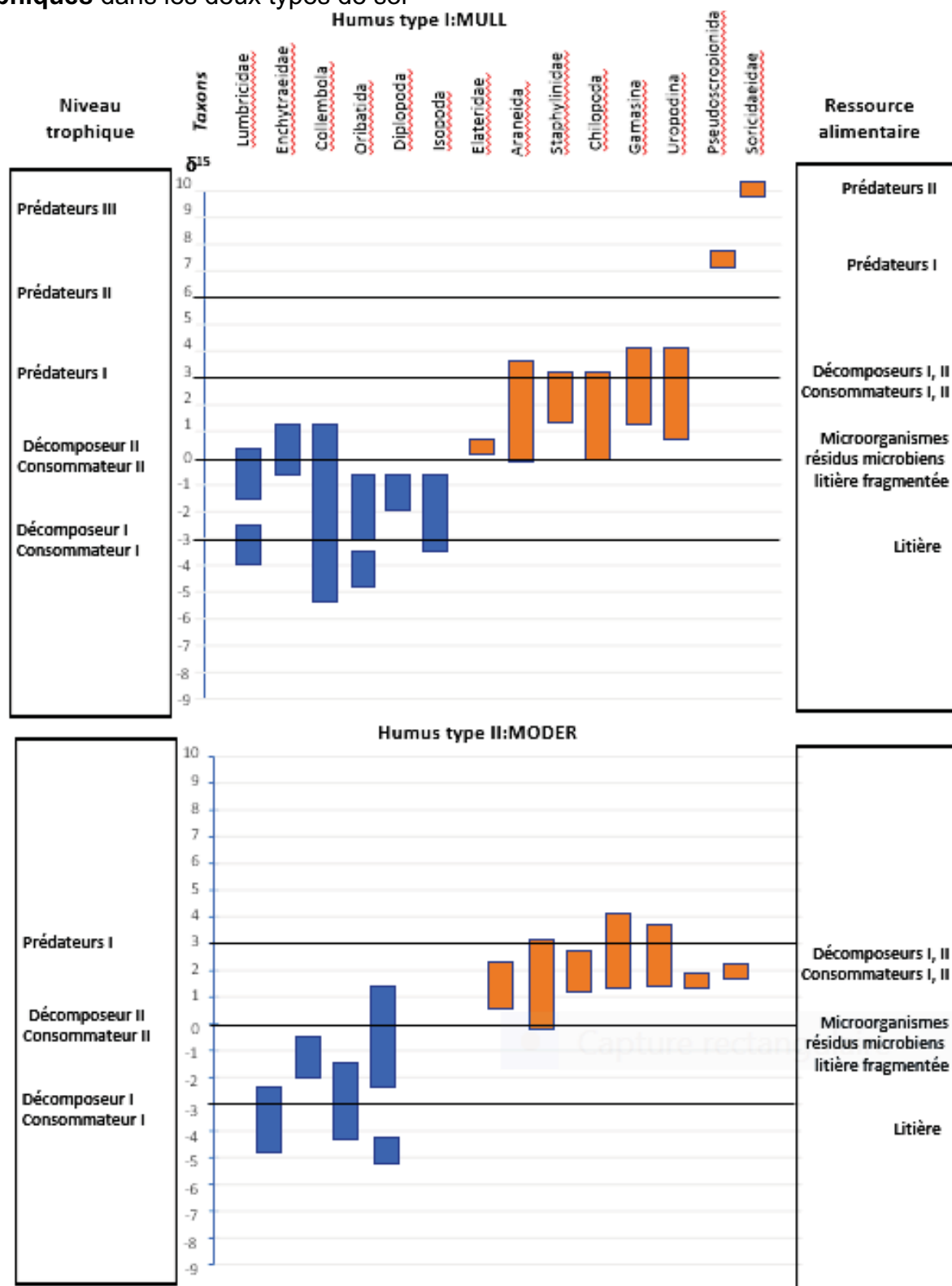
La dentition est complète (A,B). La première incisive de grande taille est courbée dans la mâchoire supérieure et couchée dans la mâchoire inférieure (A,C). Les autres dents unicuspidées inférieures interprétées comme des incisives ou des canines entrent en contact avec les dents unicuspidées supérieures juste derrière leurs pointes et agissent comme des pinces. Sur la mâchoire supérieure, les molaires présentent des crêtes (cuspidées) en W : dents qualifiées de dilambdodontes (D).

Ces structures dentaires sont adaptées à la préhension et au broyage des insectes: c'est une dentition caractéristique des insectivores.

La formule dentaire généralisée pour la dentition permanente des musaraignes est
$$\frac{I3C1P[1-3]M3}{I[1-2]C[0-1]P1M3}$$

La terminologie précise et la formule dentaire n'étaient pas attendues contrairement à une argumentation appuyée sur les documents. Cette question a été assez fréquemment traitée mais de soit manière descriptive sans mise en relation des structures avec leur fonction, soit en énonçant une conclusion sur le régime alimentaire sans aucune argumentation à partir des documents.

VI.C-6 En utilisant l'ensemble des données isotopiques, **reconstituer les réseaux trophiques** dans les deux types de sol

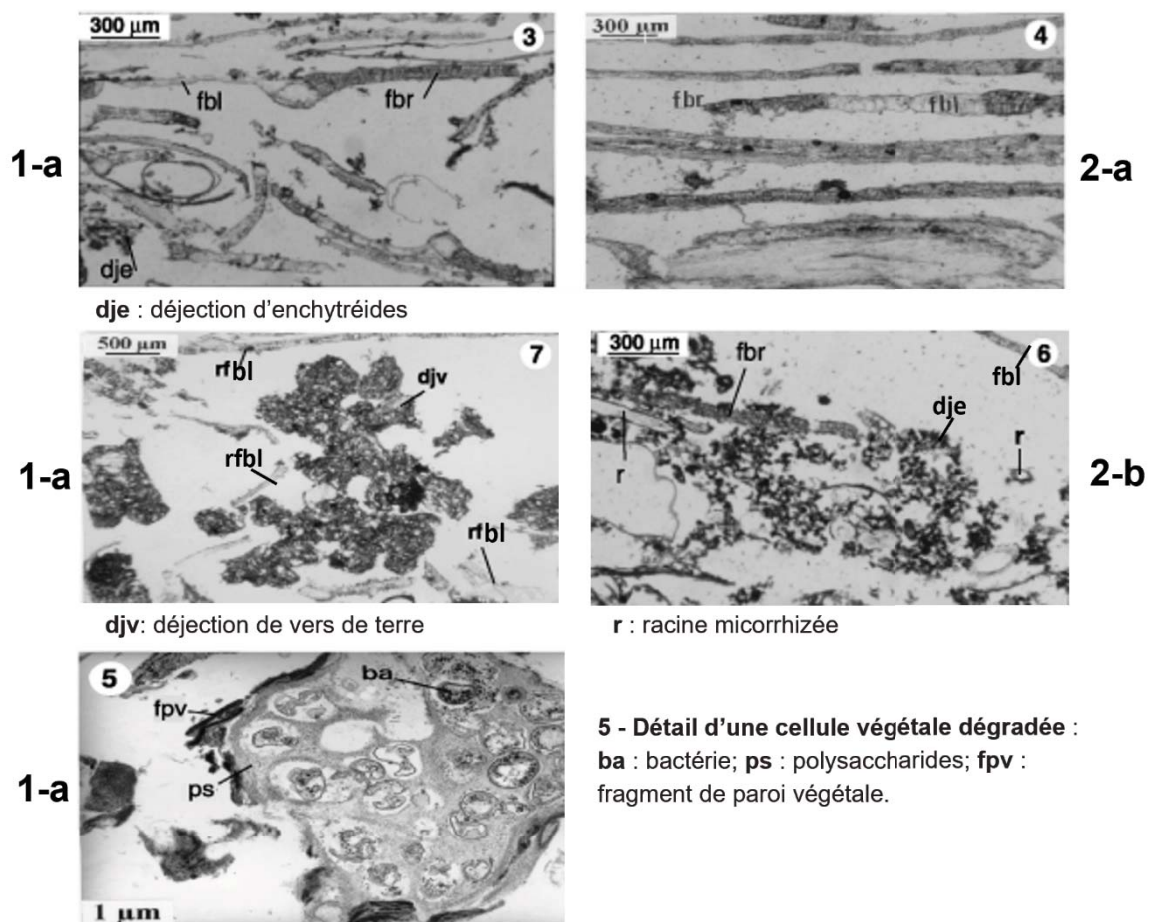


Cette question atypique a été très peu traitée alors qu'il s'agissait simplement de reporter les données sur le graphique et de faire le lien avec les niveaux trophiques et la source de matière organique. Les rares candidats qui se sont lancés ont bien réussi la question qui a été largement valorisée.

VI.D–Comparaison de la dégradation de la litière

L'objectif de cette partie est de caractériser les changements morphologiques et biochimiques survenant dans une litière forestière dans les deux types de sol représentés sur le **Document VI-2**.
D'après Karroum, M. et al. (2005). *Canadian journal of soil science*.

Les documents suivants présentent des observations microscopiques réalisées sur des coupes réalisées dans les différents horizons : 1-a et 1-b dans le sol 1 et 2-a, 2-b et 2-d dans le sol 2.



VI.D-1 Identifier les structures les plus nombreuses sur les photographies 3 et 4. **Indiquer** la conséquence visible, à cette échelle d'observation, de l'activité d'un agent de la pourriture blanche en proposant une légende pour fbr et fbl. **Identifier** les structures indiquées rfb dans l'horizon 1-a

Les structures les plus nombreuses correspondent feuilles (coupes de feuilles cf PARTIE I). A cette échelle d'observation la conséquence visible de l'activité d'un agent de la pourriture blanche est la décoloration (blanchiment des feuilles). Les légendes suivantes peuvent être proposées :

Légendes

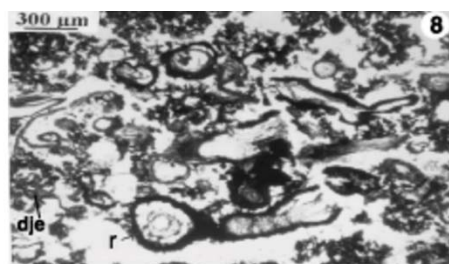
fbr : feuilles brunes fbl : feuilles blanchies rfb : restes (fragments) de feuilles blanchies

Les candidats n'ont pas porté assez attention aux échelles (la proposition la plus fréquente a été fibre de cellulose!) et n'ont pas fait le lien avec leur propre coupe de feuille de hêtre. Ils ne se sont pas appuyés sur l'analyse des documents et l'argumentation a été quasi inexistante.

VI.D-2 Comparer les horizons 1-a et 2-b et préciser le type de décomposeurs impliqués

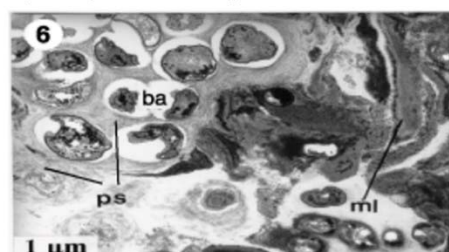
Horizon L (1-a) de l'humus mull présente des restes foliaires, de nombreuses déjections de lumbricidés et des colonies bactériennes intracellulaires participant à la dégradation des cellules végétales. La décomposition résulte de l'action conjointe des champignons, bactéries et lumbricidés

Horizon F (2-b) de l'humus moder présente des structures foliaires typiques mais fragmentées, des racines et de nombreuses déjections d'enchytréides. La décomposition dans cet horizon résulte principalement de l'action conjointe des champignons et enchytréides



2-c

dje : déjection d'enchytréides r : racine



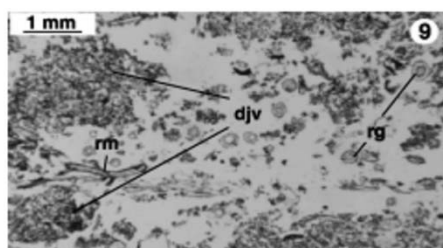
2-c

6- Observation détaillée de l'horizon 2-c: ml : matière ligno-cellulosique; ps : polyccharides; ba : bactérie.

VI.D-3 Caractériser l'horizon 2-c

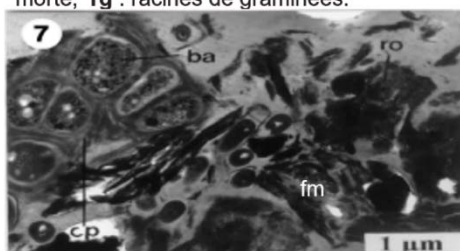
L'horizon 2-c correspond à l'horizon humique H: c'est une couche très organique et sombre avec beaucoup de racines, de déjections d'enchytréides et de nombreuses structures végétales dégradées associées à des bactéries. L'activité bactérienne semble plus importante dans cet horizon (H) que dans l'horizon F sus-jacent.

Pour ces deux questions, très rarement traitées, des réponses fantaisistes ont été proposées pour tenter de faire correspondre les documents à des connaissances théoriques assez générales. Le jury rappelle que la démarche attendue était une analyse comparée de document qui aurait dû permettre de dégager les caractéristiques des deux types d'humus.



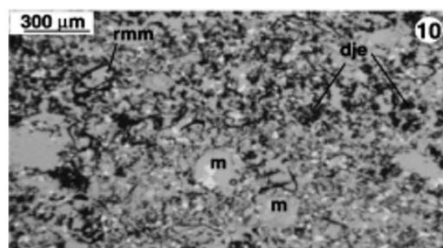
1-b

djv : déjection de vers de terre; rm : racine morte; rg : racines de graminées.



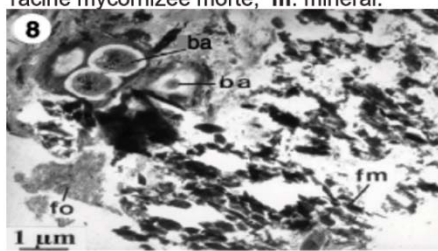
1-b

7- Détail de déjection de vers de terre: ro : restes organiques; ba : bactérie; ep : exsudats polysaccharidiques fm : fraction minérale



2-d

dje : déjection d'enchytréides; rmm : racine mycorhizée morte; m: minéral.



2-d

fo : fraction organique ; fm : fraction minérale (quartz); ba : bactérie

VI.D-4 Comparer les associations organo-minérales dans les horizons 1-b et 2-d

Dans l'horizon A de l'humus mull (1-a) les déjections de lumbricidées dominent. Ces déjections sont constituées d'associations étroites entre des éléments organiques et minéraux. L'association de polysaccharides agrégeant des bactéries, des restes organiques et des minéraux forme des agrégats (microagrégats)

Dans l'horizon A (2-d) de l'humus moder les matières minérales et agrégats organiques sont identifiables et demeurent juxtaposés.

Le jury déplore de trop nombreuses confusions entre : matière/molécule minérale (ou inorganique) et fraction minérale du sol d'une part et organisme mort (matière organique de la nécromasse) et matière minérale d'autre part (confusion vivant=organique et mort=minéral!). Certains candidats formulent des réponses laissant penser que la fraction minérale du sol (ici les grains de quartz) serait produite par la minéralisation de la matière organique! On rappelle que la minéralisation de matière organique, comme un hydrate de carbone (molécule organique), est une oxydation qui conduit à la production de molécules inorganiques (minérales) comme le CO_2 ou H_2O . La "minéralisation" des molécules organiques azotées libère des molécules inorganiques comme le NH_3 ou NH_4 (transformées par l'activité de différentes communautés bactériennes en autres molécules inorganiques : NO , NO_2 , NO_3 , N_2). De même pour les autres éléments chimiques constitutifs des molécules organiques qui font l'objet de cycles, généralement biogéochimiques, entre des compartiments contenant des molécules organiques et des compartiments contenant des molécules inorganiques=minérales.

Horizon	COT (mg.g^{-1})	Lignine ($\text{mg C-phénol.g}^{-1}$ COT)	Polysaccharides (mg C-sucre.g^{-1} COT)
1-a	$349,5 \pm 20,0$	$40,2 \pm 5,0$	$124,1 \pm 39,4$
1-b	$123,8 \pm 42,1$	$7,1 \pm 2,9$	$92,4 \pm 65,6$
2-a	$418,9 \pm 8,3$	$55,5 \pm 17,4$	$117,6 \pm 10,6$
2-b	$396,9 \pm 12,1$	$41,9 \pm 2,5$	$94,1 \pm 17,9$
2-c	$290,6 \pm 77,3$	$25,0 \pm 2,6$	$91,1 \pm 47,2$
2-d	$80,4 \pm 23,2$	$13,2 \pm 1,2$	$81,1 \pm 72,0$

Document VI-8 : Teneur en carbone organique total (COT) et teneur en carbone de la lignine totale et des polysaccharides normalisée au COT.

VI.D-5 Analyser les résultats obtenus pour les différents horizons des deux types d'humus

-Les teneurs en COT décroissent depuis les horizons superficiels (L) jusqu'aux horizons organo-minéraux (A).
-La contribution du C des phénols de la lignine est légèrement plus forte dans l'horizon L de l'humus moder (55%) que dans l'horizon OL-OF de l'humus mull (40%). Dans la partie supérieure de l'horizon organo-minéral (A) celle-ci n'est plus que de (13%) dans l'humus moder et (7%) dans l'humus mull. La diminution est abrupte entre l'horizon L et A de l'humus mull et plus progressive dans les différents horizons de l'humus moder.

-La contribution du C des polysaccharides est comparable dans les deux horizons L (environ 12% du Carbone organique total) et montre une diminution dans les horizons plus profonds.

Ces diminutions résultent de la décomposition puis minéralisation de la matière organique sous l'action des organismes du sol.

Les résultats lorsqu'ils ont été analysés l'ont été de manière trop superficielle pour pouvoir réellement comparer les deux types d'humus.

	Épaisseur de l'horizon (cm)	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Stock de matière (kg.m ⁻²)	Stock de C (kg C.m ⁻²)	Flux annuel de C dans la litière (kg C.m ⁻³ .an ⁻¹)	Temps de résidence (an)	Temps de demi-vie k (an ⁻¹)
Humus 1: Horizon 1-a	1.8	142.6	2,5668	0.897	0.165	5.44	3.77
Humus 2: Horizon 2-a	2.05	72.2	1.4801	0.620	0.168	6.67	4.63
Humus 2 :Horizon 2-b	0.82	153.9	+1.2620 =2.742	+0.501 =1.121			

Document VI-9 : Épaisseur moyenne des horizons, masse volumique moyenne des litières des différents horizons et flux annuel de carbone dans la litière (production annuelle de litière).

VI.D-6 Expliciter la méthode de calcul permettant d'estimer le stock de C dans un horizon et l'appliquer à l'horizon 1-a et à l'ensemble des horizons 2-a et 2-b. **Compléter** le tableau VI-9

En utilisant les données du tableau VI-9 et en raisonnant par dm³ on peut faire les calculs suivants :
 -sur 1m² l'horizon 1-a représente un volume de 0.18x100=18dm³ qui a une masse de 18 x 0.1426= 2,5668 kg (on utilise la valeur de la masse volumique de la litière)
 En utilisant les valeurs du tableau VI-8 (teneur en carbone organique total par g de litière) on peut en déduire que sur 1m² il y a 2.5668 x 0.3495= 0.897kg de C.
 Sur 1m² l'horizon 2-a représente une masse de 0.205x100x0.0722=1.4801kg et 1.4801x0.4189=0.620 kgC
 et l' l'horizon 2-b représente une masse de 0.082x100x0.1538=1.2620kg et 1.2620x0.3969=0.501 kgC

Moins de dix candidats ont réussi à indiquer qu'il fallait multiplier le volume de litière par la masse volumique de celle-ci pour calculer le stock de matière et la moitié d'entre eux a proposé d'utiliser les valeurs de COT mentionnées dans le tableau pour obtenir le stock de C. Lorsque des calculs ont été faits, ils ont été faussés par une mauvaise maîtrise des unités.

VI.D-7 Définir le temps de résidence du C dans un compartiment et **comparer** celui-ci dans les horizons les plus superficiels des deux types d'humus (horizon 1-a pour l'humus de type 1 et ensemble 2-a+2-b pour l'humus de type 2). **Compléter** le tableau VI-9.

Le temps de résidence du C dans un compartiment peut être calculé en divisant le stock par le flux entrant ou le flux sortant (supposés égaux) dans ce compartiment. Ici on utilise le flux entrant de C dans la litière. Le temps de résidence du C dans la litière est plus long dans l'humus moder (6.67 ans) que dans l'humus mull (5.44 ans).

Une fois sur deux la définition qui a été proposée n'était pas rigoureuse et ne correspondait pas à la définition scientifique (stock/flux).

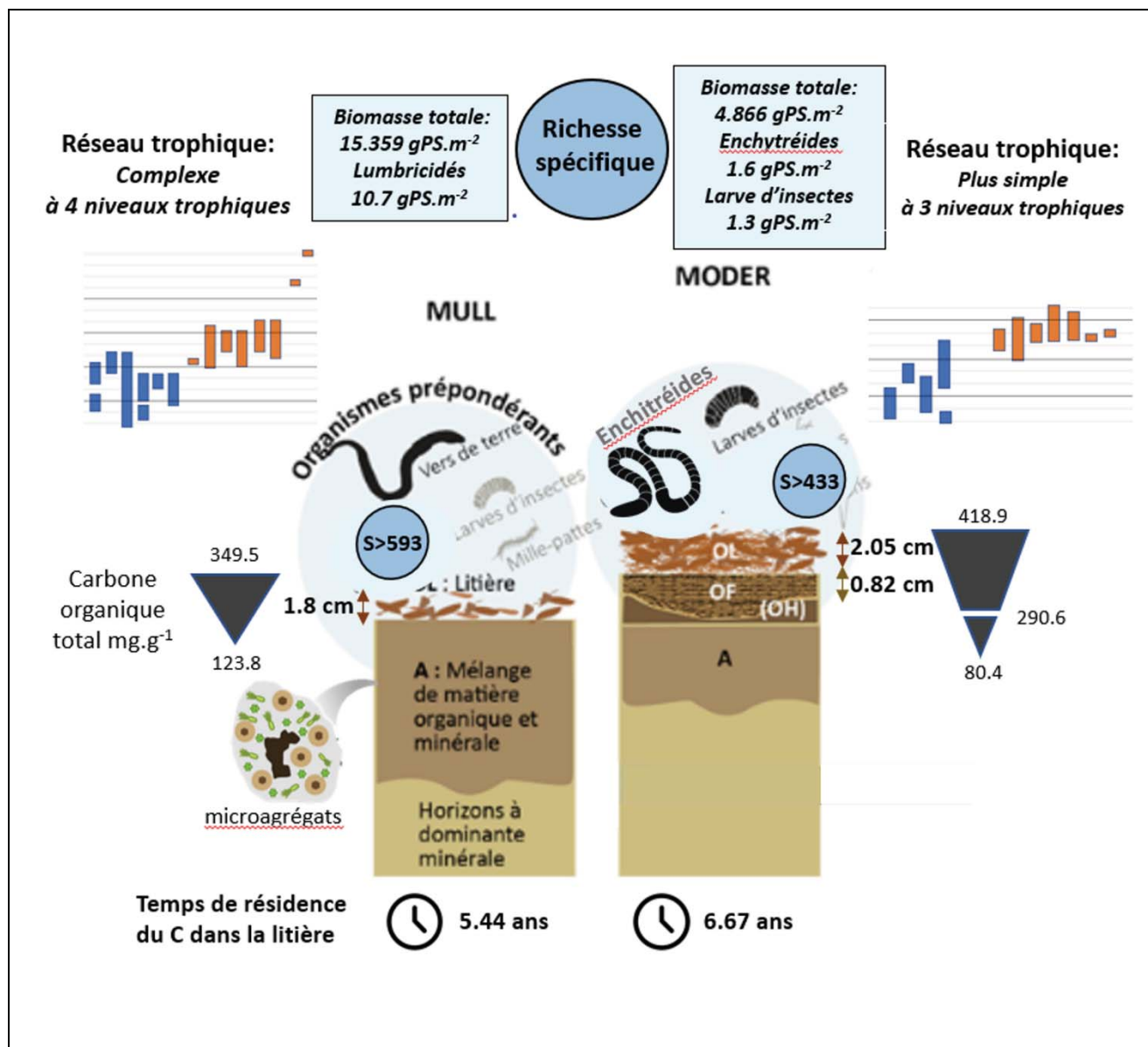
Le modèle de Olson admet que la disparition de la matière organique par minéralisation suit une loi exponentielle. Le temps de demi-vie des matières organiques dans la litière peut être calculé en utilisant la formule suivante : $t_{1/2} = -(\ln 0,5)/k$ avec k le coefficient annuel de renouvellement de la litière (inverse du temps de résidence exprimé en an⁻¹).

VI.D-8 Comparer le temps de demi-vie des matières organiques de la litière dans les deux types d'humus. **Compléter** le tableau VI-9.

Le temps de demi-vie est supérieur dans l'humus moder (4.63) que dans l'humus mull (3.77): le processus de minéralisation est donc plus rapide dans l'humus mull que dans l'humus moder.

Ce calcul n'a été fait par aucun des candidats

VI.D-9 Présenter de manière synthétique une comparaison la plus précise possible des deux types d'humus.



Très peu de candidats ont abordés les deux dernières parties du sujet (VI-C et VI-D) ce qui limitait la qualité de la comparaison synthétique. Les productions qui apportaient une réponse même très partielle à cette question de synthèse ont été valorisées.

La partie VI a été abordée par 84% des candidats présents mais 70% des candidats ont obtenus des notes faibles sur cette partie. 89% des candidats ont traité même partiellement la partie VI-A, 97% la partie VI-B, 66% la partie VI-C et seulement 33% la partie VI-D.

5.3 Epreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur C : Sujet et commentaires