

Oraux

corrigés et commentés

Concours **BCPST**

Biologie

| Concours Agro-Véto



Jonathan Faivre
Charlotte Pathenay

L'organisme vivant en lien avec son environnement - SVA

Première partie

Exposé de synthèse 1

Figure à intégrer 1

Sujet de synthèse 1 : Le rumen chez la vache

Partie(s) du programme traitée(s)

SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé (1)

SV-A-3 Regards sur les organismes unicellulaires (2)

En quelques mots

La vache est un animal domestique qui est choisi pour caractériser les **Métazoaires**. L'étude de la vache est un prétexte afin de décrire les grandes fonctions biologiques que sont la nutrition, la reproduction et la fonction de relation.

La vache est un organisme **hétérotrophe** et **phytophage**. Le traitement des aliments est mécanique (broyage, brassage, etc.) et chimique (enzymes).

Chez la vache la prise en charge des aliments d'origine végétale repose sur l'intervention de micro-organismes présents dans la **panse** ou rumen. De plus, ces aliments font l'objet d'une **rumination** c'est-à-dire qu'ils sont régurgités pour être une nouvelle fois mâchés pour subir une nouvelle digestion lorsqu'ils retournent dans la panse.

Au cours de ces deux passages, la cellulose est dégradée en glucose, substrat de la **fermentation** réalisée par les bactéries, les champignons et les ciliés présents dans la panse.

Les **acides gras volatils** sont des produits de la fermentation absorbés par la vache. Par ailleurs des Archaeobactéries de la panse, vivant des gaz produits au cours des fermentations d'autres micro-organismes (CO₂ et H₂), sont à l'origine de la libération de méthane. La libération de méthane par éructation est ainsi indissociable de la rumination chez la vache.

L'**écosystème ruminal** est caractérisé par un pH de 6,4 et une température comprise entre 38 et 41°C, ces conditions sont particulièrement favorables aux micro-organismes. La vache et ses micro-organismes constituent un **holobionte**.

Périodiquement, une partie du contenu de la panse transite vers les compartiments suivants que sont le réseau, le feuillet et la caillette. Parmi eux, la **caillette**, qui sécrète un liquide gastrique acide (pH 1-2), est impliquée dans la digestion des protéines grâce à une pepsine et dégrade les parois des bactéries via une autre enzyme, le lysozyme. Ainsi, on peut dire que la vache est un organisme **microphage**.

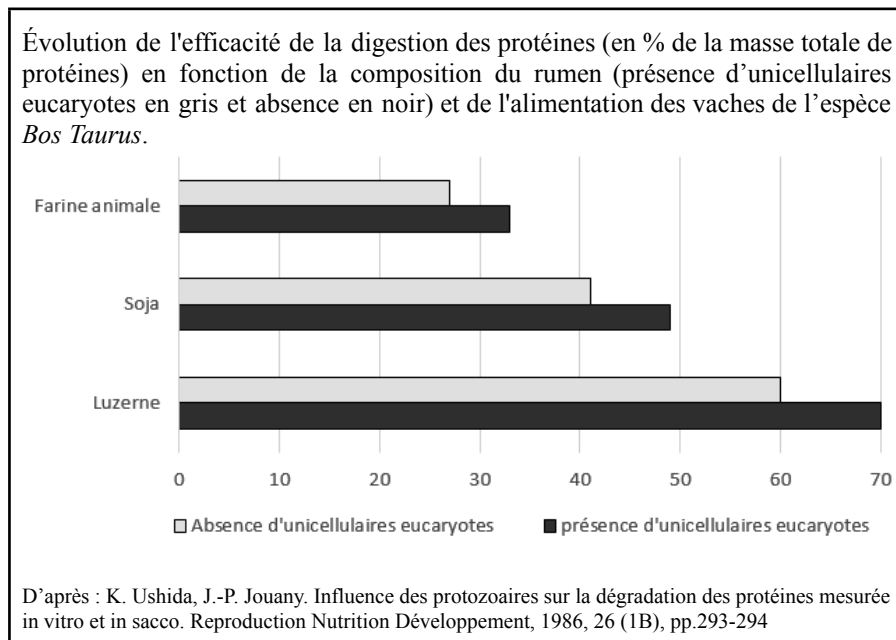
Enfin, dans la partie supérieure de **l'intestin ou duodénum**, des enzymes pancréatiques et la bile sécrétée par le foie sont déversées. La bile contribue à émulsifier les lipides ce qui facilite l'intervention des enzymes lipolytiques.

C'est aussi au niveau de l'intestin que l'absorption des nutriments se déroule grâce à une surface d'échange particulièrement étendue. Le **côlon** absorbe l'eau contenue dans les aliments non digérés avant qu'ils ne soient éliminés.

Vous exposerez en 8 minutes maximum les notions clés en relation avec le sujet en intégrant la figure fournie.

Figure à intégrer dans l'argumentation :

Figure 1-1 : Influence de la présence ou de l'absence d'organismes unicellulaires eucaryotes dans le rumen de vache sur la dégradation *in vitro* de différentes sources alimentaires.



Proposition de correction de l'exposé de synthèse

Méthode : Pour l'introduction, on peut par exemple placer l'organisme dans la classification, d'autant que le programme vous demande d'être capable de le replacer dans la classification des Métazoaires.

Problème possible : Comment le rumen, par sa structure et son fonctionnement, contribue-t-il à la nutrition de la vache ?

Proposition de plan :**1-Le rumen, un organe adapté au milieu aérien qui prend en charge de grandes quantités de matière végétale prétraitées**

Le rumen est un organe aussi appelé panse. Ce dernier représente un volume de près de 150 litres et pèse jusqu'à 16 kg. La panse contient une phase solide, une phase liquide majoritaire riche en eau et en urée et une phase gazeuse contenant principalement de CO₂. Le **volume de la panse permet d'accueillir de grandes quantités de matière végétale** comme en témoignent les débris végétaux constituant la phase solide du contenu de cet organe.

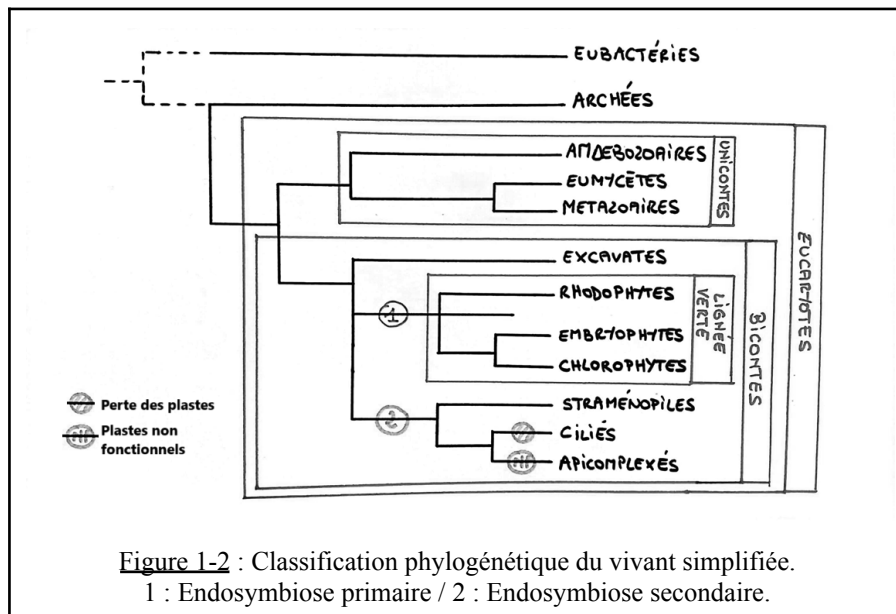
La matière végétale reçue par la panse n'est pas "brute", cette dernière subit des transformations mécaniques grossières lors de la mastication dans la bouche. Une fois dans la panse la matière végétale est régurgitée pour subir un double traitement à la fois mécanique (mastication) et chimique (insalivation), on parle de rumination. Puis la matière végétale est ré-ingérée pour retourner dans la panse. Ainsi, la **panse est le lieu de la digestion d'une matière végétale préalablement prise en charge par rumination**.

Le rumen est une poche invaginée de l'appareil digestif de la vache. Cette **invagination est une adaptation au milieu aérien par la limitation de la déshydratation** qu'elle induit. La panse est aussi la première structure d'un estomac dit "polygastrique".

2-Le rumen, un environnement peuplé de micro-organismes qui digèrent la matière végétale de manière séquentielle :

La figure imposée est une expérience réalisée chez des vaches sans modification des populations de micro-organismes de leurs panses et d'autres dépourvues d'organismes unicellulaires eucaryotes. Ces organismes sont aussi nommés Protozoaires. Parmi ces Protozoaires on retrouve notamment des populations d'organismes ciliés.

Connaissance : Les organismes "Protozoaires" sont des organismes unicellulaires eucaryotes dépourvus de chlorophylle. Dans la classification phylogénétique actuelle, ce groupe est paraphylétique. Les ciliés appartiennent au groupe des Eucaryotes et des Bicontes. Ce groupe se caractérise notamment par la présence de cils vibratiles à la surface de leur cellule. Les organismes ciliés sont tous hétérocaryotiques, c'est-à-dire qu'ils possèdent un micronoyau reproducteur et un macronoyau végétatif. Les organismes ciliés ne sont jamais photosynthétiques du fait de la perte secondaire des plastides.



Par exemple, lorsque les vaches sont nourries avec de la luzerne, on remarque que 70 % des protéines sont digérées chez les vaches ayant des organismes unicellulaires eucaryotes dans leur panse alors que les vaches dépourvues de Protozoaires dans leur rumen ne digèrent que 60 % des protéines. On a une baisse d'environ 15 % de l'efficacité de la digestion en absence d'organismes ciliés. Dans le cas où les vaches sont nourries avec du soja et des farines animales, on note que l'absence de protozoaires fait chuter l'efficacité de la digestion protéique respectivement de 19 et 17 %.

Par conséquent, le **rumen est peuplé d'organismes eucaryotes unicellulaires, les ciliés qui contribuent en partie à la digestion des protéines** présentes dans la matière végétale. Le rôle des micro-organismes est donc à préciser. Il est à noter que le rumen n'est pas le contributeur principal à la digestion des protéines puisqu'elle est assurée pour une grande partie dans la caillette via un traitement enzymatique.

En réalité, le rumen **héberge également d'autres micro-organismes** tels que des espèces appartenant au groupe des Eumycètes, des Eubactéries ou encore des Archéobactéries.

Les bactéries, ciliés et Eumycètes assurent essentiellement une **digestion extracellulaire de la cellulose**, d'une part, et une **digestion intracellulaire du glucose** via des fermentations, d'autre part. Enfin, ces micro-organismes assurent aussi la digestion de l'urée, source d'azote non protéique, qui imprègne la matière végétale ruminée. En parallèle, une digestion mécanique est également assurée du fait de la contractilité de la panse qui assure le malaxage des aliments.

Par les transformations mécaniques et chimiques qui s'y déroulent, le rumen est un **organe digestif à part entière** et ces transformations peuvent être considérées comme le point de départ de la **digestion polygastrique**.

3-Le rumen, un organe permettant le maintien et la régulation des populations de micro-organismes nécessaires à la fonction de nutrition :

Le rumen de la vache est une poche dont la température est maintenue entre 39 et 41°C, son pH est proche de la neutralité (6,4) et est totalement dépourvu de dioxygène. Ces conditions sont favorables, à la fois au maintien des populations de micro-organismes, et à leur activité fermentaire. À ce titre, la panse est aussi appelée « cuve de fermentation ».

L'écosystème est traditionnellement défini par un environnement, nommé biotope, et d'une biocénose qui correspond à une communauté d'êtres vivants vivant en interaction dans ce milieu. La plupart des micro-organismes en dégradant la matière organique végétale constituent des consommateurs primaires. Certains ciliés dans le rumen de la vache peuvent phagocyter des Eubactéries ou des Archées ce qui en fait des consommateurs secondaires. Enfin, il est à noter que la vache consomme en moyenne chaque jour 1,25 kg de micro-organismes symbiotiques, ce qui fait d'elle un organisme microphage. Par la structure de la communauté de micro-organismes et les relations trophiques qu'ils entretiennent, ainsi que les conditions particulières du biotope ruminal, on peut le qualifier de « micro-écosystème ».

Ce micro-écosystème est auto-entretenu, c'est-à-dire qu'il est maintenu dans sa structure et son fonctionnement par la consommation quotidienne des symbiontes (renouvellement du contenu régulier).

4-Le rumen un organe impliqué dans l'absorption de certains nutriments :

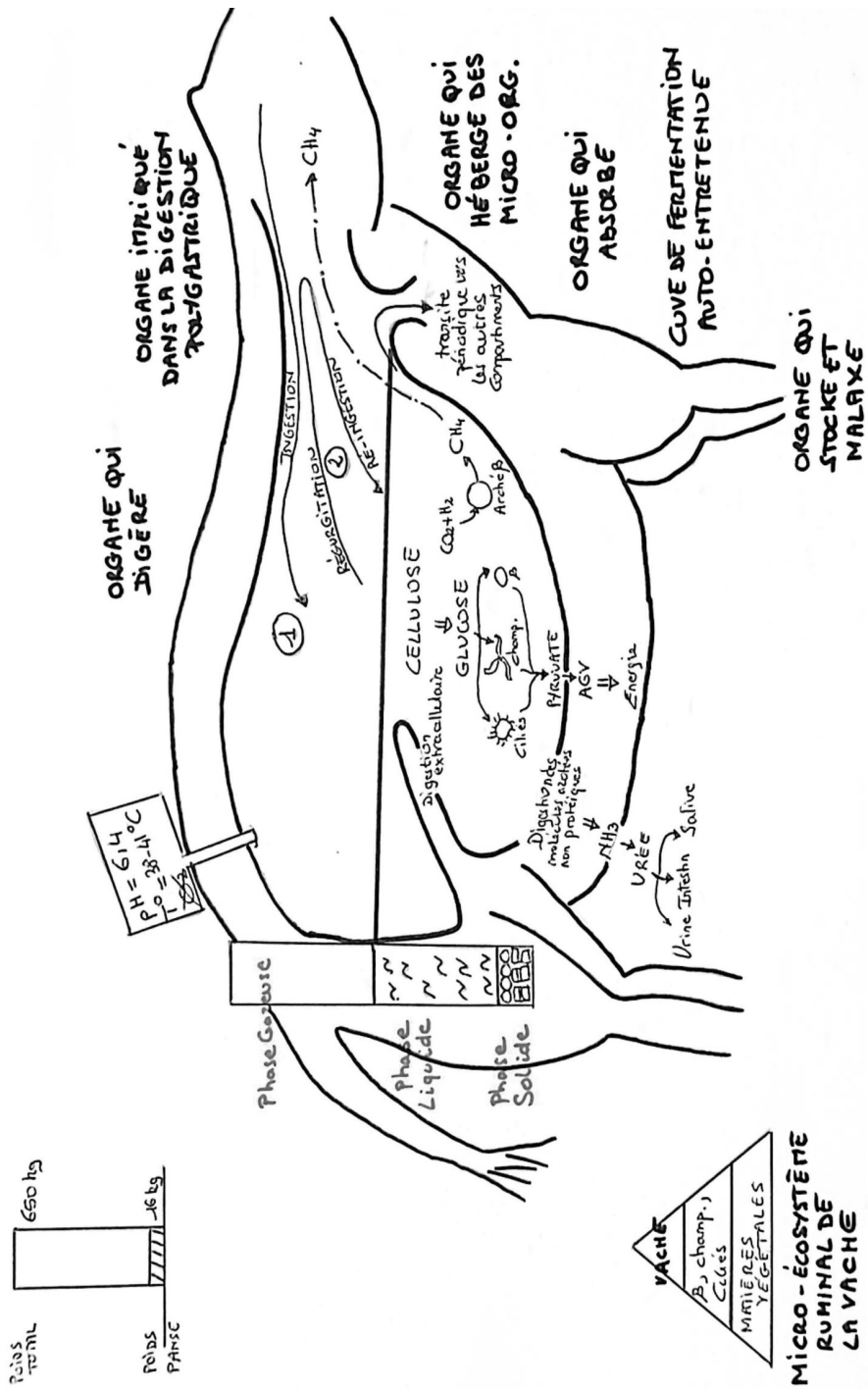
Dans le rumen, de nombreux acides gras volatils, comme l'acétate ou le butyrate, sont produits par les Archées. Ces acides gras volatils sont une source d'énergie primaire chez la vache. Ces acides gras volatils absorbés au niveau du rumen représentent 70 % de l'apport alimentaire de la vache.

D'autre part, l'urée est traitée comme un produit de sécrétion dans la salive, d'une part, et éliminée dans l'urine d'autre part. Cependant, l'urée contenue dans la salive contribue à la stabilité et au bon fonctionnement du microbiote ruminal car c'est un substrat azoté exploité par les micro-organismes qui la dégrade en ammoniac, NH_3 , et en CO_2 . Une partie du NH_3 est réabsorbée au niveau de la panse. Enfin, on peut noter que dans certains élevages l'urée est ajoutée comme complément alimentaire pour la vache afin de soutenir le bon fonctionnement de son microbiote.

Figure 1-3 (page suivante) : Proposition de schéma associé à l'exposé de synthèse.

T° : Température en degré Celsius, β : bactéries, Archée β : Archéobactéries,
champ. : champignons, CH_4 : méthane, NH_3 : Ammoniac, CO_2 : Dioxyde de
carbone, O_2 : Dioxygène, H_2 : Dihydrogène, AGV : Acides gras volatils,
MICRO-ORG. : Micro-organismes.

© J. Faivre



Exposé de synthèse 2

Figure à intégrer 2

Sujet de synthèse 2 : La cellulose : De sa synthèse chez les plantes à sa digestion chez la vache.

Partie(s) du programme traitée(s)

SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : Un bovidé (1)

SV-D-2-2 Oses et polysides (1)

Vous exposerez en 8 minutes maximum les notions clés en relation avec le sujet en intégrant la figure fournie.

Figure à intégrer dans l'argumentation 2

Figure 1-4 : Étude des effets d'une mutation* d'un des gènes codant une des sous-unités du complexe enzymatique de la cellulose synthase, sur le développement de l'arabette des dames, *Arabidopsis thaliana*.

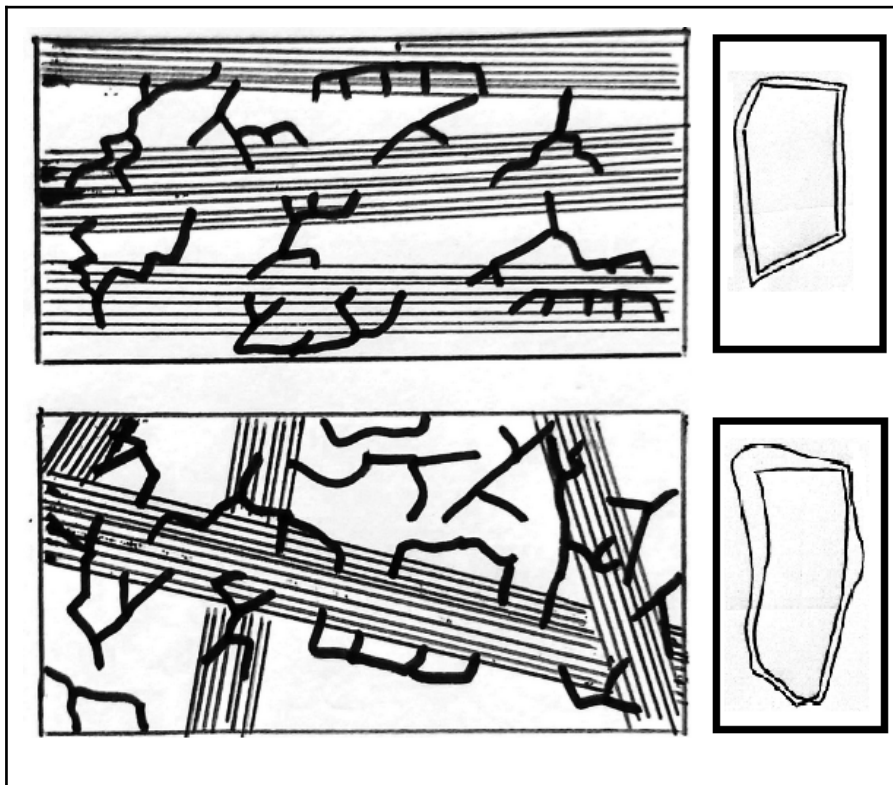


Schéma d'interprétation de la structure de la paroi de cellules épidermiques d'une plante sauvage (en haut) et d'un mutant (en bas) de l'espèce *Arabidopsis thaliana*.

Les traits fins représentent les microfibrilles de cellulose.

Les traits épais représentent les hémicelluloses.

L'encadré à droite permet de visualiser la morphologie de la cellule ainsi que l'épaisseur de sa paroi.

*La mutation est une substitution touchant le gène d'une sous-unité de la cellulose synthase. Cette mutation est une mutation faux-sens.

D'après : Fujita, M., Himmelsbach, R., Ward, J., Whittington, A., Hasenbein, N., Liu, C., ... & Wasteneys, G. O. (2013). The anisotropy D604N mutation in the Arabidopsis cellulose synthase catalytic domain reduces cell wall crystallinity and the velocity of cellulose synthase complexes. *Plant Physiology*, 162 (1), 74-85.

Proposition de correction de l'exposé de synthèse

Problème(s) possible(s) : Comment la cellulose se rend-elle indispensable au fonctionnement de la plante et de la vache ? En quoi la plante et la vache sont-elles adaptées à l'utilisation de la cellulose ?

Proposition de plan :

1-La cellulose, un polymère de structure produit par la cellule végétale impliqué dans la structuration de la paroi :

Le traitement de cellules végétales, d'une feuille d'élodée par exemple, au rouge congo montre une réponse rouge intense en périphérie des cellules. Ceci met en évidence la présence importante de cellulose dans les matrices extracellulaires des cellules végétales.

La cellulose est une molécule organique. Cette dernière est composée de l'enchaînement de monomères de glucose reliés par une liaison osidique de type bêta 1-4. Ce polymère glucidique n'est pas ramifié, d'autre part chaque monomère de glucose est renversé d'un angle de 180° par rapport au monomère précédent. Ces particularités font de la cellulose un polymère de structure à configuration linéaire.

La configuration rectiligne de la cellulose autorise la mise en place de liaisons hydrogènes avec d'autres molécules de cellulose. Ceci permet un assemblage de polymères cellulotiques en microfibrilles de cellulose qui sont très résistantes à l'étirement.

Méthode : La figure à intégrer peut être exploitée à plusieurs moments de la présentation. Elle peut servir à illustrer un concept, à introduire une notion ou à argumenter une notion à développer.

La figure à intégrer est une étude de la configuration des microfibrilles de cellulose dans des parois de cellules épidermiques de l'arabette des dames étudiées via un

schéma structural. On peut remarquer, chez la plante sauvage, que les fibres sont disposées parallèlement entre elles formant une superposition régulière. Ces microfibrilles jouent un rôle fondamental dans l'acquisition de la forme de la cellule qui est dans le cas présent sub-rectangulaire. De plus, leur résistance mécanique à l'étirement s'oppose à la pression exercée par la cellule et participe de ce qu'on appelle l'état de turgescence cellulaire qui est une propriété importante dans le maintien du port dressé des plantes.

Comme l'indique la figure à intégrer, les molécules de cellulose sont produites par un complexe enzymatique, la cellulose synthase. Cette dernière catalyse une réaction de type anabolique utilisant de l'énergie sous forme d'ATP, entre autres. Cette énergie investie est nécessaire à la formation de la liaison osidique béta 1-4 entre deux monomères de glucose.

On le comprend, la cellulose est un polymère entièrement constitué de l'enchaînement de glucoses. Ainsi, comment la vache exploite-t-elle cette molécule complexe afin d'en tirer l'énergie nécessaire à son fonctionnement métabolique et physiologique ?

Connaissances : Le catabolisme représente les réactions enzymatiques de dégradation de macromolécules en plus petites molécules organiques. Ces réactions s'effectuent avec une libération d'énergie stockée par exemple sous forme d'ATP. À l'inverse, l'anabolisme regroupe des réactions enzymatiques de production de macromolécules ou de leurs précurseurs. Ces réactions nécessitent un apport d'énergie souvent fournie par l'hydrolyse de l'ATP.

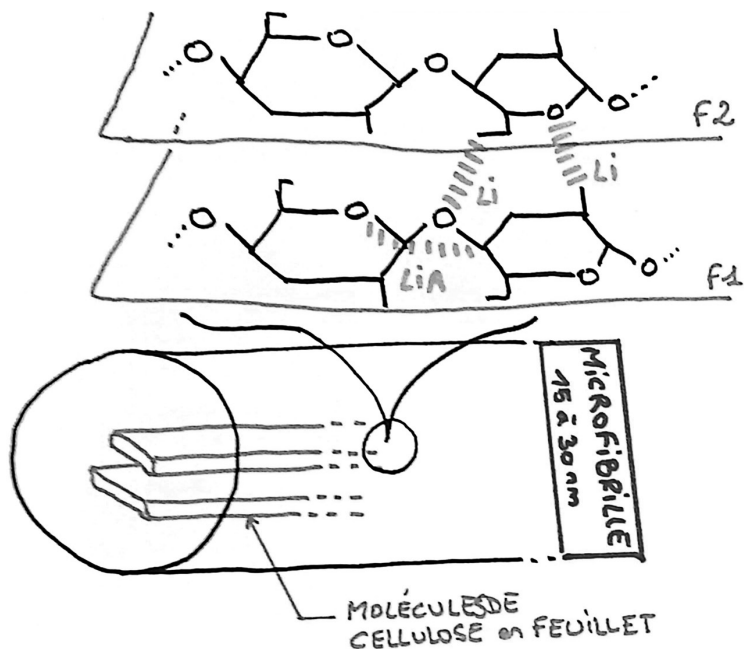


Figure 1-5 : Schéma illustrant la structure de la cellulose et son organisation au sein des microfibrilles de cellulose. © J. Faivre.

2-La cellulose, un polymère digéré par les microorganismes ruminiaux de la vache après un traitement préalable de la matière végétale :

La vache passe environ dix heures par jour à “brouter”. Cela signifie qu’elle passe pratiquement la moitié de son temps à prélever de la matière végétale dans son milieu. Pour cela, la vache coupe la matière végétale via les incisives insérées sur la mâchoire et broie cette matière à l’aide de ses molaires et prémolaires. La matière végétale subit un premier traitement mécanique associé à un traitement chimique. Le traitement chimique correspond à un apport en bicarbonate de sodium et d’urée, cette dernière est dégradée par les bactéries en ammoniac qui est utilisé pour la synthèse des acides aminés. L’ammoniac restant est réabsorbé par la vache afin de produire de l’urée.

L’ensemble des produits de dégradation de la cellulose (et dans une moindre mesure l’amidon) sont investis par les micro-organismes de la panse au cours de processus de fermentation qui aboutissent à la production de nombreux acides gras volatils. C’est le cas de l’acétate produit par les Archées. Les acides gras volatils sont une source d’énergie primaire chez la vache. Ces acides gras volatils absorbés au niveau du rumen représentent 70 % de l’apport alimentaire de la vache.

Chez la vache, toute la matière végétale n’est pas totalement prise en charge lors de son premier passage dans la panse. Ainsi, la matière végétale en suspension dans le liquide ruminal est régulièrement régurgitée pour subir une nouvelle mastication ce qui facilite l’accès des micro-organismes aux molécules organiques présentes dans la matière végétale. On parle de la rumination.

Par conséquent, la vache digère la cellulose via des processus physico-chimiques. Ces processus de digestion de la cellulose relèvent d’une responsabilité partagée entre la vache et les micro-organismes ruminiaux. Ainsi, la digestion de la cellulose se fait :

- directement d’un point de vue mécanique, d’une part, lors du prélèvement de la matière végétale et la rumination,

- et indirectement, d’autre part, à travers une succession de réactions cataboliques réalisées par des micro-organismes localisés dans la panse, organe spécialisé dans l’hébergement de ces micro-organismes.

La cellulose, vue comme un produit métabolique autotrophe (chez la plante) devient le substrat du métabolisme hétérotrophe des micro-organismes et dont les produits sont exploités par la vache afin d’assurer son activité métabolique elle aussi hétérotrophe.

On peut ici noter une forme d’opposition d’un point de vue métabolique entre les plantes et la vache. Cela se traduit par exemple par une utilisation de la cellulose comme un élément de structure fondamental des cellules végétales et vecteur de propriétés nécessaires au développement chez les plantes. D’autre part, la cellulose est aussi une molécule substrat des processus digestifs soutenant la fonction de nutrition chez la vache. Cette dualité d’utilisation marque l’opposition entre des organismes autotrophes et hétérotrophes. Ces différences dans la production et / ou l’exploitation de la cellulose sont aussi marquées par des adaptations chez les plantes et les vaches. Mais quelles sont-elles ?

3-Des adaptations à la synthèse de cellulose chez la plante aux adaptations à sa digestion chez la vache :

Chez les plantes, la cellulose synthase assure la production des polymères de glucose. Dans la figure à intégrer, l'orientation des microfibrilles de cellulose est étudiée chez un individu sauvage et chez un mutant muté pour le gène codant une des sous-unités du complexe de la cellulose synthase. L'étude des schémas révèle une absence d'orientation préférentielle des microfibrilles chez le mutant alors que chez l'individu sauvage les microfibrilles s'orientent parallèlement à l'axe de croissance des cellules. Par conséquent, la cellulose synthase est un complexe enzymatique qui, non seulement produit les polymères cellulotiques, mais intervient également dans leur orientation. Ainsi, ceci influence directement leur fonctionnalité au sein de la matrice extra-cellulaire.

La synthèse de la cellulose dans la cellule végétale suppose une disponibilité de nombreuses molécules de glucose dont la production dépend directement de l'activité photosynthétique de la plante.

La cellule végétale est donc adaptée d'un point de vue structuro-fonctionnel afin d'assurer la production de la cellulose, son assemblage en microfibrilles et l'orientation de ces microfibrilles dans la matrice extracellulaire. Cela comprend, entre autres, l'expression de gènes spécifiques (sous-unités de la cellulose synthase), la production d'un complexe protéique spécifique (cellulose synthase) et son assemblage dans la membrane ainsi que son fonctionnement (consommation d'ATP).

De son côté la vache dispose d'adaptations structuro-fonctionnelles à la digestion de la cellulose. La mâchoire de la vache est allongée et révèle deux groupes de dents. Les dents labiales, incisives et canines incisiformes, sont longues et coupantes facilitant le prélèvement des plantes. Les dents jugales, molaires et prémolaires, sont séparées des dents labiales par une barre (ou diastème) et sont de grande taille et sont mobilisées lors du broyage de la matière végétale contribuant à la fragmentation des microfibrilles de cellulose.

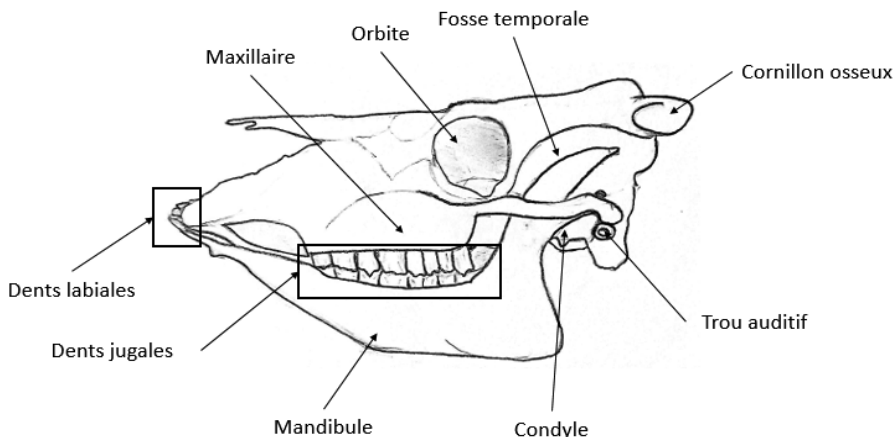


Figure 1-6 : Schéma de l'anatomie d'un crâne de vache, *Bos taurus*.

© Helen Chinnici

Enfin, la configuration de la mâchoire autorise des mouvements latéraux de grande amplitude. Ceci favorise le broyage de la matière végétale sur le plateau formé par les dents jugales. Cela augmente l'efficacité du traitement mécanique lors du premier passage de la matière végétale et lors de la rumination.

Le bicarbonate de sodium joue un rôle tampon pour la panse et facilite le maintien des micro-organismes dans le rumen. Plus globalement, la panse présente des conditions physico-chimiques (température, pH, conditions anoxiques) favorables au maintien des micro-organismes qui sont eux-mêmes indispensables à la dégradation de la cellulose. À ce titre, le recyclage de l'ammoniac dans la panse et son réinvestissement sous forme d'urée contribue aussi à ce maintien.

Conclusion

La cellulose est un polymère de glucose qui par ses propriétés chimiques est à classer dans les polymères dits de structure. Elle est produite au niveau des cellules végétales et constitue le composant majoritaire de la matrice extracellulaire.

La cellule végétale dispose d'un équipement génétique spécifique codant pour les sous-unités du complexe de la cellulose synthase. Cette enzyme membranaire produit et oriente les polymères de cellulose au niveau de la paroi végétale.

Les plantes représentent la source principale de nourriture chez les vaches, ces dernières sont adaptées pour prendre en charge et digérer cette cellulose par l'intermédiaire de micro-organismes ruminiaux.

C'est pourquoi la cellulose est un produit d'un métabolisme de type anabolique chez les plantes. Il est alors un produit métabolique issu de l'autotrophie pour le carbone qui caractérise les végétaux photosynthétiques. À l'inverse, chez la vache, cette cellulose est dégradée dans la panse. Les produits cataboliques sont ensuite exploités par des micro-organismes fermentaires dans le cadre d'un métabolisme hétérotrophe. Les produits de leurs activités métaboliques sont ensuite exploités par la vache.

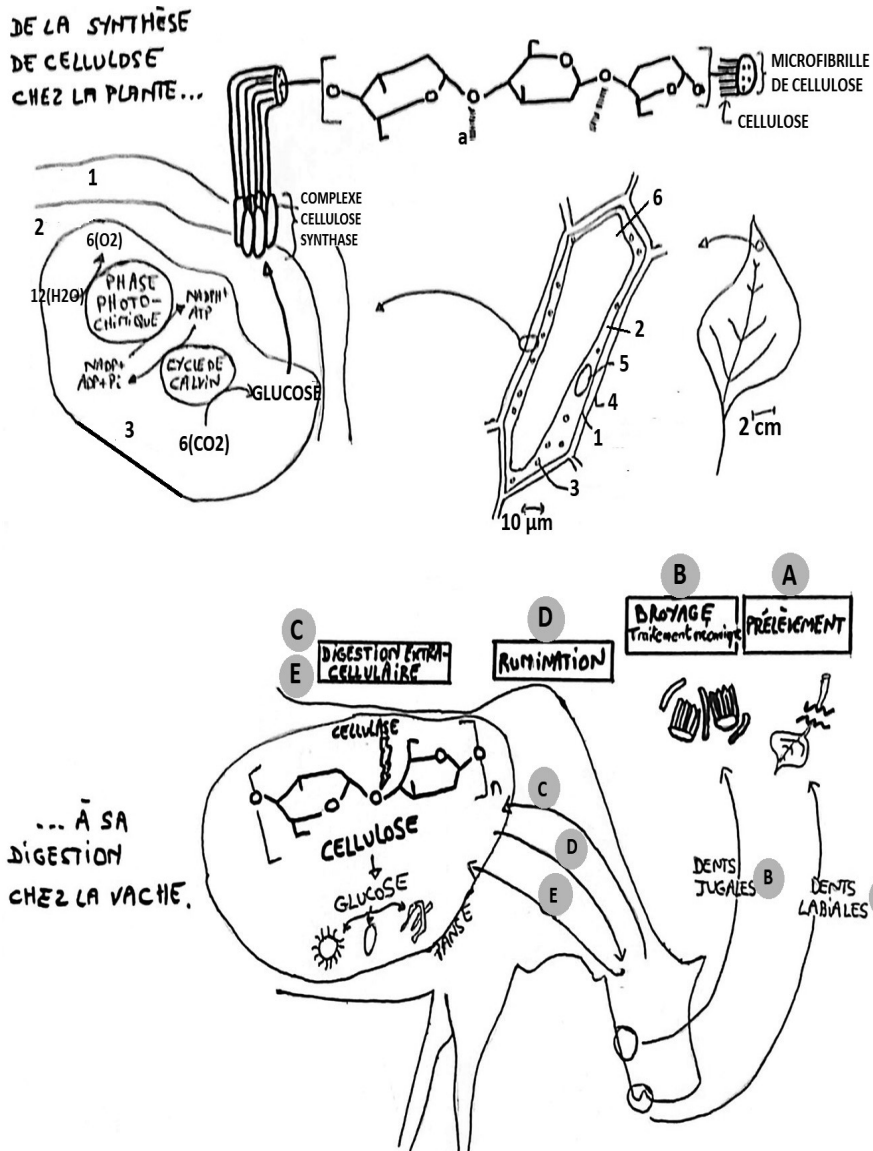


Figure 1-7 : Proposition de schéma réalisé au tableau associé à l'exposé de synthèse : la cellulose de sa synthèse à sa digestion chez la vache.

© Jonathan Faivre.

Légendes : a : Liaison inter chaîne / 1 : Membrane plasmique / 2 : Cytoplasme / 3 : Chloroplaste / 4 : Paroi végétale cellulosique / 5 : Noyau / 6 : Vacuole.

DEUXIÈME PARTIE

Documents à analyser - sujet 1

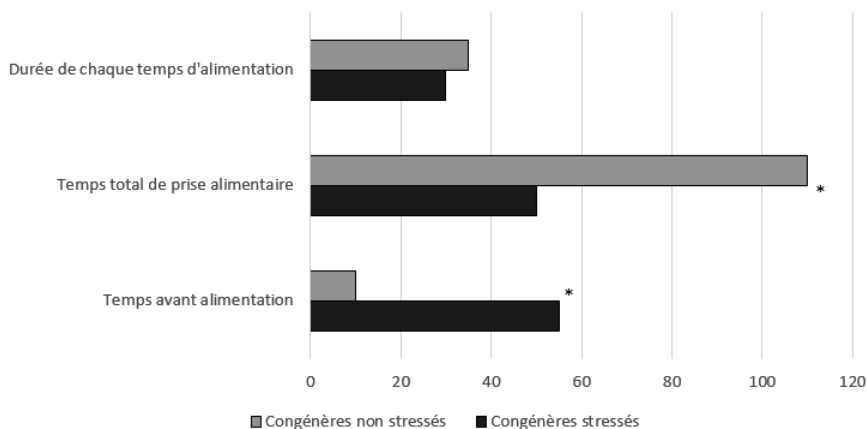
Il est attendu du candidat qu'il prenne connaissance des documents suivants pendant son temps de préparation. Aucune étude complète n'est exigée.

La vache est un animal domestique très présent en France. On dénombre environ 900 races différentes de vaches. A titre d'exemple, en France 20 races différentes sont élevées pour leur lait. De nombreuses études sont réalisées chez cet animal afin d'améliorer ses conditions de vie en situation d'élevage. Ceci permet aux éleveurs d'améliorer leurs productions de lait ou de viandes qualitativement et quantitativement. L'étude de la prise alimentaire des individus est une bonne manière d'appréhender la qualité de l'élevage.

On se propose d'étudier les variations de la prise alimentaire chez la vache, *Bos taurus*, selon les conditions d'élevage.

Figure 1-8 : Moyennes des temps de réaction (en secondes) de vaches lorsqu'elles sont exposées à un environnement inconnu avec des congénères stressés ou non.

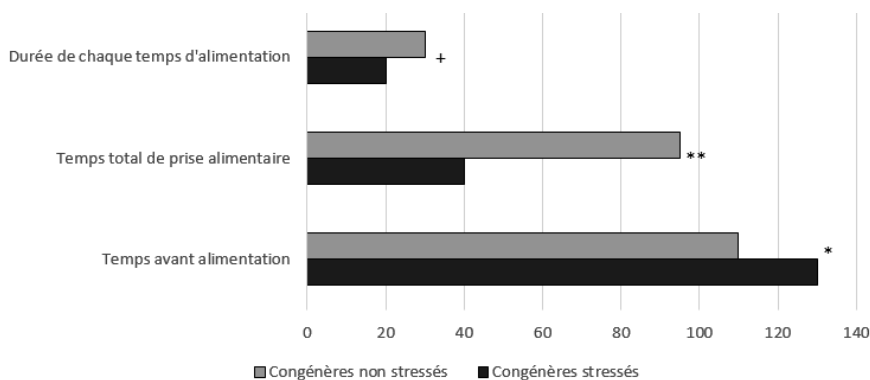
* indique des résultats significativement différents ($p : 0,05$).



D'après : Boissy, A., Terlouw, C., & Le Neindre, P. (1998). Presence of cues from stressed conspecifics increases reactivity to aversive events in cattle: evidence for the existence of alarm substances in urine. *Physiology & Behavior*, 63(4), 489-495.

Figure 1-9 : Moyennes des temps de réaction (en secondes) de vaches lorsqu'elles sont exposées à un environnement inconnu en présence d'urine de congénères stressés ou non.

* / ** / + indiquent des résultats significativement différents p :0,05 / 0,01 / 0,1.



D'après : Boissy, A., Terlouw, C., & Le Neindre, P. (1998). Presence of cues from stressed conspecifics increases reactivity to aversive events in cattle: evidence for the existence of alarm substances in urine. *Physiology & Behavior*, 63(4), 489-495.

Proposition de correction des documents à analyser

La figure 1-8 montre la moyenne des temps de réaction pour différents comportements liés à l'alimentation pour des vaches exposées à un environnement inconnu en présence de congénères stressés ou non stressés.

Dans ce cas, l'étude montre l'impact de la présence de congénères stressés sur la prise alimentaire. Ainsi le témoin correspond au comportement des vaches en présence de congénères non stressés.

Ainsi, en présence de congénères non stressés, les vaches attendent en moyenne 10 secondes avant de s'alimenter, elles s'alimentent pendant une durée totale d'1 minute et 50 secondes. Enfin, leur temps d'alimentation moyen à chaque prise alimentaire est d'environ 35 secondes.

En présence de congénères stressés, les vaches attendent en moyenne 5 fois plus longtemps que celles en contact avec des congénères non stressés soit presque 1 minute. D'autre part, leur temps total d'alimentation est réduit à environ 50 secondes soit 2 fois moins long que les génisses en contact de congénères non stressés. Enfin, le temps d'alimentation à chaque prise alimentaire est de 30 secondes, sur ce point on ne note pas de différence significative avec les vaches en contact de congénères non stressés.

Ainsi, la présence de congénères stressés a un impact négatif sur la prise alimentaire des vaches.

Parmi les grandes fonctions biologiques identifiables chez la vache on retrouve celle de relation. Cette fonction repose sur une perception de signaux environnementaux, sur leur intégration et sur la mobilisation de la commande

motrice. De plus, on sait que les signaux environnementaux sont perçus par divers organes sensoriels spécialisés, le tableau ci-dessous en propose quelques exemples localisés au niveau de la tête de la vache.

Stimuli	Organes sensoriels impliqués dans la réception des stimuli	Sens
Sons	Oreilles	Audition
Lumière	Yeux latéraux avec un grand champ de vision.	Vision
Odeurs et phéromones	Narines et muqueuses olfactives.	Olfaction

Figure 1-10 : Les principaux organes sensoriels au niveau de la tête de la vache.

On peut proposer l'hypothèse selon laquelle les congénères stressés produisent des signaux associés au stress et perçus par les génisses faisant l'objet du test. Ces dernières intègrent ces signaux de stress et raccourcissent leur temps de prise alimentaire total et prennent davantage de temps avant de commencer à se nourrir. Cet état peut par exemple correspondre à un état de vigilance accrue permettant de réagir plus vite en cas de danger.

La nature des signaux émis par les congénères stressés et impactant pour les génisses reste à déterminer.

La figure 1-9 montre les moyennes des temps de réactions comportementales des vaches lorsqu'elles sont exposées à une arène inconnue traitée avec de l'urine de congénères non stressés et stressés.

De même que pour la figure 1-8, le témoin correspond au comportement des vaches en présence d'une arène traitée à l'urine de congénères non stressés.

Les vaches dans l'arène traitée à l'urine de congénères non stressés attendent en moyenne un peu moins de 1 minutes et 50 secondes avant de s'alimenter, puis elles s'alimentent pendant une durée totale de 1 minute et 35 secondes enfin leur temps d'alimentation moyen à chaque prise alimentaire est de 30 secondes.

Les vaches dans l'arène traitée à l'urine de congénères stressés attendent en moyenne 2 minutes et 10 secondes avant de s'alimenter, elles commencent donc à se nourrir avec un retard d'environ 16 %. Ensuite, elles s'alimentent pendant une durée totale de 40 secondes, soit 2 fois moins longtemps que les vaches témoins. Enfin, leur temps d'alimentation moyen à chaque prise alimentaire est d'environ 20 secondes, soit une durée de 33 % inférieure par rapport aux vaches témoins.

Dans un premier temps, il convient d'expliquer le temps de latence très supérieur à l'expérience de la figure 1-8. En effet, dans l'expérience de la figure 1-9 les vaches sont dans une arène dépourvue de congénères, on peut supposer que le temps de latence avant la prise alimentaire est lié à un temps d'exploration du nouvel environnement. La présence d'urine de congénères non stressés réduit ce temps de latence avant la prise alimentaire.

D'autre part, la présence seule de l'urine de congénères stressés suffit à perturber la prise alimentaire des vaches. Par conséquent, on peut supposer que des substances de types phéromones de stress sont présentes dans l'urine de la vache entraînant une stimulation de l'olfaction chez les vaches conduisant à des comportements de stress sans que les congénères ne soient présents.

→ Par conséquent, le stress chez la vache conduit à une production de phéromones de stress. Ces dernières sont présentes dans l'urine de la vache les rendant perceptibles pour les congénères et entraînant une réaction de stress chez d'autres vaches n'ayant pas nécessairement été en contact direct avec la source de stress. D'autres éléments peuvent aussi être perçus par les congénères comme certains meuglements, des comportements agités, etc qui mobilisent d'autres organes sensoriels mais qui contribuent également à la survenue ou au maintien d'un état de stress chez les congénères de la vache stressée.

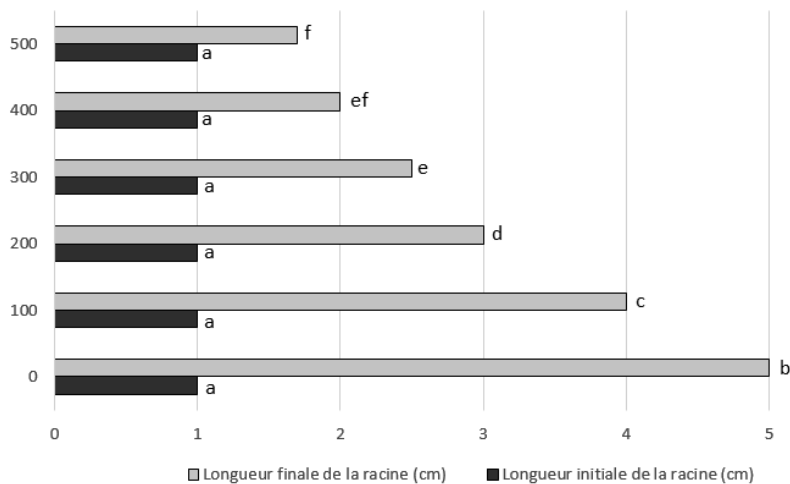
Documents à analyser - Sujet 2

Il est attendu du candidat qu'il prenne connaissance des documents suivants pendant son temps de préparation. Aucune étude complète n'est exigée.

La pollution aux métaux lourds est un enjeu de société fondamental. En effet, ces substances présentent des risques importants en matière de santé humaine. Leur accumulation dans les sols pose de nombreuses questions sur leurs effets sur les organismes et les écosystèmes. **On se propose d'étudier les effets d'une exposition au cadmium sur l'appareil racinaire d'*Arabidopsis thaliana*.**

Figure 1-11 : a / Mesures de la longueur de la racine principale, de jeunes plantes d'une semaine et de jeunes plantes transférées pendant une semaine dans des milieux enrichis en différentes concentrations de cadmium. Les lettres différentes entre deux moyennes correspondent à une différence significative ($p < 0,05$).

b / Mesure de la masse fraîche de l'appareil racinaire, de jeunes plantes âgées d'une semaine et de jeunes plantes transférées pendant une semaine dans des milieux enrichis en différentes concentrations de cadmium. Les lettres différentes entre deux moyennes correspondent à une différence significative ($p < 0,05$).



a / Longueur de la racine primaire d'une jeune plante âgée d'une semaine (noir) et après une semaine dans un milieu enrichi en différentes concentrations en cadmium (μM) (gris).

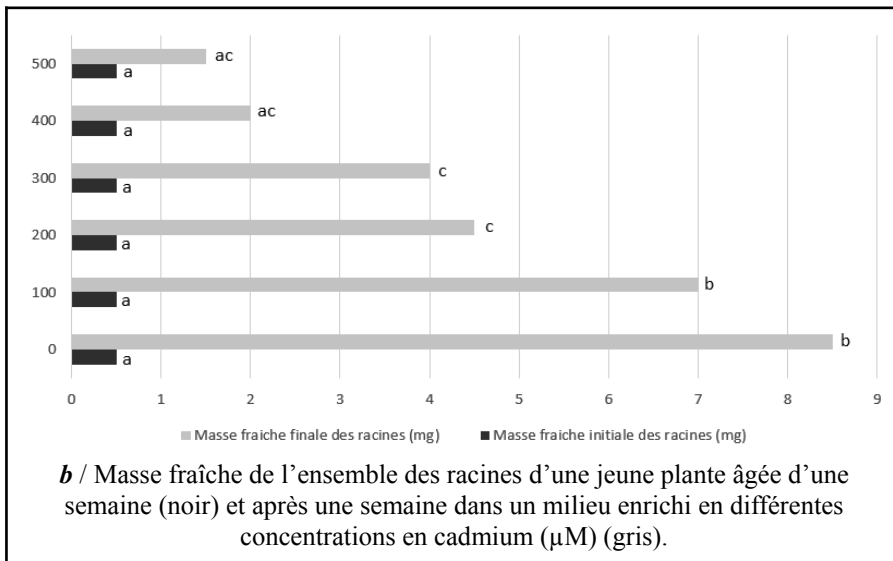


Figure 1-12 : Interprétation schématique de la morphologie de l'apex des racines primaires observées chez des jeunes plantes d'une semaine soumises pendant une semaine à 0 μM (à gauche) de cadmium ou à 100 μM de cadmium (à droite). Les barres d'échelle correspondent à 200 μm . La partie noire correspond à la coiffe.

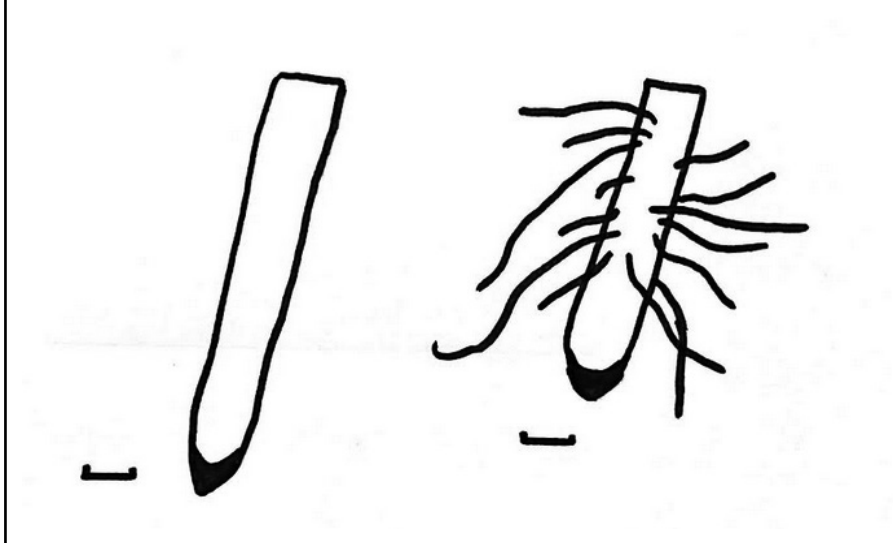
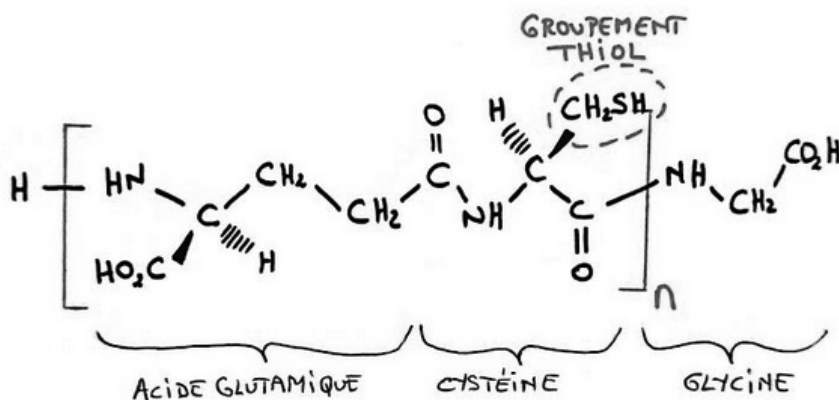


Figure 1-13 : a / Schéma de la molécule de phytochélatine. Les groupements thiols peuvent réagir notamment avec les ions mercure et plus largement avec les métaux lourds selon la réaction suivante : $\text{Hg}^{2+} + 2 \text{R} - \text{S} \text{H} \rightarrow \text{Hg} (\text{S} - \text{R})_2 + 2\text{H}^+$. Cette propriété leur a valu le nom de « mercaptan », c'est-à-dire : «qui capte le mercure».

b / Teneur en cadmium présente dans l'appareil caulinaire et racinaire de jeunes plantes d'*Arabidopsis thaliana* âgées d'une semaine puis transférées pendant une semaine dans un milieu concentré à 0 ou 100 μM de cadmium.

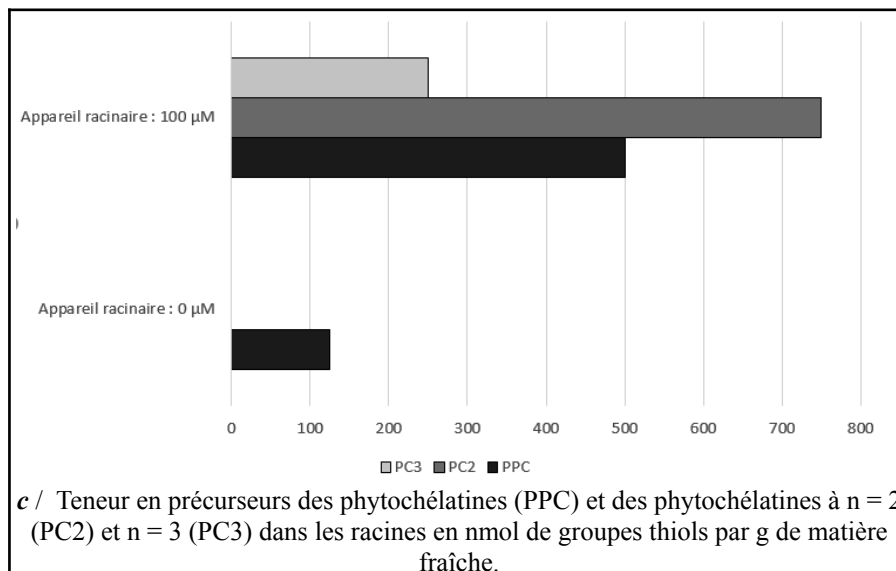
c / Teneur en précurseurs des phytochélatines (PPC) et des phytochélatines à $n = 2$ (PC2) et $n = 3$ (PC3) dans les racines et les parties aériennes en nmol de groupes thiols par g de matière fraîche. Les plantes âgées d'une semaine ont été transférées pendant une semaine sur 0 ou 100 μM de cadmium.



a / Schéma de la molécule de phytochélatine. $n = 2$ à 11

	Concentration en Cadmium dans le milieu (μM)	
	0	100
Appareil caulinaire	0	100
Appareil racinaire	0	160

b / Teneur en cadmium (en $\mu\text{g. g}^{-1}$ matière sèche)



D'après : Moudouma, C. F. M. (2010). Étude des mécanismes d'accumulation du cadmium chez *Arabidopsis thaliana* (écotype Wassilewskija) et chez un mélèze hybride (*Larix x eurolepis*) par des approches moléculaire et développementale (Doctoral dissertation, Limoges).

Proposition de correction des documents à analyser

La figure 1-11-a montre les effets de concentrations croissantes en cadmium sur la longueur de la racine principale qui au début de l'expérience mesure 1 cm. L'étude s'intéresse aux effets du cadmium sur la croissance racinaire. Par conséquent, le témoin représente l'expérience où la jeune plante est transférée dans un milieu sans cadmium. On note que dans des conditions sans cadmium, la racine principale atteint 5 cm et multiplie par 5 sa longueur.

Quand le cadmium est ajouté dans le milieu, par exemple à une concentration de 300 µM, la longueur de la racine principale atteint 2,5 cm, cette longueur est divisée par 2 par rapport à celle du témoin. De plus, on remarque que la longueur finale de la racine principale est toujours inférieure à celle du témoin quelle que soit la concentration en cadmium administrée. Ainsi le cadmium est un métal lourd à l'origine d'une chute de croissance de la racine principale. On peut proposer l'hypothèse selon laquelle l'exposition au cadmium est associée à un effet inhibiteur sur le fonctionnement du MAR ou encore sur les mécanismes d'élongation cellulaire.

La figure 1-11-b montre les effets de concentrations croissantes en cadmium sur la masse fraîche des racines. Avant le contact avec le milieu enrichi en cadmium (ou non), on remarque que la masse des racines est de 0,5 mg. Après 1 semaine sans cadmium, la masse des racines a été multipliée par 17 et représente 8,5 mg. Quand la concentration en cadmium est de 100 µM on note que la masse des racines n'est pas significativement différente de la condition témoin. Pourtant dans la figure 1-11-a nous avons noté que la croissance de la racine principale était inhibée pour

des milieux enrichis à 100 μM de cadmium. On peut supposer que l'appareil racinaire se ramifie ou que la racine s'épaissit, ceci pourrait expliquer que la masse des racines ne soit pas modifiée alors que la longueur de la racine principale est réduite. Pour des concentrations en cadmium de 200 μM et supérieures, la masse des racines est au moins réduite de moitié et pour des concentrations à 500 μM la masse fraîche est divisée par 5,5. L'appareil racinaire est donc sensible au cadmium.

La figure 1-12 montre des schémas interprétatifs d'une observation d'apex de la racine principale d'*Arabidopsis thaliana* non exposée ou suite à une exposition à des concentrations de cadmium de 100 μM . On remarque que l'apex de la racine principale porte de nombreuses racines secondaires, ainsi la ramification de la racine principale est forte dans les plantes exposées au cadmium. Ceci montre que le cadmium agit sur la racine principale en stimulant la production de racines secondaires.

Méthode : La capacité à proposer des hypothèses est appréciée par les jurys. Si l'opportunité se présente de valider ou réfuter ces hypothèses n'hésitez pas à l'expliquer, ceci vous permettra de développer vos capacités d'argumentation.

Ceci permet de confirmer l'hypothèse d'une réduction de la longueur de la racine principale qui diminue la masse de la racine mais compensée par une ramification accrue du système racinaire au niveau de l'apex pour des concentrations faibles en cadmium (100 μM).

La figure 1-13-c montre les concentrations en phytochélatine et ses précurseurs dans l'appareil racinaire d'*Arabidopsis thaliana* en présence ou non de cadmium. Sans cadmium, on peut noter que les parties racinaires ne contiennent que les précurseurs des phytochélatines à des concentrations équivalentes autour de 100 nmol de groupements thiols par gramme de matière fraîche. Quand la plante est soumise à des concentrations de 100 μM de cadmium, on note une accumulation de phytochélatines dans les parties racinaires et on voit une augmentation de la concentration du précurseur des phytochélatines, dont la concentration est multipliée par 4, et des phytochélatines de type PC2 et PC3. On constate que les phytochélatines de type PC2 sont 3 fois plus présentes que les phytochélatines de type PC3. D'après la figure 1-13-a, les phytochélatines sont des polymères. On peut supposer qu'il est métaboliquement plus aisé de produire des phytochélatines de type PC2. La production de PC2 et PC3 pourrait donc être une réponse au milieu contaminé au cadmium.

Connaissances : Les groupements thiols peuvent réagir notamment avec les ions mercure. Cette réaction est la suivante : $\text{Hg}^{2+} + 2\text{R} - \text{SH} \rightarrow \text{Hg}(\text{S} - \text{R})_2 + 2\text{H}^+$. Cette propriété leur a valu le nom de « mercaptan » qui signifie « qui capte le mercure ».

Les teneurs en cadmium des plantes étudiées dans la figure 1-13-b montrent que la bioaccumulation des métaux lourds est possible chez *Arabidopsis thaliana*. On note notamment que la bioaccumulation du cadmium dans l'appareil racinaire

se fait à des niveaux supérieurs de ceux présents dans le milieu et dans l'appareil caulinaire. Ceci suggère que la bioaccumulation du cadmium dans l'appareil caulinaire peut être associée à une contamination passive par contact avec la sève brute issue de l'absorption de l'eau contaminée du sol (car les concentrations dans le sol et l'appareil caulinaire sont identiques). Ceci permet aussi de valider l'hypothèse selon laquelle la bioaccumulation du cadmium dans des milieux contaminés est associée à la production de PC2 et PC3 dans les racines ce qui surconcentre le cadmium dans l'appareil racinaire.

L'étude de la figure 1-13-a révèle la présence de groupements thiols dans les phytochélatines qui jouent un rôle de séquestration des métaux lourds comme le cadmium. Ainsi, la mise en évidence de la bioaccumulation racinaire est fondée sur l'existence de molécules riches en groupements thiols qui ont la particularité de chélater les métaux lourds, le cadmium ici.

Par conséquent, l'exposition d'*Arabidopsis thaliana* à des taux de métaux lourds importants impacte la croissance de l'appareil racinaire que cela soit d'un point de vue morphologique et du développement. La présence de cadmium induit chez cette plante une production de molécules qui ont la particularité de séquestrer le cadmium afin de le chélater. Ces propriétés contribuent à la tolérance d'*Arabidopsis thaliana* face à un milieu contaminé en cadmium, en empêchant l'excès d'ions métalliques et leur circulation libre dans le cytoplasme par formation de complexes avec ces derniers ou en les séquestrant dans la vacuole.

Pour aller plus loin : Ce genre d'étude peut être utile pour évaluer le potentiel de certaines plantes dans des stratégies de phyto-épuration des milieux. D'autre part, ces études peuvent aussi permettre de connaître les zones d'accumulation préférentielle dans les plantes pour évaluer l'innocuité des parties de la plante dans le cadre de l'alimentation des animaux d'élevage ou l'alimentation humaine.

Interactions entre les organismes et leur milieu de vie - SVB

Première partie

Exposé de synthèse 3

Figure à intégrer 3

Sujet de synthèse 3 : Les méristèmes des Angiospermes

Partie(s) du programme traitée(s)

SV-B-3 Le développement post-embryonnaire des Angiospermes

SV-A-2 Regards sur un organisme Angiosperme : Une Fabacée

En quelques mots

Le développement des Angiospermes se divise en deux grandes étapes, la phase embryonnaire et post-embryonnaire. La phase embryonnaire commence lorsque le zygote est formé et s'achève lorsque la plantule est formée. Durant cette phase la plante acquiert son plan d'organisation qui est formé d'un axe apico-basal et d'une organisation radiale. Chez les Angiospermes, la phase embryonnaire de la génération $n+1$ se déroule au sein de la plante mère de la génération n . Il y a donc une dépendance physique et trophique de l'embryon de la génération $n+1$ vis-à-vis de la plante mère de la génération n .

La phase post-embryonnaire quant à elle s'étend de la germination de la graine à la mort de l'individu. Durant cette phase, la plante développe son appareil végétatif grâce à l'organogenèse et à la croissance. La phase post-embryonnaire se caractérise aussi par une organogenèse et une croissance permettant la mise en place de l'appareil reproducteur. Enfin, cette phase comporte aussi la phase de fécondation et celle de sénescence.

Connaissance : La sénescence est un ensemble de mécanismes non pathologiques qui affectent les organismes lorsqu'ils vieillissent (cet âge varie selon les espèces). Cela peut se traduire par un ralentissement de l'activité métabolique ou des modifications physiologiques entre autres.

Après la germination, la jeune plante grandit grâce à une croissance apicale soutenue. Les apex des racines et des tiges renferment les cellules les plus jeunes de

la plante qui sont produites par des territoires spécialisés, les méristèmes apicaux. Chaque méristème produit des cellules à l'origine de tous les tissus de l'organisme, ainsi tous les méristèmes sont dits histogènes. Le méristème caulinaire a en plus une fonction organogène tout comme le méristème floral qui donne naissance aux différents organes de la fleur.

Le développement de la plante n'est souvent pas un processus continu. En effet, la graine peut rester dormante plus ou moins longtemps. Par conséquent, il n'est pas rare d'observer des cycles de développement ou cycles de vie qui peuvent durer plusieurs années chez les Angiospermes.

Figure 2-1 (pages suivantes) : Double fécondation et développement d'un embryon zygotique chez les Eudicotylédones. L'exemple pris est la fleur d'Arabette des dames, *Arabidopsis thaliana*, de la famille des Brassicacées.

(A) Le grain de pollen qui se pose sur un stigmate germe en un tube pollinique qui croît dans le style. S : Sépale, P : Pétale, E : Étamine, C : Carpelles, rond bleu : ovule.

(B) Le tube pollinique achemine les deux spermatozoïdes jusqu'au gamétophyte femelle de l'ovule pour réaliser la double fécondation.

(C) Un premier spermatozoïde fusionne avec l'oosphère pour donner le zygote alors que le deuxième spermatozoïde fusionne avec les deux noyaux polaires (de la cellule centrale) du gamétophyte femelle pour donner une cellule triploïde qui se multiplie et forme l'albumen (3n), un tissu qui aura un rôle nourricier pour l'embryon.

(D) Le zygote se développe en proembryon, puis en embryon entouré de l'albumen et des téguments de la graine.

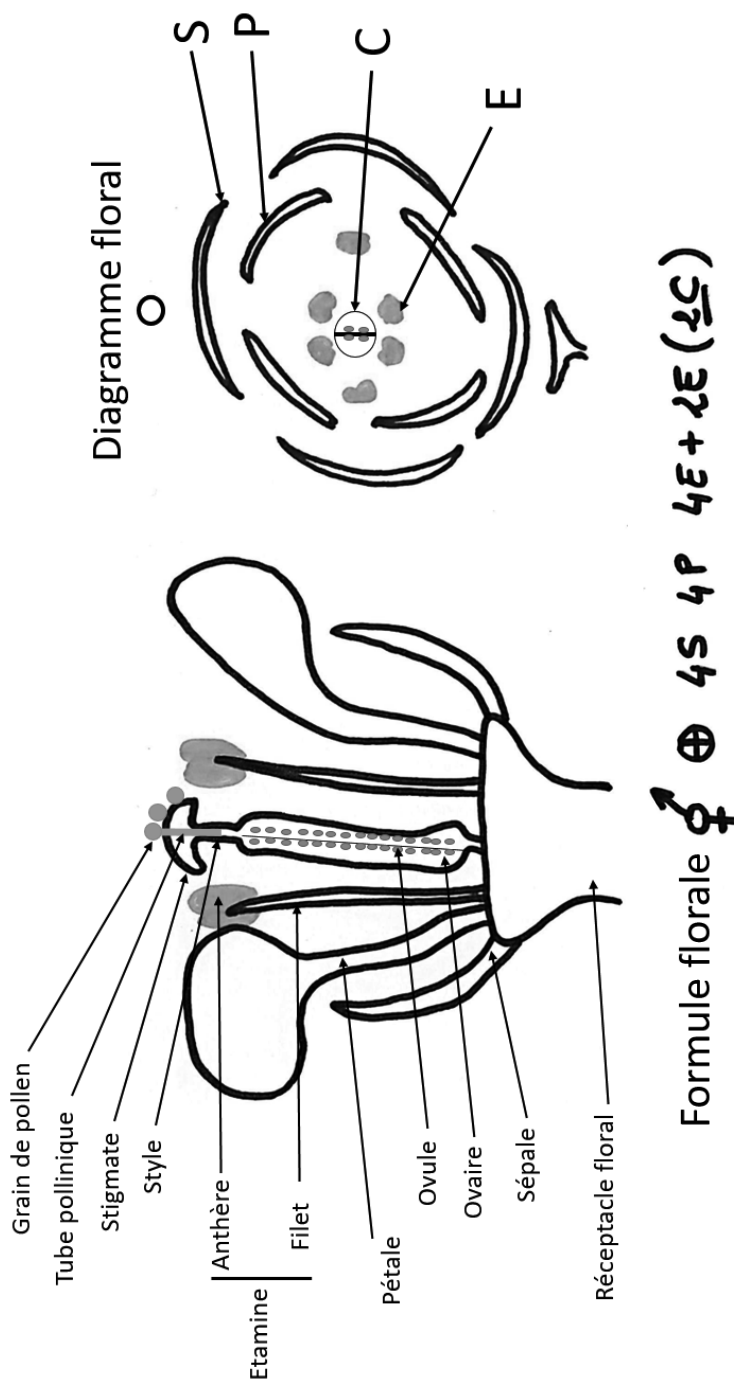


Figure 2-1 : Partie A © Jonathan Faivre

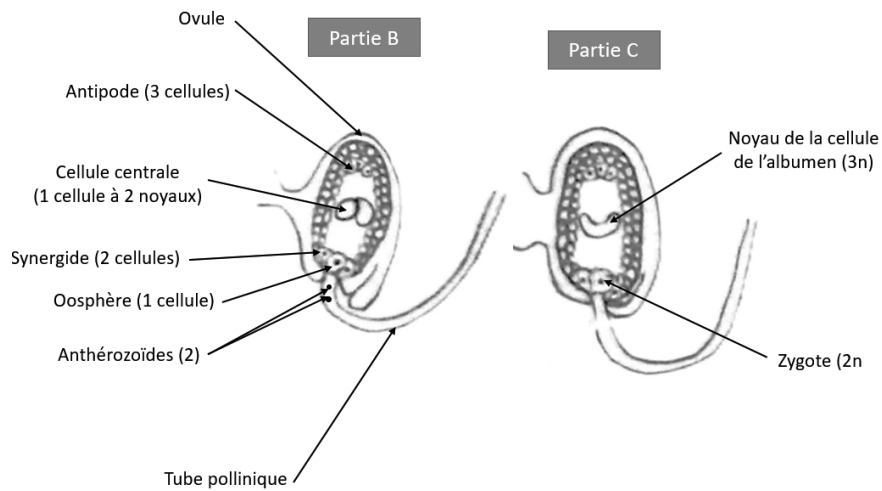


Figure 2-1 : Parties B et C. © H. Chinnici.

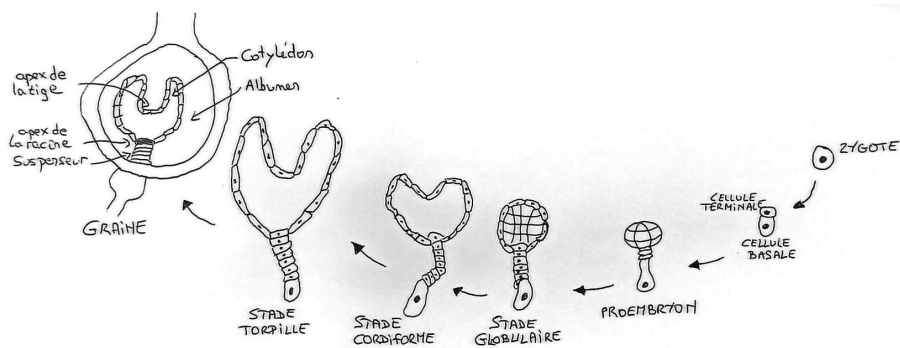
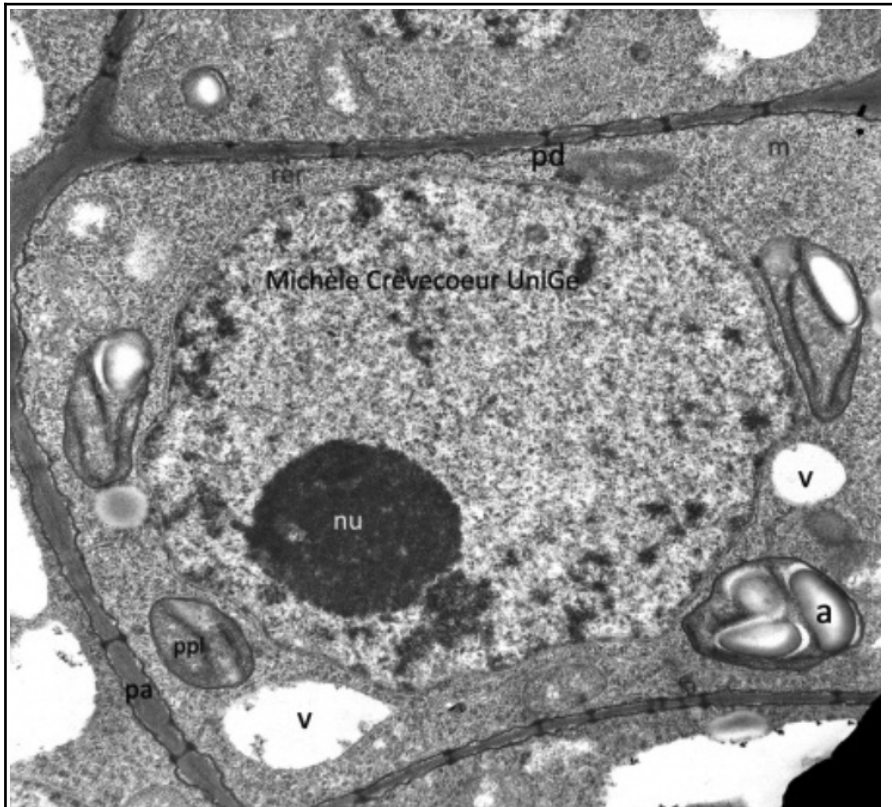


Figure 2-1 : Partie D. © H. Chinnici.

Vous exposerez en 8 minutes maximum les notions clés en relation avec le sujet en intégrant la figure fournie.

Figure à intégrer dans l'argumentation :

Figure 2-2 (page suivante) : Photographie en microscopie électronique d'une cellule localisée dans le méristème apical caulinaire d'une tige d'épinard, *Spinacia oleracea*. Sur la photographie 1 cm correspond à 1 μm (Avec l'aimable autorisation de Mme Michèle Crèvecoeur).



Source : Michèle Crèvecoeur, Université de Genève : en ligne :

<https://www.unige.ch/sciences/biologie/bioveg/crevecoeur/liens/meristemes-primaires/caracteristiques-cellulaires-meristeme-primaire/>

Proposition de correction de l'exposé de synthèse

Méthode : Il s'agit ici de balayer vos connaissances sur les méristèmes et d'en dégager des grandes caractéristiques communes autant structurales que fonctionnelles. Ce sujet est aussi l'occasion d'illustrer la contribution de ces territoires méristématiques au développement de la plante.

Problème possible : Comment les méristèmes des Angiospermes contribuent-ils au développement de la plante ?

Proposition de plan :

1-Les méristèmes sont des tissus spécialisés et localisés dans la plante :

La figure imposée correspond à une photographie en microscopie électronique d'une cellule végétale composant les tissus méristématiques.

Connaissance : Le principe de la microscopie électronique à transmission est de faire converger un faisceau d'électrons vers un échantillon. Cela permet d'obtenir des images avec des résolutions et des grossissements plus importants qu'en microscopie optique. Enfin, les images obtenues sont en niveau de gris et les contrastes peuvent renseigner sur la capacité d'absorption aux électrons des structures traversées.

La figure à intégrer présente une cellule végétale avec une paroi très fine régulièrement interrompue par des plasmodesmes. On remarque un noyau central entouré de multiples vacuoles, on dit alors que le vacuome est très fragmenté. D'autre part, le cytoplasme dense contient du réticulum endoplasmique, des mitochondries et des proplastides ou plastides indifférenciés. Cette cellule végétale méristématique est une cellule de taille modeste puisqu'elle fait 10 μm de hauteur sur environ 12 μm de longueur (la photo est tronquée à droite mais la courbure de la paroi laisse à penser qu'elle ne se situe pas à plusieurs dizaines de μm). La taille relative du noyau par rapport au cytoplasme est typique d'une cellule indifférenciée.

Méthode : Le rapport noyau-cytoplasme est un calcul relativement simple qui permet de déterminer si une cellule est différenciée ou non. Ainsi, dans le cas de la figure à intégrer la cellule entière couvre une surface d'environ 10 x 12 μm^2 soit 120 μm^2 . D'autre part, le noyau lui couvre une surface d'environ 5² x π soit 79 μm^2 . Ainsi le rapport N / C est égal à 79 μm^2 / 120 μm^2 soit 0,66. Ainsi le rapport N / P est supérieur à 0,5 ce qui est caractéristique d'une cellule indifférenciée.

Les cellules méristématiques ont donc des caractéristiques reconnaissables et ces dernières se regroupent au sein de tissus méristématiques ou méristèmes. Ces tissus ne sont pas répartis de manière homogène dans la plante. Ainsi, on retrouve des méristèmes apicaux au niveau des racines, dits racinaires, et des tiges feuillées, dits

caulinaires. Ces méristèmes sont qualifiés de primaires car ils assurent notamment le développement en longueur de la plante. On retrouve aussi dans la tige des méristèmes intercalaires au niveau des entre-nœuds.

On retrouve également au cœur de la tige et des racines des Angiospermes Eudicotylédones des méristèmes secondaires qui assurent une croissance en épaisseur des organes. Ces méristèmes secondaires sont nommés phellogène et cambium libéro-ligneux.

Enfin, à certains moments du cycle de vie, les Angiospermes développent aussi des méristèmes floraux, à l'origine de la formation des fleurs, ou inflorescentiels qui donnent des inflorescences.

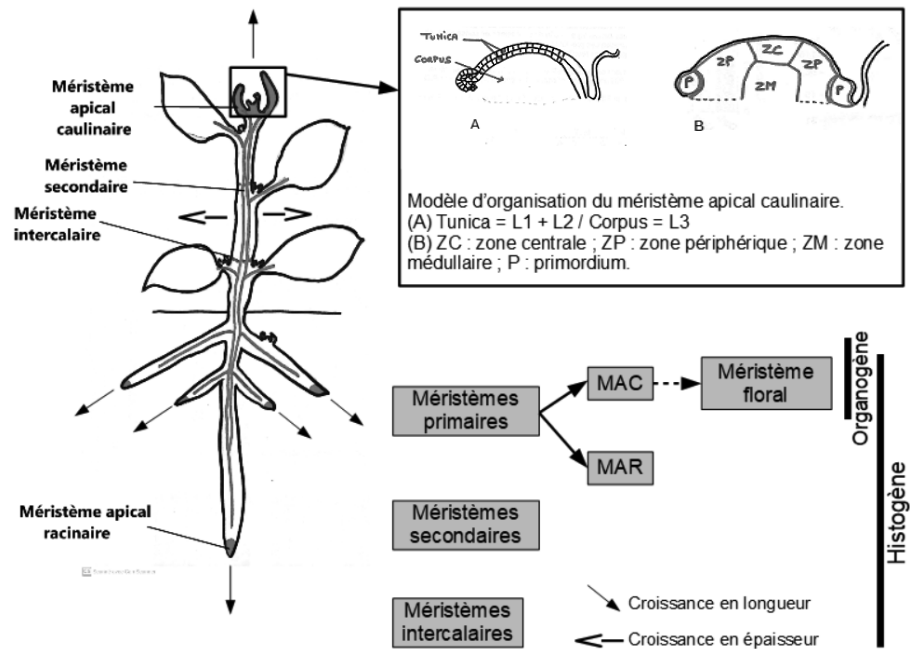


Figure 2-3 : Proposition de schéma à réaliser au tableau : Diversité des territoires méristématiques et organisation du MAC.

© J. Faivre

2-Les méristèmes sont des territoires régionalisés dont l'identité est maintenue par une intense activité de division :

Le méristème apical caulinaire (MAC) est un territoire situé à l'extrémité des tiges. Ce dernier peut être subdivisé en différentes régions en fonction de deux critères principaux, l'intensité des divisions au sein des régions et les plans de division majoritaires dans ces régions.

Selon le critère de l'intensité des divisions on distingue dans le MAC la zone centrale qui est caractérisée par un indice mitotique assez faible. Cette zone est mobilisée lors de la transformation du MAC en méristème floral. On distingue également la zone médullaire qui a un indice mitotique fort au sein du MAC. Enfin