

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Durée : 3 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données, de les traiter par des moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve.

En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le chef de centre qui contrôlera et éventuellement remplacera son sujet.

Quelques aspects des impacts géologiques et agronomiques de l'anthropisation d'un bassin versant

Ce sujet est constitué de deux parties pouvant être traitées indépendamment. Pour chaque partie, les questions seront traitées dans l'ordre de l'énoncé.

La première partie du sujet se concentre sur les impacts géologiques. Elle est constituée de plusieurs sous-parties indépendantes entre elles. La seconde partie traite des impacts agronomiques et des solutions permettant de répondre aux problèmes qu'ils posent. De même, cette partie est constituée de sous-parties indépendantes entre elles.

- Le candidat s'appuiera essentiellement sur une analyse des documents, pour répondre aux questions posées au fur et à mesure des documents.
- Le candidat ne doit pas rédiger de longs développements de ses connaissances sur le thème, indépendamment de l'exploitation des documents et des questions posées.
- La concision des réponses et l'exploitation des documents sans paraphrase seront valorisées.

Références

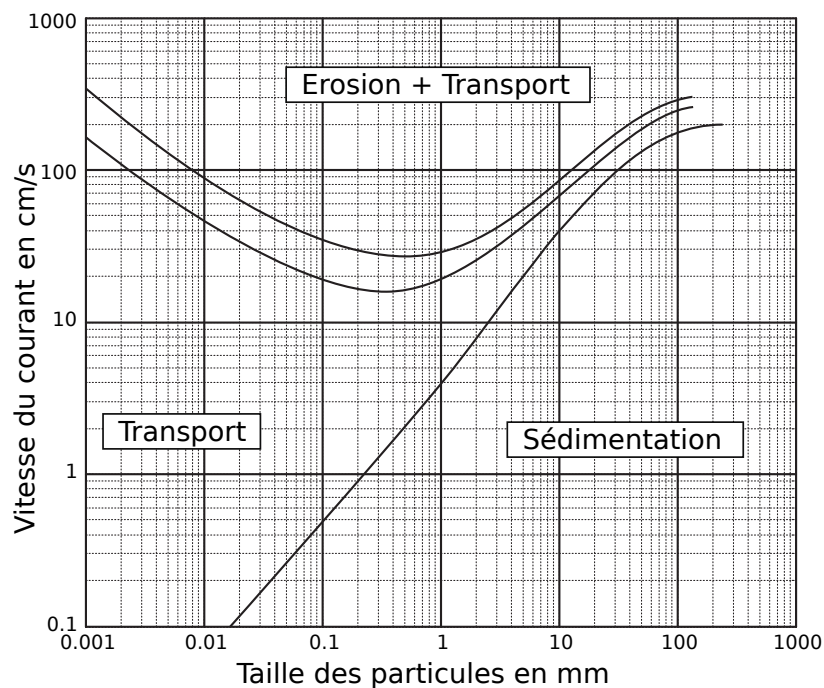
- [1] **Campos-Soriano et al. (2010)**
Activation of basal defense mechanisms of rice plants by Glomus intraradices does not affect the arbuscular mycorrhizal symbiosis– *New Phytologist*
- [2] **Genua-Olmedo et al. (2016)**
Sea level rise impacts on rice production : The Ebro Delta as an example– *Science of The Total Environment*
- [3] **Grattan et al. (2002)**
Rice is more sensitive to salinity than previously thought– *Calif Agr*
- [4] **Jahromi et al. (2007)**
Influence of Salinity on the In Vitro Development of Glomus intraradices and on the In Vivo Physiological and Molecular Responses of Mycorrhizal Lettuce Plants– *Microbial Ecology*
- [5] **Likens et al. (1978)**
Recovery of a deforested ecosystem– *Science*
- [6] **Palanques et Guillén (1997)**
A historical perspective of the morphological evolution in the lower Ebro river– *Environmental Geology*

Thème 1 : Impact de l'anthropisation de cours d'eaux sur la dynamique d'un delta

Ce thème a pour objectif de comprendre les liens entre érosion et dynamique d'un delta.

Le diagramme de Hjulström, donné ci-dessous, servira de document de référence tout au long de ce thème. Il n'est pas à analyser pour lui-même.

DOCUMENT PRÉLIMINAIRE 1 – Diagramme de Hjulström.



1.1 Origine de quelques roches sédimentaires en Auvergne

Cette partie a pour but d'identifier et d'expliquer le lien entre différentes roches d'Auvergne. Les roches et affleurements étudiés sont positionnés sur la figure 1.1.

FIGURE 1.1 – Localisation des échantillons et affleurements étudiés

Les numéros renvoient aux différents échantillons étudiés dans cette partie. Carte : OpenStreetMap - CycleMap

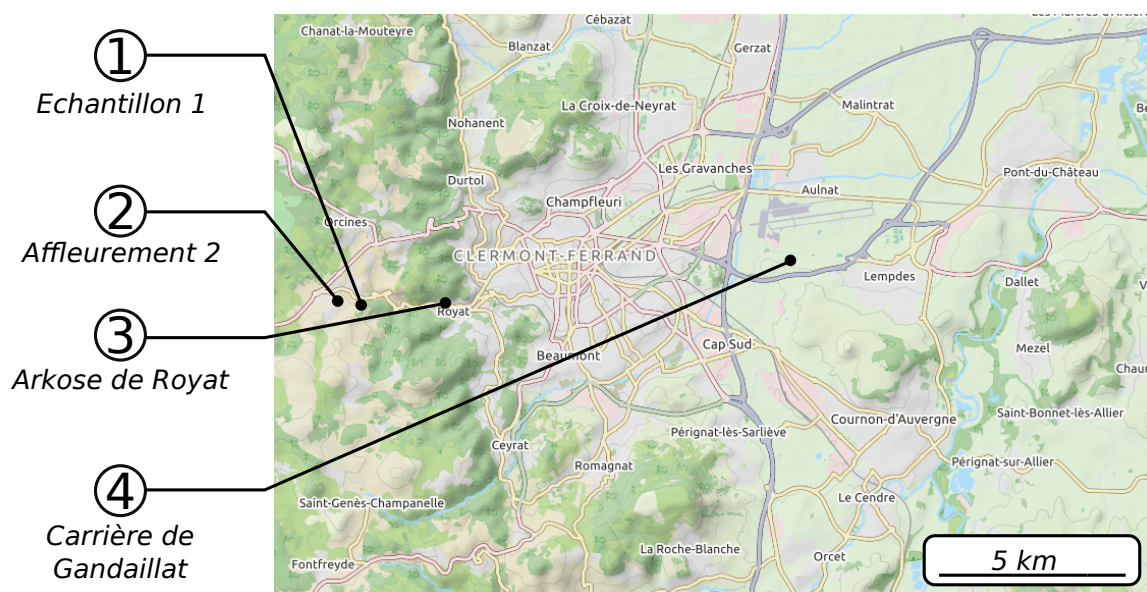
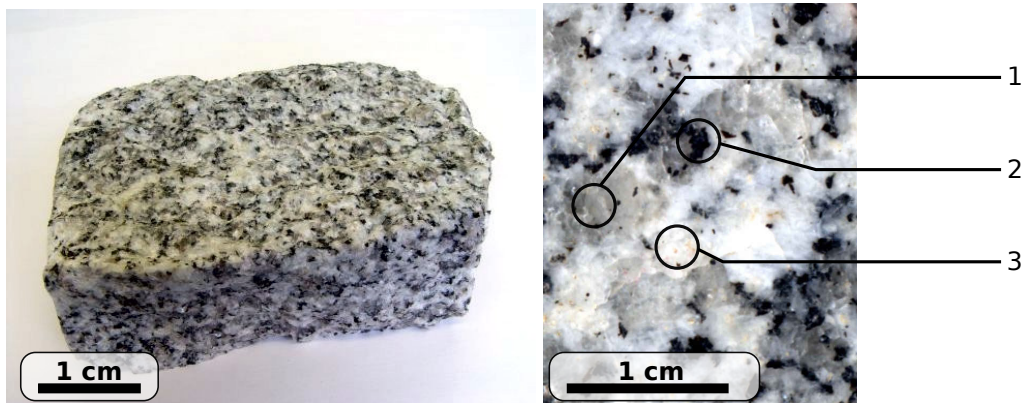


FIGURE 1.2 – Roche 1 : Minéraux et roche à identifier



Question 1

Sur la copie de la figure 1.2 (feuillet A3 en annexe), légendez les trois minéraux indiqués, puis identifiez la roche et donnez les conditions de formation de ce type de roche.

FIGURE 1.3 – Altération de l'anorthite, un feldspath calcique

Exemple de réaction d'altération de l'anorthite, un feldspath calcique, par l'eau. La kaolinite est une argile insoluble dans l'eau à pH > 4.

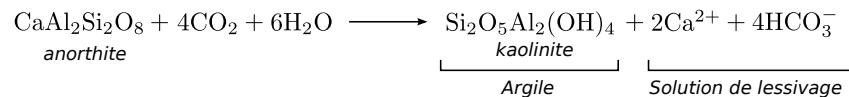
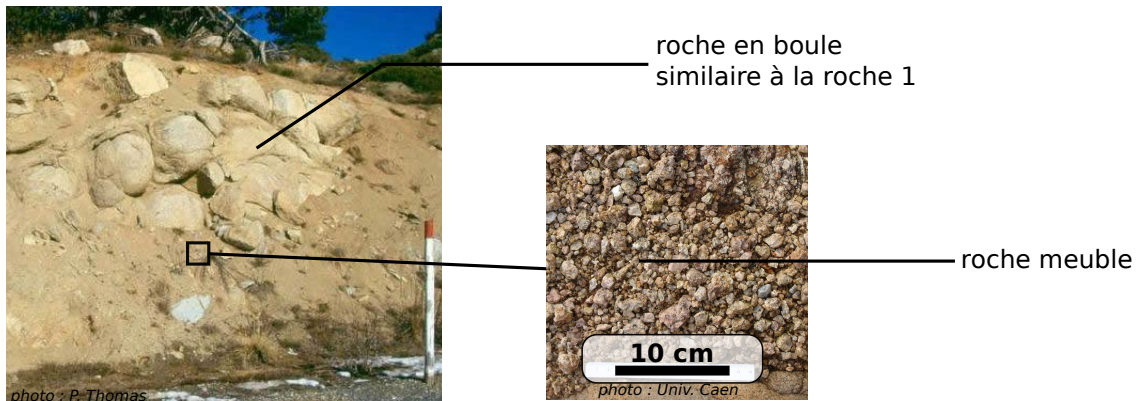


FIGURE 1.4 – Affleurement 2 : Arène dans une carrière du plateau des Dômes

L'affleurement contient un assemblage de boules métriques, composées de roches équivalentes à celle présentée en figure 1.2. Au pied de ces boules et entre elles, on trouve une roche meuble. L'encart montre le contact entre les boules et la roche meuble.

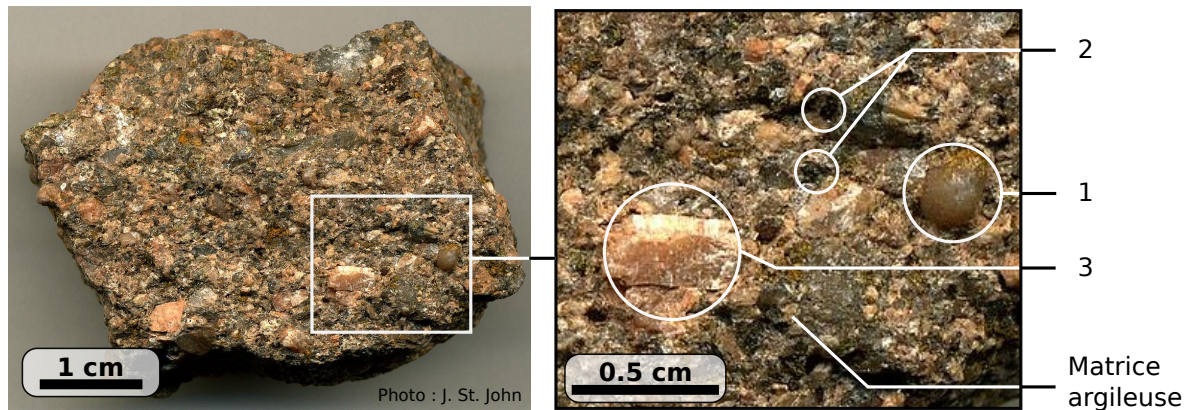


Question 2

Caractérisiez l'affleurement de la figure 1.4 et expliquez son lien avec la roche de la figure 1.2 en vous basant sur la figure 1.3.

FIGURE 1.5 – Roche 3 : Arkose de Royat

Les minéraux 1 à 3 sont les mêmes que ceux indiqués à la figure 1.2. Les grains sont liés entre eux par une matrice à dominante argileuse.

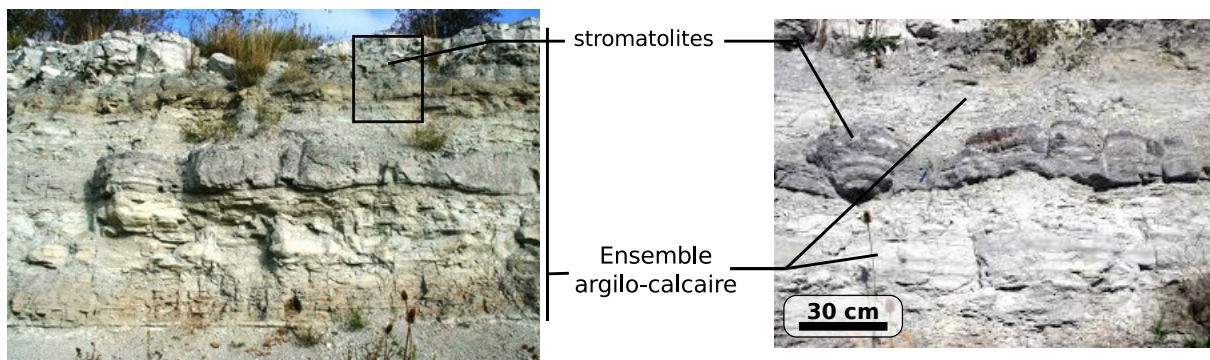


Question 3

- Caractérisez la composition de la roche de la figure 1.5 et expliquez son lien avec l’affleurement présenté à la figure 1.4.
- Caractérisez la granulométrie de la roche de la figure 1.5 (taille des grains) et tirez en des conclusions en terme de tri et de transport des particules. Vos justifications s’appuieront sur le diagramme de Hjulström (document de référence 1)

FIGURE 1.6 – Affleurement 4 : carrière de Gandaillat

On précise que les stromatolites sont la conséquence d’une bioprécipitation des carbonates de calcium CaCO_3 sous une faible tranche d’eau par des bactéries photosynthétiques. L’ensemble argilo-calcaire contient des particules d’argile liées entre elles par du CaCO_3

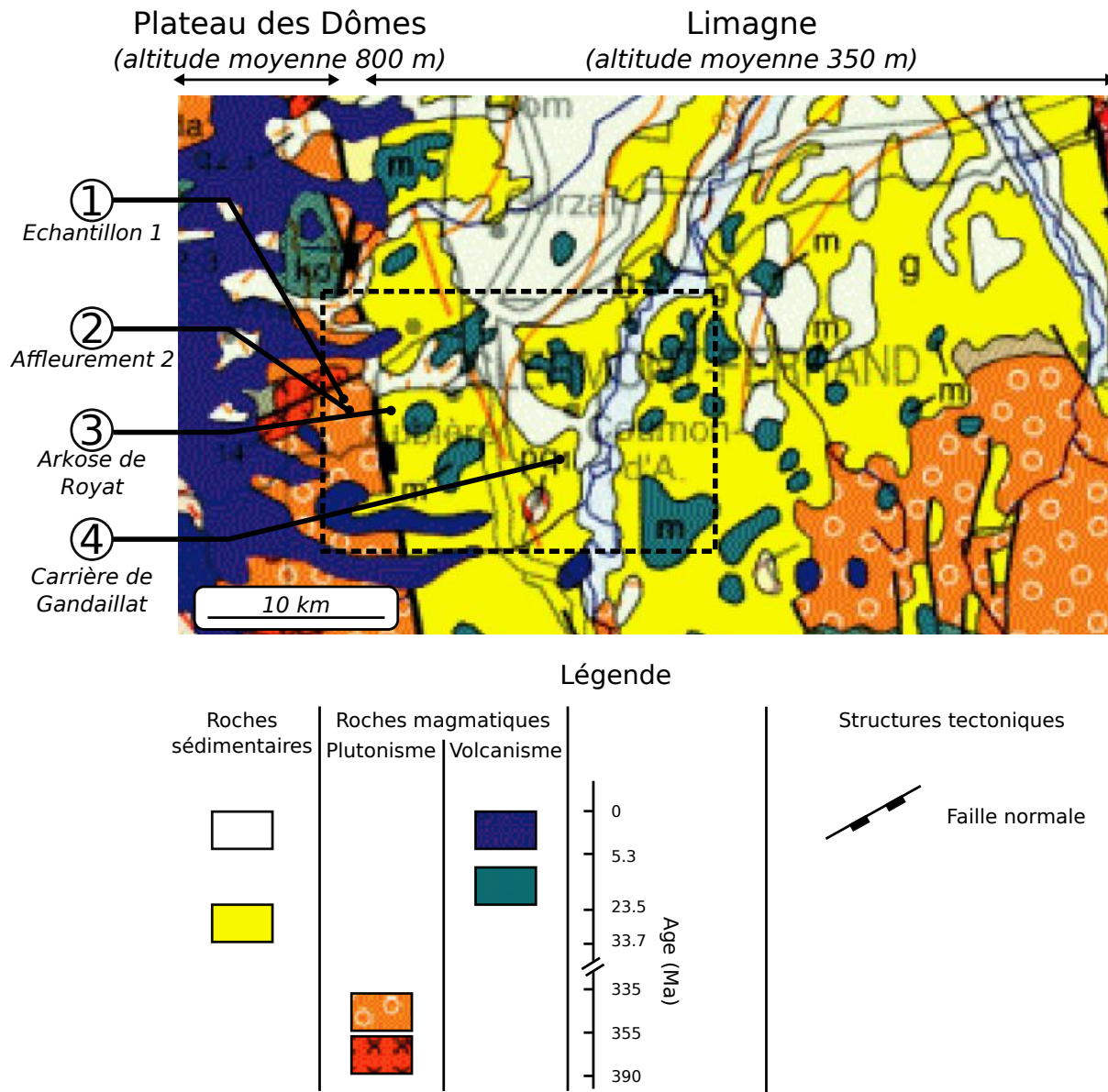


Question 4

Caractérisez la roche de la figure 1.6 et expliquez son lien avec l’affleurement présenté à la figure 1.4. Vos justifications s’appuieront sur le diagramme de Hjulström (document de référence 1) et sur la figure 1.3.

FIGURE 1.7 – Extrait de la carte géologique de la France centré sur la Limagne.

Les numéros renvoient aux différentes roches et affleurements, et correspondent respectivement aux figures 1.2, 1.4, 1.5 et 1.6. L'encadré en pointillé correspond à la zone couverte par la carte de la figure 1.1



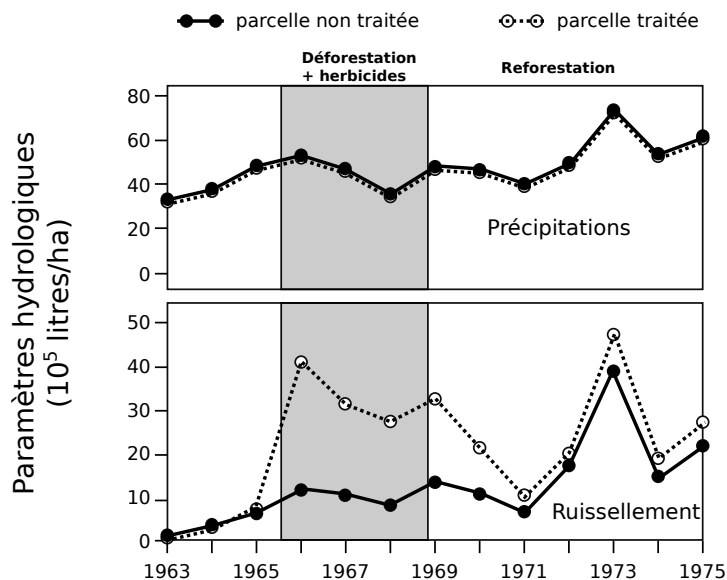
Question 5

La figure 1.7 replace les roches et les affleurements sur un extrait de la carte géologique de la France. Reconstituer l'histoire de la région en explicitant les liens entre les différentes roches. On ne prendra pas en compte la présence des roches volcaniques.

1.2 Impact de la déforestation sur l'érosion

FIGURE 1.8 – Effet de la déforestation sur le ruissellement

Deux parcelles adjacentes d'une forêt sont étudiées dans le temps, de 1963 à 1975. La première est laissée intacte, la seconde est défrichée en 1966, puis traitée pendant 3 ans à l'herbicide de manière à empêcher toute repousse de végétation (de 1966 à 1969). À partir de 1969, on laisse la parcelle évoluer sans intervention (reforestation naturelle). On mesure dans chaque parcelle la pluviométrie ainsi que le ruissellement de l'eau à la surface des parcelles.

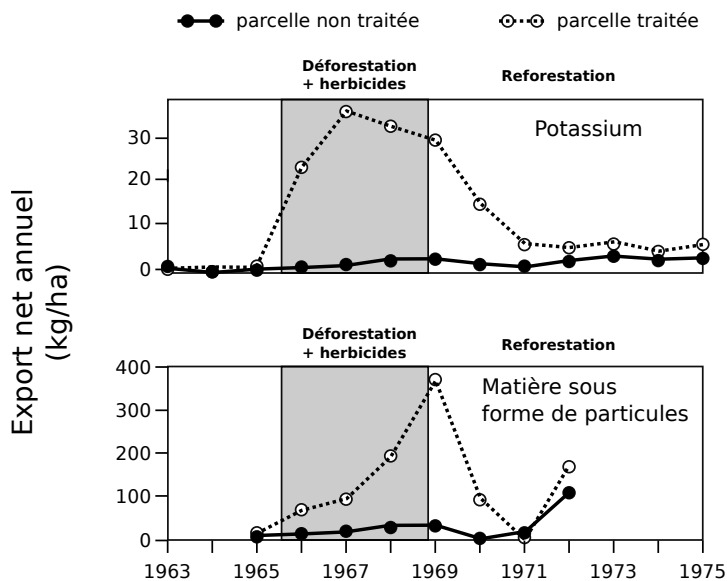


Question 6

Analysez la figure 1.8 pour montrer les liens entre précipitations, végétalisation d'une parcelle et ruissellement.

FIGURE 1.9 – Effet de la déforestation sur l'export de matière

Dans l'eau ruisselant des parcelles présentées à la figure 1.8, on mesure la quantité de différents ions et de particules en suspension en fonction du temps.



Question 7

Analysez la figure 1.9 pour en tirer des conclusions sur l'effet de la végétation sur l'érosion d'une parcelle. Vous envisagerez le cas des molécules solubles et de la matière particulaire.

1.3 Impact de l'anthropisation d'un bassin versant sur la dynamique d'un delta : le cas de l'Ebre

Le bassin versant d'un fleuve correspond à l'espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace converge vers un même point de sortie (estuaire ou delta par exemple). L'Ebre est le fleuve ayant le plus grand bassin versant de la péninsule Ibérique (figure 1.10). Ce fleuve débouche sur un delta, dont la morphologie a évolué au cours du temps.

FIGURE 1.10 – Bassin versant et morphologie du delta de l'Ebre

À gauche : bassin versant de l'Ebre et localisation des principaux barrages construits au XX^{ème} siècle. À droite : morphologie du delta de l'Ebre. Les lignes claires correspondent à des chemins bordés de canaux : elles montrent la position des chenaux connectés à l'Ebre, dédiés à l'alimentation en eau douce des rizières. Certains bancs de sable apparaissent clairs. Des marais, peu discernables des rizières, sont indiqués.



On cherche ici à comprendre comment l'anthropisation du bassin versant de l'Ebre a pu avoir un impact majeur sur la morphologie de son delta au cours du temps.

1.3.1 Évolution de la morphologie du delta de l'Ebre jusqu'au XX^{ème} siècle

FIGURE 1.11 – Evolution morphologique du delta de l'Ebre durant les 5 derniers siècles.

Les reconstitutions les plus anciennes sont basées sur des descriptions qualitatives tirées de textes historiques.

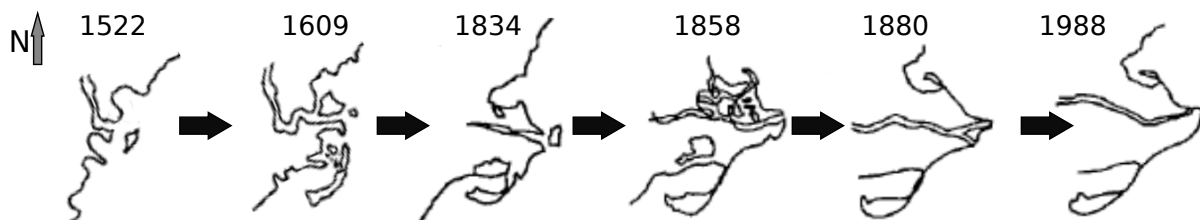


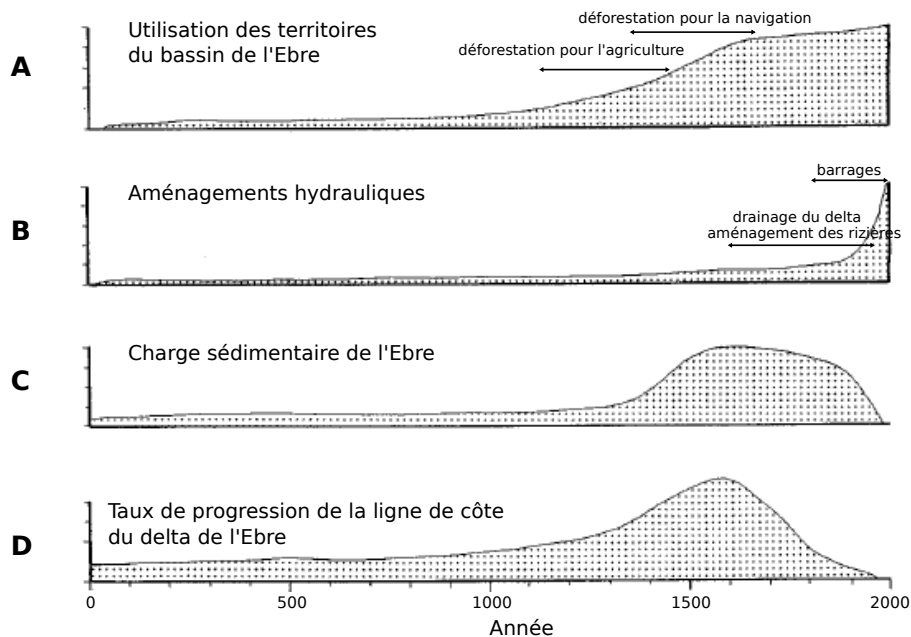
FIGURE 1.12 – Importance relative estimée de quelques facteurs contrôlant la dynamique du delta de l'Ebre

Les échelles sont seulement qualitatives.

La valeur de la charge sédimentaire de l'Ebre correspond au volume de sédiments transporté par le fleuve par unité de temps.

Les opérations de drainage du delta ont pour objectif de faciliter la culture dans le delta et consistent en la construction de nombreux canaux permettant d'acheminer l'eau jusqu'aux rizières, où elle stagne (voir figure 1.10).

Un taux de progression de la ligne de côte du delta positif correspond à une progression du delta, une valeur négative correspond à un retrait du delta.



Question 8

En vous basant sur les figures 1.11 et 1.12 ainsi que sur vos conclusions tirées de l'analyse de la figure 1.9, vous expliquerez l'évolution morphologique du delta de l'Ebre de 1522 jusqu'à 1858.

Question 9

En vous basant sur les figures 1.10, 1.11 et 1.12 ainsi que sur le diagramme de Hjulström (document préliminaire 1), vous expliquerez l'évolution morphologique du delta de 1858 jusqu'à 1988. On considèrera que l'eau stockée dans un lac de barrage circule à une vitesse très faible (0.1 cm/s).

1.3.2 Évolution future du delta de l'Ebre

En 2015, le Delta de l'Ebre a subi une inondation extrême. Cette inondation est la conséquence de deux phénomènes : une crue de l'Ebre due à des précipitations importantes dans son bassin versant, et une tempête ayant touché cette partie de la mer Méditerranée. La figure 1.13-A montre l'aspect du delta après la tempête.

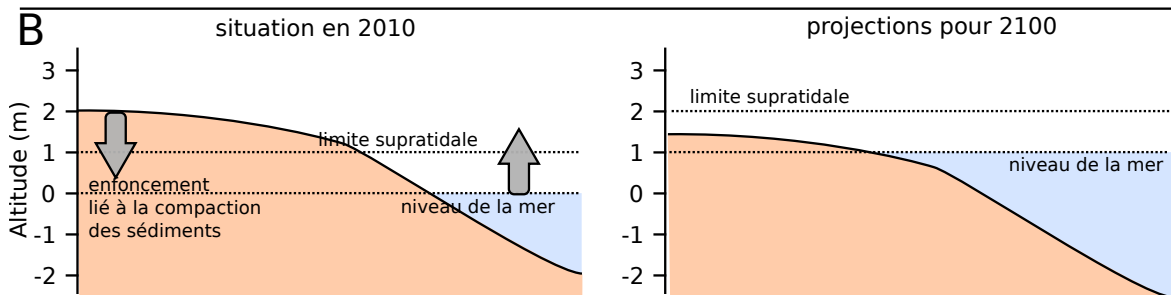
Par ailleurs l'altitude moyenne du delta est d'environ 2 mètres au dessus du niveau de la mer. Cette altitude est amenée à varier au cours des 100 prochaines années pour deux raisons (voir figure 1.13-B) :

- les modèles de prévision d'augmentation du niveau de la mer suite aux modifications climatiques globales prévoient une augmentation d'environ 1 mètre du niveau de la mer
- les mesures de l'enfoncement du delta suite à la compaction des sédiments déposés par l'Ebre, montrent que le delta s'enfonce d'environ 0.5 cm par an. On en déduit un enfoncement moyen de 50 cm en 2100.

FIGURE 1.13 – Risque de submersion actuel et futur dans le delta de l'Ebre

A : aspect du delta en 2015 suite aux effets cumulés d'une tempête et d'une crue de l'Ebre. (image prise d'avion, avec un angle de prise de vue très incliné vers le sud)

B : évolution de l'altitude du delta suite à la compaction des sédiments et à l'augmentation du niveau de la mer. La limite supratidale correspond à la partie du littoral affectée par les grandes marées d'équinoxe ou les plus hautes vagues de tempêtes (hors crues).



Question 10

Concluez sur l'évolution du risque de submersion en cas de tempête d'ici à 2100.

Question 11

Un projet pilote de gestion du delta de l'Ebre (EBRO ADMICLIM) procède à des injections de sédiments à différents niveaux du fleuve, en amont du delta. Sachant que l'eau dans les rizières est acheminée par les canaux de drainage connectés au fleuve (voir figure 1.10), et que cette eau est stagnante dans les rizières, justifiez l'intérêt d'une telle pratique.

Thème 2 : Salinité de l'eau et culture du riz

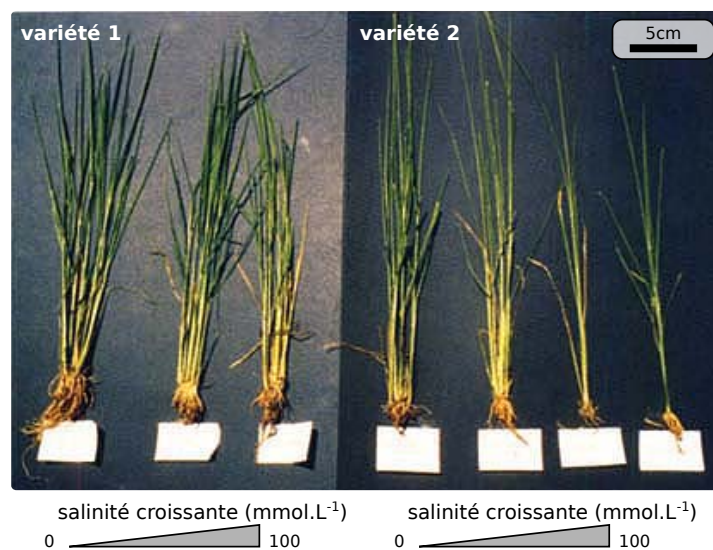
Les zones deltaïques sont d'intérêt agronomique majeur : leur topographie presque plate et leur disponibilité en eau en font des milieux de choix pour la culture du riz. La Camargue et le delta de l'Ebre sont ainsi les principales régions productrices de riz en Europe. Cependant, l'enfoncement induit par la diminution de l'apport sédimentaire ainsi que l'augmentation du niveau de la mer liées aux modifications climatiques globales ont pour conséquence une augmentation de la salinité des eaux des rizières.

On cherche dans cette partie à caractériser les conséquences de l'augmentation de la salinité de l'eau sur la productivité agricole en milieu deltaïque, et à envisager des solutions permettant d'anticiper leurs impacts.

2.1 Effet de la salinité sur le développement de plants de riz (poacée)

FIGURE 2.1 – Effet de la salinité sur la croissance de deux variétés de riz

Des plants de riz de deux variétés sont mis en culture dans des milieux contenant différentes concentrations de sel. Au bout d'une durée définie, les plants sont retirés du lieu de culture et observés.



Question 12

Analysez la figure 2.1.

Question 13

À partir de vos connaissances, vous schématiserez **sur le feuillet A3 en annexe**, les mécanismes qui permettent à un poil absorbant d'absorber l'eau du sol.

Question 14

À partir de vos connaissances, expliquez en quoi la salinité importante d'un sol peut limiter le développement d'une plante.

2.2 Prévision de la productivité du delta de l'Ebre en 2100

Question 15

À partir de la figure 2.2, expliquez la répartition de la salinité dans les sols du delta de l'Ebre en 2010.

Question 16

À partir de la figure 2.2 et de vos conclusions antérieures, expliquez la répartition de la productivité de la culture du riz dans le delta de l'Ebre en 2010.

Question 17

En vous basant sur votre analyse de la figure 2.2, réalisez sur la **copie de la figure 2.3 du feuillet A3 en annexe**, la carte de productivité de riz à l'horizon 2100 en respectant les figurés fournis, et concluez sur les capacités de production de riz dans le bassin de l'Ebre en 2100.

FIGURE 2.2 – Carte de salinité et de production de riz dans le delta de l'Ebre en 2010

À gauche : Carte de salinité des sols. Les mesures sont faites par conductance électrique des sols (en déci-Siemens par mètre), qui renseigne sur la présence d'ions et donc sur la salinité À droite : Carte de production de riz dans le delta de l'Ebre. Les valeurs sont données en proportion par rapport aux parcelles les plus productives. Les zones en gris correspondent aux zones où il n'y a pas de culture (présence de zones urbaines ou sols ne permettant pas une culture rentable).

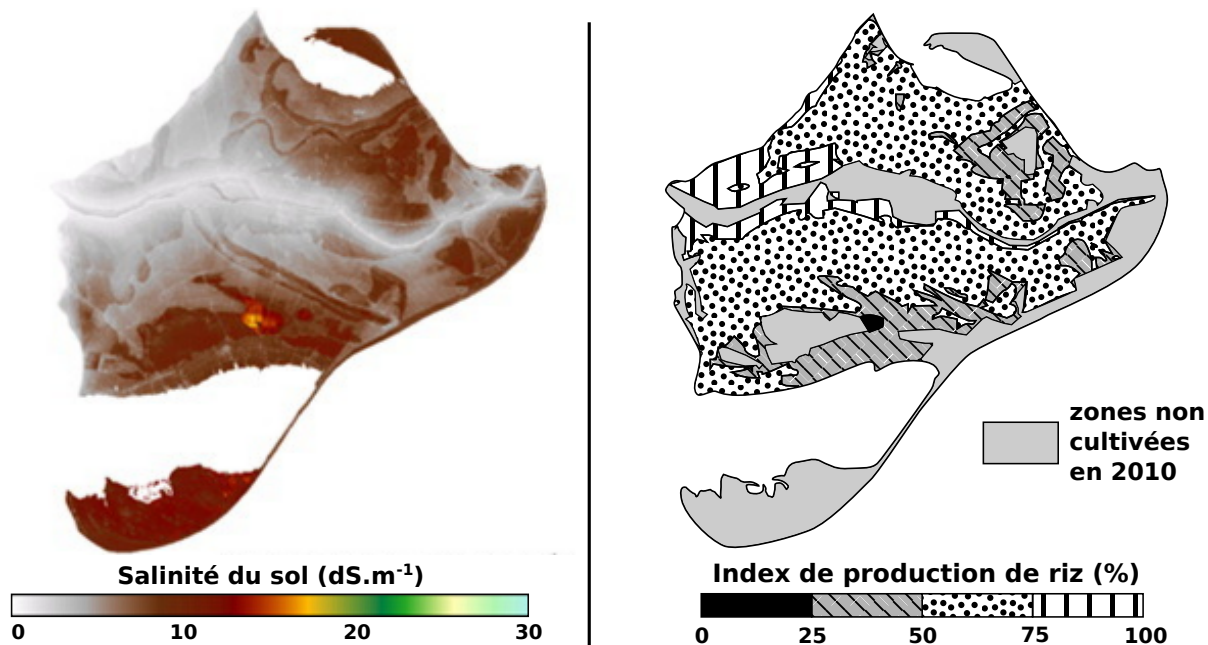
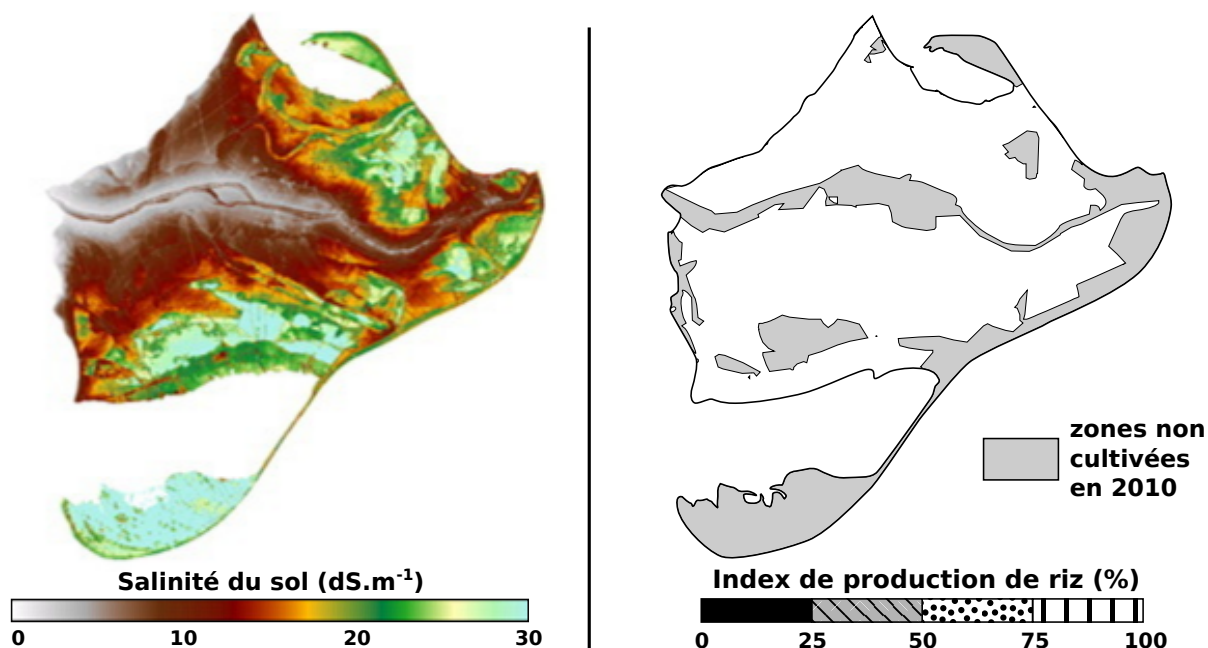


FIGURE 2.3 – Carte de salinité et de production de riz dans le delta de l'Ebre : prévision en 2100

À gauche : Carte de salinité des sols. Les projections sont faites pour 2100 en suivant le scénario RCP 4.5 (augmentation de 0.7 m du niveau de la mer) À droite : Carte de production de riz dans le delta de l'Ebre à compléter sur le feuillet A3 en annexe. Les zones en gris sont les zones qui n'étaient pas cultivées en 2010.

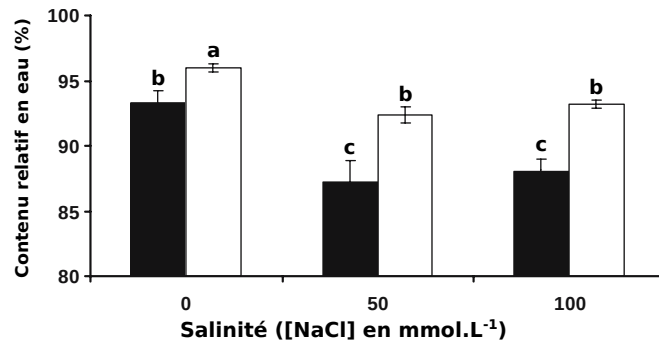


2.3 Effet des mycorhizes sur la tolérance de plants à la salinité de l'eau

Les auteurs de l'article dont les figures suivantes ont été extraites supposent que le champignon *Glomus intraradice*, capable d'associations symbiotiques avec de nombreuses plantes d'intérêt agronomique, permet une tolérance des plants à la salinité du sol.

FIGURE 2.4 – Proportion relative en eau dans les feuilles

Des plants non inoculés (barres noires) ou inoculés avec *G. intraradices* (barres blanches) ont été mis dans des milieux contenant 0, 50 ou 100 mmol.L⁻¹ de NaCl. On mesure ensuite la proportion d'eau dans les feuilles. Les colonnes surmontées de lettres identiques ne sont pas significativement différentes entre elles.



Question 18

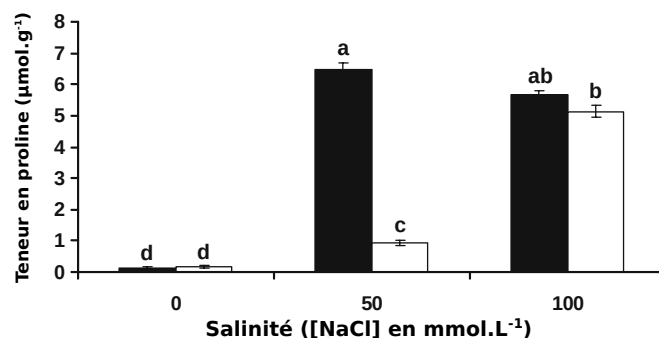
À partir de la figure 2.4, déterminez l'effet de la mycorhization sur la capacité d'absorption de l'eau des plantes hôtes en conditions normales ou de stress salin.

Les solutés qui participent à l'ajustement osmotique des plantes sont certains ions inorganiques (K^+ particulièrement), des glucides et des acides aminés, qui ont tous la particularité de ne pas interférer avec les voies métaboliques communes. Les modifications des concentrations cellulaires en ces solutés peuvent donc constituer un premier niveau d'accommodation de la plante face à un stress hydrique.

Un acide aminé particulièrement impliqué dans la réponse au stress hydrique est la proline. Sa synthèse permet un abaissement conséquent du potentiel hydrique de la plante. La détection de la proline constitue donc un témoin de l'état de stress hydrique de la plante.

FIGURE 2.5 – Quantité en proline dans les racines.

Des plants non inoculés (barres noires) ou inoculés avec *G. intraradices* (barres blanches) ont été mis dans des milieux contenant 0, 50 ou 100 mmol.L⁻¹ de NaCl. On mesure ensuite la quantité de proline dans les racines. Les colonnes surmontées de lettres identiques ne sont pas significativement différentes entre elles.



Question 19

À partir de la figure 2.5, déterminez l'effet de l'inoculation de *Glomus intraradices* sur l'état de stress de la plante, et proposez une hypothèse sur son mode d'action.

Question 20

Sur le feuillet A3 en annexe, réalisez 2 schémas de racine résumant vos conclusions et hypothèses pour un milieu modérément salé (50 mmol.L⁻¹) :

- le premier pour une racine sans *Glomus intraradices*
- le second pour une racine avec *Glomus intraradices*

On mesure maintenant différents paramètres de *Glomus intraradices* en fonction de la salinité

FIGURE 2.6 – Effet de la salinité sur quelques paramètres de *Glomus intraradices*

Des spores de *Glomus intraradices* sont mises à germer dans des milieux contenant différentes concentrations en sel. On mesure ensuite la longueur des hyphes, le nombre de spores produites, ainsi que le nombre de structures d'absorption (BAS : branched absorbing structures, structures qui permettront de se fixer à la plante hôte). Pour chaque ligne, les valeurs suivies de lettres identiques ne sont pas significativement différentes entre elles.

	Salinité ([NaCl] en mmol.L ⁻¹)		
	0	50	100
Longueur de l'hyphe (UA)	48.4 a	42.6 a	30.7 b
Nombre de spores.cm ⁻²	59.5 a	14.0 b	11.0 b
Nombre de BAS	29.1 a	21.7 ab	13.2 b

Question 21

À partir de la figure 2.6, déterminez l'effet de la salinité sur les différents paramètres mesurés chez *Glomus intraradices*.

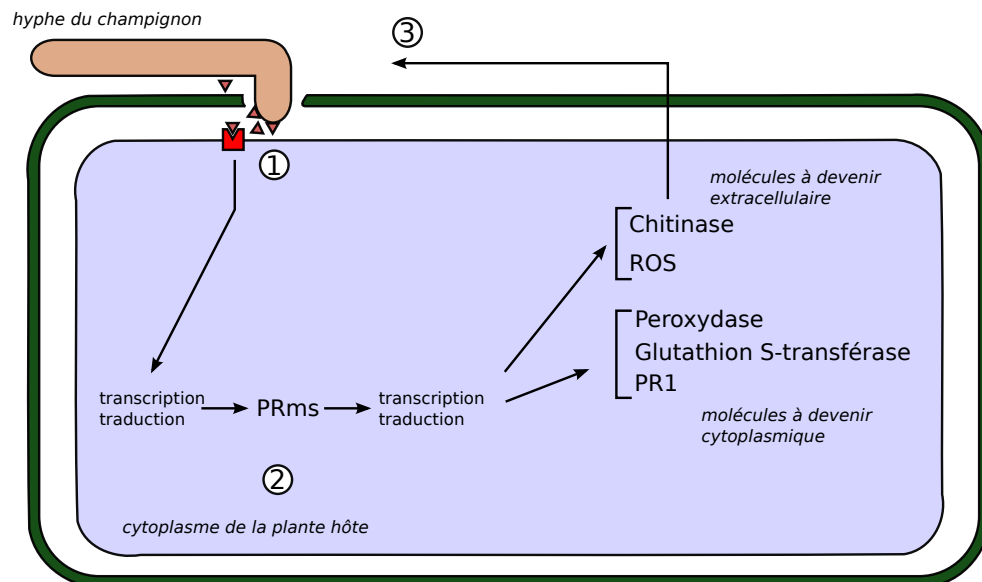
Question 22

À partir de vos conclusions tirées de l'analyse de la figure 2.6, expliquez pourquoi les auteurs recommandent d'ensemencer les milieux de culture chaque année en spores de *Glomus intraradices* pour favoriser les cultures en milieu même légèrement salé.

2.4 Contournement de l'immunité du riz par certains champignons

Les plantes disposent d'un système immunitaire leur permettant de limiter les infections par des champignons. Ce système repose sur l'expression induite par l'infection de différentes protéines, dont le principe général est présenté ci dessous.

DOCUMENT PRÉLIMINAIRE 2 – Mécanismes généraux de l'immunité face à une infection par un champignon. Cette figure n'est pas à analyser pour elle même.



▼ marqueurs spécifiques du parasite ou constituants dégradés de la paroi
M récepteur aux marqueurs du parasites ou aux constituants pariétaux

- 1 - **reconnaissance de l'infection** : La cellule dispose de récepteurs spécifiques à des constituants dégradés de la paroi ou au champignon lui même.
- 2 - **activation du système immunitaire** : Les récepteurs activent une voie de signalisation permettant la production des molécules de l'immunité, dont les facteurs de transcription PRms.
- 3 - **dégradation du parasite** :
 - Les ROS (dérivés actifs de l'oxygène) mettent sous stress oxydatif le parasite dans le milieu extracellulaire.
 - Des peroxydases et la glutathion S transférase protègent le cytoplasme de ces ROS.
 - Des chitinases dégradent la paroi du parasite.
 - La fonction de la protéine PR1 n'est pas connue, mais elle est associée à la réponse immunitaire de la cellule, et sert ainsi d'indicateur de l'état d'activation du système immunitaire.

On se demande comment les mycorhizes peuvent se mettre en place malgré la présence du système immunitaire des plantes. On suppose que l'une ou plusieurs des 3 étapes de la réponse de la cellule hôte est inhibée par le champignon.

Pour déterminer quelle étape de la réponse immunitaire est ciblée par le champignon, on utilise des plants sauvages ou transgéniques dans lesquels les gènes PRms sont introduits sous le contrôle d'un promoteur constitutif (expression permanente dans tous les tissus), puis on inocule ou non *Glomus intraradice*, et on suit la croissance des plants.

Question 23

À partir de l'analyse des figures 2.7 et 2.8 :

- caractérisez l'impact de l'inoculation de *Glomus intraradices* dans des plants sauvages
- caractérisez l'impact de l'insertion des gènes PRms sous promoteur constitutif sur les conséquences de l'inoculation de *Glomus intraradices*

Question 24

Après avoir analysé la figure 2.9, vous identifieriez laquelle ou lesquelles des 3 étapes présentées sur le document préliminaire 2 est contournée par *Glomus intraradices*, lui permettant ainsi d'échapper au système immunitaire de la plante hôte. Vous expliquerez votre démarche.

FIGURE 2.7 – Effets de l’inoculation de *Glomus intraradices* chez les plantes sauvages ou mutées
Aspects des feuilles et des racines de plants de riz sauvages (wt) ou ayant reçu le transgène PRms (PRms), non inoculés (-Gi) ou inoculés (+Gi) avec *Glomus intraradices*.

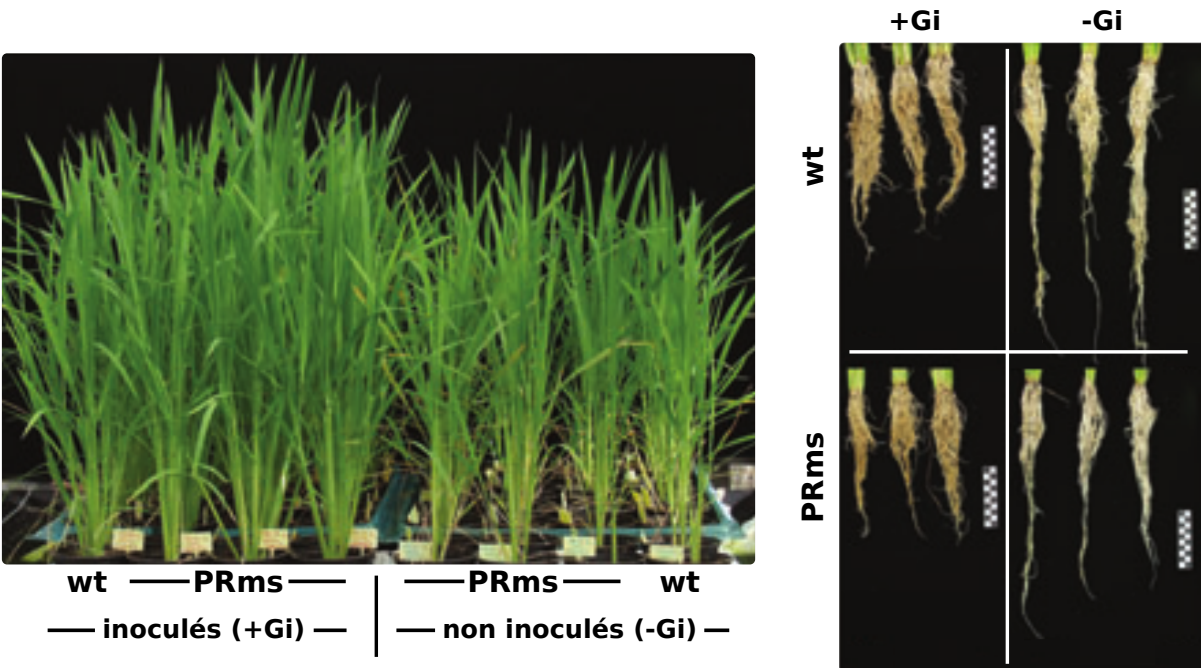


FIGURE 2.8 – Effets de l’inoculation de *Glomus intraradices* chez les plantes sauvages ou mutées
On mesure la croissance de plants de riz sauvages (wt) ou ayant reçu le transgène PRms (PRms), non inoculés (-Gi) ou inoculés (+Gi) avec *Glomus intraradices*. Les barres d’erreurs sont inférieures à 2 cm et ne sont pas représentées.

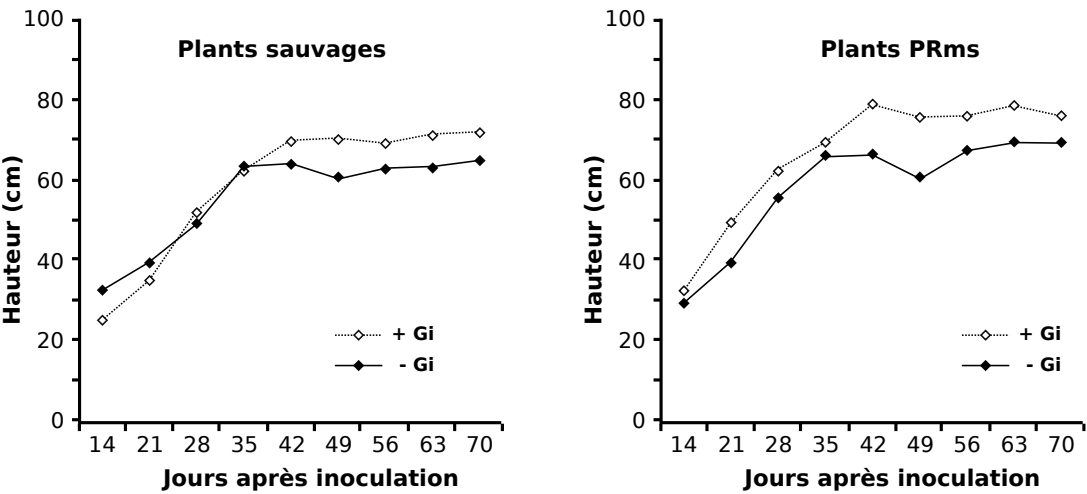


FIGURE 2.9 – Quantité relative de protéines caractéristiques d’une réponse à une infection par un pa-
thogène
On mesure la quantité de protéines impliquées dans la réponse immunitaire du riz dans des plants sauvages (wt) ou ayant reçu le transgène PRms (PRms), non inoculé (-Gi) ou inoculés (+Gi). Les quantités sont données en proportion de la quantité totale de protéines.

	wt -Gi	wt +Gi	PRms -Gi	PRms +Gi
PR1	0.000 ± 0.000	0.182 ± 0.021	0.160 ± 0.012	0.575 ± 0.051
chitinase	0.020 ± 0.013	0.050 ± 0.010	0.029 ± 0.008	0.080 ± 0.028
peroxydase	0.031 ± 0.013	0.048 ± 0.018	0.051 ± 0.011	0.104 ± 0.020
Glutathion S-transférase	0.021 ± 0.005	0.058 ± 0.008	0.067 ± 0.005	0.077 ± 0.015