

# **COMMENTAIRES SUR LES EPREUVES DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE**

## ***EPREUVES ECRITES***

**EPREUVE ECRITE DE BIOLOGIE A**

**PAGE 2**

**EPREUVE ECRITE DE BIOLOGIE B**

**PAGE 9**

## Épreuve Écrite de Biologie A

Concours	Nb cand.	Moyenne	Ecart type	Note la plus basse	Note la plus haute
A BIO	2997	11,46	4,20	0,5	20,0
A ENV	1974	11,5	4,14	0,5	20,0
A PC BIO	1151	11,31	4,25	0,5	20,0

L'épreuve de type A est une **épreuve de synthèse**. A ce titre, les candidats sont évalués sur leur capacité à mobiliser leurs connaissances, à les choisir et à les organiser pour identifier les problématiques qu'appelle le sujet et les traiter. Chaque candidat doit également démontrer son aptitude à structurer son raisonnement, à utiliser un langage scientifique et à communiquer clairement ses idées par écrit.

### A. Ce que l'on pouvait attendre

Il ne s'agit pas ici de présenter un plan type mais bien de dégager et de mettre en relation les idées essentielles relatives au sujet posé. Le sujet de cette année « Intégration des cellules au sein d'un organisme et protéines de la membrane plasmique » a moins déstabilisé les candidats que d'habitude et beaucoup de copies étaient bien dans l'esprit de ce qui était attendu. Afin de traiter ce sujet, le candidat devait faire appel aux notions contenues dans les programmes de première et de deuxième année de BCPST. Le jury rappelle que toute notion hors-programme, fût-elle en adéquation avec le sujet, ne saurait en aucun cas être valorisée.

Pour structurer correctement l'exposé et répondre de manière complète au sujet, une réflexion portant sur le sens du terme « intégration » était essentielle. En effet, un organisme eucaryote pluricellulaire est constitué de cellules pour la plupart adhérentes (intégrées "mécaniquement") et dont le fonctionnement est ajusté, coordonné dans le fonctionnement de l'organisme (intégration "physiologique", "fonctionnelle") ; chacune d'entre elles échange de la matière et de l'énergie avec le milieu extracellulaire. "L'intégration des cellules au sein de cet organisme" peut donc désigner l'ancrage physique des cellules au sein d'un tissu (les adhérences cellulaires) ainsi que les corrélations trophiques (les différents échanges de matière) et informatives (via les voies nerveuses et hormonales) participant soit au maintien de l'homéostasie à l'échelle de l'organisme, soit à son adaptation à des variations. Or, l'interface entre une cellule et son milieu est assurée par la membrane plasmique, bicouche lipidique présentant de nombreuses protéines associées, qui délimite la cellule.

Comment les protéines de la membrane plasmique permettent-elles aux cellules d'être intégrées au fonctionnement d'un organisme, c'est à dire d'adhérer entre elles, d'échanger de la matière et des informations ? Mais aussi comment les protéines de la membrane plasmique permettent-elles aux cellules d'être intégrées à l'organisme lors de sa construction ?

Il était indispensable de tisser des liens explicites entre les deux parties de l'énoncé : la notion d'intégration d'une part, la présence des protéines de la membrane plasmique d'autre part. La mise en perspective attendue dans un sujet de synthèse impliquait que l'on dépasse le simple « catalogue » de jonctions ou de canaux cellulaires pour s'interroger sur les notions de polarité

cellulaire, de sensibilité des récepteurs, d'amplification des signaux, de modulation des quantités de protéines membranaires en réponse aux besoins etc. Il fallait aussi que soit clairement présentée la relation structure-fonction des protéines pour monter « en quoi la présence de certains acides aminés ou de certains domaines particuliers (hélices alpha, couronnes d'acides aminés chargés...) permet la réalisation de telle ou telle fonction participant à l'intégration de la cellule dans l'organisme ».

La mention “membrane plasmique” excluait d'office les endomembranes ainsi que les membranes des “organites semi-autonomes”.

L'analyse du sujet proposée dans ce rapport est organisée en quatre points : les trois acceptions du terme « intégration » précédemment mentionnées et une quatrième partie sur l'intégration des cellules dans l'organisme lors du développement embryonnaire, sans que cela ne constitue une indication de plan.

Il était nécessaire d'aborder ces divers aspects en s'appuyant sur des exemples d'eucaryotes pluricellulaires pris dans le règne animal - à la fois chez l'adulte et au cours du développement embryonnaire - et dans le règne végétal.

### **1. L'intégration mécanique des cellules au sein d'un organisme via les protéines de la membrane plasmique**

L'intégration mécanique des cellules est à la base de la structuration des tissus : elle permet aux cellules de former un assemblage cohérent relié à la matrice extracellulaire.

Dans cette partie, les candidats ont la plupart du temps choisi comme exemples de tissus des acini pancréatiques ou bien un épithélium intestinal, plus rarement des blastulas. Les exemples de jonctions à rôles mécaniques que le candidat pouvait utiliser ne manquaient pas : desmosomes et ceintures d'adhérence pour les liaisons cellules-cellules ; héli-desmosomes, et points de contacts focaux pour les liaisons cellules-matrice extracellulaire. Un seul exemple était attendu comme support d'argumentation, mais la diversité de ce type de jonctions devait être évoquée.

Les candidats pouvaient également mentionner le rôle essentiel des interactions cellules-matrice dans les mouvements cellulaires de la gastrulation.

Les jonctions serrées permettent quant à elles l'étanchéité entre deux compartiments : elles réduisent drastiquement les flux paracellulaires et isolent deux compartiments de membrane, le compartiment basolatéral et le compartiment apical. Elles maintiennent ainsi la polarité de certains tissus épithéliaux. Les jonctions serrées n'interagissent que peu avec le cytosquelette et n'ont donc pas un rôle majeur dans la cohésion, contrairement à ce qu'on retrouve dans de nombreuses copies.

*On relève de fréquentes confusions entre cellules acineuses et entérocytes. La notion de polarité est rarement mentionnée tout comme son importance fonctionnelle dans l'intégration des cellules dans l'organisme... On trouve par ailleurs de nombreux « catalogues de jonctions », exacts d'un point de vue moléculaire mais sans explication concernant leurs rôles biologiques. Dans un nombre non négligeable de cas, le candidat n'a représenté ni tissu, ni cellule, juste des molécules qui se font face, se limitant à une vision réductrice et excessivement moléculaire du vivant, dénuée d'aspect fonctionnel.*

### **2. Les échanges de matière et d'énergie réalisés par les cellules grâce aux protéines de leurs membranes plasmiques**

Là encore, les exemples ne manquaient pas : le candidat pouvait évoquer les transports de matière minérale (eau : aquaporines, divers canaux ioniques) ou organique (perméases, transports actifs primaires ou secondaires, cytoxes). Parmi les transports transmembranaires, il existe des transports purement passifs (diffusions) et des transports actifs, consommateurs d'énergie : énergie chimique sous forme d'ATP pour un transport primaire, énergie osmotique libérée par une molécule circulant dans le sens de son gradient pour un transport secondaire. Les transports vésiculaires font parfois intervenir des récepteurs spécialisés, comme les récepteurs aux LDL.

Aucune exhaustivité n'était attendue : deux exemples judicieux, suffisamment différents, où la relation entre la structure de la protéine et ses propriétés fonctionnelles étaient clairement présentés, suffisaient pour rapporter au candidat la totalité des points de cet item. Par exemple, le candidat pouvait souligner l'importance du changement conformationnel subi suite à une phosphorylation ou à une déphosphorylation dans le fonctionnement de la pompe  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{ATP}$ -dépendante (variations de son affinité pour  $\text{K}^+$  et pour  $\text{Na}^+$ ). On souligne le fait que le ou les exemples choisis au niveau moléculaire devaient être **explicitement** reliés à l'intégration de la cellule dans le fonctionnement de l'organisme entier pour que le nombre maximum de points soit acquis : pour reprendre l'exemple précédent, le candidat devait par exemple souligner l'importance du fonctionnement de cette pompe dans le maintien du potentiel de repos d'un neurone et son lien à la fonction informationnelle de cette cellule.

Aborder le rôle de ces échanges de matière dans les corrélations trophiques de l'organisme et la division du travail entre les différents organes était nécessaire pour les placer dans une perspective d'intégration : par exemple, la notion d'organes sources et d'organes puits pouvait judicieusement servir la démonstration à partir d'exemples pris chez les végétaux (charge du phloème, puits de consommation ou d'accumulation des glucides).

*Peu de candidats ont réussi à relier certains transferts de matière à des rôles informationnels. Par exemple, les jonctions communicantes permettent aux cellules d'échanger de petites molécules mais servent aussi de « synapses électriques » pour les cellules striées cardiaques ; les canaux ioniques laissent passer des ions qui interviennent dans les variations de potentiel membranaire à l'origine du message nerveux etc.*

*Comme pour les jonctions d'adhérence, on retrouve parfois des catalogues de canaux sans aucun nom de tissu et sans relation structure-fonction explicite... donc sans lien avec l'intégration de la cellule dans l'organisme. La pompe  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{ATP}$ -dépendante est fréquemment confondue avec le récepteur nicotinique à acétylcholine... et fonctionne souvent sans ATP !*

### **3. Les échanges d'informations réalisés par les cellules grâce aux protéines de leurs membranes plasmiques**

Cet item ne requérait aucune exhaustivité ni érudition. Il était nécessaire de mentionner les voies nerveuse et hormonale mais il était possible de détailler seulement l'une d'entre elles. Le candidat devait faire ressortir les caractéristiques fonctionnelles des protéines réceptrices choisies comme exemples : leur sensibilité (au voltage, à un ligand), leur spécificité, le caractère métabotropique ou ionotropique de la transduction - le tout étant à mettre en relation avec la nature de l'organe concerné et son intégration au sein de l'organisme. Là encore, un seul exemple précis était attendu suivi d'un élargissement à propos de la diversité des récepteurs.

Le jury a considéré qu'un candidat devait savoir présenter correctement **une** voie de transduction complète, de la fixation du ligand à l'effet biologique, en y associant les notions d'amplification, de terminaison du signal et en mentionnant l'existence éventuelle de seconds messagers (calcium, AMP cyclique). Les récepteurs présentés pouvaient être des récepteurs couplés aux protéines G ou bien des récepteurs à tyrosines-kinases. Les exemples de tissus concernés ne manquent pas : tissu

nodal ou vaisseaux sanguins recevant de l'acétylcholine ou de l'adrénaline, hépatocytes recevant de l'insuline ou du glucagon etc. Les inductions au cours du développement embryonnaire pouvaient également fournir de bons exemples. La réalisation de ces voies de communication devait être replacée dans le contexte d'un organisme en fonctionnement : contrôle du rythme cardiaque, redistribution du volume sanguin, homéostasie glycémique, construction d'un individu...

*Certains candidats ont abordé superficiellement une grande diversité de récepteurs (par exemple, trois catégories de récepteurs adrénérgiques) mais sans présenter aucune voie de transduction complète. Le jury souligne que ces détails moléculaires ne présentent d'intérêt dans ce sujet que s'ils sont soigneusement reliés à l'aspect fonctionnel des voies de communication cellulaires. Un candidat sera davantage valorisé s'il présente une idée générale illustrée par un ou deux exemples précis que s'il tente vainement de citer tous les noms de molécules et de mécanismes biochimiques qu'il a pu retenir.*

#### **4. Mise en place et régulation de la quantité et de la nature des protéines membranaires au cours du temps**

Le contenu en protéines membranaires d'une cellule détermine son identité. Par exemple, au cours du développement, les cellules peuvent se reconnaître et adhérer entre elles lorsqu'elles possèdent la même famille de cadhérines. Ces protéines membranaires subissent une maturation dans le reticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi puis sont apportées à la membrane plasmique par des vésicules d'exocytose.

La mise en place des protéines membranaires est donc un processus intégré, à différentes échelles de temps.

En effet, le taux de synthèse d'une protéine donnée peut être modifié rapidement, en fonction des besoins de la cellule. Par exemple, la réception d'auxine par les cellules végétales augmente à long terme la synthèse de récepteurs à auxine (ABG) et de pompes à protons, ce qui renforce la sensibilité de la cellule à l'auxine. Autre exemple, les récepteurs à LDL peuvent être recyclés et renvoyés vers la membrane après endocytose d'une telle particule.

De même, au cours du développement, la nature et la disposition des jonctions se modifient progressivement en réponse à des communications paracrines : on se place ici sur une échelle de temps plus longue (plusieurs jours, comparé à quelques dizaines de minutes pour l'adaptation « instantanée »).

En ce qui concerne le développement, deux points étaient donc attendus : d'une part, l'importance des jonctions cellulaires dans la construction d'un nouvel organisme et d'autre part celle des communications paracrines à l'origine des inductions. Les aspects « cohésif » et « informationnel » de l'intégration des cellules au sein d'un organisme devaient donc être explicités.

*Le jury note que les aspects concernant le développement ont été fort peu et mal traités dans la plupart des copies.*

Enfin, les idées transversales particulièrement valorisées concernaient la diversité des exemples (trop de candidats passent totalement sous silence les végétaux), la qualité du lien entre la structure et la fonction des protéines et le fait que celles-ci constituent une interface entre les milieux intra- et extracellulaires.

#### **B. Organisation du sujet et compétences attendues**

### ✓ **Problématisation et introduction**

Pour construire une bonne synthèse, le candidat doit lire et étudier très attentivement le sujet pour bien appréhender les attendus. Il est absolument nécessaire de bien comprendre les limites du sujet afin d'éviter les hors-sujets. L'introduction doit faire apparaître la réflexion du candidat autour du sujet et sa stratégie.

Dans l'introduction, le candidat doit s'appuyer sur une définition rigoureuse des termes de l'énoncé pour faire émerger une problématique et délimiter le sujet. Puis il doit annoncer les grands traits de sa démarche, voir simplement au minimum enchaîner son introduction sur son premier paragraphe. Une problématique ne se résume pas à une série de questions sans lien entre elles. Rappelons qu'il est inutile de présenter un plan détaillé du devoir sur feuille séparée.

De trop nombreuses introductions ne sont pas suffisamment structurées : les accroches sont souvent maladroites, les termes du sujet sont régulièrement non définis... Trop souvent, l'analyse du sujet n'est pas suffisante et la problématique est mal amenée. D'autre part, il n'est absolument pas exigé d'imaginer une "entrée en matière" destinée à "amener le sujet". Les candidats qui se livrent à cet exercice perdent inutilement du temps sans pour autant démontrer de réelles capacités recherchées dans un sujet de synthèse. Il suffit de rentrer le plus directement possible, de s'appuyer sur les définitions, les problématiques et de les articuler pour réaliser une introduction réellement opérationnelle.

Se concentrer sur l'essentiel aurait peut-être permis à des candidats plus nombreux de définir correctement les notions d'organisme ou d'intégration, ou, grâce à une analyse soignée de termes du sujet, d'éviter de traiter des membranes des organites ou structures intracellulaires ! L'introduction n'est pas un exercice de style justifiée par des exigences rhétoriques arbitraires, mais bien la première étape d'un travail rigoureux de réflexion et de structuration de la pensée.

### ✓ **Choix du plan, structuration de l'exposé et construction des paragraphes**

L'exposé doit être organisé en parties et en sous-parties. Le plan traduit la stratégie du candidat. Le fil directeur de la démarche doit être logique et apparaître clairement dans les titres des parties. Dans les meilleures copies, ou les meilleurs moments de copies peut-être moins exemplaires, le libellé du titre est porteur de sens : le lien avec le sujet est évident. On peut supposer qu'il traduit le fait que le candidat se place alors bien dans l'optique du sujet posé et rentre dans un paragraphe argumenté avec une véritable volonté de démonstration.

De très nombreux candidats se contentent de faire un simple exposé de leurs connaissances. Le contenu des différentes parties doit permettre de traiter progressivement la problématique (ou les problématiques) posée en introduction. Il faut également rappeler que l'attribution des points se fait sur cette base, et non par "mots-clés" auxquels seraient attribués des fractions de points. La présentation d'un fait légitime dans le cadre du sujet ne permet de récolter la totalité des points attribués QUE s'il est correctement exploité c'est dire qu'il traite explicitement d'une problématique.

Cette rigueur est une compétence attendue chez un ingénieur dont les exposés doivent être denses, argumentés, finalisés. Or, de nombreux candidats ont consacré une partie entière de leur exposé à décrire l'organisation de la membrane plasmique ou encore à traiter la synthèse des protéines, ce qui n'avait aucun intérêt dans ce sujet. Ces paragraphes ne permettent absolument pas de démontrer le rôle des protéines membranaires dans l'intégration des cellules dans l'organisme. Ils sont par conséquent hors-sujet et représentent une considérable perte de temps et d'énergie. La règle de la synthèse est bien de traiter le sujet, tout le sujet (si possible !), mais seulement le sujet !

✓ **Organisation des paragraphes**

L'articulation entre les paragraphes est souvent négligée. Dans de très nombreuses copies, les protéines membranaires et leurs fonctions sont présentées les unes après les autres sans enchaînement logique.

Chaque notion développée doit participer au traitement progressif de la problématique. Les bilans de fin de paragraphe, dans lesquels ressort clairement la contribution à la résolution de la problématique ainsi que les transitions entre les parties qui font ressortir la structuration de la réflexion sont toujours valorisées.

✓ **Développement**

De nombreux candidats ont de bonnes connaissances sur les protéines membranaires, cependant, très régulièrement, ces notions sont récitées sans être reliées explicitement au sujet.

Trop souvent, les protéines membranaires et leurs fonctions dans les cellules ne sont pas reliées à leurs rôles dans l'intégration des cellules dans l'organisme entier.

✓ **Maîtrise de la communication graphique**

Le choix des supports graphiques est un outil essentiel au traitement de la problématique. Sans se substituer au texte écrit, le schéma est utile à la démarche. Les annotations de ces schémas doivent être adaptées au sujet. On a souvent la sensation que les candidats reproduisent sans les adapter des schémas appris par cœur. Or, il s'agit bien d'un vecteur de communication, d'un outil : autour d'un même graphisme de base, les annotations varient selon ce que l'on veut exprimer. Les étudiants ont tout intérêt à ce former à cet exercice d'adaptation, compétence qui leur sera fort utile bien après le concours. Pour être pleinement efficace, un schéma doit être intégré au raisonnement, introduit par quelques phrases et accompagné d'une ou deux phrases de commentaire permettant de relier clairement l'illustration au sujet et d'en faire ressortir les idées fortes.

Techniquement, il doit être de taille suffisante, propre, clair, avec un code couleur efficace, présenter un titre et des légendes explicitant le codage.

*Dans de très nombreuses copies, certains paragraphes ne sont construits qu'avec des illustrations sans texte d'accompagnement et sans explications relatives au traitement du problème. Des schémas de protéines membranaires sans représentation de la membrane plasmique, sans précision de l'orientation ne pouvaient évidemment pas servir correctement le sujet.*

✓ **Rédaction, soin et orthographe**

Les copies peu soignées sont assez rares. L'orthographe et la rédaction sont souvent correctes. Cependant, dans certaines copies, les noms des molécules impliquées sont parfois fantaisistes ou présentent une orthographe très approximative. D'un aspect purement technique, le jury invite les candidats à réfléchir sur l'intérêt des "conjonctions de coordinations" et autres connecteurs logiques du discours que sont les "mais, or, donc, parce que...". Ce sont des éléments forts de la structuration d'un raisonnement, à utiliser à bon escient. Il n'est pas impossible que cette remarque dépasse le champ du sujet de synthèse en biologie.

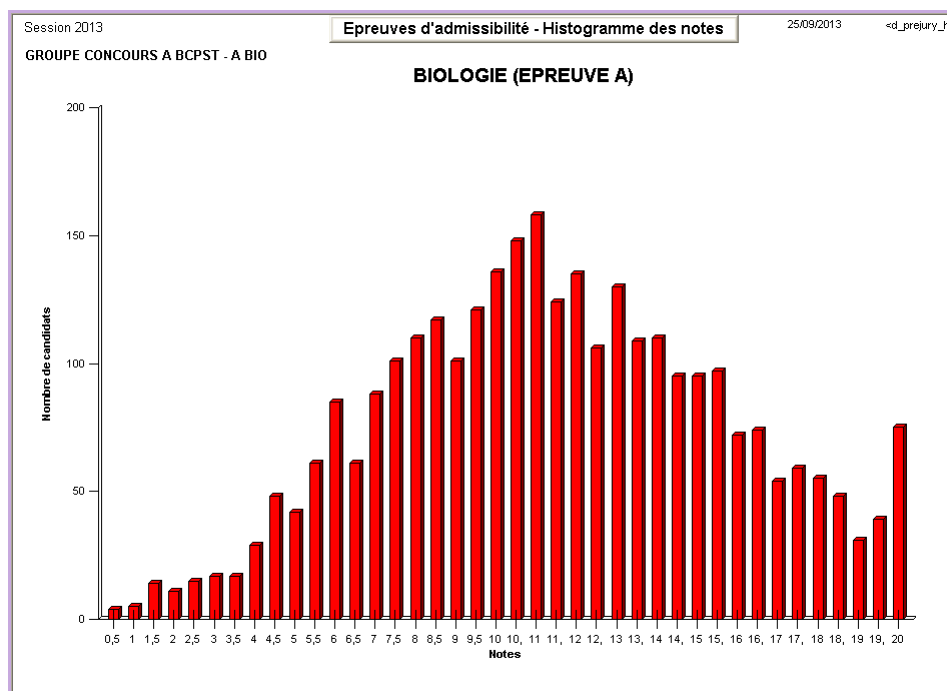
## ✓ Conclusion

La conclusion permet de faire un bilan des différents points traités. Elle ne doit pas être redondante avec l'introduction. Dans la conclusion, le candidat peut choisir différents éléments des bilans partiels développés au cours du sujet et les mettre en perspective, extraire une idée qu'il estime particulièrement forte. Peut s'ensuivre une ouverture personnalisée, mais la pratique montre que ces ouvertures sont souvent soit très attendues, banales et sans véritable intérêt. Pour le dire clairement, leur prise en compte dans la notation est quasiment négligeable au regard du choix d'une idée forte qui s'inscrit réellement dans la logique de la synthèse réalisée par le candidat.

Le jury remarque que certains candidats affirment avoir démontré certains points alors que la démonstration de ces derniers est inexistante ou erronée dans le développement. Cela peut expliquer un grand nombre d'incompréhensions marquées par les étudiants découvrant la note qu'ils ont obtenue. Si l'on peut donner un conseil aux candidats, c'est d'abord de s'attacher à la rigueur de la structure de leur paragraphe et du lien entre l'idée qu'ils y développent en relation avec le sujet, les faits qu'ils utilisent pour l'argumenter, et la qualité de la rédaction qui leur permet d'exprimer leur pensée. C'est certainement le point déterminant du succès. Un candidat capable de concevoir des paragraphes bien ciblés sait en général les assembler d'une façon peut-être perfectible, mais qui répond le plus souvent à une logique générale cohérente.

**Correcteurs :** Albane Andréoni, Grégory Bailly, Philippe Blancou, Catherine Depriester, Delphine Bourgeois, Stéphanie Breuil-Broyer, Philippe Brunet, Katia Chauvet-Bayles, Laurent Collet-Economidès, Pascal Combemorel, Julie Denoeud, Stéphanie Fabre, Gilles Furelaud, David Guillaume, Vincent Lun, Céline Mamecier, Benoît Meslin, Claire Olive, Anaïs Pernoud, Audrey Proust ®, Mathieu Rajchenbach ®, Véronique Ricard, Françoise SaintPierre, Anne-Caroline Sourty, Bruno Vah, Audrey Vigier.

**Expert :** Gérard Bonhoure





## Épreuve Écrite de Biologie B

Concours	Nb cand.	Moyenne	Ecart type	Note la plus basse	Note la plus haute
A BIO	2996	11,54	3,25	1,0	20,0
A ENV	1974	11,58	3,17	1,5	20,0
A PC BIO	1151	11,39	3,21	2,5	20,0

Le sujet proposé cette année comportait trois thèmes qui pouvaient être traités de manière indépendante. Ils portaient sur une même problématique, la résistance du riz aux inondations. Il balayait des aspects du programme de biologie de classe préparatoire BCPST : le thème 1 était plus en relation avec le programme de physiologie de deuxième année, tandis que les thèmes 2 et 3 faisaient davantage appel à des notions du programme de biologie moléculaire de première année.

Il n'était demandé ni introduction, ni conclusion générales. L'énoncé du sujet présentait les problématiques de chaque thème dans de courts paragraphes introductifs, aucune introduction partielle n'était donc attendue. En revanche, il était explicitement demandé des schémas récapitulatifs à la fin des thèmes 1 et 2, ainsi qu'un bilan synthétique sur les modalités d'adaptation aux inondations des différents cultivars de riz abordés au cours de ces thèmes. Les modalités de conclusion pour le thème 3 étaient laissées à l'appréciation des candidats.

L'épreuve B sollicite la mise en œuvre des savoir-faire directement liés à la lecture de publications scientifiques. Selon le même principe que pour les sessions précédentes, une partie des points du barème a été affectée à l'expression de compétences spécifiques à cette épreuve. La grille d'évaluation de ces compétences est identique dans ses libellés à celle de l'année précédente car, sous cette forme, elle correspond de plus près aux attentes des écoles. Les compétences évaluées sont ainsi réparties dans les 8 items suivants :

- A. Mettre en œuvre une argumentation scientifique
  - A1. Intégrer des documents dans une argumentation : choix, traitement, modification ;
  - A2. Comparer des données : identification d'un montage référence / témoin, quantification, prise en compte des barres d'erreur ;
  - ✓ Intégrer une expérimentation dans une démarche
  - B1. Mettre en relation le principe d'une expérimentation avec son objectif ;
  - B2. Mettre en relation les informations tirées de documents, transitions logiques ;
- C. Construire un modèle et le confronter au réel
  - C1. Poser un problème, proposer des hypothèses, des modèles explicatifs ;
  - C2. Critiquer et poser des limites ;
- D. Communication écrite
  - D1. Qualité de l'expression (syntaxe, orthographe, précision, concision) ;
  - D2. Soins et présentation, notamment des schémas.

On rappelle qu'il n'est pas attendu que toutes les compétences soient mises à l'œuvre lors de l'analyse de chaque document. Comme pour les années précédentes, la prise en compte se fait selon un système de seuils. Cela permet aux candidats d'obtenir le maximum des points

correspondant à une compétence dès lors qu'un certain nombre d'occurrences de cette compétence a été observé. Il ne s'agit donc pas d'un processus de validation, qui relève de la compétence des écoles, mais bien d'un dispositif d'évaluation, objectif du concours.

L'exploitation de chaque document est bien évidemment évaluée en tant que telle. La qualité de l'analyse est prise en compte ; il n'est pas attendu qu'elle soit exhaustive mais seulement qu'elle permette de tirer avec rigueur les informations nécessaires à faire progresser l'explication. Cet apport de l'étude du document au traitement de la problématique constitue le deuxième critère de notation, ainsi que, selon les cas, la discussion critique, les limites d'utilisation, les questionnements suscités. Le maximum de points n'est obtenu que si ces deux points sont satisfaits et que le lien entre l'analyse et son utilisation est explicite.

### **Observations générales sur les copies**

Le jury rappelle aux candidats qu'il est important de lire et de prendre en compte les consignes présentes sur la première page du sujet, certains attendus pouvant légèrement différer d'une année à l'autre. Il était ainsi indiqué clairement dans le sujet que ni introduction, ni conclusion générales n'étaient attendues. Les candidats qui en ont rédigé malgré tout ont donc perdu en vain du temps. De la même façon, certains, assez nombreux, ont introduit chacun des thèmes par une introduction partielle, en recopiant ou en paraphrasant inutilement les énoncés, exercice qui n'apporte aucune plus-value.

En revanche, si aucune conclusion générale n'était demandée, les schémas-bilans attendus pour les thèmes 1 et 2 ainsi que la conclusion comparative de ces deux thèmes, sous forme rédigée ou schématique, ont souvent manqué.

De façon générale, la gestion de la durée de l'épreuve pose problème à de nombreux candidats. Comme pour les années précédentes, les documents du thème 1 ont été décrits et commentés de façon extrêmement détaillée, parfois beaucoup trop, tandis que le thème 3 a été souvent à peine abordé. À peine un tiers des candidats s'est attaqué à cette partie, encore moins ont poursuivi l'analyse de ses documents jusqu'à leur conclusion.

Le barème est équilibré entre les trois thèmes en fonction du nombre et de la difficulté des documents qui les composent. Il est donc fortement conseillé aux candidats de gérer leur temps de travail de manière à pouvoir aborder l'intégralité du sujet. Pour cela, ils doivent rechercher la concision dans leurs analyses et leurs argumentations en évitant de se perdre dans des développements inutilement longs, en particulier s'il s'agit de restitutions de connaissances, totalement hors-sujet ici. Fort heureusement, ce cas de figure est resté relativement rare cette année.

De nombreuses copies montrent un effort de construction de la démarche avec une explicitation des étapes du raisonnement, sous forme de paragraphes bien séparés, voire parfois titrés (objectif, protocole, résultats, interprétation...). Ceci peut faciliter la lecture par les correcteurs, mais ce cadre doit rester souple pour éviter un découpage mécanique artificiel et pas forcément adapté à tous les documents. Et s'il est généralisé à tous les documents, cela s'avère souvent poncif et stérile. Le maximum de points peut être obtenu aussi bien par des candidats ayant développé chronologiquement ces deux étapes que par d'autres, plus concis, ayant développé les qualités de rigueur attendues en une ou deux phrases bien construites autour d'une sélection des éléments pertinents. Cette aptitude d'un candidat à prendre l'initiative d'une organisation plus dense de sa réponse est probablement un des facteurs qui permet à certains d'aller au bout du sujet, alors que la soumission à des rituels de rédaction stéréotypés, peut-être plus rassurante, n'est pas obligatoirement un gage absolu de réussite.

Par ailleurs, le jury rappelle qu'une interprétation est mise en relation des résultats avec un modèle et non une simple paraphrase des résultats, et qu'elle doit permettre de faire progresser la

construction des réponses à la question posée. Il ne s'agit pas d'écrire le mot « interprétation » pour que cela en devienne une... Trop souvent, nous observons de longues observations, plus ou moins pertinentes, suivies d'analyses, certes généralement correctes, mais trop brèves, faiblement argumentées et très incomplètes. Bien évidemment, la paraphrase est à exclure car elle surcharge les réponses sans apporter la moindre valorisation.

Les candidats doivent également veiller à la formulation de leurs idées afin d'éviter tout finalisme. Ce genre de maladresse doit être évitée à ce niveau d'étude (la tournure suivante est ainsi fortement maladroite : « le riz va faire grandir ses cellules pour flotter et résister à l'inondation »).

## **Remarques relatives aux compétences évaluées**

### **A. Mettre en œuvre une argumentation scientifique**

#### **A1. Intégrer des documents dans une argumentation : choix, traitement, modification**

La plupart des copies contiennent des documents découpés et collés mais ces derniers ne sont pas toujours judicieusement exploités ou lisiblement annotés.

Le jury rappelle encore une fois qu'il est parfaitement inutile de coller un document sans l'exploiter et sans y ajouter des indications pertinentes, facilitant son utilisation. De même, repasser en couleur des courbes ne constitue pas une annotation valorisante de documents.

D'autre part, annoter un document ne dispense pas d'en dégager, en quelques courtes phrases rédigées, les faits importants.

Le traitement ou la modification des données peuvent parfois être contre-productifs quand leur résultat est moins clair que le document d'origine. Ainsi, transformer un histogramme en tableau de valeurs n'apporte rien à la construction du raisonnement alors que l'inverse est souvent une bonne idée (le document 1-5.A s'y prêtait bien par exemple...).

#### **A2. Comparer des données : identification d'un montage référence / témoin, quantification, prise en compte des barres d'erreur**

Un progrès a été remarqué par le jury en ce qui concerne l'identification des témoins. Par contre, si les témoins sont mentionnés, ils ne sont pas encore assez utilisés comme référence explicite lors des comparaisons de résultats.

De même, des efforts de quantification ont été notés : les valeurs numériques sont ainsi repérées et citées avec pertinence. Les barres d'échelles ont été exploitées pour évaluer des dimensions macroscopiques (document 1-1.B) comme microscopiques (document 1-4.B). Il faut néanmoins nuancer par le fait que les documents ne présentaient pas de difficulté particulière sur ce point cette année.

En revanche, il demeure de grandes difficultés de compréhension et d'analyse des barres d'erreur qui sont inégalement prises en compte et comprises. Trop souvent, les candidats n'en tiennent aucun compte, ce qui peut amener à des contre-sens sur l'analyse des documents en cas de différences non significatives. Il arrive que des candidats ignorent que la barre d'erreur est centrée sur la moyenne et se prolonge donc au-dessus mais également au-dessous de cette valeur. Ce n'est que par souci de lisibilité que seules des demi-barres d'erreur sont parfois présentées.

Enfin, trop de candidats se trompent dans leur conclusion lorsqu'il y a chevauchement des barres d'erreurs : cela ne signifie en aucun cas que les données ne sont pas exploitables mais seulement que les différences ne sont pas significatives, ce qui est un résultat en soi. Sinon, cela équivaldrait à considérer que seuls les résultats indiquant une différence sont intéressants, ce qui est un non-sens scientifique.

### **B. Intégrer une expérimentation dans une démarche**

B1. Mettre en relation le principe d'une expérimentation avec son objectif

Rares sont les candidats qui présentent le principe ou l'intérêt des expériences réalisées. En ce qui concerne les protocoles, un commentaire n'est pertinent que si le candidat apporte une information supplémentaire, utile pour l'interprétation, tandis que la paraphrase des informations données dans l'énoncé (notamment le titre) ne présente aucun intérêt.

En revanche, sont valorisés les candidats qui justifient de manière pertinente l'utilisation d'une technique ou expliquent l'une des étapes critiques d'un protocole en relation avec l'objectif d'une expérience.

B2. Mettre en relation les informations tirées de documents, transitions logiques

Trop peu de candidats relie explicitement les informations tirées des différents documents d'un même thème : trop souvent, les études des documents se succèdent sans transitions pertinentes entre elles. Des conclusions intermédiaires, permettant de mettre en relation les documents d'une sous-partie, sont particulièrement valorisées. De plus, les documents complexes, constitués de plusieurs sous-documents, nécessitent impérativement un bilan synthétique mettant en relation l'ensemble des interprétations qui ont pu en être dégagées.

Certaines copies donnent parfois l'impression d'un oubli total du contenu des documents précédents. Il n'est pas rare de trouver des incohérences entre les conclusions intermédiaires, voire des interprétations qui se contredisent... Pour d'autres candidats, la mise en relation de documents semble justifier une absence d'interprétation puisque celle-ci se réduit alors à « cela confirme les résultats précédents ».

En revanche, de nombreuses bonnes copies révèlent la cohérence du raisonnement du candidat qui construit progressivement sa démarche en s'appuyant sur les données précédemment déduites.

C. Construire un modèle et le confronter au réel

C1. Poser un problème, proposer des hypothèses, des modèles explicatifs

Cette compétence est inégalement acquise par les candidats car elle nécessite d'avoir préalablement compris et correctement exploité le document. Lorsque c'est le cas, les candidats proposent la plupart du temps des hypothèses et des modèles explicatifs cohérents.

Il arrive parfois que les candidats émettent des hypothèses farfelues qui décrédibilisent la copie, mais dans l'ensemble le jury constate une bonne capacité des candidats à construire un modèle synthétisant les informations progressivement interprétées. Parfois, les candidats émettent des hypothèses originales et très pertinentes qui sont alors valorisées par le jury.

En revanche, certains candidats ont tendance à formuler comme des hypothèses des informations qui sont en fait des données validées par les approches expérimentales. Il est impératif de ne pas confondre conclusion, déduite de l'interprétation du document, et hypothèse, proposée à la suite de cette interprétation pour prolonger l'analyse...

C2. Critiquer et poser des limites

Il s'agit probablement de la compétence la plus difficile à maîtriser. Seuls certains documents (par exemple, les documents 1-3 ou 2-1.B) se prêtent à sa mise en œuvre. Très peu de candidats proposent des critiques réellement pertinentes ou des limites avérées concernant les documents proposés. Critiquer un protocole ne se limite pas à constater (parfois de manière systématique) que « l'échantillon fourni n'est pas suffisant pour obtenir des résultats significatifs ».

## D. Communication écrite

### D1. Qualité de l'expression (syntaxe, orthographe, précision, concision)

De trop nombreuses copies présentent une syntaxe et/ou une orthographe déficiente, à des degrés divers. Ces défauts dévalorisent fortement les copies : quand la compréhension même de l'analyse est difficile, le candidat se sanctionne lui-même. Au respect des règles du français courant, s'ajoute la nécessité de la maîtrise du vocabulaire scientifique, à la fois en ce qui concerne la précision des termes employés et le respect de leur orthographe. Le jury a pu ainsi constater des confusions entre « grandissement » et « accroissement », entre « significatif » et « important », entre « greffé » et « transgénique » ou encore entre « espèce » et « cultivar ». Le jury rappelle également que dans un plant (et non plan) de riz, on observe des faisceaux cribro-vasculaires (et non « criblo »)...

Si la présentation des résultats se doit d'être précise, elle doit aussi rester concise. Un choix pertinent de quelques valeurs quantifiées et la mise en évidence de similitudes, ou de différences suivant le cas, suffisent le plus souvent à dégager les informations importantes. Trop de fois, les descriptions sont confuses et imprécises, ou les informations tirées des documents ne sont pas hiérarchisées... Certains candidats se perdant dans leur interprétation en viennent même à se contredire. Les réponses précises mais concises sont donc valorisées.

### D2. Soin et présentation, notamment des schémas

La plupart des copies sont soignées et bien présentées. Le plus souvent, un plan reprenant l'enchaînement logique des documents est apparent, avec leurs numéros indiqués, conformément aux consignes de l'énoncé. Souligner les titres en permet une meilleure visibilité. De même, souligner les termes importants de l'analyse les fait mieux ressortir.

Certains candidats doivent veiller à mieux aérer leurs copies en sautant des lignes entre les paragraphes. Afin d'en améliorer la lisibilité, il est indispensable que les candidats à petite écriture évitent de répondre sur toutes les lignes puisque les copies sont à petits carreaux...

Les schémas-bilans peuvent chez certains gagner en propreté. Ils doivent occuper suffisamment de place pour être lisibles. Aussi, le jury recommande de leur consacrer une nouvelle page de manière systématique. Le titre qui les accompagne doit absolument être sur la même page.

## **Commentaires spécifiques sur les différentes parties du sujet**

La résistance d'un végétal aux inondations : l'exemple du riz

Thème 1 : La résistance du riz à une immersion progressive de longue durée

Ce premier thème permettait d'étudier l'influence de quelques phytohormones (ou hormones végétales) sur le phénomène de résistance du riz flottant à une immersion de longue durée. Il a été globalement le mieux traité des 3 thèmes du sujet, probablement car les candidats, étudiant le plus souvent les documents dans l'ordre du sujet, lui ont accordé proportionnellement plus de temps...

Il était donc nécessaire de montrer le rôle phytohormonal de l'éthylène, de l'acide abscissique (ABA) et de l'acide gibbéréllique (AG). Trop souvent, des confusions importantes ont eu lieu autour de ces molécules : ABA ou AG qualifiées de protéines ou de substances gazeuses, ABA confondue avec l'auxine (AIA)...

### ***1-1 - Une réaction du riz flottant à l'immersion***

Document 1-1.A - Photographies de plants de riz cultivés dans 2 conditions différentes

L'objectif de ce document est d'analyser l'effet de l'immersion sur un plant de riz à une échelle macroscopique.

L'observation de la photographie montre qu'en deux jours, l'allongement du dernier entrenœud (le plus jeune) du plant immergé est près de deux fois plus important que celui du plant cultivé à l'air libre (environ 25 cm contre 15 pour le second).

On en déduit que l'immersion induit une croissance plus importante du plant de riz et que cette croissance supplémentaire concerne au moins le dernier entrenœud. C'est cette croissance supplémentaire qui permet au plant de riz d'être assez grand pour flotter suite à l'inondation.

Le jury a relevé trop souvent une erreur majeure d'interprétation concernant ce document : celle d'associer par un lien direct de cause à effet inondation et croissance. Certains candidats expliquent ainsi que l'excès d'eau dans l'environnement induit une turgescence et donc la croissance du plant résistant. Cela relève d'une méconnaissance de l'imperméabilité de la cuticule végétale et soulève un problème évident d'échelles spatiale et temporelle quant aux mécanismes abordés...

#### Document 1-1.B - Organisation histologique d'une jeune tige de riz

L'objectif de ce document est de repérer la zone probable d'élongation responsable de la croissance permettant la résistance à l'inondation.

La micrographie montre que l'entrenœud est divisé en trois zones : le méristème intercalaire, la zone d'élongation et la zone de différenciation cellulaire. Les cellules des deux dernières zones sont plus grandes.

Le méristème correspond à une zone de division (lieu de méiose) tandis que la zone d'élongation est, comme son nom l'indique, le lieu de la croissance cellulaire (auxèse). La différenciation cellulaire empêche en principe toute augmentation de taille des cellules. La croissance du plant de riz se fait au niveau des entrenœuds et probablement plus précisément au niveau de la zone d'élongation.

Quelques candidats interprètent par erreur la coupe histologique comme étant un effet de l'immersion alors que ce n'est pas le cas du tout.

#### Document 1-1.C - Taille des cellules dans l'entrenœud apical (entre le second nœud et le nœud apical) pour une plante immergée ou poussée à l'air libre

L'objectif de ce document est de confirmer que la zone d'auxèse se déroule au niveau de l'entrenœud en analysant un graphe montrant la taille des cellules en fonction de leur position au sein de l'entrenœud. Il était nécessaire de comparer les plants immergés et à l'air libre.

Dans les deux plants (cultivés à l'air libre et immergé), les cellules situées dans les 5 mm au-dessus du second nœud mesurent entre 15 et 30  $\mu\text{m}$  ; elles correspondent vraisemblablement à des cellules méristématiques. Puis, respectivement entre 5 et 10 mm au-dessus du second nœud pour le plant cultivé à l'air libre et entre 5 et 20 mm pour le plant cultivé immergé, la taille des cellules augmente de 30 à 50  $\mu\text{m}$  contre de 15 à 140  $\mu\text{m}$  pour les immergés. En se référant au schéma 1-1.B, il s'agit très probablement de la zone d'élongation. Au-delà, la taille des cellules reste constante à, respectivement, 40  $\mu\text{m}$  et 140-160  $\mu\text{m}$ . Au-delà de 50 mm pour les plants immergés, la taille des cellules décroît, ce qui correspond vraisemblablement au nœud apical.

La taille des cellules s'accroît sur une zone limitée de l'entrenœud. De plus, cette zone est beaucoup plus étendue chez les plants cultivés immergés. La taille des cellules est également plus importante chez ces plants de riz. On en déduit donc que l'immersion induit une zone d'élongation plus importante et une auxèse plus poussée des cellules concernées, ce qui permet à une partie du pied de riz de flotter, ou plutôt de dépasser la hauteur d'inondation.

Il était ici indispensable de faire le lien avec le document précédent pour identifier la zone responsable de la croissance observée (zone d'élongation).

## ***1-2 - Production d'éthylène et immersion du riz flottant***

L'objectif de ce document est d'analyser le dégagement d'éthylène chez des plants immergés ou non, en utilisant l'AVG, un inhibiteur de la synthèse de ce gaz.

En présence d'AVG, aucun des plants ne dégage d'éthylène, résultat non étonnant étant donné l'action inhibitrice de l'AVG. En absence d'AVG, il y a dégagement d'éthylène par tous les plants, mais les entrenœuds immergés en relâchent presque 3 fois plus. Ce dégagement est entièrement dû à une activité métabolique des cellules de l'entrenœud puisqu'en présence d'AVG, il n'y a pas d'éthylène produit.

L'immersion active donc les enzymes catalysant la synthèse de l'éthylène. Comme l'éthylène est un gaz dégagé par les végétaux en situation de stress, on peut émettre l'hypothèse qu'il existe un lien entre le dégagement d'éthylène et la croissance des entrenœuds.

Peu de candidats ont pris la peine d'explicitier le rôle de l'AVG dans ce protocole expérimental : le dégagement d'éthylène peut être expliqué par une libération d'éthylène stocké au préalable ou une production d'éthylène immédiatement libéré. Or cette augmentation est annulée en présence d'AVG, c'est-à-dire lorsqu'il y a un inhibiteur de la synthèse ; c'est donc la deuxième hypothèse qui est validée.

## ***1-3 - Quelques conséquences d'une immersion progressive sur les plants de riz flottants***

### Documents 1-3.A et 1-3.B

L'objectif de ces documents est de visualiser la croissance des entrenœuds au fil des jours chez des plants cultivés à l'air libre ou progressivement immergés.

Le document 1-3.A montre que chaque jour, le niveau d'eau augmente de 10 cm pour atteindre 110 cm au bout de 7 jours. Comme dans tous les cas, le plant reste immergé aux deux tiers, l'augmentation du niveau d'eau reflète donc la croissance du riz. Cela est confirmé par le document 1-3.B : le plant immergé passe d'un entrenœud de 10 cm à 18 cm en 2 jours. Sa croissance s'accélère ensuite pour atteindre 80 cm au bout de 7 jours (soit une vitesse de croissance d'environ  $12 \text{ cm.j}^{-1}$ ). Le plant cultivé servant de témoin indique qu'à l'air libre, l'entrenœud apical ne semble pas pousser en 7 jours.

On en conclut que l'élongation du plant de riz immergé est progressive et se déroule régulièrement au fil des jours. De plus, comme il est nécessaire d'ajouter de l'eau régulièrement pour maintenir le plant de riz immergé aux  $\frac{2}{3}$  de sa longueur, on peut raisonnablement proposer un lien direct entre l'immersion et la croissance, ce que confirme la courbe de croissance du plant immergé.

Certains candidats ont interprété de manière surprenante et farfelue la courbe du document 1-3.A, parvenant à la conclusion que la croissance du plant de riz s'effectuait par paliers réguliers de 10 cm...

En ce qui concerne la courbe du plant immergé du document 1-3.B, parler d'une croissance exponentielle n'est pas rigoureux car son allure suggère un ralentissement en fin d'expérience, ce qui n'est pas compatible avec une telle modélisation (et de toutes façons, la croissance ne peut indéfiniment augmenter...).

### Document 1-3.C

Ce document permet d'établir un lien entre le dégagement d'éthylène et l'immersion.

Pour les plants immergés, le taux d'éthylène augmente jusqu'à  $1 \mu\text{L.L}^{-1}$  en 2 jours pour atteindre un plateau à cette valeur. Chez le témoin à l'air libre, la quantité d'éthylène reste très faible. L'immersion induit chez le riz le dégagement d'éthylène au niveau des entrenœuds. Il ne manque plus qu'à relier l'éthylène avec l'allongement des entrenœuds.

Certains candidats ont eu la bonne idée de reproduire la courbe du 1-3.C en calque sur celle du 1-3.B, ce qui facilitait grandement leur mise en relation.

### Document 1-3.D

Ce document permet de clore l'étude autour de l'éthylène en vérifiant si un lien existe entre l'incubation en présence de ce gaz et l'élongation de l'entrenœud.

En 7 jours, l'entrenœud apical d'une plante cultivée à l'air libre s'allonge de 20 % alors que celui d'une plante cultivée à l'air libre, mais en présence d'éthylène, voit sa taille multipliée par 5. En l'absence d'éthylène, la croissance est donc d'environ  $0,3 \text{ cm.j}^{-1}$  alors qu'en présence de ce gaz, elle est de  $4,5 \text{ cm.j}^{-1}$ .

On peut alors conclure, grâce aux 4 documents, qu'il y a bien une corrélation entre l'immersion, la croissance du plant et le dégagement d'éthylène. L'immersion induit la présence d'éthylène dans la plante et ce gaz stimule l'élongation des entrenœuds, d'où la croissance observée.

### ***1-4 - Expression de la 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid Synthase (ACS) dans les plants de riz flottants immergés***

#### Document 1-4.A

L'objectif de ce document est d'étudier la synthèse de l'éthylène et de confirmer qu'il existe un lien entre cette synthèse et l'immersion du plant. L'expression d'une des enzymes catalysant la voie de biosynthèse de l'éthylène est suivie grâce à un gène rapporteur, la  $\beta$  glucuronidase (GUS).

L'activité GUS est 9 fois plus importante pour une plante immergée que pour une plante ayant poussé à l'air libre. GUS étant un système rapporteur, on peut en déduire une quantité d'ACS 9 fois supérieure dans une plante immergée que dans une cultivée à l'air libre.

L'immersion est un stress pour la plante et active donc la voie de biosynthèse de l'éthylène mise en évidence lors de l'étude du document 1-2. Par contre, le document ne permet pas de savoir comment l'immersion de la plante peut activer le promoteur du gène ACS.

L'intérêt de la technique GUS a été très souvent mentionné et dans l'ensemble bien expliqué par les candidats ayant pensé à justifier l'utilisation d'un tel dispositif.

#### Document 1-4.B

Ce document a comme objectif de déterminer les tissus dans lesquels l'enzyme ACS s'exprime préférentiellement lors de l'immersion. Pour cela, le principe utilisé est de localiser ses ARNm par des sondes spécifiques révélables en microscopie.

L'expression des ARNm augmente dès 4 h après l'immersion. Elle semble être maximale à 2 jours, toujours importante à 7 jours avant de décliner puisqu'elle est moindre à 14 jours d'immersion. Le gène codant ACS paraît s'exprimer principalement au niveau des faisceaux cribro-vasculaires.

L'immersion entraîne chez le végétal l'expression des enzymes de la voie de biosynthèse de l'éthylène. Le végétal produit alors de l'éthylène au niveau des entrenœuds, ce qui agit sur l'élongation tissulaire.

Certains candidats ont proposé un transfert de ces ARNm via les faisceaux cribro-vasculaires jusque dans les cellules libérant de l'éthylène. Les documents ne permettent pas de confirmer cette hypothèse mais dans tous les cas, le jury valorise l'émission d'hypothèses plausibles lors de l'évaluation des compétences (dans ce cas, compétence C1).

En revanche, certains candidats font preuve d'une méconnaissance profonde de l'histologie végétale. Ils distinguent par exemple un cylindre central dans ces coupes alors qu'il s'agit d'un apex caulinaire et non racinaire. D'autres situent l'apex végétal en dessous du nœud intermédiaire...



### 1-5 - Étude du rôle des gibbérellines

L'objectif de ces 3 documents est de regarder s'il existe un lien entre l'immersion, la présence d'éthylène, la synthèse d'acide gibbérellique (AG) et la croissance. En effet, les gibbérellines sont des phytohormones impliquées dans l'élongation des végétaux.

L'important était de se servir des informations apportées par ces documents afin de discuter du modèle en construction au cours de ce thème et d'établir des hypothèses plausibles sur les effets agonistes des différentes phytohormones étudiées.

#### Document 1-5.A

Les résultats de l'expérience réalisée montrent qu'une plante immergée depuis 1 h possède, au niveau de ses entrenœuds, un taux d'AG similaire à celui d'une plante cultivée à l'air libre. Par contre, au bout de 3 h d'immersion, le taux d'AG a triplé et semble avoir atteint un plateau puisqu'il n'y a quasiment plus d'augmentation 21 h plus tard. Ce résultat peut être mis en relation avec celui du document 1-3.C, montrant que le taux d'éthylène est maximal au bout de 2 h d'immersion.

Par conséquent, l'immersion induit la synthèse d'acide gibbérellique au niveau des entrenœuds du riz flottant, et ce selon une cinétique comparable avec celle de la production d'éthylène. Mais ce document ne permet pas de savoir si c'est l'éthylène qui induit la synthèse d'AG, ni si l'AG provoque la croissance des entrenœuds.

Certains candidats ont judicieusement converti ces données numériques brutes en un histogramme plus lisible. C'est un bon exemple de ce que le jury attend concernant la compétence A1.

#### Document 1-5.B

Ce document montre le lien existant entre l'AG et la croissance en longueur des entrenœuds. L'utilisation d'un inhibiteur de la synthèse de l'AG, le TCY, permet d'étudier de façon subtile ce lien.

Ainsi, en présence de TCY, on étudie l'effet de l'AG ajouté sur la croissance puisque la synthèse intrinsèque d'AG est inhibée par le TCY. On constate que plus l'on ajoute d'AG, plus l'entrenœud s'allonge (augmentation de 120 mm en 3 jours). En revanche, les entrenœuds cultivés sans TCY bénéficient à la fois de l'AG ajouté (extrinsèque) mais aussi de celui produit par la plante elle-même. Et en l'absence d'AG extrinsèque, la croissance est de 90 mm en 3 jours.

On peut supposer que les entrenœuds ne sont pas à saturation d'imprégnation d'AG car le plateau de croissance des entrenœuds ne semble atteint que pour un ajout d'AG à  $10 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .

Si l'on compare la croissance induite par l'AG produite par la plante en conditions d'immersion (sans TCY et sans AG ajouté) et celle induite par la plante cultivée en présence de TCY et d'AG extrinsèque, on peut estimer qu'une croissance de 90 mm en 3 jours est induite par une concentration en AG comprise entre 0,1 et  $1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .

La croissance des entrenœuds est bien provoquée par l'acide gibbérellique, produit par le végétal lorsqu'il est immergé.

L'intérêt de la manipulation avec le TCY a été très rarement compris : c'est grâce à l'usage de cet inhibiteur qu'il est possible de quantifier la quantité d'acide gibbérellique responsable de la croissance observée lors de l'immersion du plant de riz.

#### Document 1-5.C

Ce document a pour objectif d'analyser l'effet de l'éthylène sur la réponse à l'AG : l'ajout d'éthylène permet de mimer l'immersion (cf. documents 1-3).

On sait que la synthèse intrinsèque d'AG est inhibée par l'ajout de TCY. On remarque alors que, pour les plants cultivés à l'air libre, l'augmentation de taille des entrenœuds est

multipliée par 9 quand la concentration en AG est multipliée par 20. En présence d'éthylène, cette croissance des entrenœuds est multipliée par 22.

Il y a donc une complémentarité d'effet entre l'éthylène et l'acide gibbéréllique.

Le jury attendait qu'une notion de synergie ou de complémentarité des rôles entre ces 2 phytohormones soit établie par les candidats. De plus, ces documents permettaient de soulever des hypothèses sur la nature des relations entre l'éthylène et l'AG, ce que très peu de candidats ont tenté.

### ***1-6 - Activité mitotique au sein du méristème intercalaire***

L'objectif de ce document est de déterminer la zone de l'entrenœud sensible à l'AG, en étudiant l'activité de la cycline cyc-Os2, reflet de l'activité mitotique des cellules.

En présence d'AG, les ARN codant pour le gène cyc-Os2 sont 5,5 fois plus présents dans les 5 mm au-dessus du nœud ce qui correspond à la zone de méristème intercalaire (cf. document 1-1.B). Dans les autres zones, la variation est faible ou inexistante.

L'acide gibbéréllique augmente le taux de cycline dans le méristème intercalaire, ce qui indique une augmentation de l'activité mitotique. Autrement dit, l'AG agit aussi sur l'activité de mères de l'entrenœud et pas seulement sur l'auxèse (cf. documents 1-5). En cas d'immersion, il y a plus de cellules produites ; ces cellules s'allongent elles-mêmes plus, ce qui amplifie la réponse induite via l'acide gibbéréllique.

Il était absolument indispensable pour pouvoir arriver à cette conclusion de mettre en relation ces résultats avec le document 1-1.B (ce qui était d'ailleurs explicitement mentionné par le sujet...). Les candidats qui ne l'ont pas fait se sont donc limités à une conclusion intermédiaire moins intéressante...

D'autres ont eu la bonne idée de coller le document 1-1.B en parallèle de ce graphique pour faciliter la mise en relation des informations. Cela permettait une visualisation claire et efficace, ce que le jury valorise toujours.

### ***1-7 - Étude du rôle de l'acide abscissique***

L'objectif de ces documents est de déterminer le rôle dans la résistance à l'immersion de l'acide abscissique (ABA), une phytohormone impliquée dans le stress hydrique, et d'étudier comment elle interagit avec les phytohormones déjà évoquées au cours de ce thème.

#### **Document 1-7.A**

L'histogramme indique que jusqu'à une concentration en ABA de  $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , la croissance est d'environ 70 mm en 3 jours. Au-delà, la croissance est inhibée et à  $100 \mu\text{mol.L}^{-1}$  d'ABA, elle n'est plus que de 5 mm en 3 jours, ce qui est identique au plant cultivé à l'air libre.

L'acide abscissique a donc une action inhibitrice sur la croissance des entrenœuds.

Une erreur fréquente parmi les candidats a été de conclure que l'ABA activait la croissance uniquement à des concentrations faibles. C'est faux puisque l'ABA en faible concentration stimule légèrement moins (barres d'erreur prises en compte) la croissance que son absence (témoin). Certains candidats n'ont pas peur d'écrire que l'ABA stimule la croissance à une concentration de  $0 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ... Les premières concentrations testées correspondent seulement à des témoins négatifs (concentrations voisines de zéro) et il s'agit bien ici d'une mise en évidence d'une inhibition.

#### **Document 1-7.B - Effet de l'immersion sur la quantité d'ABA dans le riz flottant**

Cette expérience permet de définir le lien entre l'immersion et la présence d'ABA au niveau des entrenœuds.

Dans les plantes cultivées à l'air libre, la quantité d'ABA varie peu au cours du temps alors que pour les plants immergés, le taux d'ABA chute dès le début de l'immersion (concentration divisée par 4 en 3 h).

L'immersion inhibe donc la synthèse d'ABA, ce qui favorise la croissance de la plante.

#### Document 1-7.C - Effet de l'éthylène sur la quantité d'ABA dans le riz flottant

Ce document a pour but de déterminer s'il existe un lien entre l'exposition à l'éthylène et la synthèse d'ABA, sachant que l'immersion induit la synthèse d'éthylène.

En comparant la courbe à celle du témoin négatif du document 1-7.B, on constate que l'ajout d'éthylène diminue fortement la production d'ABA, qui est alors divisée par 4.

L'immersion, mimée par l'ajout d'éthylène, a par conséquent un effet inhibiteur sur la production d'ABA.

Certains candidats ont été perturbés par l'apparente absence de témoin pour cette expérience. Il fallait comprendre qu'il était possible de réutiliser celui du document précédent puisque les protocoles étaient compatibles. Il est bon de rappeler au passage que le jury attend des candidats des conclusions appuyées sur une utilisation pertinente des témoins des expériences.

#### Document 1-7.D

L'objectif de ce document est de démontrer l'effet antagoniste des deux phytohormones ABA et AG.

On remarque que l'AG seul induit une croissance accrue des entrenœuds, au contraire de l'ABA seul qui inhibe cette croissance. Ces résultats étaient tout-à-fait prévisibles au vu des conclusions précédentes. En revanche, le mélange des deux phytohormones provoque une croissance intermédiaire donc il y a bien un effet de compétition entre l'ABA et l'AG. Mais une modification du rapport entre ces phytohormones n'a pas d'effet significatif sur la croissance même lorsque l'AG est 10 fois plus concentré que l'ABA.

Il existe donc une balance hormonale entre l'ABA et l'AG, 2 phytohormones antagonistes dont les effets peuvent se compenser.

Quelques candidats ont voulu critiquer ce protocole en soulignant l'absence de plant témoin cultivé à l'air libre. C'est ici inutile puisqu'il suffit de comparer les lots 2 à 2 pour pouvoir arriver à la conclusion attendue.

Il était possible d'aller plus loin dans l'interprétation du mécanisme de cette balance.. Les lots 3, 4 et 5 montrent qu'avec  $3 \mu\text{mol.L}^{-1}$  d'ABA et pour une concentration variable d'AG, l'effet est le même : ce serait donc l'AG qui inhiberait l'ABA et non l'inverse. Mais pour en être certain, il faudrait tester la réciproque : avoir des lots avec une concentration en AG fixe et en ABA variable, on s'attendrait alors à une inhibition dose-dépendante...

#### **Schéma bilan**

Le jury attendait un schéma bilan qui illustre les synergies établies entre les phénomènes de mèresse et d'auxèse au cours de l'étude des documents de ce thème. Ce schéma devait montrer qu'une balance hormonale était responsable de la flottaison observée des plants de riz résistants à une immersion de longue durée.

Trop souvent les schémas bilans sont décevants et n'intègrent qu'une partie des déductions réalisées dans l'ensemble du devoir. Les candidats sont encouragés à construire le schéma au brouillon au fur et à mesure de l'avancement de leur travail de façon à ne pas oublier d'étape importante.

Certains candidats distinguent dans leur schéma bilan les données vérifiées des données hypothétiques, ce qui est valorisé. Il n'était pas toujours possible de préciser le mécanisme exact des interactions étudiées mais lorsque des relations pouvaient être établies par analyses des résultats expérimentaux, elles étaient attendues sur le schéma. Ainsi, le jury a regretté l'oubli très

fréquent des relations entre l'éthylène et l'AG qui avaient pu être mises en évidence par les documents 1-5. De manière plus générale, l'éthylène semble être un messenger ayant deux cibles, avec des effets inverses sur la synthèse d'AG et d'ABA mais aboutissant à un effet balancé en fonction des conditions du milieu.

Le jury souligne que certains candidats ont toutefois su réaliser des schémas bilans tout-à-fait remarquables. Ces derniers tiennent compte de l'ensemble des observations d'une manière synthétique et logique sans surcharge ni sur-interprétation. Cela témoigne de l'excellent niveau de certaines copies où des capacités de synthèse voire d'intuition scientifique sont évidentes. Certains candidats ont toutefois été pénalisés lorsqu'ils ont représenté des détails non attendus sans relation directe avec le sujet.

## Thème 2 : La résistance du riz non flottant à une inondation rapide

Ce deuxième thème permettait d'étudier un autre exemple d'adaptation du riz, mais cette fois concernant la résistance aux inondations brutales et de courte durée. L'objectif était de comprendre que ces adaptations reposaient sur des mécanismes contrastés même si dans les 2 cas il y avait intervention de phytohormones, et en particulier de l'éthylène.

Les documents de ce thème donnaient des éléments pour construire un modèle, mais de manière moins détaillée que dans le premier thème. Aussi le schéma bilan attendu était moins complexe que le précédent.

### 2-1 - Tolérance du riz à une immersion rapide

Document 2-1.A - Organisation du locus Sub1 pour le riz tolérant FR13A et intolérant Nipponbare

Ce document présente le locus Sub1 dans les deux cultivars étudiés, l'un tolérant (FR13A), l'autre intolérant (Nipponbare), sachant que ce paramètre génétique détermine la résistance à l'immersion rapide.

L'organisation des locus est similaire si ce n'est que le cultivar FR13A y possède un gène supplémentaire, Sub1A.

Probablement issu d'une duplication ancestrale de gènes, le locus Sub s'est diversifié et les lignées étudiées possèdent deux locus différents, bien que d'organisation similaire. On peut supposer que la présence chez FR13A de ce gène supplémentaire est liée au caractère tolérant de ce cultivar.

Ce document purement descriptif et non expérimental fournissait une excellente opportunité au candidat de démontrer sa capacité à formuler des hypothèses. Cette opportunité n'a malheureusement pas été saisie par la majorité des candidats...

De plus, une erreur extrêmement fréquente était d'affirmer que la région Sub1A-1 est responsable de la tolérance du riz. Une telle conclusion est fautive car le document permet seulement d'en émettre l'hypothèse puisqu'il donne des informations que sur une petite partie du génome.

Document 2-1.B - Niveau d'expression des gènes Sub1A, Sub1B, Sub1C et du gène codant l'actine

L'objectif de ce document est d'analyser l'expression des gènes du locus Sub1 lors de l'immersion des cultivars, afin de déterminer si leur activité est corrélée aux conditions physiologiques du plant.

Bien entendu, Nipponbare (le cultivar intolérant) n'exprime pas Sub1A puisqu'il ne le possède pas... Au bout d'une heure d'immersion, il exprime Sub1B et Sub1C et continue à les exprimer même 3 jours après la sortie de l'eau. Chez FR13A (le tolérant), quant à lui, il y a une expression faible de Sub1B du premier au 7<sup>e</sup> jour d'immersion puis celle-ci s'atténue. Le résultat

est similaire pour Sub1C. Par contre, Sub1A s'exprime fortement dès l'immersion et pendant 7 jours puis son expression décline à partir du 10<sup>e</sup> jour.

L'immersion induit l'expression des gènes du locus Sub1, qui, dans la lignée tolérante, cessent de s'exprimer au bout d'une semaine et restent silencieux après retour à l'air libre. Le gène Sub1A est donc lié à la résistance à l'immersion. Mais on ne connaît pas encore ses effets.

De nombreux candidats ignorent la piste de l'actine dans leur analyse ou, pire encore, l'interprète comme étant liée à l'immersion. L'expression du gène codant l'actine est constante, ce qui est bien le résultat attendu car il s'agit du témoin de charge des différents puits.

## ***2-2 - Introduction d'un gène de résistance à l'immersion dans un cultivar intolérant***

Cette expérience a pour objectif de tester l'effet phénotypique de Sub1A.

On observe que pour les deux durées d'immersion testée, le cultivar M202(Sub1) récupère beaucoup mieux que le M202, qui a des feuilles amollies, voire étiolées. Plus l'immersion est prolongée, plus elle a un effet délétère sur le cultivar intolérant. Le cultivar tolérant semble beaucoup moins affecté.

Sub1A s'avère donc nécessaire et suffisant pour rendre un plant de riz résistant à l'immersion.

Il était logique de s'intéresser à l'expression de Sub1A car on le soupçonne de jouer un rôle de premier plan dans la résistance à l'immersion d'après le document précédent. Trop peu de candidats prennent la peine de justifier le choix de ce gène comme transfert génétique.

Ce document pouvait se prêter à une description assez simple des résultats. Cela ne justifie cependant pas le manque de rigueur et de précision de certains candidats : « la plante n'est pas en forme »... De même, peu de candidats remarquent que les plants intolérants continuent à croître (certes de pitoyable manière). Ce sera pourtant à mettre en relation avec les documents suivants.

Rares sont les candidats qui ont su formuler la conclusion rigoureuse attendue, à savoir que le locus Sub1 (et vraisemblablement Sub1A) est non seulement nécessaire mais également suffisant pour induire la résistance. C'était pourtant le but de cette expérience. Le fait qu'un seul locus (et vraisemblablement un seul gène) induise la résistance à un stress aussi intense et complexe que l'immersion est en soit tout à fait remarquable.

## ***2-3 - Tolérance à l'immersion chez le riz non flottant et expression des gènes SLR***

### Document 2-3.A

L'objectif de ce document est à présent d'établir un lien entre l'expression de Sub1A et la synthèse de gibbérelline, en analysant l'expression de gènes codant des facteurs de transcription l'inhibant.

L'actine joue toujours le rôle de témoin de charge des différents puits. Les deux facteurs de transcription SLR et SLR1 sont produits dans les deux cultivars avant l'immersion, mais cette expression est plus intense chez M202(Sub1), en particulier à 14 jours d'immersion (SLR1).

L'expression de Sub1A entraîne celle des facteurs de transcription SLR, et inhibe donc la synthèse d'AG. Or, on a vu dans le thème 1 que l'immersion provoque la production d'éthylène. On peut alors se demander si l'éthylène pourrait avoir une action sur l'expression de ces facteurs de transcription.

### Document 2-3.B

C'est ce à quoi permet de répondre ce document, en étudiant l'effet de l'éthylène sur l'expression de Sub1A, SLR1 et SLRL1.

Chez M202(Sub1), l'expression des 3 gènes est significativement plus importante en présence d'éthylène. SLR1 et SLRL1 s'expriment davantage chez M202(Sub1) que chez M202 en

présence d'éthylène, alors qu'il n'y avait pas de différence significative en son absence. Chez M202, l'éthylène ne semble pas avoir d'effet sur l'expression des gènes considérés...

On en déduit donc que l'éthylène n'agit pas directement sur l'expression des facteurs de transcription SLR : la présence de Sub1A dans le génome est nécessaire pour que l'immersion est un effet sur l'expression du locus Sub1.

De nombreux candidats ont survolé ce document, se contentant de dire que le locus Sub1 favorisait la synthèse d'éthylène. Ils n'ont pas su voir alors qu'il permettait de mettre en évidence le rôle indirect de Sub1A sur la synthèse d'éthylène. Il fallait pour cela clairement comparer l'action de l'éthylène sur les différents gènes entre le plant résistant et le témoin négatif (plan non résistant).

De manière plus générale, les candidats qui commencent par clairement identifier les témoins négatifs dans des expériences où plusieurs paramètres varient sont favorisés car ils interprètent généralement mieux les résultats.

### Document 2-3.C

Ce document permet enfin d'étudier l'action combinée de l'AG, de l'éthylène et de Sub1A dans la croissance des plants de riz.

L'AG stimule la croissance avec un effet cumulatif de l'éthylène chez M202 alors que cet effet est soustractif chez M202(Sub1). La présence du gène Sub1A chez le plant tolérant M202(Sub1) a pour conséquence une diminution des effets de l'AG ou de l'éthylène.

On en déduit que Sub1A inhibe l'action de l'AG et que cet effet est renforcé par la présence d'éthylène.

La difficulté de ce document résidait dans le choix des courbes à comparer 2 à 2 afin de pouvoir conclure. Certains candidats se sont lancés dans une description exhaustive des résultats sans réussir à en extraire les quelques points essentiels.

### **2-4 - Extension des cellules et immersion**

L'objectif de ce document est de montrer l'effet de Sub1A sur l'expression des expansines, et donc sur la croissance cellulaire, chez le riz immergé.

L'actine est toujours le témoin de charge. ExpA5, le gène codant une expansine, est davantage exprimé au bout de 3 jours mais surtout à 14 jours d'immersion chez le cultivar M202. M202(Sub1) a une expression d'ExpA5 beaucoup plus limitée.

L'immersion induit donc une croissance chez les plants intolérants. Cette croissance est néfaste pour les organismes (cf. document 2-2). Les plants tolérants, qui expriment Sub1A, s'accroissent, quant à eux, beaucoup moins lors de l'immersion.

Il est regrettable que trop peu de candidats, même après avoir correctement analysé le document, ne fassent pas le lien entre le rôle des expansines et leur implication dans la croissance des plants intolérants. De ce fait, ils n'arrivent pas à mettre en relation ces résultats avec le reste du thème...

### **Comparaison des modalités d'adaptation du riz flottant et du riz tolérant à l'immersion**

Ces 2 thèmes permettent d'aborder deux dispositifs contrastés permettant de résister à un phénomène d'inondation. Et dans les deux cas, l'éthylène est le signal de stress déclenchant chez les plants résistants une réponse adaptative.

Si l'immersion est de courte durée (quelques semaines), l'élongation est inhibée. En effet, les plants de riz qui grandissent trop vite s'épuisent et leur tige casse lors de la décrue.

Lorsque l'immersion est progressive mais dure plusieurs mois, c'est un mécanisme inverse qui a été sélectionné : les entrenœuds s'allongent, ce qui permet de maintenir une partie de la plante hors de l'eau.

Trop de candidats n'ont pas indiqué la comparaison attendue alors qu'ils avaient très bien traité ce thème. Cela peut provenir d'un oubli issu d'une lecture inattentive du sujet... De plus, certains candidats mettent en avant dans leur comparaison seulement les différences et en oublient les points communs (comme la présence d'éthylène), pourtant plus évidents...

### Schéma bilan

La plupart des candidats qui se sont lancés dans l'élaboration d'un schéma bilan pour cette partie l'ont bien réussi, parvenant à faire une synthèse complète des informations récoltées au fur et à mesure des documents.

### Thème 3 : Le métabolisme glucidique du riz au cours de l'immersion

Ce troisième thème abordait un autre aspect de la résistance à l'immersion. Il s'agissait de mettre en relation les résistances étudiées précédemment avec des adaptations du métabolisme glucidique chez différents cultivars de riz.

Les documents de ce thème laissaient un champ de réflexion beaucoup plus libre que dans les thèmes 1 et 2. Ici, les interprétations ouvraient sur des hypothèses plus que sur des modèles avérés et le jury attendait que les candidats s'inscrivent dans une démarche d'investigation et fassent preuve d'un esprit de recherche scientifique.

Il est regrettable que du fait d'une gestion de la durée de l'épreuve inadéquate, trop peu de candidats aient pu consacrer à cette partie le temps qu'elle méritait...

#### ***3-1 - Contenu en amidon et en oses solubles dans les feuilles durant l'immersion***

L'objectif de ce document est d'étudier l'effet de l'immersion sur les taux de glucides chez 2 cultivars de riz, l'un tolérant à l'immersion, l'autre non.

Les réserves en amidon diminuent dès le premier jour d'immersion. La diminution est significativement plus importante chez M202 (diminution de moitié environ) que chez M202(Sub1) (diminution d'environ un tiers). M202 semblent épuiser ses réserves au bout de 3 jours d'immersion alors qu'au même stade, il reste à peu près un tiers des réserves initiales pour le cultivar résistant, chez qui les réserves sont épuisées au jour 6.

En ce qui concerne les sucres solubles, comme le saccharose, on observe encore une forte diminution, dès le 1<sup>er</sup> jour, pour les deux cultivars. Mais il reste toujours un peu plus d'oses solubles chez le cultivar tolérant (environ 2 fois plus que chez le sensible).

L'immersion est une situation de stress : moins de rayons lumineux parviennent à atteindre les feuilles, ce qui diminue d'autant la photosynthèse. La plante est alors contrainte à utiliser ses réserves afin de pouvoir assurer sa fourniture en ATP. La situation est a priori paradoxale chez les plants tolérants : ils utilisent moins leurs réserves mais ont au moins autant de sucres solubles. En fait, il faut raisonner en termes de flux : on peut émettre l'hypothèse que les sucres solubles libérés par une utilisation des réserves, certes moins importante, s'accumulent néanmoins car ils seraient moins utilisés. Cela correspondrait à un contexte d'économie d'énergie par la plante tolérante.

#### ***3-2 - Le métabolisme glucidique dans divers cultivars de riz lors de l'immersion***

Il s'agit ici de s'intéresser à l'impact de l'immersion sur les enzymes de la voie de dégradation des glucides.

Document 3-2.A - Expression des ARNm codant des enzymes du métabolisme glucidique chez le riz *Oryza sativa* L.

La différence entre les 2 conditions expérimentales repose dans le fait que le plant de riz est soit totalement immergé (cas A), soit partiellement immergé (cas B). Ce dernier cas mime donc le riz flottant étudié dans le thème 1.

Les ARNm codant la phosphofructokinase 1 (PFK1) sont près de 2 fois plus abondants dans le cas A. Cette surexpression relative est encore plus forte pour l'alcool déshydrogénase (ADH) et pour la pyruvate décarboxylase (PDC). En revanche, la triose phosphate isomérase (TPI) est présente en quantité similaire chez A comme chez B.

On en déduit que l'immersion totale favorise, comme voie de dégradation du glucose, des voies métaboliques fermentaires. Cette augmentation relative de la fermentation est beaucoup moins importante chez le plant partiellement immergé. Cela suggère que ces cultivars auraient une utilisation différente du glucose lors de l'immersion. L'immersion totale entraîne le passage d'un métabolisme aérobie à de la fermentation (par définition anaérobie). Ceci est à mettre en relation avec le fait que le plant n'a alors plus aucun contact direct avec le dioxygène atmosphérique.

La difficulté de ce document était de comprendre que l'on cherche à comparer, chez un plant non tolérant, la différence de métabolisme dans un cas d'immersion totale (A, équivalente à un riz tolérant) et dans celui d'une immersion partielle (B, équivalente à du riz flottant).

Parmi les candidats ayant abordé ce thème, rares sont ceux qui ont poussé l'analyse de ce document en faisant un lien avec les données apportées par l'encart 2. La plupart n'a effectivement pas souvent su distinguer les enzymes de la fermentation et s'est contentée d'une conclusion trop vague sur le métabolisme glucidique.

Document 3-2.B - Cinétique d'expression de quelques enzymes du métabolisme glucidique chez le riz tolérant à l'immersion (FR13A) ou intolérant (IR42) au cours de l'immersion

À présent, on compare un cultivar tolérant avec un qui ne l'est pas. On s'intéresse à l'expression de gènes d'enzymes intervenant dans le catabolisme du glucose, notamment dans la fermentation.

Dans tous les cas, le taux d'ARNm augmente durant les 24 premières heures avant de diminuer jusqu'à la fin de l'expérience. Cette augmentation est plus rapide chez le riz intolérant que chez celui qui résiste à l'inondation de courte durée.

Au bout de 24 heures, il y a chez le cultivar tolérant :

- 2 fois plus d'ARNm de PFK1 ;
- un taux inférieur d'ARNm de TPI ;
- pas de différence significative pour les taux d'ARNm de PDC et d'ADH.

Cela amène donc à penser que le riz résistant à une immersion rapide de courte durée fermente (tout comme le cultivar sensible à l'immersion) mais que ce phénomène ne débute que seulement 12 heures plus tard. Ce délai avant de se mettre à fermenter permettrait donc au plant d'économiser ainsi des réserves osidiques (cf. document 3-1), ce qui serait en partie à l'origine de sa meilleure survie.

### ***3-3 - Analyse de l'activité fermentaire au cours de l'immersion***

#### Document 3-3.A

L'objectif de ce document est d'étudier l'expression des gènes codant les enzymes des voies fermentaires chez M202 et M202(Sub1) placés en immersion.

Encore une fois, l'actine est un témoin de charge. Les gènes de la PDC et de l'ADH s'expriment de façon beaucoup plus intense chez M202(Sub1). En ce qui concerne Pdc2, l'expression est maximale le premier jour, se stabilise le 3<sup>e</sup> avant de diminuer dès le 6<sup>e</sup>. Pour Adh2, l'expression est également maximale le premier jour, mais reste stable jusqu'au 14<sup>e</sup> jour pour le cultivar tolérant, tandis qu'elle diminue pour le non résistant à partir du 3<sup>e</sup> jour.

L'immersion induit bien une voie fermentaire chez le riz, ce qui implique un aspect adaptatif par contrôle de l'expression génétique. On peut proposer l'hypothèse qu'une résistance



métabolique, dans des conditions de faible approvisionnement en dioxygène interdirait le métabolisme respiratoire.

### Document 3-3.B

Ce document vient compléter le précédent en testant les activités catalytiques de la PDC et de l'ADH chez les 2 cultivars au cours de 14 jours d'immersion.

Dans tous les cas, les activités sont supérieures chez M202(Sub1) par rapport à celles de M202. Les activités PDC augmentent pendant 6 jours puis diminuent (ce qui est cohérent avec les résultats observés dans le document 3-3.A). Pour l'ADH, les activités augmentent jusqu'à un plateau qui semble presque atteint au 14<sup>e</sup> jour.

Cela confirme bien que l'immersion, situation d'anoxie, oriente le métabolisme glucidique vers la fermentation. Les plants tolérants s'adaptent grâce à un métabolisme fermentaire anaérobie plus efficace d'origine d'abord génétique. La submersion stimule l'expression des gènes spécifiques qui permettent une fermentation plus importante, processus adaptatif. De plus, elles ne grandissent pas (cf thème 2) ce qui explique qu'elles aient moins de besoins (vie ralentie).

### **Conclusion**

Un épisode d'immersion diminue la quantité de dioxygène disponible pour la plante, ce qui rend la respiration aérobie moins efficace.

Dans le cas des riz flottants, une partie de l'organisme reste émergée, donc la respiration aérienne est toujours possible. Le métabolisme est ralenti (mais modérément) et la fermentation n'est pas particulièrement favorisée.

En revanche, dans le cas de riz non flottants, l'immersion est totale, donc le dioxygène est encore moins disponible. Les riz tolérants ont un métabolisme qui ralentit le premier jour d'immersion avant de se réorienter efficacement vers les voies fermentaires. Le revers de la médaille est que si l'immersion dure trop longtemps, ces plants ne pourront pas survivre.

Et un plant non résistant, ou bien un plant tolérant soumis à une inondation de trop longue durée, se retrouve alors privé de métabolisme énergétique, entraînant à court terme la mort des cellules et du pied de riz, livré aux systèmes de décomposition...

**Correcteurs** : Adeline André, Julie Bénard, Philippe Blancou, Cédric Bordi, Valérie Boutin, Philippe Brunet, Armelle Carron-Gouhier, Hélène Cordier, Agnès Cordonnier, Anne Claire Cunin, Karel Dassonville, Aude De Quillacq, Agnès Despres Emond, Emilie Detouillon, Roland Douchet, Caroline Escuyer, Laurent Geray, Laure Goudard, Olivier Guipponi, M Gildas Hoarau, Olivier Jaffrezic, Tanguy Jean, Eve Jezequel, Hélène Joly, Anne Juras, Johann Krauss, Vincent Lecomte, Adeline Lécot, Elise Lesaffre, Lény Mercier, Eric Mestre, Florence Metz, Joseph Nicolas, Corinne Pergier, Corie Pommarel, Mikael Pourcher, Céline Proch, Audrey Proust, Pierre-Yves Régnier®, Yoann Reverdy, Aurélie Ripoll, Lionel Roux, Nathalie Rouyer, Jean-Marie Sachet, Françoise SaintPierre, Marlène Vabre, Mathieu Vartanian, Anne Vergnaud-Vales, Anne Woehrlé-Redisson.

**Expert** : Gérard Bonheure

