

J'intègre

**Sous la direction de
Pierre Peycru**

Christiane Perrier
Jean-Michel Dupin
Didier Grandperrin
Cécile Van Der Rest
Jean-François Fogelgesang

RÉUSSIR la BIOLOGIE à l'écrit AGRO-VÉTO

BCPST 1^{re} et 2^e années

DUNOD

Maquette intérieure : Yves Tremblay

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2011
ISBN 978-2-10-055931-2

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Introduction	7
--------------	---

Partie 1 Méthodologie

Consignes générales	12
Sujet de synthèse (type A)	13
Sujet sur documents (type B)	35

Partie 2 Sujets de synthèse (type A)

Sujet 1	Le dioxygène et les êtres vivants	67
Sujet 2	Stabilité et variabilité de l'information génétique	74
Sujet 3	Changement de taille et de forme des cellules (ENS 2009)	83
Sujet 4	Mitochondries et chloroplastes	99
Sujet 5	La compartimentation cellulaire	109
Sujet 6	Importance biologique des lipides (Agro 2009)	118
Sujet 7	La paroi vasculaire et le milieu intérieur des mammifères	128
Sujet 8	Les végétaux et la lumière	137

Partie 3 Sujets sur documents (type B)

Sujet 9	ENS 2006	145
Sujet 10	Agro 2003	163
Sujet 11	Agro 2007	180
Sujet 12	Agro 2009	210
Sujet 13	ENS 2008	235

Introduction

L'objectif de ce manuel est de proposer, à l'aide d'exemples concrets, des méthodes permettant d'aborder et de traiter les sujets de concours des classes de BCPST.

Notre choix s'est porté essentiellement sur les sujets récents proposés aux concours des Écoles Agronomiques et Vétérinaires (ou des sujets du même type) mais aussi quelques sujets des Écoles Normales Supérieures, en ne retenant pour ces dernières que les sujets de biologie. Ces sujets et les rapports de concours peuvent être consultés en ligne sur les sites de ces établissements (www.concours-agro-veto.net et www.ens.fr)

Les sujets Agro-Véto

Les sujets actuels des concours « Agro » (A Bio) et « Vétro » (A ENV) sont de deux types :

- L'épreuve dite « A », d'une durée de 3 h 30, « permet de vérifier le niveau de connaissances, la faculté d'organisation de la pensée et la qualité de la restitution. L'argumentation développée doit être structurée et illustrée. La clarté d'esprit, la qualité de l'illustration et la logique des démarches et des explications sont prises en compte dans l'évaluation. »¹ Le sujet A porte sur une synthèse à rédiger en intégralité avec des schémas illustrant le développement et mettant en valeur les idées essentielles de l'argumentation.
- L'épreuve dite « B », qui dure aussi 3 h 30, « conduit les étudiants à exploiter les documents proposés afin d'en tirer des informations qui, confrontées aux connaissances, fondent une argumentation structurée. »¹ Les documents sont souvent présentés selon un plan que l'on recommande de suivre dans chaque thème. Si ceux-ci sont indépendants, l'ordre dans lequel ils sont abordés est libre. L'énoncé de l'épreuve peut conseiller ou demander la réalisation de schémas. Des documents peuvent être découpés et collés dans la copie mais dans ce cas, ils doivent être légendés ou annotés par le candidat ; en bref, ils doivent présenter une « valeur ajoutée ».

Les sujets ENS

L'épreuve de biologie des Écoles Normales Supérieures dure 6 heures ; elle comporte en général trois parties d'une durée sensiblement égale : une synthèse et deux analyses de documents, guidées par des questions.

Particularités des sujets

Si les méthodes à investir sont les mêmes pour les deux types de concours, il existe néanmoins quelques différences dans les attentes des jurys. Dans le cas des Écoles Nationales Agronomiques et Vétérinaires une rédaction complète et détaillée est exigée. Ainsi, pour le sujet B notamment, le jury attend « un résumé efficace du protocole et des observations, sans paraphrase inutile, puis une interprétation démonstrative »². Pour les Écoles Normales Supérieures, la longueur du sujet exige que le candidat aille à l'essentiel et adopte une rédaction plus dépouillée que celle requise dans les concours Agro/Véto. Les analyses de documents ne nécessitent pas de texte introductif ni de titres de plan comme le rappelle le rapport du jury de l'épreuve de Biologie de 2009 : « Il est inutile d'introduire chacun des sujets avec documents ou de donner des titres aux sous-parties. » Parfois, le rappel des principes et des limites d'une méthode d'investigation feront l'objet d'une

1. Notice d'instructions relatives aux concours A recrutant sur la banque Agro-Véto (filière BCPST).

2. Rapport du jury sur l'épreuve B des concours 2007, page 8.

question particulière dans l'énoncé ; dans d'autres cas, il s'agira seulement de les mentionner pour relativiser les conclusions dégagées. **Nous insistons sur le fait que le format du sujet n'est pas figé, chaque école a la possibilité de modifier la forme des sujets qu'elle propose.**

Présentation de l'ouvrage

Les sujets sont abordés dans le strict cadre du programme des classes préparatoires BCPST <http://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/bo/2003/hs3/annexe1.pdf>. Cette remarque est importante ; elle justifie que ne soient pas envisagés des aspects qui sortent de ce cadre alors qu'ils auraient leur place dans d'autres types de concours (CAPES, Agrégation).

La première partie de ce manuel présente une méthodologie générale, illustrée par l'étude de deux sujets rédigés intégralement, l'un de type A (synthèse) et l'autre de type B (analyse de documents). Des conseils détaillés sont fournis aux diverses étapes clés de la rédaction.

Les deuxième et troisième parties abordent d'autres sujets des deux types en les traitant partiellement. Les conseils généraux, détaillés auparavant, sont alors repris. Pour ces deux parties, les corrigés proposés sont parfois exhaustifs. Par exemple, plusieurs hypothèses peuvent être exposées dans l'analyse d'un document sans que le jury n'attende obligatoirement que toutes soient présentes dans une copie.

Vous trouverez ci-après deux tableaux. Le premier mentionne les techniques expérimentales utilisées (chromatographie, gel retard, électrophorèse...) et les relie à un sujet abordé. Cela permet à l'étudiant de se familiariser avec les méthodes d'interprétation des résultats issus de ces aspects techniques. Le second tableau renvoie, pour les lecteurs qui les possèdent, aux chapitres concernés dans les manuels de cours de la collection : *Biologie Tout-en-Un BCPST 1^{re} année* et *Biologie Tout-en-Un BCPST 2^e année*.

Pour finir, insistons sur le fait qu'il ne faut pas attendre de cet ouvrage qu'il fournisse pour chaque sujet, le corrigé intégral, intangible. Nous savons tous qu'il existe différentes façons d'aborder une question, ce que nous illustrons d'ailleurs dans certains sujets. Nous souhaitons que les exemples traités ici permettent à chaque étudiant de s'entraîner à la pratique de méthodes utiles pour réussir les épreuves écrites des concours. Ainsi, en organisant mieux sa pensée, en apprenant à structurer ses argumentations, il forgera ses propres méthodes qu'il pourra mettre en pratique au-delà de la simple préparation de concours.

Les auteurs

Dans cet ouvrage vous rencontrerez deux types de pictogrammes :



Principales techniques expérimentales abordées dans le sujet.



Remarques ou conseils du correcteur.

Le cahier couleur

Il regroupe les documents des sujets de type B qui doivent être observés en couleurs afin d'être interprétés convenablement. Ces documents sont signalés dans les énoncés des sujets par un contour bleu clair et un renvoi à la page du cahier couleur concernée.

TABLEAU RÉCAPITULANT LES TECHNIQUES ABORDÉES DANS LES SUJETS SUR DOCUMENTS (TYPE B) DE CET OUVRAGE.

Technique illustrée	Sujet	Remarques
Chromatographie d'affinité	Sujet 13 (ENS 2008) partie C, questions 22 à 29, 33 et 34.	Les chromatographies d'affinité permettent de séparer dans les mélanges protéiques étudiés (fraction FTa), les fractions capables de se lier aux anticorps spécifiques AC2 de celles qui ne le peuvent pas. Cette méthode repose : sur l'établissement de liaisons d'affinité entre les anticorps fixés sur les billes de résine de la colonne et les motifs antigéniques spécifiques portés par certaines des protéines, puis sur la rupture de ces liaisons causée par modification de l'environnement chimique (phase d'élution).
Construction d'un arbre phylogénétique à partir de calculs de distance entre taxons	Sujet 12 (Agro 2009) partie 2, document 2	La méthode de calcul est explicitée dans l'énoncé du sujet se rapportant à cette partie.
Électrophorèse de protéines	Sujet 13 (ENS 2008) partie C, questions 20 et 21.	La comparaison de l'électrophorèse en conditions dénaturantes et de la révélation immunologique avec utilisation d'anticorps spécifique permet de repérer, parmi un mélange de fractions protéiques, une catégorie spécifique ciblée par l'anticorps.
Électrophorèse de protéines en conditions dénaturantes, suivie d'une renaturation.	Sujet 10 (Agro 2003) thème 1, document 1.c	Les protéines séparées par l'électrophorèse sont des nucléases. La révélation des gels est consécutive à l'hydrolyse enzymatique de leur substrat (ADN ou ARN).
Électrophorèse retard d'ADN	Sujet 9 (ENS 2003) questions 14 à 16.	La fixation d'une protéine à une séquence d'ADN est mise en évidence par le fait qu'elle retarde la migration électrophorétique de la séquence d'intérêt.
Électrophorèse retard de protéines	Sujet 13 (ENS 2008) partie C, question 30.	Le retard de migration révèle l'existence d'interactions protéiques.
Empreinte à la désoxyribonucléase (DNase).	Sujet 9 (ENS 2003) questions 12 et 13	La fixation d'une protéine à une séquence d'ADN est mise en évidence par le fait qu'elle protège l'ADN de l'action d'une Dnase.
Étude d'électronographies	Sujet 10 (Agro 2003) thème 1, documents 1a	La microscopie électronique à balayage renseigne sur la forme et les dimensions des cellules et sur l'aspect de la surface cellulaire. La microscopie électronique à transmission révèle les ultrastructures des cellules (noyau, chromatine, plastes, vacuoles, paroi...).
Gène rapporteur	Sujet 9 (ENS 2003) questions 10 et 11	Le gène rapporteur code la luciférase et permet l'étude des séquences de contrôle du gène d'intérêt (codant une NO synthase).
Hybridation in situ avec sonde complémentaire de l'ARNm	Sujet 11 (Agro 2007) partie 1, document 1.4	La technique d'hybridation in situ permet de révéler, via une sonde, les secteurs au sein desquels les cellules présentent des ARNm d'un gène particulier (ici le gène PHAN), donc les secteurs dans lesquels les cellules expriment ce gène.
Mise en évidence d'une substance par l'activation d'un gène rapporteur construction comportant un gène dont le promoteur est activé par cette substance ;	Sujet 11 (Agro 2007) partie 1, document 1.5.a	Il s'agit d'une révélation utilisant un gène (ici le gène de la β -glucuronidase) dont l'expression : est sous la dépendance d'un promoteur activable par la substance dont on souhaite détecter la présence (ici l'auxine), conduit à l'apparition d'une coloration repérable (ici coloration bleue).
Profil de migration d'oligonucléotides	Sujet 12 (Agro 2009) partie 2, document 1	L'électrophorèse bidimensionnelle de fragments d'ARN ribosomiques (oligonucléotides) permet de les séparer pour différentes espèces chez qui ces ARN ont été extraits. La comparaison de ces profils permet d'évaluer ensuite les capacités d'associations entre les ARN des différentes espèces étudiées, et donc le degré de ressemblance de ces divers ARN.

NOTIONS DE COURS IMPORTANTES ABORDÉES DANS LES SUJETS DE SYNTHÈSE (TYPE A).

Pour les lecteurs possédant les manuels de cours de la même collection (*Biologie Tout-en-Un BCPST 1^{re} année* et *Biologie Tout-en-Un BCPST 2^e année*) : la 3^e colonne du tableau indique à quel endroit de ces ouvrages se trouve la notion de cours précisée dans la 2^e colonne.

Sujet	Points délicats du cours à revoir	Référence dans le manuel de cours
Sujet 1 : « Le dioxygène et les êtres vivants »	Caractéristiques respiratoires de l'air et de l'eau	2 ^e année ; chapitre 2, § 2.1.3.
	Drainage des gaz dissous par un liquide intérieur circulant	2 ^e année ; chapitre 2, § 2.4.2a
	Contrôle des échanges gazeux respiratoires	2 ^e année ; chapitre 2, § 2.5
	La photorespiration	1 ^{re} année ; chapitre 6, § 6.5.2.
	Conformation des protéines	1 ^{re} année ; chapitre 2, § 2.4.3e.
Sujet 2 : « Stabilité et variabilité de l'IG »	Modifications de l'information génétique lors de son stockage et systèmes de réparation	1 ^{re} année ; chapitre 9, § 9.3.1 et § 9.3.2
	Recombinaison génétique, transposition	2 ^e année ; chapitre 8, § 8.2.2b
	Recombinaisons mitotiques	1 ^{re} année ; chapitre 11, § 11.4.3.
	Recombinaison homologue, croisement test	2 ^e année ; chapitre 8, § 8.2.2a
	Contrôle de l'expression génétique par les états de condensation de la chromatine	1 ^{re} année ; chapitre 10, § 10.3.2a
	Coûts et avantages sélectifs de la reproduction sexuée	2 ^e année ; chapitre 8, § 8.3.2
Sujet 3 : « Changement de taille et de forme des cellules »	Mise en évidence des mouvements gastruléens au cours de l'embryogenèse chez les amphibiens	1 ^{re} année ; chapitre 12, § 12.3.2 et 12.3.3
	Déformations des cellules « en bouteilles » et migrations des cellules mésoblastiques au cours de la gastrulation chez les amphibiens	1 ^{re} année ; chapitre 12, § 12.3.5
	Déformations cellulaires au cours de la mitose et de la cytodierèse animale	1 ^{re} année ; chapitre 11, § 11.1.1 et 11.1.3
Sujet 4 : « Mitochondries et chloroplastes »	Architecture moléculaire fonctionnelle des chaînes respiratoire et photosynthétique	1 ^{re} année ; chapitre 6, § 6.3.3 & 6.3.4 et chapitre 7, § 7.4.5
Sujet 5 : « La compartimentation cellulaire. »	Photorespiration	1 ^{re} année ; chapitre 6, § 6.5.2
	Mise en évidence d'une ddp protonique	1 ^{re} année ; chapitre 7, § 7.4.2
	Architecture moléculaire fonctionnelle de la chaîne respiratoire	1 ^{re} année ; chapitre 7, § 7.4.5
	Origines de la ddp protonique	1 ^{re} année ; chapitre 6, § 6.3.4.d
	Translocation de protons au niveau des complexes mitochondriaux I, III & IV	1 ^{re} année ; chapitre 7, § 7.4.4
	Synthèse d'ATP ne faisant intervenir qu'un seul compartiment (pour comparaison avec celle établie à l'aide de deux compartiments)	1 ^{re} année ; chapitre 5, § 5.2.2c & d
Sujet 6 : « Importance biologique des lipides »	Mise en évidence expérimentale de la fluidité membranaire	1 ^{re} année ; chapitre 3, § 3.1.3b
	Nature biochimique de la lignine	1 ^{re} année ; chapitre 2, § 2.6.1
	Surfactant et ventilation du poumon des mammifères	2 ^e année ; chapitre 2, § 2.2.3b.
Sujet 7 : « La paroi vasculaire et le milieu intérieur des mammifères. »	Mise en évidence du rôle des sinus carotidiens	2 ^e année ; chapitre 19, § 19.2.3
	Contrôle de la vasomotricité des myocytes lisses vasculaires	2 ^e année ; chapitre 19, § 19.1.1 et ex. 19.1
	Rôle du dioxyde de carbone et du dioxygène dans le contrôle de la ventilation	2 ^e année ; chapitre 2, § 2.5.2
Sujet 8 : « Les végétaux et la lumière »	Analyse de répliques membranaires	1 ^{re} année ; chapitre 3, § 3.1.2.
	Électrophorèse	1 ^{re} année ; TP3, § 3.1.3
	Analyse de profils d'hydropathie	1 ^{re} année ; chapitre 3, § 3.1.2.c

Partie 1

Méthodologie

Consignes générales

La présentation des copies

- Les copies doivent être « aérées », structurées et donc comporter des paragraphes clairement identifiables.
- Les titres du plan, les numéros des questions et des documents abordés sont nettement apparents.
- Les illustrations sont régulièrement disposées (au moins pour les sujets de synthèse) et de taille convenable. Elles sont adaptées au sujet, c'est-à-dire qu'elles mettent en valeur par les légendes et les couleurs adaptées, les notions du sujet.

La rédaction

- Elle doit respecter la grammaire et l'orthographe. Elle repose sur des phrases simples.
- Elle ne doit comporter que des abréviations couramment admises (après avoir donné leurs significations au premier usage) et non celles que l'étudiant a pris l'habitude d'utiliser pendant la prise des cours et qui ne sont connues que de lui.

Ces précautions sont importantes à plus d'un titre. Elles attestent du respect pour le travail du correcteur. Elles traduisent également un souci de communiquer (ici par écrit) de façon convaincante.

Sujet de synthèse (type A)

Énoncé

Durée : 3 h 30 minutes

Un arbre est un organisme autotrophe au carbone qui nécessite, pour la réalisation de ses fonctions de nutrition, des coopérations entre cellules dont certaines sont autotrophes et d'autres hétérotrophes au carbone.

Étudiez ces coopérations et montrez qu'elles varient au cours du temps (à l'échelle d'un jour et d'une année).

Vous vous limiterez au cas des angiospermes de milieu tempéré et à la nutrition carbonée.

Nous vous proposons d'organiser votre travail pendant les 3 h 30 minutes de l'épreuve de la façon suivante :

Étapes	Durée approximative
1 Analyser le sujet	10 min
2 Rédiger l'introduction	10 min
3 Construire un plan	10 min
4 Rédiger le corps du devoir	2 h 50 min
5 Rédiger la conclusion	10 min

1 ANALYSER LE SUJET

- Je surligne les mots du sujet à définir. Ne pas négliger les mots ou expressions du langage courant (« coopération entre ») dont le sens doit être parfaitement connu pour pouvoir répondre.
- Je cerne les attendus du sujet.
- Je prends nettement en compte les limites du sujet.
- Je fais la liste des parties de cours que je dois réinvestir en n'oubliant pas que je ne dois pas les réciter mais les utiliser en les adaptant pour répondre vraiment au sujet posé (voir attendus ci-dessus).

Les mots du sujet à définir

« Un **arbre** est un organisme **autotrophe** au carbone qui nécessite, pour la réalisation de ses **fonctions** de nutrition, des **coopérations** entre cellules dont certaines sont autotrophes et d'autres hétérotrophes au carbone.

Étudier ces coopérations et montrer qu'elles **varient au cours du temps** (à l'échelle d'un jour et d'une année).

Vous vous limiterez au cas des angiospermes de milieu tempéré et à la nutrition carbonée. »

Les attendus du sujet

Exposer l'**autotrophie au carbone** au travers de l'exemple de l'**arbre**. Ne pas l'exposer en tant que telle mais sous l'angle des **coopérations intercellulaires** qu'elle implique. Enfin, montrer

comment ces coopérations, malgré des **conditions environnementales changeantes** à l'échelle d'un jour et d'un an, assurent la nutrition.

Les limites du sujet

Sujet limité :

- aux angiospermes, ce qu'implique le programme (les pinophytes sont vus en TP et les fougères arborescentes ne sont pas l'objet de nos cours).
- aux conditions climatiques de milieu tempéré (conformité avec le programme).
- à l'autotrophie et l'hétérotrophie au carbone : exclure l'azote (chapitre photosynthèse 1^{re} année).

Les parties de cours à réinvestir

1^{re} année • Cours : Structure générale du métabolisme et rôle des coenzymes. La photosynthèse eucaryote. Le développement post-embryonnaire des angiospermes : de la jeune plante à la plante différenciée. • **TP** : Organisation de l'appareil végétatif des angiospermes, morphologie & anatomie. **2^e année • Cours** : Les échanges hydrominéreaux entre l'organisme végétal et son milieu. Adaptation du développement des angiospermes au rythme saisonnier.

2 RÉDIGER L'INTRODUCTION

- Je souligne l'intérêt de ce sujet.
- Je définis les termes importants.
- Je pose nettement la problématique en quelques questions (phrases interrogatives) hiérarchisées. Elles attestent de la compréhension du sujet. Elles sont notamment posées en termes de coopérations...
- Je délimite le sujet.
- Je présente les grandes lignes du plan.

Proposition d'introduction

Éléments majeurs du peuplement végétal des terres émergées, les arbres sont tout d'abord des êtres vivants élancés (plusieurs mètres de hauteur), ancrés au sol et projetant dans les airs une canopée essentielle à la vie sur Terre, aussi bien par la matière organique qui y est élaborée et les échanges gazeux avec l'atmosphère qui en découlent (piégeage de CO₂ et libération d'O₂) que par le nombre d'êtres qui y vivent.

À plus petite échelle, un arbre est une **plante ligneuse vivace** dont l'appareil caulinair pérenne est constitué d'un **tronc** le long duquel des ramifications, les **branches**, portent le **feuillage** ; nous nous limiterons ici aux seules angiospermes (les feuillus comme le hêtre, le chêne, le charme...). Elles forment l'essentiel du peuplement forestier des milieux tempérés, régions de moyennes latitudes dont le climat saisonnier est marqué par une période froide hivernale au cours de laquelle le développement est suspendu, et une période estivale modérément chaude et sans déficit hydrique notable. En tant qu'**organismes photosynthétiques** à la surface foliaire considérable, les arbres ont la capacité à se nourrir à partir d'une source **exclusivement minérale** de carbone ce qui fonde leur **autotrophie** à de cet élément. En effet, à partir du CO₂ prélevé dans l'atmosphère, de diverses espèces minérales (dont l'eau) prélevées dans la solution du sol au contact de leurs racines, et de l'énergie lumineuse captée par leurs surfaces foliaires, ils réalisent la synthèse de leurs divers constituants organiques.

À l'échelle cellulaire, seules les cellules parenchymateuses chlorophylliennes des feuilles sont autotrophes au carbone. Toutes les autres cellules, des feuilles, des axes caulinaires et racinaires, sont hétérotrophes et reçoivent de celles-ci leurs excédents de production qui constituent alors leur seul apport carboné. Mais elles sont en contrepartie indispensables au bon fonctionnement des cellules chlorophylliennes, notamment par l'approvisionnement qu'elles leur assurent en

CO₂ et en espèces minérales. L'autotrophie au carbone de l'arbre repose donc sur une action conjointe et coordonnée de ces cellules, *i.e* sur des coopérations entre les différentes catégories cellulaires. La nutrition de l'arbre, à savoir son approvisionnement en nutriments et leur conversion, est donc tributaire de ces coopérations.

Comment les différentes catégories cellulaires coopèrent-elles dans la nutrition des tissus, qu'ils soient autotrophes ou hétérotrophes au carbone ?

Comment lui confèrent-elles, à la lumière, son statut d'autotrophe au carbone ?

L'alternance nyctémérale (jour/nuit) et la succession des saisons au cours desquelles le feuillage disparaît temporairement nous amènent à prendre en compte le problème de l'autotrophie de l'arbre au cours du temps.

Comment les catégories cellulaires d'un arbre contribuent-elles à assurer son autotrophie permanente alors que son potentiel photosynthétique varie au cours du temps à l'échelle d'une journée ou d'une année ?

Nous commencerons par montrer comment les coopérations cellulaires à l'échelle foliaire permettent la nutrition carbonée de l'ensemble des cellules de l'arbre. Nous exposerons ensuite les coopérations mises en jeu dans l'approvisionnement hydrominéral des cellules photosynthétiques du mésophylle. Nous compléterons cette approche spatiale par une approche temporelle en montrant comment les coopérations cellulaires assurent la nutrition continue malgré des conditions de biotope variables à l'échelle d'un jour et d'un an.

3 CONSTRUIRE UN PLAN

- Je structure le plan autour d'un nombre réduit de grandes parties (3 dans notre exemple).
- Je propose des titres qui comportent les mots clés du sujet. Le sujet doit être retrouvé en lisant les titres des grands paragraphes.
- Je propose des titres qui montrent ma compréhension du sujet : « coopération entre cellules ». Ils comportent la mention des partenaires cellulaires impliqués.
- Ces titres sont des réponses aux questions posées dans l'introduction.
- Cette construction repose donc sur le travail précédent et atteste de l'importance de l'introduction.

Proposition de plan

- 1 Des coopérations entre cellules permettant la nutrition carbonée de chaque cellule d'un arbre**
 - 1.1 L'autotrophie des cellules du mésophylle et l'intervention de coopérations entre les cellules de la feuille
 - 1.2 Des coopérations cellulaires permettant l'approvisionnement des cellules chlorophylliennes en carbone minéral (CO₂)
 - 1.3 Des coopérations cellulaires permettant l'approvisionnement des cellules hétérotrophes en carbone organique
- 2 Des coopérations intercellulaires permettant l'approvisionnement hydrominéral des cellules du mésophylle**
 - 2.1 Des coopérations intercellulaires permettant l'élaboration de la sève brute
 - 2.2 Des coopérations intercellulaires permettant l'ascension de la sève brute
- 3 Des coopérations intercellulaires permettant l'autotrophie de l'arbre dans un environnement variable au cours du temps**
 - 3.1 Les variations des coopérations intercellulaires à l'échelle d'une journée
 - 3.2 Les variations des coopérations intercellulaires à l'échelle d'une année