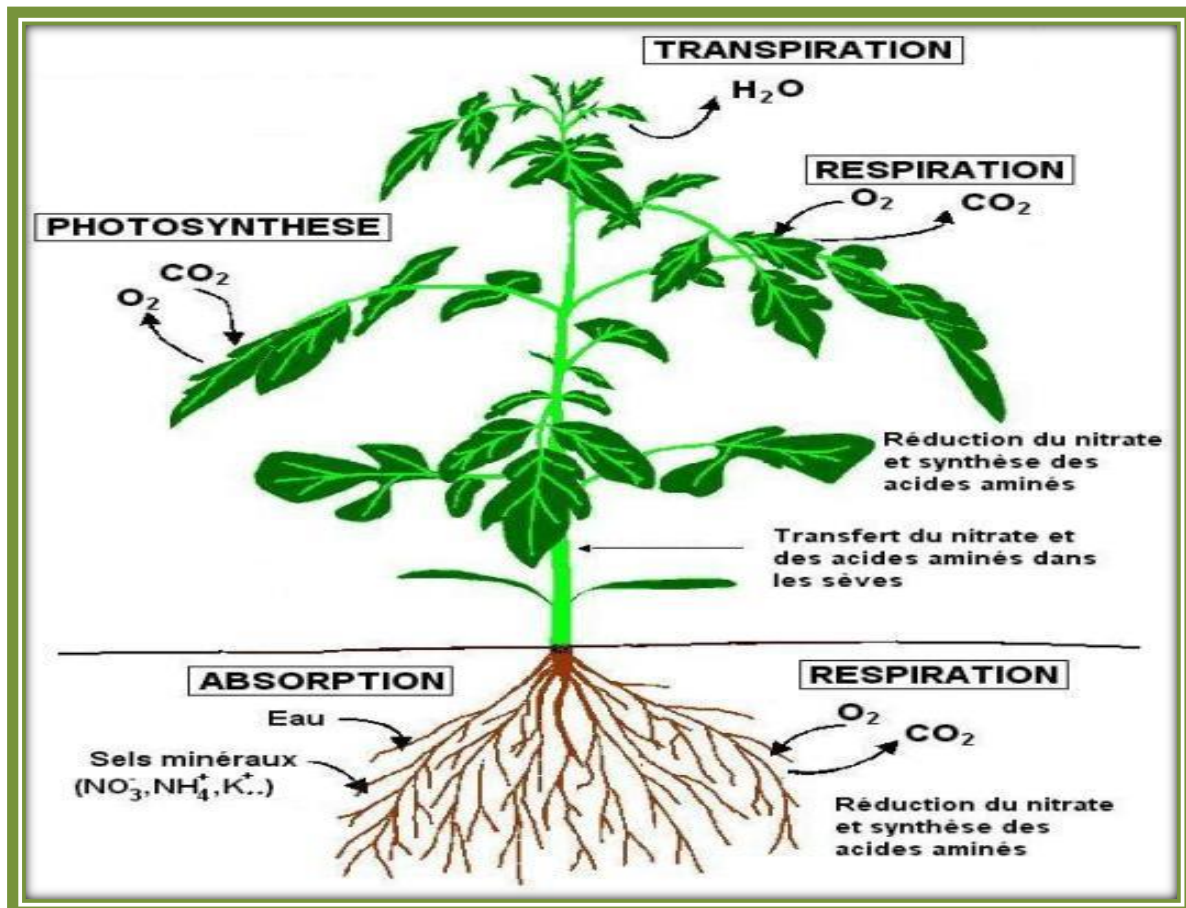


# POLYCOPIE DES TRAVAUX DIRIGES DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Dr. HIMED Louiza



2<sup>ème</sup> année Licence

Filière Sciences Alimentaires

Département des Technologies Alimentaires

I.N.A.T.A.A. Université des Frères Mentouri Constantine 1

## Sommaire

Préambule

### Enoncés

TD N1. Absorption et émission d'eau chez les végétaux .....	1
TD N2. Nutrition azotée et minérale.....	3
TD N3. Nutrition énergétique.....	5
TD N4. Assimilation chlorophyllienne .....	6
TD N5. Développement et croissance.....	8
TD N6. Maturation des fruits .....	10

### Solutions

TD N1. Absorption et émission d'eau chez les végétaux .....	12
TD N2 . Nutrition minérale et azotée.....	18
TD N3. Nutrition énergétique.....	23
TD N4. Assimilation chlorophyllienne .....	29
TD N5. Développement et croissance.....	35
TD N6. Maturation des fruits .....	44
Références bibliographiques .....	47

## **Préambule**

La physiologie végétale est la science biologique qui étudie les processus vitaux des plantes et leurs relations avec le milieu extérieur. Elle s'intéresse aux différents stades physiologiques de la plante, de la germination jusqu'à la maturation des fruits, autrement dit, elle traite le cycle de la graine à la graine.

Le domaine de la physiologie végétale est scindé en deux grands axes : le premier axe regroupe la nutrition et le métabolisme (absorption, biosynthèse, biodégradation, etc.) et le second axe concerne le développement et la croissance (mèrese, auxèse, organogénèse, phototropisme, maturation, etc.)

L'enseignement de cette matière est programmé pour les étudiants de 2<sup>ème</sup> année Licence. Il est conçu pour compléter la matière biologie végétale programmée en 1<sup>ère</sup> année Licence. L'objectif des travaux dirigés de la matière physiologie végétale est d'appliquer les connaissances apprises pendant les cours théoriques, de compléter et d'expliquer certains processus physiologiques de la plante.

Ce polycopié est destiné aux étudiants inscrits en deuxième année Licence, de la filière Sciences Alimentaires et même pour d'autres spécialités des Sciences de la nature et de la vie. Il présente une série de travaux dirigés sur les fonctions physiologiques de la plante à savoir ; absorption et émission d'eau, nutrition azotée et minérale, nutrition énergétique, assimilation chlorophyllienne, développement et croissance et enfin maturation des fruits.

# Enoncés

## TD N1. Absorption et émission d'eau chez les végétaux

### Exercice 1.

Si l'on considère que le mouvement de l'eau résulte de la différence entre deux pressions ;

1. Quelles sont ces deux pressions ?
2. Calculer la pression osmotique exercée à  $-20^{\circ}\text{C}$  par une solution de saccharose à  $171\text{g/l}$ .
3. Quel est l'état dans lequel se trouve la cellule ?

### Exercice 2.

Une racine placée dans un sol riche en sel considéré comme un milieu hypertonique ( $7\text{g/l}$ ).

1. Quel est le mouvement de l'eau ? justifiez
2. Quel est l'état des cellules en contact avec le sol ? sachant que la concentration cellulaire en sel est de  $5\text{g/l}$ .
3. Si l'on considère que les forces de résistance sont nulles.
  - Donner la formule de succion ?
  - Si la pression osmotique  $P_o = 5$  atmosphère, quelle sera la valeur de  $S$  ?
4. Donner la valeur de  $S$  dans l'état d'équilibre d'une cellule.
5. Calculer la pression membranaire sachant que  $S = 12$  atmosphère dans une cellule glucosée à  $58\text{g/l}$  et dans une température de  $18^{\circ}\text{C}$ .

### Exercice 3.

Une plante présentant une surface foliaire de  $0,57\text{m}^2$  est placée dans des conditions contrôlées en présence de  $\text{CaCl}_2$  dont la masse initiale est de  $20\text{g}$ , après 3 heures ce dernier pèse  $27\text{g}$ .

1. Quelle est la fonction physiologique mesurée ?
2. Calculer son intensité.
3. Citer les principaux facteurs internes pouvant la modifier.

### Exercice 4.

Selon Crydle et Blaney, l'ETP est définie comme suit :  $0,254\text{KP} (1,8\text{T} + 32)$ .

$K$  est le taux de couverture de sol en % ;  $P$  est le nombre d'heures diurnes (éclaircements) du mois considéré par rapport à l'année (total d'heures diurnes de l'année).

T est la moyenne mensuelle des (minima + maxima)/2.

Exemple de pomme de terre : si au mois de juin  $P = 7$ ,  $K = 0,9$  et  $T = 20^{\circ}\text{C}$ .

1. Calculer la quantité d'eau évaporée et transpirée potentiellement (ETP).
2. Quel est l'ETR, sachant que  $\text{l'ETR} = 0,8 \text{ ETP}$  ?
3. Dans le cas d'un déficit hydrique, comment doit-on procéder pour avoir un meilleur rendement ?

### **Exercice 5.**

Soit deux cellules contiguës ayant pour composantes de leur potentiel hydrique les valeurs suivantes :

- Cellule 1 : potentiel osmotique = -8 bars, potentiel de turgescence = 8 bars ;
  - Cellule 2 : potentiel osmotique = -6 bars, potentiel de turgescence = 2 bars.
1. Calculer la valeur du potentiel hydrique de chaque cellule, en déduire le sens du flux d'eau entre ces cellules.
  2. Donnez la valeur du potentiel hydrique de ces deux cellules à l'équilibre (on considère que leur volume est identique et que leur capacité hydrique sont semblables et égales à une même constante).

## TD N2. Nutrition azotée et minérale

### Exercice 1.

Soit un tube en U dans le quel nous mettons dans l'une des branches de l'eau et dans l'autre une solution de NaCl. Que se passe-t-il ?

### Exercice 2.

Soit un récipient fermé à sa base par une membrane et surmonté d'un tube fin. On remplit le récipient avec une solution de NaCl, si on le plonge dans un vase plein d'eau pure, on constate un changement, que se passe-t-il ?

### Exercice 3.

Les éléments minéraux sont absorbés sous 3 formes. Quelles sont ses formes ?

### Exercice 4.

Deux éléments le fer et le cuivre agissent par changement de valence quant à leur absorption.

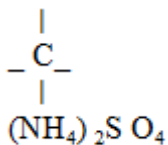
1. A quelle catégorie d'éléments appartiennent-ils ? Citez autres éléments de la même catégorie.
2. Expliquer leur absorption par le changement de valence.
3. Citer les principaux symptômes causés par leur carence.

### Exercice 5.

N est un élément azoté.

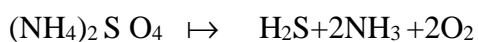
1. Comment s'appelle  $N_2$ . où se trouve-t-il? Quelle est sa nature ? Est-il absorbable par la plante directement? Expliquer.

La décomposition des débris végétaux donne de l'azote sous forme :



2. Est-ce que cette substance est assimilable par les racines des plantes et pourquoi?

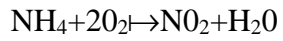
Grâce aux bactéries protéolytiques nous avons :



3. Ce gaz ammoniacal dans le sol peut-il être absorbé par la plante?

4. Que se passe t-il si on ajoute  $H_2O$ ?
5. Quelle est la partie qui est absorbée? Pourquoi?

**Exercice 6.**



1. Est-ce que  $NO_2$  est absorbable ?
2. Dans la fraction  $NaNO_3$  en milieu aqueux, sous quelle forme est absorbé l'azote. De même pour  $(NH_4NO_3)$  ?
3.  $NO_3^-$  n'est pas adsorbé par le complexe électronégatif. Expliquer avec un schéma le pont calcique.

## TD N3. Nutrition énergétique

### Exercice 1.

Une plante fraîche pèse 50g, après dessiccation, son poids est de 10g. Les résultats obtenus sont mesurés à l'obscurité pendant l'intervalle de temps 6h.

Gaz échangé	t1(h)	t2(h)
O <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	220	440

1. S'agit-il d'une: a -transpiration b-respiration c- guttation d-photosynthèse ?

Justifiez votre réponse.

2. Calculer son intensité,
3. S'agit-il d'un substrat : a- amylacé synthétisé b- non amylacé synthétisé c- non amylacé dégradé d- amylacé dégradé ? Justifiez votre réponse.
4. On vous donne un quotient respiratoire  $Q = 1,33$ , peut-on déterminer la nature du produit dégradé, si oui quel est ce produit ?

### Exercice 2.

Quels sont les plus importants processus physiologiques observés dans les conditions normales de lumière, T°, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et O<sub>2</sub>. Justifiez votre réponse.

### Exercice 3.

Donner le bilan énergétique dans le cas où la plante utilise 1 molécule d'acide phosphoglycérique comme substrat énergétique. (Voir planche glycolyse + cycle de Krebs).

### Exercice 4.

Dans le cas de la fermentation, pour avoir le même gain énergétique que celui de la respiration.

1. Quel est le nombre de molécule de substrat à dégrader.
2. Quel est ce substrat?
3. Quel serait le produit formé ? Pourquoi?

### Exercice 5.

Dans le cas de la dégradation d'un acide gras à 20 atomes de carbones, quel est le gain énergétique ? Expliquer.

## TD N4. Assimilation chlorophyllienne

### Exercice 1.

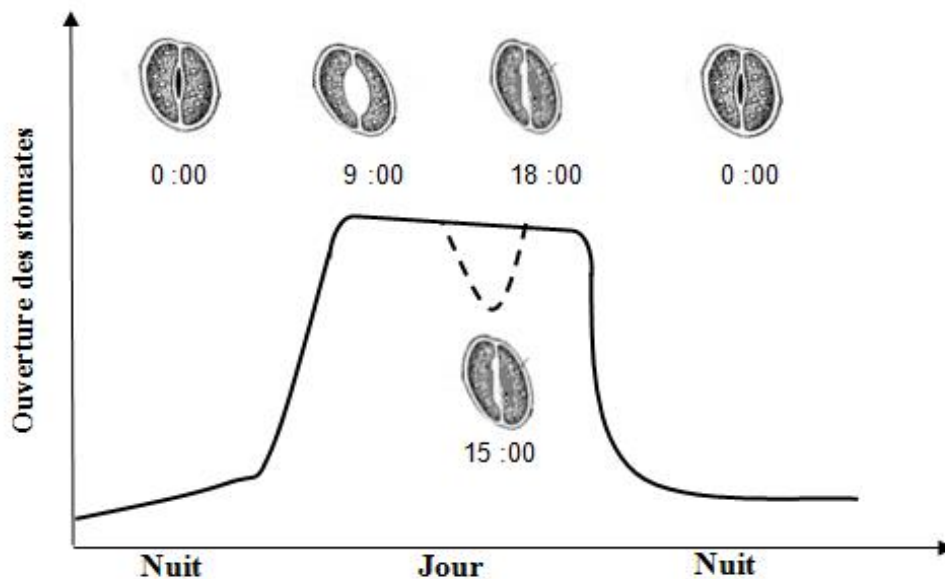
Décrire les principales phases de la photosynthèse en expliquant comment elles sont liées entre elles ?

### Exercice 2.

1. Donnez la définition des différentes appellations des plantes en C3, C4 et CAM.
2. Donnez dans un tableau les différences et les ressemblances des plantes en C3, C4 et CAM.

### Exercice 3.

Le graphique suivant représente l'état des stomates d'un plant de Haricot au cours d'une période de 24 heures.



1. Quel est le phénomène physiologique mesuré ?
2. La ligne pointillée correspond à la fermeture partielle des stomates pendant un après midi chaud et sec.
  - Quel effet ce phénomène a-t-il sur les concentrations de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{l'O}_2$  à l'intérieur de la feuille ?
  - Quel effet a-t-il sur la photo-respiration ?
  - Quels effets aurait-il chez une plante C4 en comparaison avec une plante C3?

- Qu'est ce qui distinguerait le comportement des stomates d'une plante de type CAM du comportement représenté par ce graphique ? Représentez graphiquement le comportement stomatique de ces plantes ?

#### **Exercice 4.**

Ecrire la réaction globale ainsi que le bilan nécessaire à la synthèse de 3 molécules de glucose chez les plantes en C3, C4 et CAM.

## TD N5. Développement et croissance

### Exercice 1.

1. Représenter graphiquement  $y = f(t)$ .
2. Quel est le critère physiologique mesuré et que représente-il ?
3. Quel est le modèle obtenu ?
4. Représenter sur la courbe :  $Y_m$  et  $Y_o$ .
5. D'après les données du tableau, la croissance est-elle régulière ? Expliquer.
6. Après 32 h, la longueur est toujours égale à 15, qu'est ce qu'on peut conclure ?
7. Quelle (s) est (sont) la (les) zone(s) responsable (s) de ce changement ?
8. Schématiser sur un axe vertical cette ou ces zone (s)

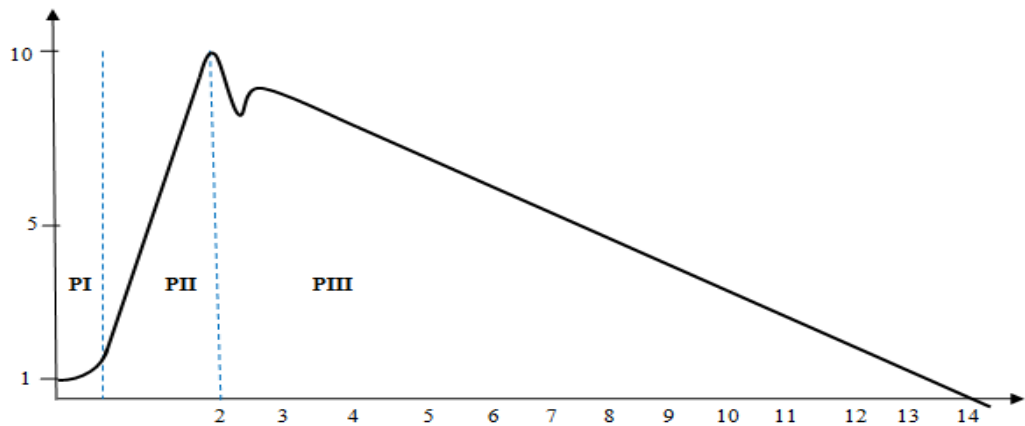
T (h)	4	8	16	24	32
Y (longueur de la tige en mm)	0	1.9	5.7	11.6	15

### Exercice 2.

1. Représenter graphiquement  $y = f(t)$ .
2. Quel est le critère physiologique mesuré et que représente-il ?
3. Quel est le modèle obtenu ?
4. Représentez sur la courbe :  $Y_m$  et  $Y_o$ .
5. D'après les données du tableau, la croissance est-elle régulière ? Expliquer.
6. Citer autres critères pour mesurer cette fonction.
7. Quelle (s) est (sont) la (les) zone(s) responsable (s) de ce changement ?
8. Schématiser sur un axe vertical cette ou ces zone (s)

T (h)	0	4	6	8	10	12
Y (longueur de la racine en mm)	2	3	4	10	17	24

### Exercice 3.



**Figure 1.** Evolution du taux de croissance des segments d'hypocotyles de soja après une application d'auxine.

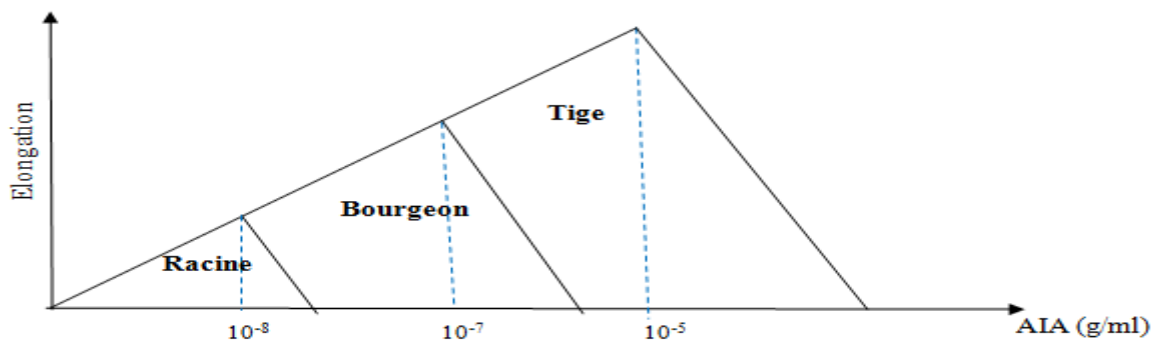
1. Qu'est ce qu'elle représente cette figure ?
2. Interpréter les différentes phases (PI, PII et PIII).
3. Il a été constaté que si l'alimentation est insuffisante ou en présence de l'un de ses inhibiteurs (inhibiteurs de la synthèse protéique ou inhibiteurs de la synthèse d'ATP), l'allure de la courbe change particulièrement au niveau de la deuxième phase. Que peut-on conclure ?

### Exercice 4.

1. Indiquer clairement par un diagramme les différentes étapes du passage d'un méristème caulinaire de l'état végétatif à l'état reproducteur.
2. Expliquer brièvement chaque étape

### Exercice 5.

Interpréter la figure suivante :

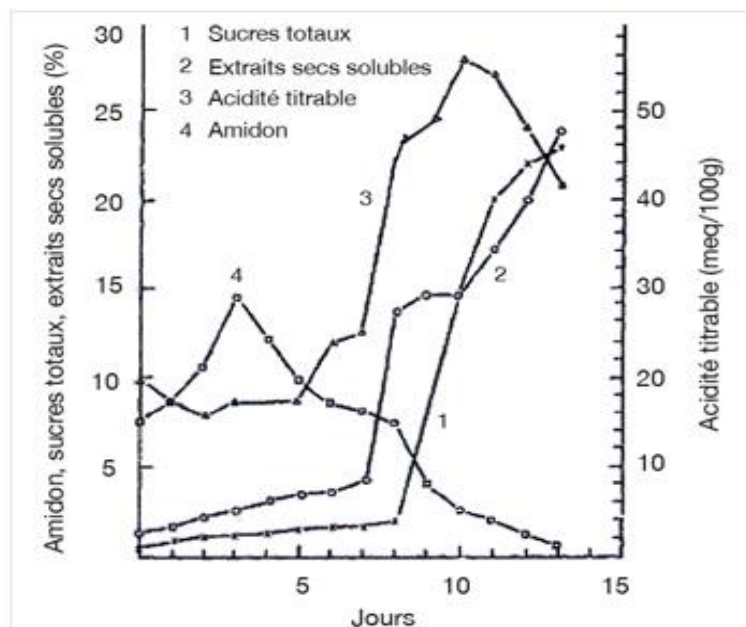


**Figure 2.** Stimulation ou inhibition de la croissance par l'acide indole acétique (AIA)

## TD N6. Maturation des fruits

### Exercice 1.

La figure suivante représente l'évolution des hydrates de carbone au cours de la maturation des fruits du bananier.



Interpréter la figure ci-dessus.

### Exercice 2.

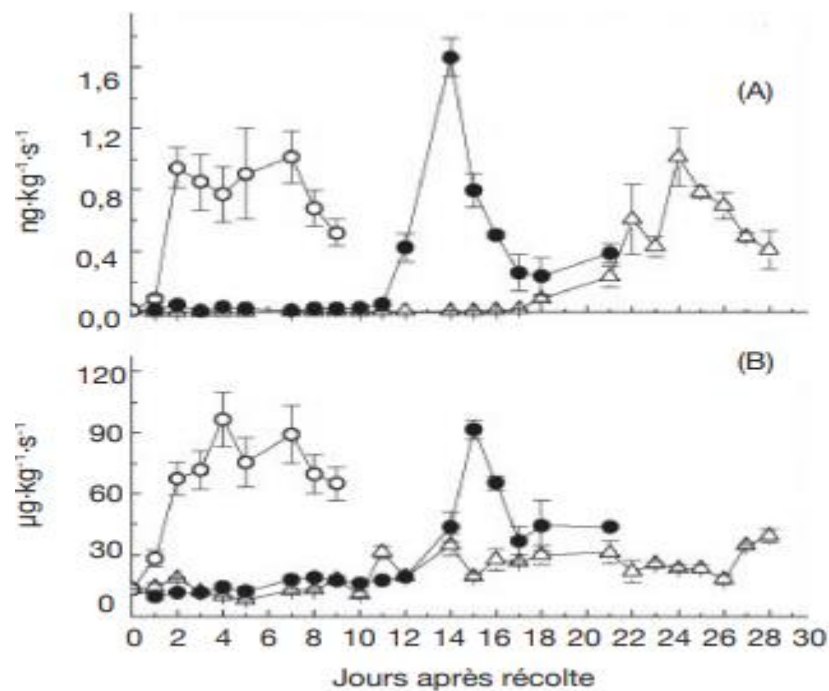
Le tableau suivant représente l'évolution approximative de la pulpe de bananes à différents stades d'évolution. Interpréter ces variations.

**Tableau 1.** Composition approximative de la pulpe de banane à différents stades de maturation (Lii *et al.*, 1982).

Stade	Couleur de la peau	Amidon (%)	Sucre réducteur (%)	Saccharose (%)
1	Vert sombre	61,7	0,2	1,2
2	Vert clair	58,6	1,3	6
3	Vert avec des points jaunes	42,4	10,8	18,4
4	Plus vert que jaune	39,8	11,5	21,4
5	Plus jaune que vert	37,6	12,4	27,9
6	Entièrement jaune	9,7	15	53,1
7	Jaune avec des points noirs	6,3	31,2	51,9
8	Plus jaune que noir	3,3	33,8	52
9	Plus noir que jaune	2,6	33,6	53,2

### Exercice3

Soit la figure ci-dessous représentant la production de l'éthylène et la respiration des bananes. Interpréter ces courbes.



**Figure 2.** L'éthylène et la respiration des bananes. La production d'éthylène endogène (A) et de CO<sub>2</sub> (B) des fruits non traités (•) et ceux traités avec de l'éthylène 100 mg.kg<sup>-1</sup> (o) ou traités avec 10 μg.kg<sup>-1</sup> 1- Méthylcyclopropène (Δ) a été suivie lors de la maturation (Do Nascimento, 2006).

# Solutions

## TD N1. Absorption et émission d'eau chez les végétaux

### Rappel de cours

L'eau est nécessaire à la plante au niveau cellulaire, c'est le milieu où s'effectue toutes les réactions du métabolisme : milieu de dissolution des ions et des solutés. Elle joue plusieurs rôles, notamment le transport de solutés (ions, molécules organiques). Elle constitue aussi le squelette hydrique, responsable du port dressé des plantes (pression de turgescence).

De même le sol, ensemble complexe structuré de substances minérales et organiques. La texture du sol joue un rôle dans sa compacité et détermine la facilité de pénétration dans la racine de la circulation de l'air et de l'eau. En effet, l'eau est liée aux constituants du sol par différentes forces : forces osmotiques, forces de capillarité, elles sont groupées sous terminologie de forces matricielles car elles sont dues à la trame et à la matrice du sol.

Le potentiel d'eau total ou potentiel hydrique est très important à connaître, il détermine la somme des forces de liaison et des forces osmotiques. Loi de l'écoulement de l'eau: le mouvement de l'eau s'effectue dans le sens du potentiel hydrique décroissant, autrement dit du milieu le plus hydraté vers le moins hydraté.

La pression osmotique est la pression qui dépend de la quantité de sels dissous dans l'eau (la solution du sol); elle affecte indirectement le mouvement de l'eau dans le sol. Selon Van't HOFF, la valeur numérique de cette dernière s'obtient par la formule:  $PV=nRT$  (P : pression osmotique ; V : volume, R : constante des gaz parfaits).

L'émission d'eau dans l'atmosphère se fait généralement par la transpiration, définie comme l'émission d'eau à l'état de vapeur par le végétal dans l'atmosphère non saturée en humidité. L'eau est transpirée de la plante vers l'atmosphère par les stomates. Les parties aériennes des végétaux terrestres perdent en permanence de l'eau sous forme de vapeur d'eau vers l'atmosphère. La transpiration est définie comme étant la quantité d'eau émise par unité de temps et unité de masse ou surface de la matière végétale transpirante.

### Exercice 1.

1. Le mouvement de l'eau résulte de la différence entre deux pressions :

- Pression osmotique ( $P_o$ );
- Pression membranaire ( $P_m$ ).

2. Calcul de la pression osmotique :

Selon Van't HOFF :  $PV=nRT$

$$P_o = CRT \longrightarrow C = ? \text{ (concentration molaire de la solution de saccharose)}$$

Saccharose :  $C_{12}H_{22}O_{11}$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mole /l sacc} \longrightarrow 342 \text{ g/l} \\ C \text{ mole/l} \longrightarrow 171 \text{ g/l} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 \text{ mole /l sacc} \\ C \text{ mole/l} \end{array}} \right\} \boxed{C = 0,5 \text{ mole /l}}$$

La concentration molaire de saccharose est de  $C = 0,5 \text{ mole/l}$

$$T = -20^\circ\text{C} = (-20 + 273)^\circ\text{K} = 253^\circ\text{K}$$

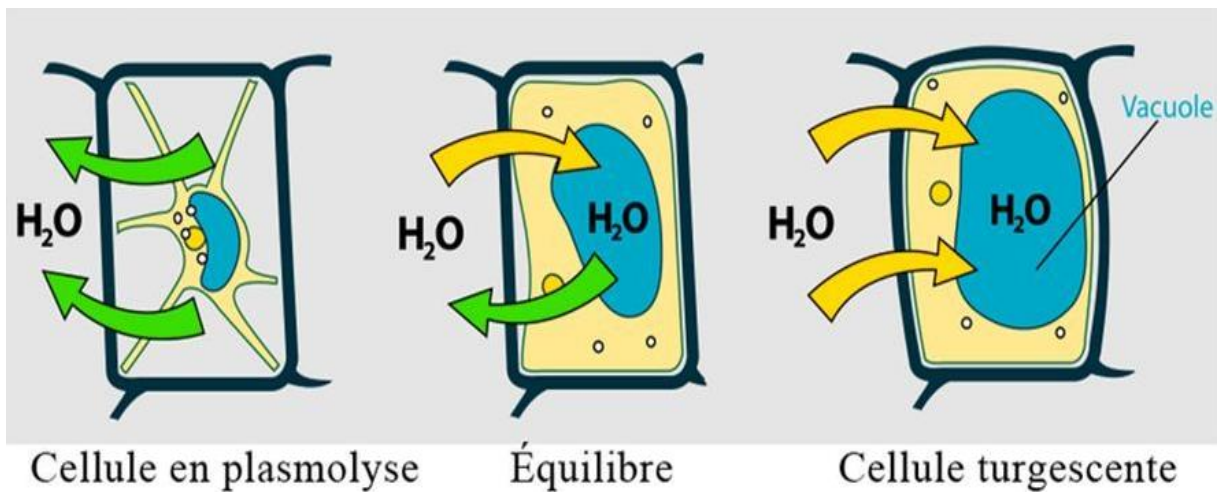
$$P_o = 0,5 \times 253 \times 0,082 = 10,37 \text{ atm}$$

$$\boxed{P_o = 10,37 \text{ atm}}$$

3. L'état dans lequel se trouve la cellule dépend de la concentration des deux milieux.

Puisque nous n'avons pas la concentration du milieu interne, Trois cas sont possibles (Figure 1):

- La concentration de suc vacuolaire est égale à la concentration du milieu externe ; la cellule est dans l'état d'**équilibre** ;
- La concentration de suc vacuolaire est supérieure à la concentration du milieu externe, l'eau entre dans la vacuole et la cellule se trouve en état de **turgescence** ;
- La concentration de suc vacuolaire est inférieure à la concentration du milieu externe ; l'eau sort de la vacuole et la cellule se trouve en état de **plasmolyse**.



**Figure 1.** Différents états dans lequel se trouve la vacuole cellulaire.

## Exercice 2.



**Figure 2.** Racine placée dans un sol hypertonique

### 1. Le mouvement de l'eau :

Selon la loi de l'osmose ; l'eau se déplace du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.  $\longrightarrow$  Donc l'eau se déplace de la cellule (vacuole) vers le sol.

2. L'état dans lequel se trouvent les cellules en contact avec le sol est l'état de plasmolyse.

3. Si l'on considère que les forces de résistance sont nulles :  $P_m = 0$

➤ La succion (S) est la force qui attire l'eau, sa formule est :  $S = |P_o - P_m|$

➤  $P_m = 0 \longrightarrow S = |P_o|$

$$S = 5 \text{ atm}$$

4. La valeur de  $S$  dans l'état d'équilibre d'une cellule est :  $S = 0$ .

5. Calcul de la pression membranaire  $P_m$  :

$$S = |P_o - P_m|$$

$$S = 12 \text{ atm}$$

$$P_o = CRT$$

Glucose:  $C_6H_{12}O_6$

1 mole /l glu	→	180 g/l	} C= 0,32 mole /l
C mole/l	→	58 g/l	

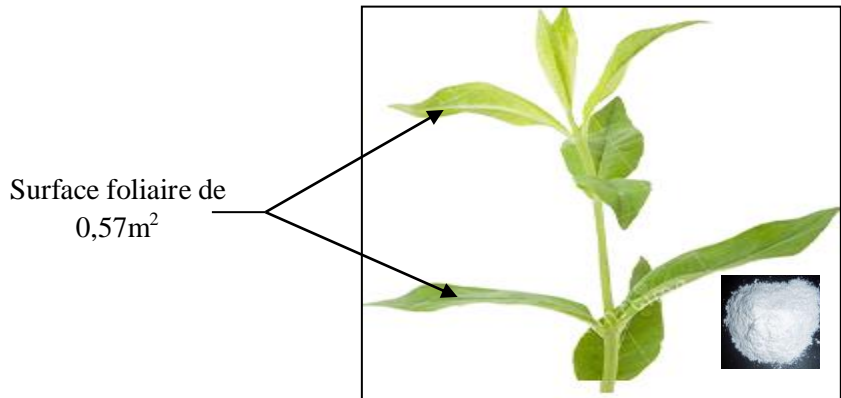
$$P_o = 0,32 \times 0,082 \times (273 + 18)$$

$$P_o = 7,63 \text{ atm}$$

$$P_m = S - |P_o| = 12 - 7,63$$

$P_m = 4,37 \text{ atm}$
--------------------------

### Exercice 3.



**Figure 3.** Plante placée dans des conditions contrôlées en présence de  $CaCl_2$

1. Le  $CaCl_2$  est un déshydratant, il a adsorbé l'eau émise par la plante. Donc la fonction physiologique mesurée est la transpiration.
2. L'intensité transpiratoire est la quantité d'eau émise en (g) par unité de surface  $1m^2$  et par unité du temps **1h**.

$$\Delta m = m_f - m_i = 27 - 20$$

$$\Delta m = 7g.$$

$$\begin{array}{l} 7g \longrightarrow 0,57m^2 \\ x \longrightarrow 1m^2 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 7g \\ x \end{array}} \right\} \boxed{x = 12,28g/m^2}$$

$$\begin{array}{l} 12,28g/m^2 \longrightarrow 3h \\ y \longrightarrow 1h \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 12,28g/m^2 \\ y \end{array}} \right\} \boxed{y = 4,09 g/m^2/h}$$

L'intensité transpiratoire (IT) = 4,09 g/m<sup>2</sup>/h

3. Les principaux facteurs pouvant modifier l'intensité transpiratoire sont :

- Réduction de la surface foliaire ;
- Chute naturelle des feuilles ;
- Cutinisation, lignification et subérisation ;
- Nombre et position des stomates...

#### Exercice 4.

ETP : Evapo-transpiration potentielle c'est la quantité d'eau évaporée et transpirée potentiellement

1.  $ETP = 0,254 KP (1,8T + 32)$

$$ETP = 0,254 \times 7 \times 0,9 (1,8 \times 20 + 32)$$

$$ETP = 108,81$$

2. ETR c'est l'évapo-transpiration réelle

ETR = 0,8 ETP donc 80% est réelle.

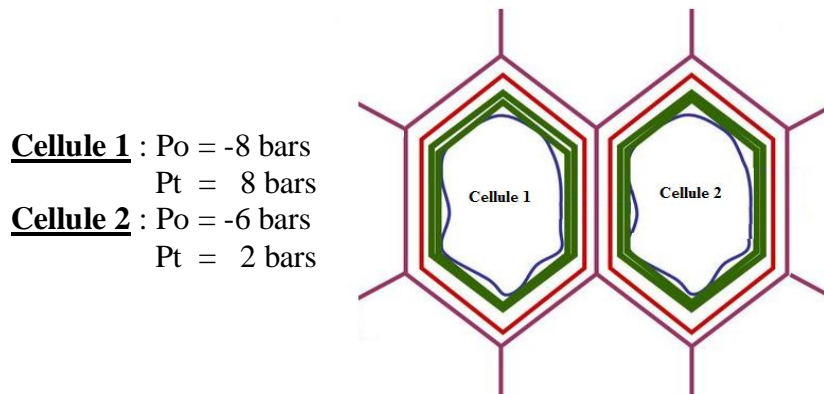
$$ETR = 0,8 \times 108,81$$

$$ETR = 87,04$$

3. Pour avoir un meilleur rendement devant un déficit hydrique, il faut diminuer l'évapo-transpiration. Comme on ne peut pas varier ni la température, ni le temps d'exposition au éclairement, le seul paramètre qu'on peut modifier est la couverture du sol (40 plantes par exemple au lieu du 100 plante dans la même surface).

## Exercice 5.

Deux cellules contiguës



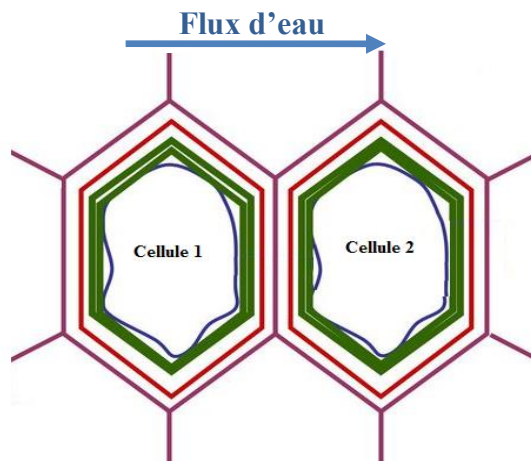
**Figure 4.** Deux cellules contiguës avec un volume et capacité hydrique identiques

### 1. Potentiel hydrique (Ph)

$$Ph_{C1} = P_{oC1} + P_{tC1} = -8 + 8 = 0$$

$$Ph_{C2} = P_{oC2} + P_{tC2} = -6 + 2 = -4 \text{ bars.}$$

En déduire : le mouvement (flux) d'eau se fait toujours **vers** le potentiel hydrique le **plus bas**.  
Donc de la Cellule1 vers la Cellule2.



**Figure 5.** Flux d'eau

### 2. La valeur du potentiel hydrique de ces deux cellules à l'équilibre est :

$$Ph = (Ph_{C1} + Ph_{C2}) / 2 = (0 - 4) / 2$$

$$Ph = -2 \text{ bars}$$

## TD N2 . Nutrition minérale et azotée

### Rappel de cours

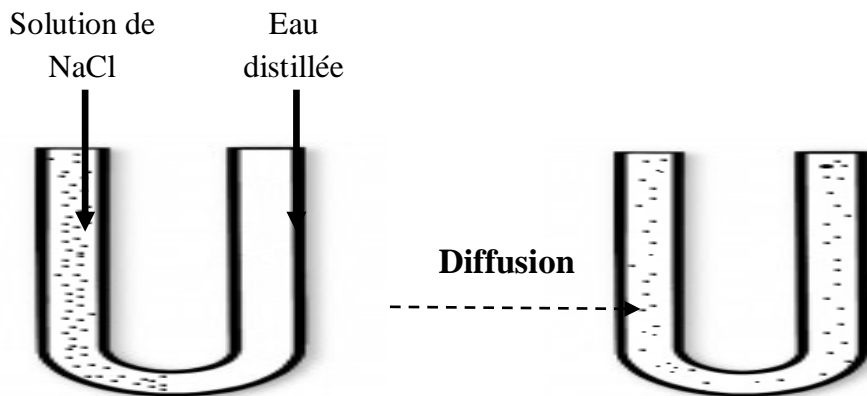
Les plantes se nourrissent de substances minérales qu'elles puisent dans ses deux milieux de vie : l'air et le sol. Par ses organes aériens, la plante absorbe le gaz carbonique de l'air à partir duquel elle photosynthétise des substances de réserve. Par ses racines, la plante absorbe de l'eau, des substances minérales qui y sont dissoutes ou sous forme d'ions.

Les substances minérales se répartissent en Macroéléments: Azote (N), phosphore (P) et potassium (K). Leur concentration est plus élevée dans les végétaux que les autres éléments nutritifs minéraux ; Méso-éléments : Calcium (Ca), magnésium (Mg) et soufre (S). Ils présentent des teneurs, en général, intermédiaires entre les macroéléments et les oligoéléments et en Oligoéléments : Fer (dans le végétal Fe), zinc (Zn), manganèse (Mn), cuivre (Cu), bore (B), chlore (Cl) et molybdène (Mo). Leurs concentrations sont les moins élevées.

Les doses sont mises en évidence par l'action de différentes concentrations en éléments minéraux sur la croissance de la plante.

L'azote est un constituant fondamental des tissus végétaux. Dans la cellule hôte, la fixation de  $N_2$  se fait grâce à des enzymes et coenzymes situés sur la membrane cellulosique. Les produits carbonés issus de la photosynthèse sont oxydés avec production de coenzymes réduits qui vont servir au transfert de  $H_2$  sur la léghémoglobine qui est un pigment fixateur de  $H_2$  et qui colore les nodosités en rôles. La plus part des végétaux utilisent des sels ammoniacaux comme source d'azote soit sous forme d'ions ammonium  $NH_4$ , soit sous forme des ions nitrates  $NO_3$  et nitrites  $NO_2$ . Tous les végétaux sont capables d'assimiler l'azote sous forme organique lorsqu'il s'agit de petites molécules telles que l'acide aspartique, asparagine, glutamique, urée grâce à des microorganismes saprophytes ou parasites, ces derniers le transforment en azote minéral. L'azote organique provient des débris animaux et végétaux, excréments ou de l'apport d'engrais azotés. Trois étapes permettent le passage à l'azote minéral : l'humification (putréfaction), l'ammonisation et la nitrification. Certaines bactéries anaérobioses utilisent les  $NO_3$  pour les transformer en azote gazeux (atmosphérique) appelée bactéries de dénitrification.

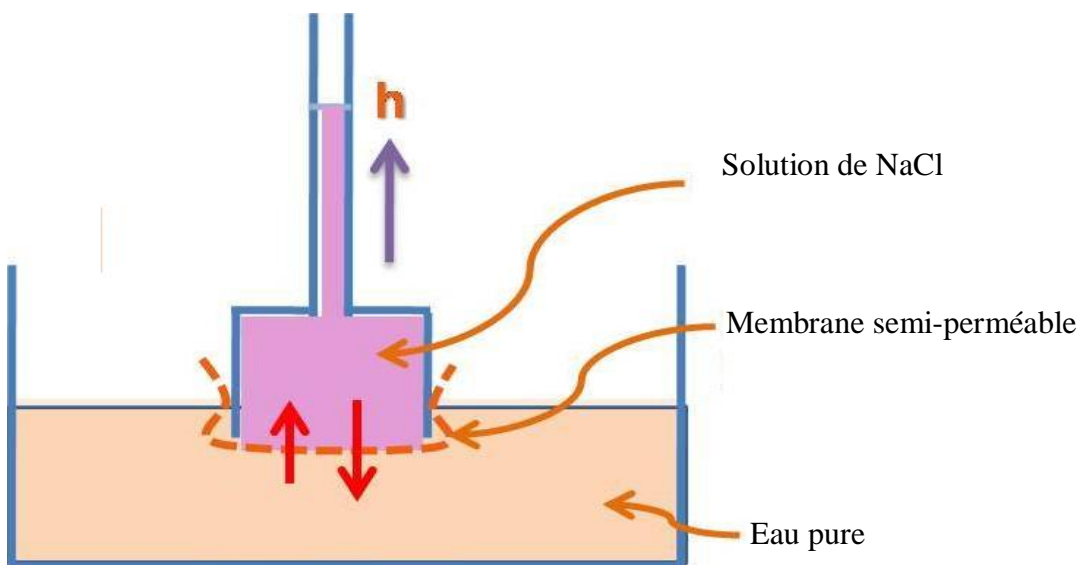
### Exercice 1.



**Figure 1.** Phénomène de diffusion

Les corps en solution tendent à occuper tout le volume des solvants qui leurs sont offerts. Le NaCl se déplace (diffuse) dans l'autre branche et par la suite la concentration de NaCl devient uniforme dans les deux branches : c'est la **diffusion**.

### Exercice 2.



**Figure 2.** Phénomène de l'osmose

La membrane ne laisse pas passer autres molécules différentes des molécules d'eau. La solution s'élève dans le tube jusqu'à un certain niveau. Il y a eu un passage d'eau pure vers la solution de NaCl. Ce passage est dû à une différence de concentration : c'est l'**osmose**.

### Exercice 3.

Les éléments minéraux sont absorbés sous trois formes :

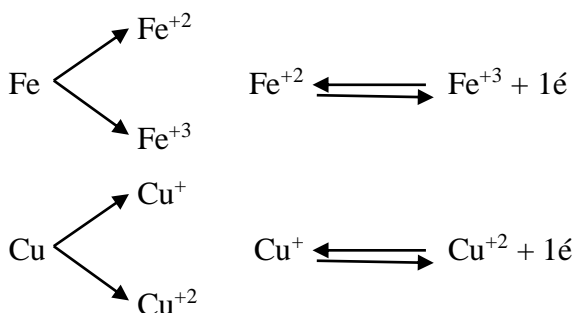
- Soit dissouts dans les solutions nutritives ;
- Soit adsorbés par les colloïdes ;
- Soit intégrés dans des complexes moléculaires appelés chélateurs (la chélation consiste à insérer un atome ou un ion dans une partie d'une molécule le plus souvent des ions métalliques)

### Exercice 4.

1. Le fer et le cuivre appartiennent à la catégorie des oligoéléments.

Autres éléments de la catégorie des oligoéléments : Zn, Mn, Mo, B et Cl.

2. Le fer et le cuivre agissent par changement de valence quant à leur absorption.



Sachant que l'absorption est en fonction de la valence le  $Fe^{+2}$  et le  $Cu^{+}$  sont **mieux absorbés** en raison de leur **faible valence** par rapport à  $Fe^{+3}$  et  $Cu^{+2}$ .

3. Principales symptômes de carence en fer et en cuivre :

- Les fonctions du **fer**, composant essentiel de nombreuses enzymes, concernent la respiration, la synthèse de la chlorophylle et la photosynthèse. Le fer participe aux processus d'oxydoréduction en passant de  $Fe^{+2}$  à  $Fe^{+3}$  avec libération d'un électron. On le trouve dans les cytochromes et les peroxydases.

Les plantes ont développé différentes stratégies pour absorber la quantité qu'il leur faut dans les sols, cependant la carence induite en sol calcaire et alcalin est fréquente et se caractérise par une forte chlorose (jaunissement allant jusqu'à la décoloration) sur les feuilles les plus jeunes. La biodisponibilité du fer diminue fortement en sols basiques par insolubilisation. On remédie à la chlorose ferrique par apport au sol ou par pulvérisation sur les feuilles de spécialités à base de fer.

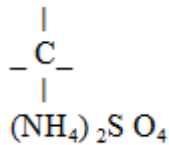
- Le **cuivre** est absorbé par les racines sous forme du cation  $\text{Cu}^{+2}$ . Il est assez abondant dans le sol, mais il est fortement lié/complexé à la matière organique.

Les fonctions du cuivre, composant essentiel de nombreuses enzymes, concernent la synthèse de protéines, particulièrement de la chlorophylle. La stérilité du pollen est un effet particulier de la carence en cuivre. Elle affecte la fécondation et le remplissage des épis chez les céréales à paille, c'est la maladie des « bouts blancs », marquée par des épis vides et des repousses après récolte.

### Exercice 5.

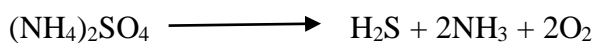
1. Le  $\text{N}_2$  représente l'azote moléculaire, azote gazeux ou azote atmosphérique.
  - Sa nature : gaz
  - Le  $\text{N}_2$  n'est pas absorbé directement par la plante, il est fixé par les bactéries symbiotiques (vivant en symbiose avec les racines).

2. La décomposition des débris végétaux donne de l'azote sous forme :



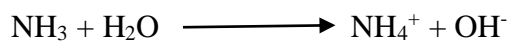
Cette substance n'est pas assimilable par les racines (c'est une matière organique), elle doit d'abord se décomposer.

3. Grace aux bactéries protéolytiques nous avons :



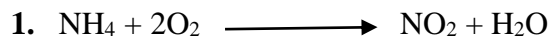
Ce gaz ammoniacal ( $\text{NH}_3$ ) ne peut pas être absorbé par la plante.

4. Si on ajoute de l'eau on aura :

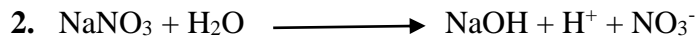


5. La partie absorbée est la forme ionisée de l'azote ( $\text{NH}_4^+$ ).

### Exercice 6.



La forme  $\text{NO}_2$  n'est pas absorbable, elle doit être sous la forme ionique.

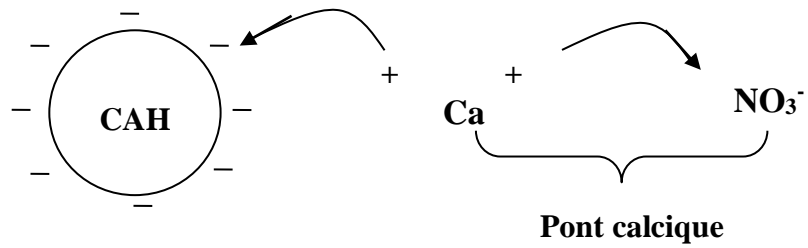


C'est la forme  $\text{NO}_3^-$  qui est absorbée par la plante.



C'est la forme  $\text{NH}_4^+$  et la forme  $\text{NO}_3^-$  qui sont absorbées par la plante.

3. Le  $\text{NO}_3^-$  n'est pas adsorbé par les complexes électronégatifs ; complexe argilo-humique (CAH).



**Figure 3.** Schéma du pont calcique

## TD N3. Nutrition énergétique

### Rappel de cours

Tous les organismes vivants tirent l'énergie nécessaire à leur vie de la dégradation de la matière organique (lipides, glucides et protides) s'effectuant dans la mitochondrie et permettant de produire 90% de l'ATP cellulaire.

Les substances de réserve de nature lipidique sont plus importantes que les réserves glucidiques, elles libèrent plus d'énergie à volume égal. Les lipides sont transformés en acides gras puis ces derniers entrent dans la matrice grâce à un transporteur spécifique situé sur la membrane interne appelé carnitine. Ils sont associés à des CoA pour former l'acétyl CoA-SH. Les réserves glucidiques et protéiques sont aussi dégradées avec formation d'ATP mais moins importantes que celles des lipides.

La respiration est une fonction universelle, elle est responsable de la fourniture énergétique, elle correspond à la dégradation complète, en présence d'O<sub>2</sub>, de la matière organique. Certains organismes sont capables de dégrader un substrat organique, en absence d'O<sub>2</sub>, et former de faibles quantités d'énergie : il s'agit de la fermentation

Les plantes respirent de façon continue et elles ne photosynthétisent que le jour, ces deux échanges sont de même nature (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) mais de sens inverse, En présence de la lumière, la photosynthèse de plus grande amplitude semble masquer les échanges respiratoires.

L'intensité respiratoire (IR), paramètre de mesure de la respiration, est égale au volume de CO<sub>2</sub> dégagé en cm<sup>3</sup> ou volume d'O<sub>2</sub> absorbé en cm<sup>3</sup> pendant l'unité du temps 1h et par unité de poids sec 1g. Elle varie d'une espèce à l'autre et même pour la même plante, varie au cours des différentes étapes de son évolution ou de sa vie.

Le Quotient respiratoire, grandeur qui nous renseigne sur la qualité du substrat dégradé, est égal au rapport des volumes de gaz échangés pendant l'unité de temps 1h par la même quantité de matière sèche (1g).

## Exercice 1

P1= 50g

P2= 10g

$\Delta t = 6\text{h}$  à l'obscurité

Gaz échangé :  $\text{O}_2$

1. La fonction physiologique en question :

- **Transpiration** : évaporation de l'eau des tissus végétaux par les feuilles, elle se fait en présence de la lumière ;
- **Respiration** : absorption d' $\text{O}_2$  et dégagement de  $\text{CO}_2$ , elle se fait en présence de la lumière et à l'obscurité ;
- **Guttation** : dégagement de l'eau sous forme de gouttelettes, elle se fait la nuit et s'observe le matin ;
- **Photosynthèse** : absorption de  $\text{CO}_2$  et dégagement d' $\text{O}_2$ , elle se fait en présence de la lumière.

Donc il ne peut s'agir que de la **respiration**.

2. Intensité respiratoire (IR) : est égale au volume de  $\text{CO}_2$  dégagé en  $\text{cm}^3$  ou le volume d' $\text{O}_2$  absorbé en  $\text{cm}^3$  pendant l'unité du temps 1h et par unité de poids sec 1g.

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ absorbé} &= V_2 - V_1 \\ &= 440 - 220 \end{aligned}$$

$$\text{VO}_2 \text{ absorbé} = 220 \text{ cm}^3$$

$$\begin{array}{l} 220 \text{ cm}^3 \longrightarrow 6\text{h} \\ x \quad \quad \quad \longrightarrow 1\text{h} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 220 \text{ cm}^3 \\ x \end{array}} \right\} \begin{array}{l} x = (220 \times 1) / 6 \\ x = 36,66 \text{ cm}^3/\text{h} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 36,66 \text{ cm}^3/\text{h} \longrightarrow 10\text{g} \\ y \quad \quad \quad \longrightarrow 1\text{g} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 36,66 \text{ cm}^3/\text{h} \\ y \end{array}} \right\} \begin{array}{l} y = (36,66 \times 1) / 10 \\ y = 3,66 \text{ cm}^3/\text{h/g} \end{array}$$

$$\text{IR} = 3,66 \text{ cm}^3/\text{h/g}.$$

3. Nature de substrat :

Pour la respiration le substrat est dégradé pour libérer de l'énergie, donc il ne peut s'agir que d'une dégradation.

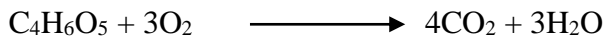
Pour la nature de substrat dégradé, il faut avoir le quotient respiratoire (QR).

Si  $QR = 1$ , le substrat est glucidique ;

Si  $QR \neq 1$ , le substrat est non glucidique.  $\begin{cases} \rightarrow QR < 1 : \text{Acide gras ;} \\ \rightarrow QR > 1 : \text{Acide organique.} \end{cases}$

4. Nous avons  $QR = 1,33$

Donc il s'agit d'un substrat non glucidique ; c'est un acide organique qui est l'acide malique



$$QR = 4 \times 22,4 / 3 \times 22,4 = 1,33$$

### Exercice 2.

Les plus importants processus physiologiques observés dans les conditions normales de lumière,  $T^\circ$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  et  $O_2$  :

- Photosynthèse :  $T^\circ$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  et lumière ;
- Respiration :  $T^\circ$  et  $O_2$  ;
- Absorption de l'eau et des sels minéraux :  $H_2O$  et  $T^\circ$  ;
- Transpiration :  $H_2O$ ,  $T^\circ$  et lumière.

En présence d'un déficit hydrique ; l'absorption et la photosynthèse s'arrêtent ;

En absence de la lumière et de  $CO_2$  ; la photosynthèse n'aura pas lieu ;

En absence d' $O_2$  ; la respiration n'aura pas lieu ;

Si l'un des phénomènes est bloqué : toutes les fonctions seront perturbées.

### Exercice 3.

Le bilan énergétique dans le cas où la plante utilise une molécule d'acide phosphoglycérique comme substrat énergétique est de **16 ATP**. (voir la figure de la glycolyse et celle de cycle de Krebs ci après).

Acide phosphoglycérique  $\longrightarrow$  Pyruvate (1ATP)

Pyruvate  $\longrightarrow$  Acetyl-CoA (3ATP)

Acétyl-CoA  $\longrightarrow$  Cycle de Krebs (12ATP)

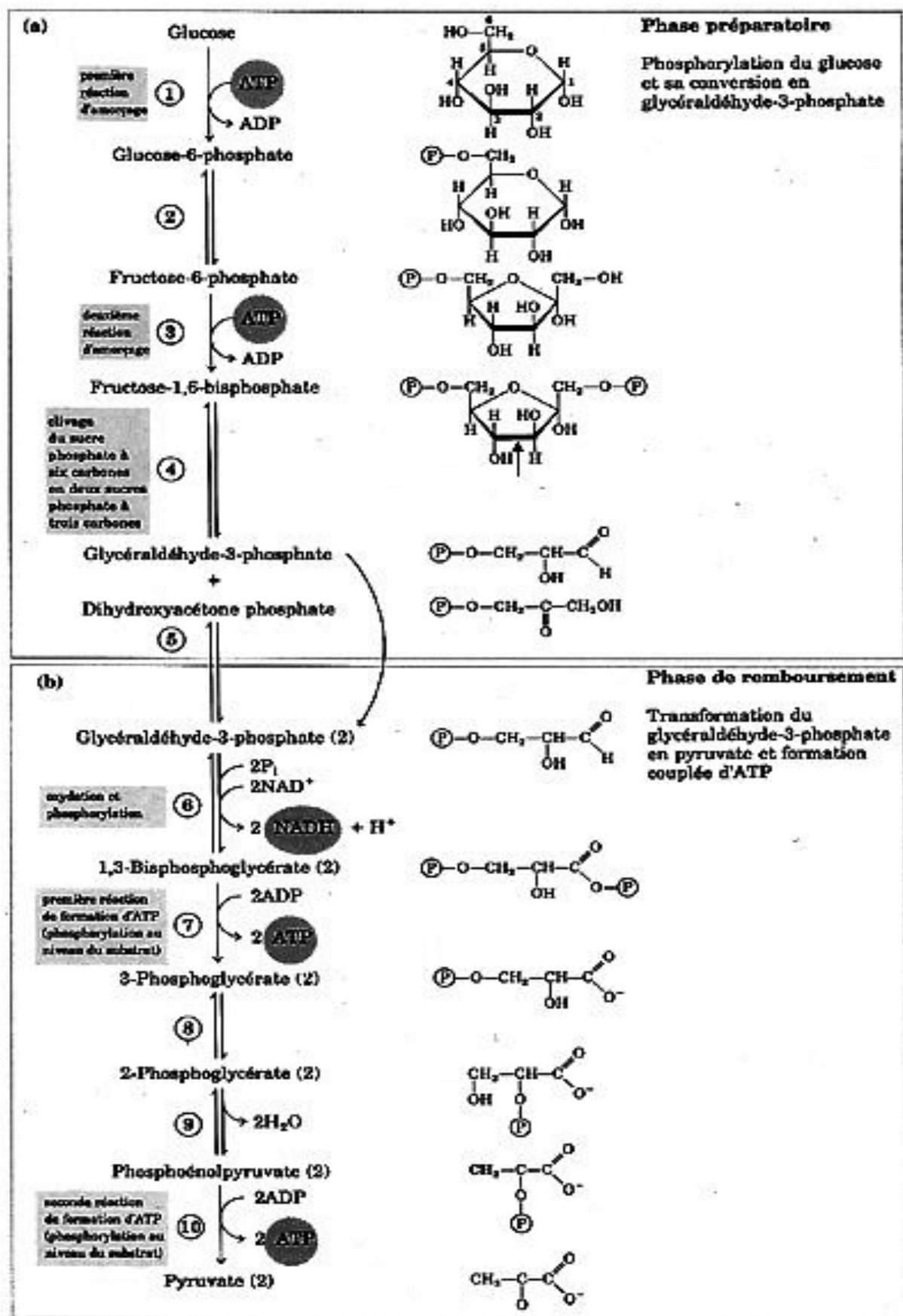
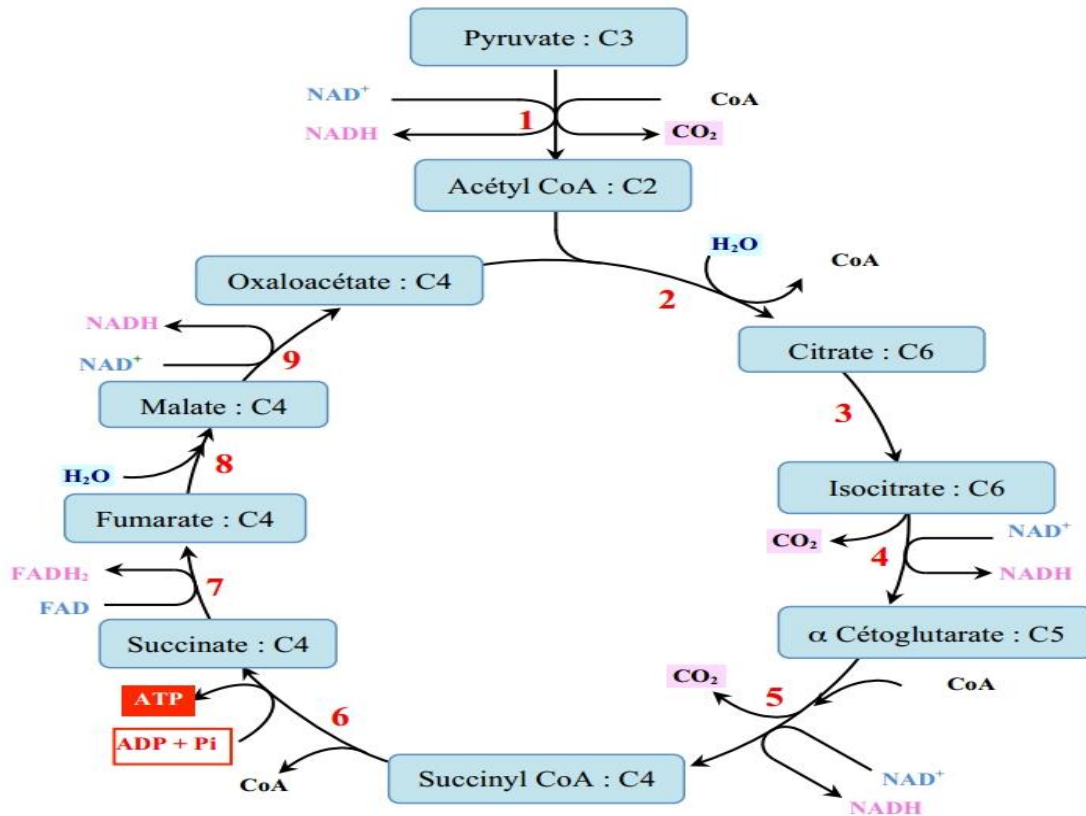


Figure 1. Voie de la glycolyse



**Figure 2.** Cycle de Krebs

#### Exercice 4.

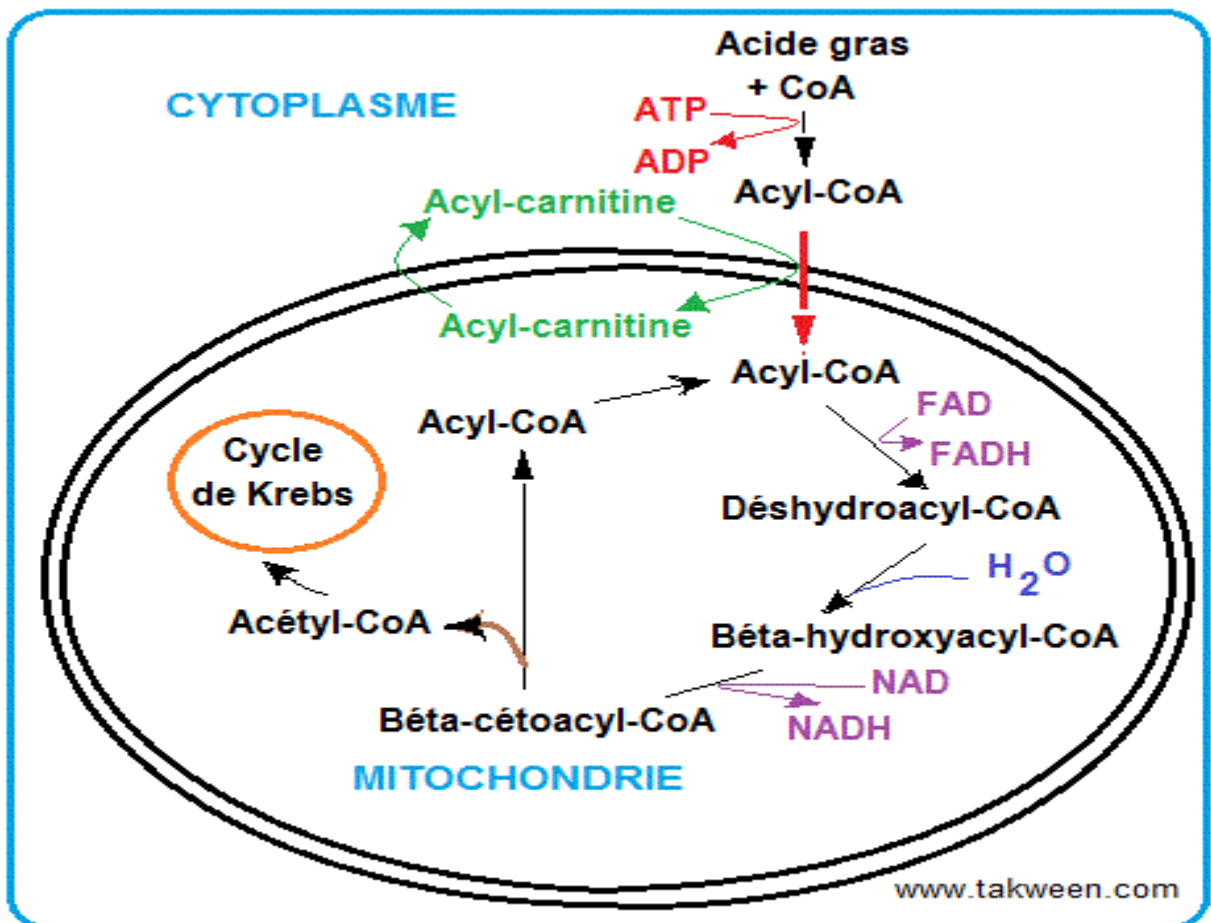
1. Dans le cas de la fermentation, pour avoir le même gain énergétique que celui de la respiration, il faut dégrader 19 molécules de glucose.
2. Le substrat en question est le glucose.
3. Le produit formé lors d'une fermentation dans la cellule végétale est l'éthanol et le  $\text{CO}_2$ .

#### Exercice 5.

Dans le cas de la dégradation d'un acide gras à  $n=20$  atomes de carbones, le gain énergétique est :  $[\frac{n}{2} (\text{Acétyl CoA}) + (\frac{n}{2} - 1) \text{FADH}_2 + (\frac{n}{2} - 1) \text{NADH}_2] - 1$  (voir la figure ci-après)

Bilan  $n=20$  est :  $[20/2 \times (12) + (20/2 - 1) \times 2 + (20/2 - 1) \times 3] - 1$

Le bilan est **164 ATP**



### Acides gras. Béta-oxydation

Figure 3. Voie de la lipolyse (Béta-oxydation)

## TD N4. Assimilation chlorophyllienne

### Rappel de cours

La photosynthèse est le processus physiologique grâce auquel les plantes autotrophes à chlorophylle sont capables d'utiliser et de transformer l'énergie de la lumière en énergie chimique pour assurer leur nutrition. C'est un processus complexe chez les plantes et chez certaines bactéries. Il se fait dans les chloroplastes des cellules végétales ou dans des régions spécialisées de la membrane cellulaire des cellules procaryotes.

La synthèse de composés organiques s'effectue à partir de deux matières premières: l'anhydride carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Cette synthèse conduit au rejet de l' $\text{O}_2$  moléculaire dans l'atmosphère. L'aspect extérieur du phénomène se manifeste par une absorption du gaz carbonique et un dégagement d'oxygène  $\text{O}_2$ .

Chimiquement, la photosynthèse peut être considérée comme une oxydoréduction comprenant deux étapes essentielles: une oxydation de l'eau en oxygène sous l'action des photons (photolyse de l'eau): c'est la phase lumineuse et une réduction du gaz carbonique en glucides: c'est la phase sombre.

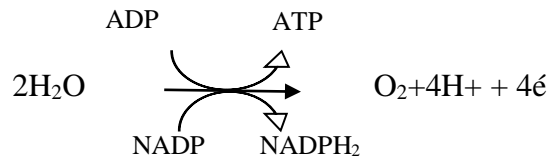
Biochimiquement, il existe trois types de carboxylation qui permettent de classer les espèces végétales en trois grands groupes sur lesquels une nouvelle classification des plantes est fondée. On distingue les espèces de type C3 ( le premier produit formé après fixation du  $\text{CO}_2$  est un métabolite à 3 atomes de carbone qui est le 3-phosphoglycérate (PGA) ; les espèces de type C4 (le premier produit formé après fixation du  $\text{CO}_2$  est un métabolite à 4 atomes de carbone qui est l'oxaloacétate accumulé sous forme de malate ou d'aspartate) et les plantes CAM (Crassulacean Acid Metabolism) dont le premier produit formé après fixation du  $\text{CO}_2$  est encore un métabolite à 4 atomes de carbone qui est l'oxaloacétate accumulé sous forme de malate mais avec un temps de fixation et de conversion de  $\text{CO}_2$  différent de celui des plantes en C3 et C4.

Anatomiquement, les plantes C3 ont seul type de cellules mésophylliennes, les plantes C4 ont 2 types de cellules : mésophylliennes et périvasculaires. Les plantes CAM ont une structure anatomique des plantes de type C3.

## Exercice 1.

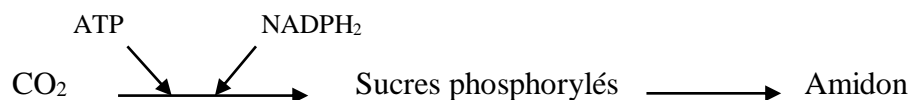
Les principales phases de la photosynthèse sont :

- La phase lumineuse, la phase claire, la phase photochimique, la photolyse de l'eau ou la phase I : oxydation de l'eau en oxygène sous l'action des photons



Cette phase permet l'oxydation de l'eau et la production d'O<sub>2</sub> ainsi que la synthèse du pouvoir assimilateur (ATP et NADPH<sub>2</sub>).

- La phase sombre, la phase obscure, la phase de réduction de CO<sub>2</sub>, la phase de production des glucides, le cycle de Calvin



Cette phase permet la réduction du CO<sub>2</sub> pour la synthèse de la matière organique en utilisant le pouvoir assimilateur formé lors de la phase photochimique.

Donc et pour cette raison, on dit que les deux phases de la photosynthèse sont couplées.

## Exercice 2.

1. Définition des différentes appellations des plantes en C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> et CAM :

**Plantes en C<sub>3</sub>** : le premier composé formé après fixation du CO<sub>2</sub> est un composé à 3 atomes de carbone ; c'est l'acide 3- phosphoglycérique ou le 3 phosphoglycérate. Comme exemple de plantes en C<sub>3</sub> ; le blé, le riz, les tomates, le pommier, etc.

**Plantes en C<sub>4</sub>** : le premier composé formé après fixation du CO<sub>2</sub> est un composé à 4 atomes de carbone ; c'est l'acide oxaloacétique ou l'oxaloacétate. Comme exemple de plantes en C<sub>4</sub> ; maïs, canne à sucre, etc.

**Plantes CAM** : (Crassulacean Acid Metabolism = Métabolisme Acide des Crassulacées) ces plantes diffèrent par leur métabolisme (temps de fixation et de conversion de CO<sub>2</sub>) des plantes en C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>. Ce sont des plantes adaptées à la sécheresse, le métabolisme est proche de celui

des plantes en C4 mais la conversion de CO<sub>2</sub> se fait le jour. Comme exemple de plantes CAM, l'ananas, agave, etc.

2. Les différences et les ressemblances des plantes en C3, C4 et CAM.

Tableau 1. Différences et ressemblances des plantes en C3, C4 et CAM

Paramètres	Plantes en C3	Plantes en C4	Plantes CAM
Produit sur lequel se fixe le CO <sub>2</sub>	Ribulose-1,5 biphosphate	Phosphoénol-pyruvate	Phosphoénol-pyruvate
Produit formé après fixation de CO <sub>2</sub>	Acide 3, phosphoglycérique	Acide oxaloacétique	Acide oxaloacétique
Temps de fixation de CO <sub>2</sub>	Jour	Jour	Nuit / Jour
Temps de conversion de CO <sub>2</sub> en glucides	Nuit	Nuit	Jour
Lieu de conversion	Cellules mésophylliennes	Cellules périvasculaires	Cellules mésophylliennes
Consommation d'ATP	54 ATP	66 ATP	66 ATP
Comportement des stomates	Ouverture le jour Fermeture la nuit	Ouverture le jour Fermeture la nuit	Ouverture la nuit Fermeture le jour

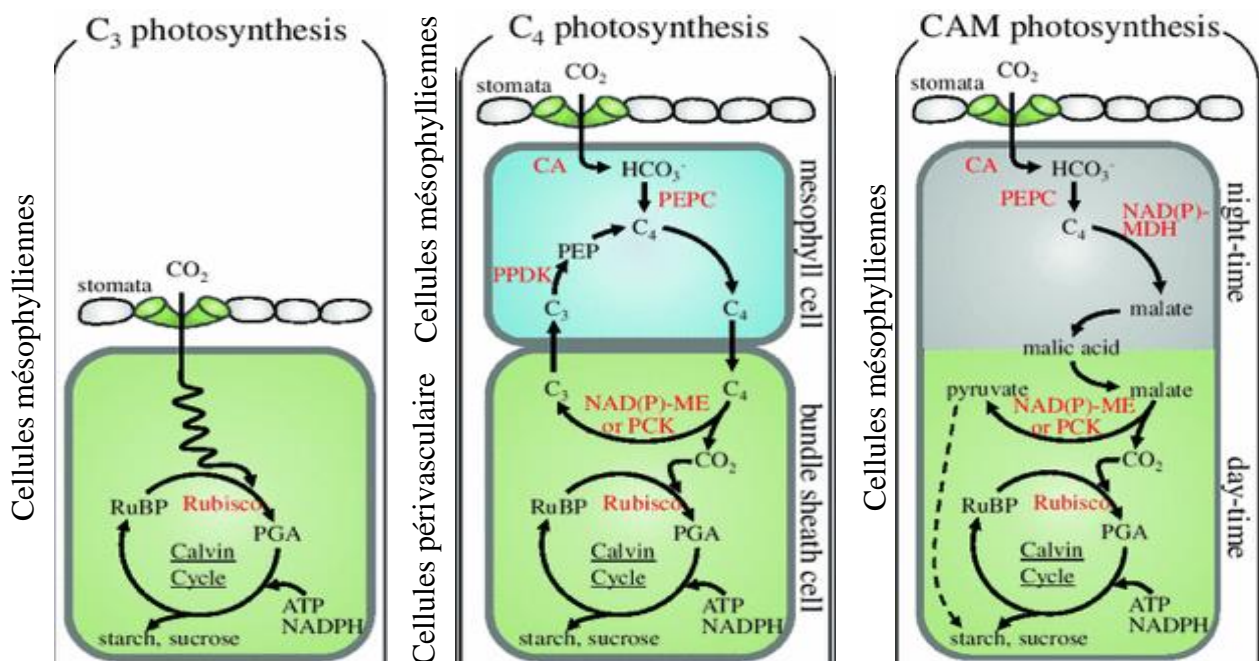


Figure 1. Différences et ressemblances des plantes en C3, C4 et CAM

### Exercice 3.

1. L'haricot est une plante en C3.

D'après le graphique, le phénomène physiologique mesuré est le comportement des stomates (ouverture et fermeture) vis-à-vis de la lumière.

2. La ligne en pointillée correspond à la fermeture partielle des stomates pendant un après midi chaud et sec.
  - Effet de ce phénomène sur les concentrations de  $\text{CO}_2$  et de l' $\text{O}_2$  à l'intérieur de la feuille :

Les stomates jouent un rôle dans :

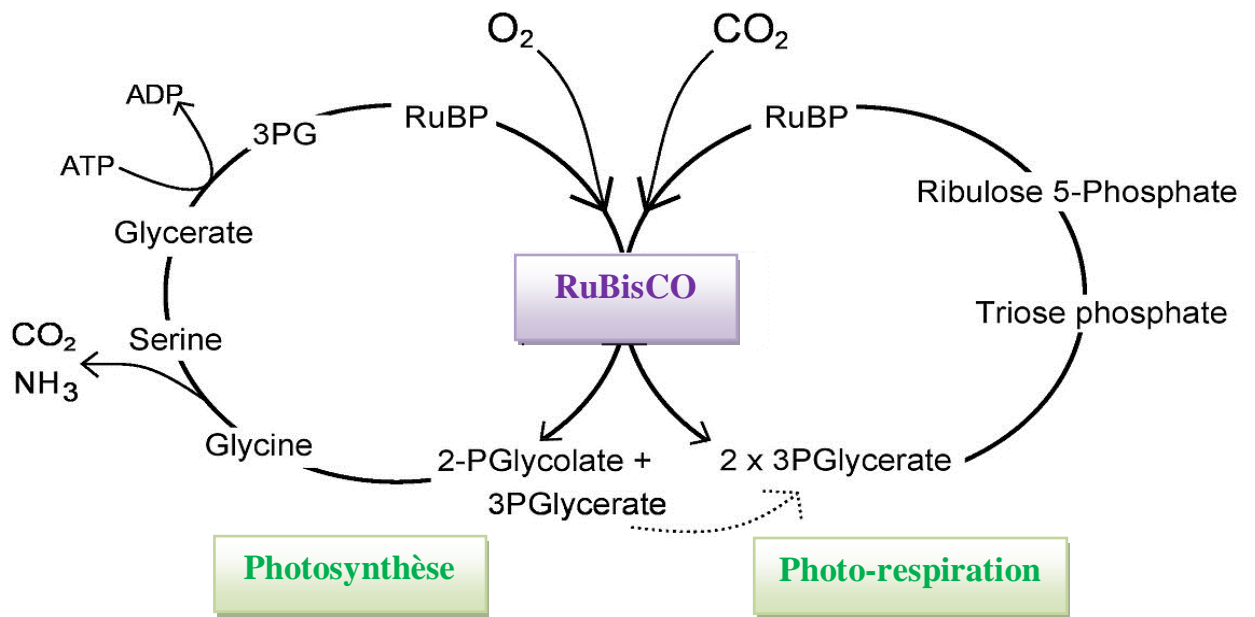
- La diffusion de  $\text{CO}_2$  absorbé dans la feuille ;
- La sortie de l' $\text{O}_2$  dégagé par la photosynthèse ;
- La vaporisation d' $\text{H}_2\text{O}$  qui s'effectue librement pendant leur ouverture ;

➡ S'il ya fermeture des stomates, une diminution du taux de  $\text{CO}_2$  à l'intérieur de la cellule et une augmentation de l' $\text{O}_2$  provenant des réactions photochimiques aura lieu.

- Effet sur la photo-respiration :

La plante réduit sa transpiration par la fermeture des stomates dans les climats chauds pour éviter la déshydratation ce qui provoque une diminution du  $\text{CO}_2$  et une augmentation de l' $\text{O}_2$  provenant de la photolyse de l'eau.

➡ Cette  $\text{O}_2$  remplace le  $\text{CO}_2$  et l'enzyme RuBisCO (Ribulose 1,5- biphosphate carboxylase/ oxygénase) fonctionne comme étant une oxygénase (en présence de  $\text{CO}_2$  elle fonctionne comme carboxylase).

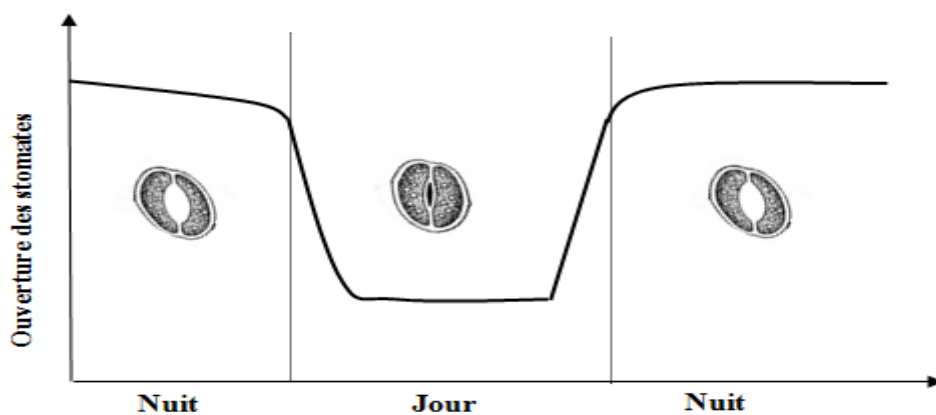


**Figure 2.** Enzyme RuBisCO en photosynthèse et en photo-respiration

- Effet sur une plante en C4 par comparaison avec une plante en C3 :

Les plantes en C3 évacuent par transpiration 600g H<sub>2</sub>O pour chaque gramme de CO<sub>2</sub> qui se transforme en glucides. Cependant, pour les plantes en C4, elles évacuent seulement 300g d'H<sub>2</sub>O pour chaque gramme de CO<sub>2</sub> qui se transforme en glucides. ➡ Les plantes en C4 peuvent assimiler le CO<sub>2</sub> à un rythme plus élevé que les plantes en C3 (2 fois).

- Ce qui va distinguer le comportement des stomates d'une plante CAM du comportement représenté dans le graphique c'est la fermeture de ces stomates la nuit et leur ouverture le jour.

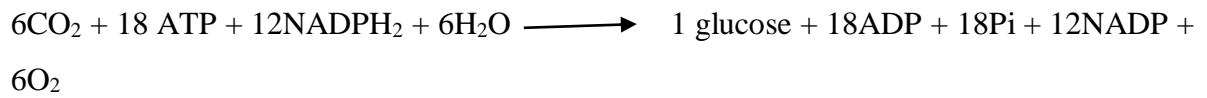


**Figure 3.** Représentation graphique de comportement des stomates vis-à-vis de la lumière des plantes CAM

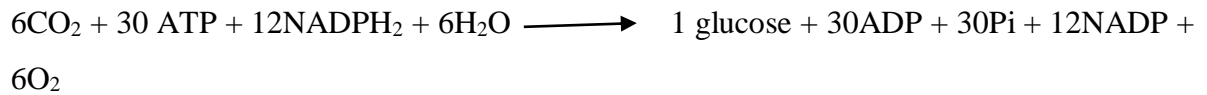
#### Exercice 4.

1. Réaction globale et bilan nécessaire à la synthèse d'une molécule de glucose :

➤ **Plantes en C3 :**

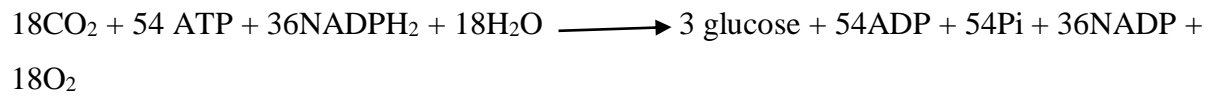


➤ **Plantes en C4 et CAM :**

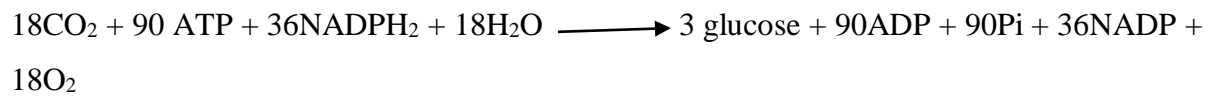


2. Réaction globale et bilan nécessaire à la synthèse de 3 molécules de glucose :

➤ **Plantes en C3 :**



➤ **Plantes en C4 et CAM :**



## TD N5. Développement et croissance

### Rappel de cours

Le terme de développement regroupe toutes les modifications qualitatives et quantitatives qui interviennent au cours de l'édification de la plante.

Les modifications quantitatives sont des phénomènes irréversibles d'augmentation de la taille ou des dimensions (longueur, surface, épaisseur, volume ou masse) : elles caractérisent la croissance. Il s'agit macroscopiquement de l'augmentation de taille des organes et donc la taille des cellules. Au niveau cellulaire, il y a également augmentation du nombre d'organites, du nombre de molécules (lipides, glucides et protides) et de leur taille (principalement les glucides de réserve). Les modifications qualitatives sont des changements des propriétés morphologiques et fonctionnelles : elles caractérisent la différenciation.

Trois processus sont impliqués dans le développement d'un organe ou d'un organisme: la mérése, l'auxèse et la différenciation.

- La mérése qui correspond au mode de croissance par multiplication du nombre de cellules (par mitoses successives). Elle s'opère dans des régions localisées: les méristèmes primaires et les méristèmes secondaires.

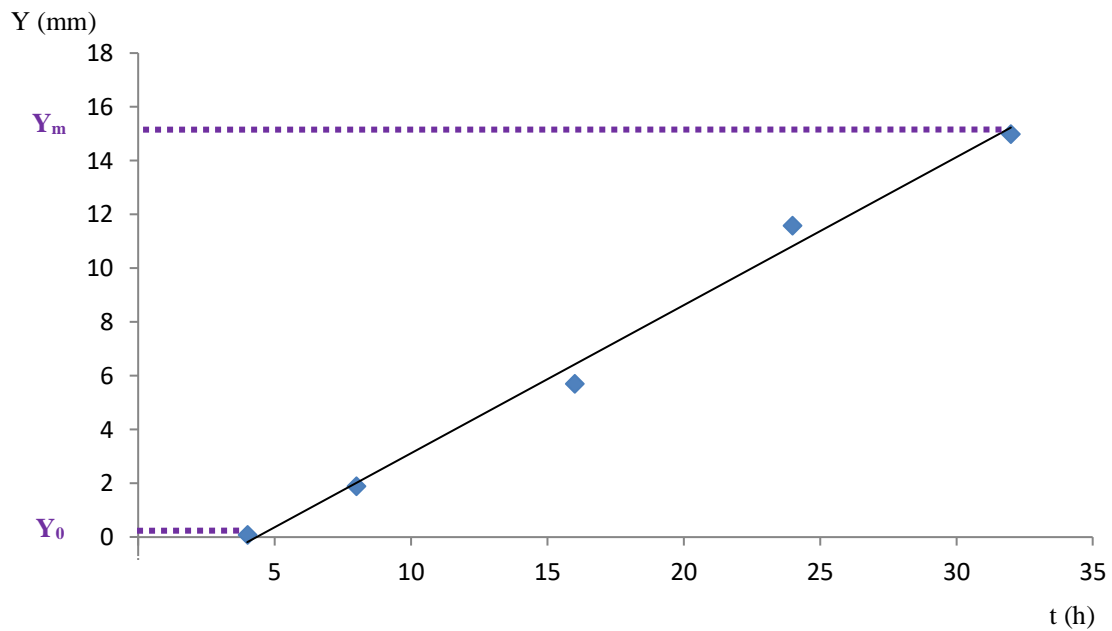
- L'auxèse se traduit le plus souvent par une élongation des cellules, elle présente chez les végétaux des caractères particuliers du fait de la présence de la paroi pecto-cellulosique ; Elle fait appel aux parois primaire et secondaire.

La plante croît suivant un certain rythme de même que ses organes. Cette croissance peut connaître une accélération, une stagnation ou une décélération. Pour mesurer cette croissance, on a traduit son évolution au cours du temps en courbe de croissance en utilisant des modèles mathématiques réduits permettant de dégager des paramètres tels que la vitesse et le taux de croissance.

- Le dernier processus est la différenciation. Il s'agit d'une spécialisation des tissus pour une fonction précise.

## Exercice 1.

### 1. Représentation graphique $Y = f(t)$ :



**Figure 1.** Représentation graphique de la longueur de la tige en fonction du temps.

### 2. Le critère physiologique mesuré est la longueur de la tige en mm.

- Ce critère représente un stade physiologique de croissance : **élongation caulinaire**.
- Autres critères mesurables :
  - Le diamètre ou l'épaisseur de la tige ; croissance en épaisseur ;
  - Le poids de la tige ;
  - La surface foliaire ;
  - La longueur de la racine, etc.

### 3. Le modèle obtenu est un modèle linéaire de la forme $y = at + b$ .

### 4. Représentation de $Y_0$ et $Y_m$ sur la courbe (voir le graphe).

- $Y_m = 15\text{mm}$  s'observe au temps  $t = 32\text{h}$  ;
- $Y_0 = 0$  aucune croissance au temps  $t = 4\text{h}$ .

5. Pour voir si la croissance est régulière ou non, il faut calculer la vitesse ou le taux de croissance à chaque intervalle du temps.

Vitesse de croissance :  $V = \Delta y / \Delta t$

Taux de croissance :  $\Gamma = \Delta y / y\Delta t$

➤ **Vitesse de croissance (V) :**

$$V_1 = \Delta y_1 / \Delta t_1 = (1,9 - 0) / (8 - 4) = 0,475 \text{ mm/h}$$

$$V_2 = \Delta y_2 / \Delta t_2 = (5,7 - 1,9) / (16 - 8) = 0,475 \text{ mm/h}$$

$$V_3 = \Delta y_3 / \Delta t_3 = (11,6 - 5,7) / (24 - 16) = 0,737 \text{ mm/h}$$

$$V_4 = \Delta y_4 / \Delta t_4 = (15 - 11,6) / (32 - 24) = 0,425 \text{ mm/h}$$

La croissance n'est pas régulière car la tige croît avec une vitesse irrégulière

➤ **Taux de croissance ( $\Gamma$ ) :**

$$\Gamma_1 = \Delta y_1 / y_1 \Delta t_1 = (1,9 - 0) / 1,9 (8 - 4) = 0,25 \longrightarrow 25\%$$

$$\Gamma_2 = \Delta y_2 / y_2 \Delta t_2 = (5,7 - 1,9) / 5,7 (16 - 8) = 0,08 \longrightarrow 8\%$$

$$\Gamma_3 = \Delta y_3 / y_3 \Delta t_3 = (11,6 - 5,7) / 11,6 (24 - 16) = 0,06 \longrightarrow 6\%$$

$$\Gamma_4 = \Delta y_4 / y_4 \Delta t_4 = (15 - 11,6) / 15 (32 - 24) = 0,028 \longrightarrow 2,8\%$$

La croissance n'est pas régulière car la tige croît avec des taux différents.

6. Après 32h la longueur de la tige est toujours égale à 15mm, donc il y a stabilisation de la croissance indiquant que 15mm est la longueur maximale.
7. Les zones responsables de cette croissance sont :
- Apex caulinaire ;
  - Méristème intercalaire.

8. Schématisation des zones de croissances de la tige :

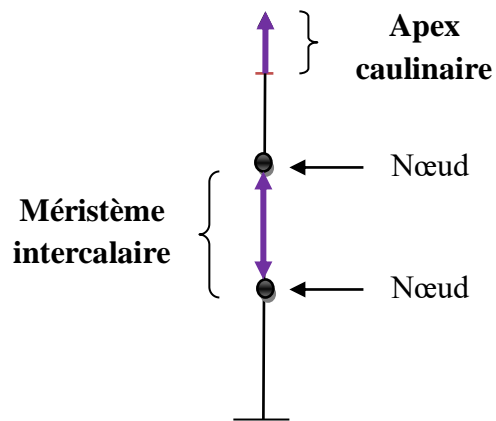


Figure 2. Zones de croissance de la tige (apex caulinaire et méristème intercalaire).

Exercice 2.

Représentation graphique  $Y = f(t)$  :

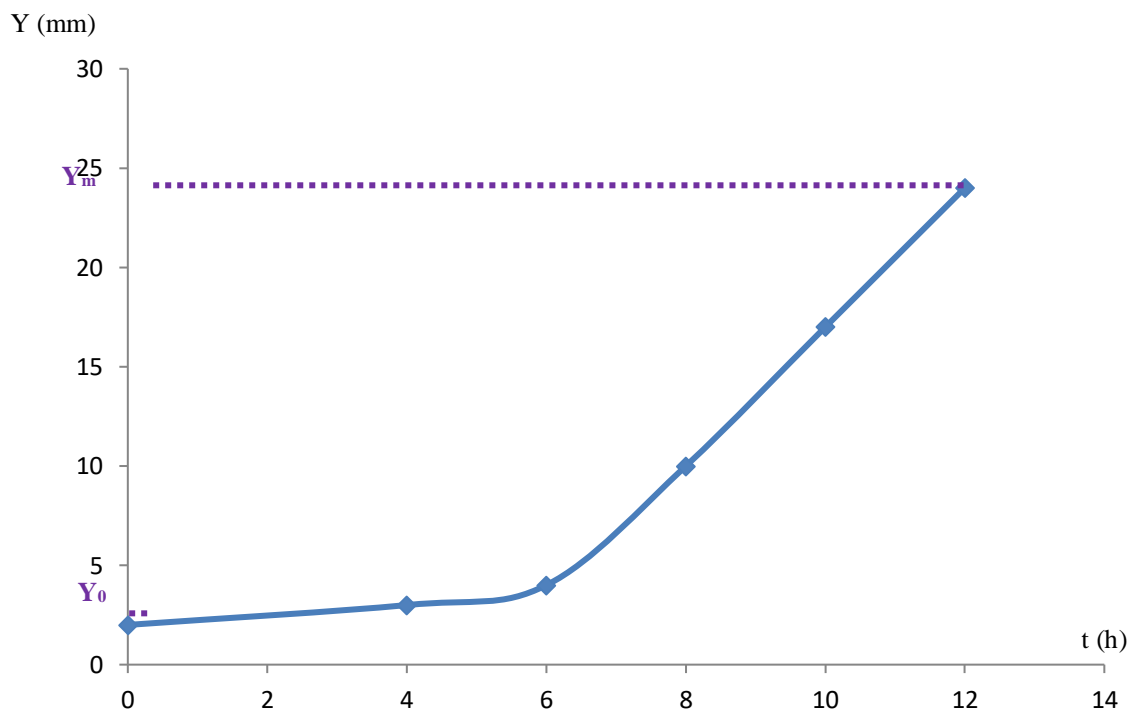


Figure 3. Représentation graphique de la longueur de la racine en fonction du temps.

1. Le critère physiologique mesuré est la longueur de la racine en mm.  
Ce critère représente un stade physiologique de croissance : **élongation racinaire**.
2. Le modèle obtenu est un modèle exponentiel  $y = y_0 e^{\lambda t}$  ( $\lambda$  est une constante).
3. Représentation de  $Y_0$  et  $Y_m$  sur la courbe (voir le graphe).
  - $Y_m = 24\text{mm}$  s'observe au temps  $t = 12\text{h}$  ;

- $Y_0 = 2\text{mm}$  s'observe au temps  $t = 0$ .

4. Pour voir si la croissance est régulière ou non, il faut calculer la vitesse ou le taux de croissance à chaque intervalle du temps.

Vitesse de croissance :  $V = \Delta y / \Delta t$

Taux de croissance :  $\Gamma = \Delta y / y\Delta t$

➤ **Vitesse de croissance (V) :**

$$V_1 = \Delta y_1 / \Delta t_1 = (3 - 2) / (4 - 0) = 0,25 \text{ mm/h}$$

$$V_2 = \Delta y_2 / \Delta t_2 = (4 - 3) / (6 - 4) = 0,5 \text{ mm/h}$$

$$V_3 = \Delta y_3 / \Delta t_3 = (10 - 4) / (8 - 6) = 3 \text{ mm/h}$$

$$V_4 = \Delta y_4 / \Delta t_4 = (17 - 10) / (10 - 8) = 3,5 \text{ mm/h}$$

$$V_5 = \Delta y_5 / \Delta t_5 = (24 - 17) / (12 - 10) = 3,5 \text{ mm/h}$$

La croissance n'est pas régulière car la racine croît avec une vitesse irrégulière

➤ **Taux de croissance ( $\Gamma$ ) :**

$$\Gamma_1 = \Delta y_1 / y_1 \Delta t_1 = (3 - 2) / 3 \times (4 - 0) = 0,083 \longrightarrow 8,3\%$$

$$\Gamma_2 = \Delta y_2 / y_2 \Delta t_2 = (4 - 3) / 4 \times (6 - 4) = 0,125 \longrightarrow 12,5\%$$

$$\Gamma_3 = \Delta y_3 / y_3 \Delta t_3 = (10 - 4) / 10 \times (8 - 6) = 0,30 \longrightarrow 30\%$$

$$\Gamma_4 = \Delta y_4 / y_4 \Delta t_4 = (17 - 10) / 17 \times (10 - 8) = 0,205 \longrightarrow 20,5\%$$

$$\Gamma_5 = \Delta y_5 / y_5 \Delta t_5 = (24 - 17) / 24 \times (12 - 10) = 0,145 \longrightarrow 14,5\%$$

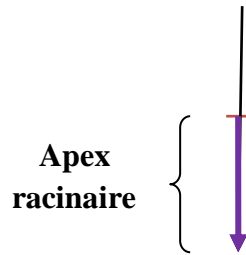
La croissance n'est pas régulière car la racine croît avec des taux différents.

5. Autres critères pour mesurer la croissance de la racine :

- Croissance en épaisseur ;
- Le poids de la racine, ect.

6. La zone responsable de la croissance de la racine est l'apex racinaire.

7. Schématisation de la zone de croissance de la racine :



**Figure 4.** Zone de croissance de la racine (apex racinaire).

**Exercice 3.**

**Hypocotyle** : la partie de la tige située entre la base et les premiers cotylédons de la plante.

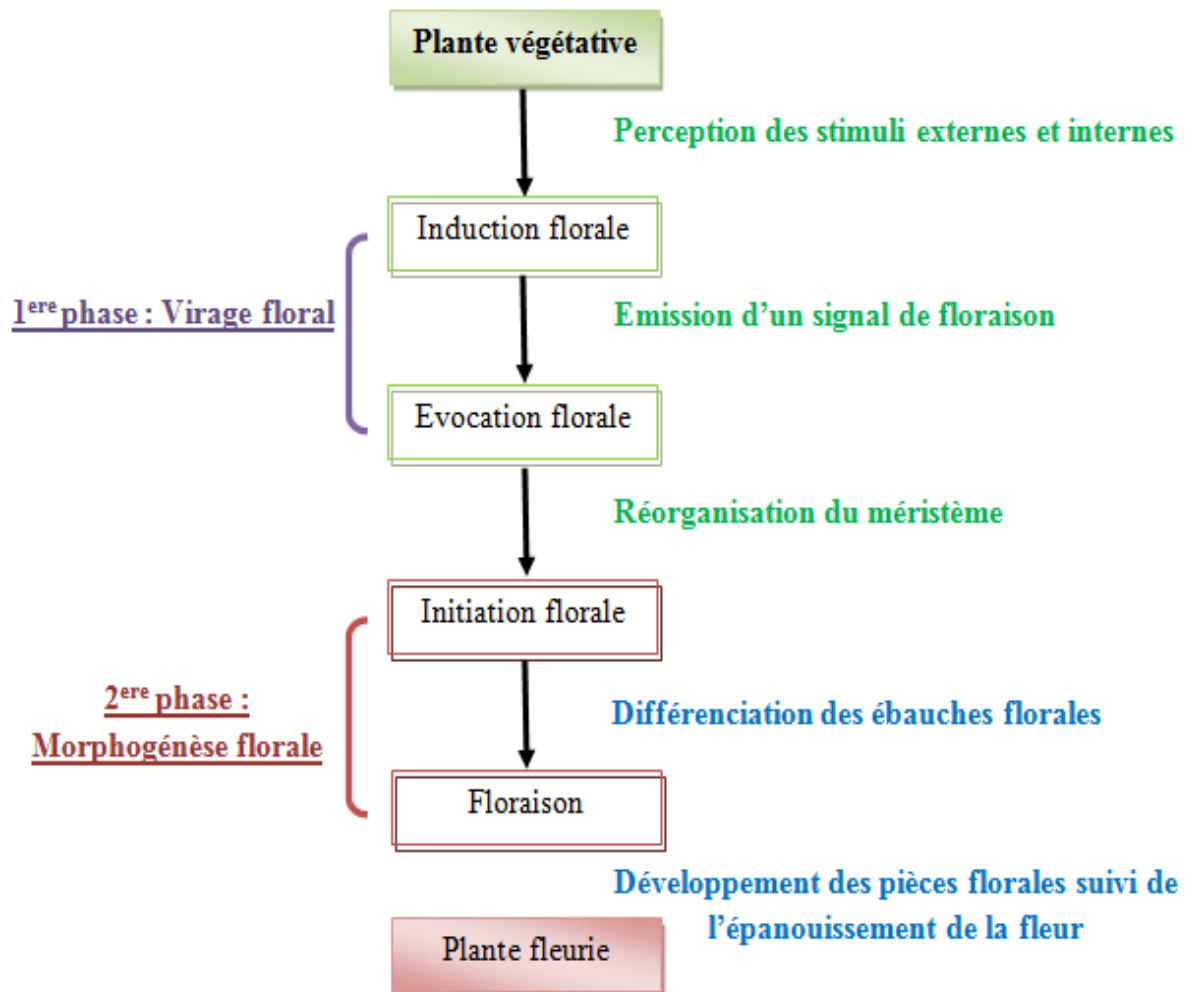
**Auxine** : est une phytohormone de croissance végétale, elle intervient dans les premiers stades.

1. La figure représente la cinétique d'évolution d'hypocotyle de soja en fonction du temps sous l'effet de l'auxine.
2. Interprétation des phases :
  - Phase I : une phase latente et elle dure une dizaine de minutes (l'hypocotyle s'adapte au milieu riche en auxine ;
  - Phase II : une phase de stimulation intense où le taux de croissance augmente très rapidement, permettant d'atteindre en moins de deux heures au taux de croissance ayant 5 à 10 fois la valeur initiale ;
  - Phase III : une phase de régression de la stimulation où après une légère reprise, le taux de croissance diminue pour finalement s'annuler au bout de 14h.
3. Il a été constaté que si l'alimentation est insuffisante ou en présence de l'un de ses inhibiteurs (inhibiteurs de la synthèse protéique ou inhibiteurs de la synthèse d'ATP), son allure change particulièrement au niveau de la deuxième phase. On peut conclure que la stimulation de la croissance exige une alimentation en eau suffisante pour que la turgescence soit maintenue. Elle exige aussi un apport d'énergie important (les

inhibiteurs bloquent la synthèse d'ATP) et une protéogénèse continue (supprimée par les inhibiteurs de la synthèse protéique).

#### Exercice 4.

1. Les différentes étapes du passage d'un méristème caulinaire de l'état végétatif à l'état reproducteur.



**Figure 5.** Diagramme des étapes du passage d'un méristème caulinaire de l'état végétatif à l'état reproducteur.

## 2. Explication des étapes de floraison :

### **Première phase : virage floral**

- **Induction florale** : étape initial, où la prise de décision est faite en fonction des facteurs externes et internes.
  - Stimuli externes : dépendent de la localisation géographique, de la température et de la lumière (environnement) ;
  - Stimuli internes (endogène) : capacité de la plante à fleurir (son âge, taille de l'appareil végétatif, etc.)
  
- **Evocation florale** :
  - Mise en route du programme de floraison induit par les changements visibles dans la plante ;
  - Réorganisation du méristème apical : la plante passe d'un état végétatif à un état reproducteur.

### **Deuxième phase : morphogénèse florale**

A partir de la réorganisation du méristème, le retour en arrière est impossible. La morphogénèse est uniquement sous un contrôle génétique et non sous un contrôle de facteurs environnementaux.

- **Initiation florale** : débute après la réorganisation du méristème préfloral ou inflorescentiel. L'initiation florale est la formation de territoires destinés à former les organes spécifiques de la fleur : les verticilles ; diagramme floral : sépale, pétale, étamine et carpelle.
  
- **Floraison** : formation des fleurs et épanouissement des pièces florales ; ouverture des pétales.

### Exercice 5.

Interprétation de la figure représentant la stimulation ou l'inhibition de la croissance par l'acide indole acétique (AIA) :

- L'action de l'AIA sur l'élongation de la racine est toute différente de son action sur la tige et le bourgeon. Elle se ramène à un effet inhibiteur aux concentrations moyennes ( $10^{-8}$  à  $10^{-7}$  g/ml). Aux concentrations plus fortes, l'AIA est sous action sur l'élongation de la racine ;
- Le bourgeon a un comportement intermédiaire entre celui de la racine et de la tige. On constate une stimulation de la croissance jusqu'à une concentration de  $10^{-7}$  g/ml puis une inhibition au-delà de  $10^{-7}$  g/ml ;
- La croissance en longueur de la tige est contrôlée par l'AIA. Son action est maximale pour les concentrations de  $10^{-6}$  à  $10^{-5}$  g/ml. Au-delà de  $10^{-5}$  g/ml, l'effet stimulant diminue et cède la place à un effet inhibiteur.

## TD N6. Maturation des fruits

### Rappel du cours

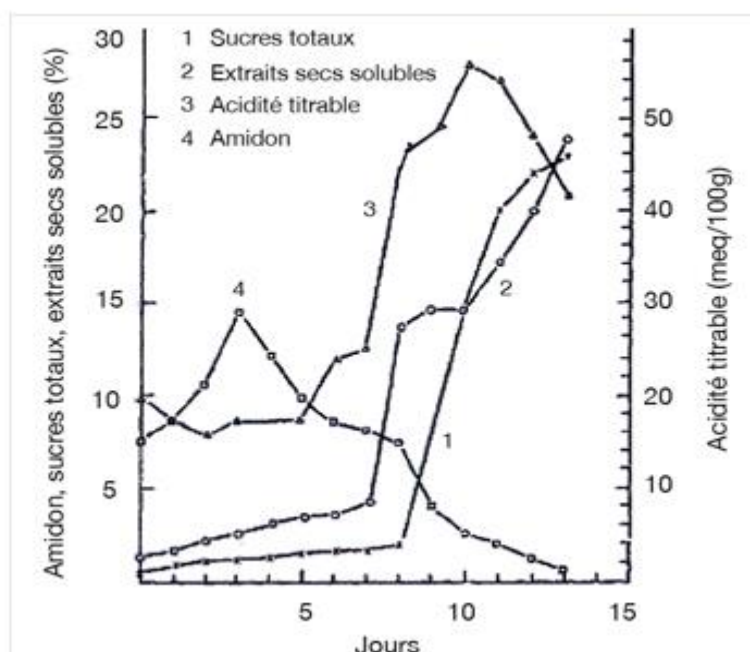
La maturation est la phase du développement des fruits qui s'étend de la véraison (début du virage de la teinte) à la maturité. Il est extrêmement utile, tant du point de vue physiologique que de point de vue industrielle, de pouvoir repérer avec précision à quel stade de son développement est parvenu un fruit à un moment donné ou à quels caractères on pourrait reconnaître que des fruits sont bons à récolter en vue d'un usage précis. Les principaux tests proposés par les auteurs sont : la couleur, la production de cires sur l'épiderme, la biosynthèse de l'éthylène, des modifications biochimiques (teneur en amidon, teneur en sucres solubles, teneur en substances volatiles, lipides, tanins, etc.), la diminution de l'acidité (acides citrique et malique), la solubilisation des pectines, etc.

Chez certains fruits la maturation s'accompagne d'une augmentation de la respiration associée à une brusque stimulation de la synthèse d'éthylène. On appelle ces fruits climactériques. Dans d'autres cas, au contraire, le taux de respiration évolue relativement peu et a même tendance à diminuer ; la synthèse d'éthylène reste faible. Il s'agit des fruits non climactériques.

Lorsque le fruit a franchi le maximum climactérique, l'intensité respiratoire diminue progressivement, le fruit continue à vivre sur lui-même ; les parois cellulaires gélifiées par la pectine et elles ne sont plus perméables au gaz. Les cellules ainsi isolées brûlent les sucres pour continuer à vivre ; les sucres se transforment en CO<sub>2</sub> et en alcool ; au bout de quelques temps les cellules brunissent et meurent.

## Exercice 1.

Interprétation de la figure ci-après :



**Figure 1.** Evolution de l'amidon, des sucres totaux, des extraits secs solubles et de l'acidité titrable dans la pulpe de banane au cours de la maturation (Madamba *et al.*, 1977)

L'amidon est le composant le plus important de la pulpe des fruits du bananier à l'état vert de maturation. La composition des bananes change de manière importante au cours de la maturation. Des auteurs ont étudié le métabolisme des hydrates de carbone dans le fruit à deux stades de maturité du bananier. Leurs résultats indiquent une variation de concentration du glucose, du fructose, du saccharose et de l'amidon lors de la maturité du bananier.

La teneur en amidon des bananes varie en moyenne entre 70 % et 80 % dans la période pré-climactérique (correspondant au non dépolymérisation de l'amidon) à moins d'1 % à la fin de la période climactérique. Par contre, les sucres, principalement le saccharose, s'accumulent à plus de 10 % par rapport à la matière fraîche du fruit. Le total des sucres solubles peut atteindre 16 % ou plus (par rapport à la matière fraîche) à la fin de la période climactérique, indiquant ainsi la vitesse élevée de conversion.

Les amylases interviennent dans l'hydrolyse de l'amidon mais elles ne sont probablement pas liées à la synthèse du saccharose. La conversion de l'amidon en saccharose, au cours de la maturation de la banane, implique plusieurs enzymes et plus d'une voie de synthèse.

L'importance de cette transformation est connue en fonction de la physiologie du fruit mais les mécanismes impliqués sont peu connus.

### **Exercice 2.**

Au cours de la maturation de la banane, les teneurs en amidon, en sucres réducteurs et en saccharose changent du stade 1 de maturation (61,7 % ; 0,2 % et 1,2 %, respectivement) au stade 9 de maturation (2,6 % ; 33,6 % et 53,2 % respectivement) (Tableau 1 de l'énoncé). Des auteurs ont suivi, au cours de la maturation de la banane, les concentrations en amidon, en saccharose, en glucose et en fructose ainsi que les activités de plusieurs enzymes impliquées dans la synthèse du saccharose. L'amidon se dégrade alors que la teneur en saccharose augmente avec accumulation du glucose et du fructose. La teneur en cellulose reste constante au cours de la maturation. L'activité de l'UDP-glucose pyrophosphorylase reste constante, tandis que les activités de la sucrose synthase et de l'invertase augmentent. Ces changements observés au niveau des sucres et des enzymes ont montré que la transformation de l'amidon en saccharose, par l'intermédiaire du glucose 1-phosphate et l'UDP-glucose, pourrait être le mécanisme de la dégradation de l'amidon au cours de la maturation.

### **Exercice 3.**

L'expérimentation a montré que les fruits (bananes) qui ont été exposés à l'éthylène ( $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ont atteint la phase climactérique en 2 jours après le traitement, alors que les fruits non traités ( $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) prenaient 12 jours pour voir leurs caractéristiques de production d'éthylène et du taux de  $\text{CO}_2$  s'accroître (Figure 2 de l'énoncé). Les taux élevés de  $\text{CO}_2$  sont des inhibiteurs de l'action de l'éthylène. Par ailleurs, le pic climactérique est supprimé sous un haut taux de  $\text{CO}_2$ . L'activité enzymatique diminue en stockant le fruit dans une atmosphère de 10 % en  $\text{CO}_2$ . Ces résultats indiquent une relation étroite entre l'activité de cette enzyme et le pic climactérique.

L'activation du NADP-dépendant isocitrate dehydrogenase (NADP-IDH) correspond au pic climactérique de la banane verte traitée avec du propylène dont la structure chimique est proche de l'éthylène. Cependant, cette activité enzymatique est fortement supprimée avec l'exposition du fruit au  $\text{CO}_2$ . Les études ont montré que les basses températures prolongent la durée de survie des fruits et que le froid a un rôle important dans le ralentissement du métabolisme.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- Heller R., 1989. Physiologie végétale. Tome 1. Nutrition, Ed. Masson.
- Heller R., 1989. Physiologie végétale. Tome 2. Développement, Ed. Masson.
- Hopkins W.G., 2003. Physiologie végétale. De Boeck édition, Bruxelles.
- Do Nascimento J.R.O., 2006. Beta-amylase expression and starch degradation during banana ripening. *Postharvest Biol. Technol.*, 40, 41-47.
- Lii C.Y., Chang S.M. et Young Y.L., 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *J. Food Sci.*, 47, 1493-1497.
- Madamba L.S.P., Baes A.U. et Mendoza D.B., 1977. Effect of maturity on some biochemical changes during ripening of banana (*Musa sapientum* L. cv. Lakatan). *Food Chem.*, 2, 177-183.
- Portis A.R., 1990. Rubisco activase. *Biochimica et Biophysica Acta* 1015 : 15- 28.
- Happi Emaga T., Wathelet B. et Paquot M., 2008. Changements texturaux et biochimiques des fruits du bananier au cours de la maturation. Leur influence sur la préservation de la qualité du fruit et la maîtrise de la maturation. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2008 12(1), 89-98