

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage



Bio242

Travaux dirigés de Physiologie Végétale

Ce document renferme une série d'exercices destinés à illustrer les cours et, pour certains, à préparer les TP de Physiologie Végétale. Des exercices similaires sont susceptibles de faire partie de l'examen final de Bio242.

1^{ère} partie – Fonctionnement du chloroplaste

I – Purification d'organites cellulaires et rendement d'extraction

NB : cet exercice ne sera pas corrigé pendant les séances de TD puisqu'il fait appel à des notions étudiées dans l'UE Bio231. La compréhension de l'exercice est toutefois utile pour l'interprétation des résultats obtenus au cours des séances de TP 1 et 2 de Bio242.

1 - Quels sont les critères recherchés lors de la purification d'un organite cellulaire ? Quelles sont les conditions expérimentales requises pour atteindre ces objectifs ?

2 - On réalise l'extraction des chloroplastes à partir de 670 g de feuilles d'épinard. Après broyage et centrifugation, on récupère 12 ml de suspension. Le dosage des chlorophylles (Chl) totales, effectué avec 25 µl de cette suspension projetés dans 10 ml d'acétone à 80%, donne une absorbance de 0,54 à 652 nm dans l'extrait acétonique.

► Calculer le rendement d'extraction des chloroplastes à partir de feuilles d'épinard.

Equation de Bruinsma : $[\text{Chl}]_{\text{mg/ml}} = A_{652} / 36$

Teneur en Chl des feuilles d'épinard : 0,981mg/g de feuille

II – Mise en évidence d'un dégagement d'O₂ au cours de la photosynthèse

1 – On souhaite mettre en évidence de façon expérimentale le dégagement d'O₂ d'origine photosynthétique sur différents échantillons : une feuille, une suspension de chloroplastes purifiés, une suspension de thylacoïdes purifiés.

► Retrouver l'équation globale de la photosynthèse ; en vous aidant d'un schéma simplifié, situer les principales étapes de la photosynthèse dans un chloroplaste.

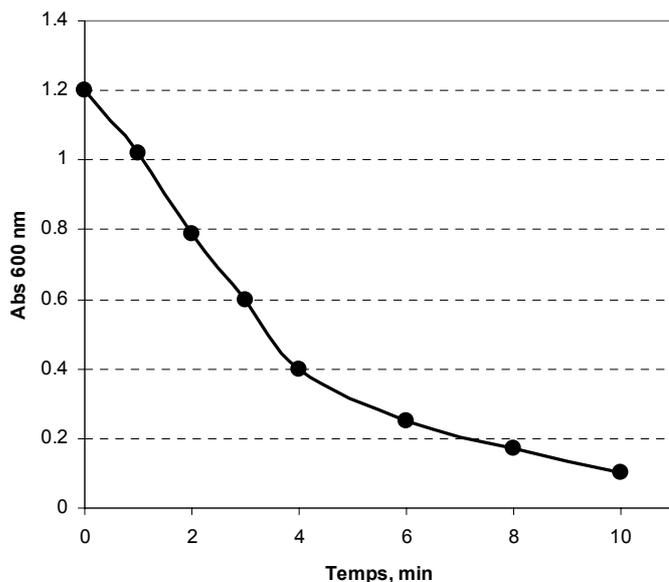
► Que faut-il fournir aux différents échantillons pour observer un dégagement d'O₂ ?

2 – On mesure le dégagement d'O₂ par une suspension de thylacoïdes à l'aide d'un réactif de Hill, le DCIP (dichlorophénolindophénol), qui absorbe à 600 nm à l'état oxydé. L'équation globale de la réaction est :



On prépare le milieu réactionnel en ajoutant 10 ml de milieu tamponné isotonique (saccharose 0,3 M; tampon 10 mM, pH 7,8), 1 ml d'une suspension de thylacoïdes purifiés (100 µg/ml de Chl) et 1 ml d'une solution de DCIP 0,72 mM. Le zéro d'absorbance du spectrophotomètre à 600 nm est réglé avec un milieu réactionnel complet additionné de cristaux de dithionite de sodium (réducteur puissant). Pour effectuer la réaction de Hill, un mélange réactionnel est placé devant une lampe de forte puissance et des mesures d'absorbance à 600 nm sont effectuées à intervalles de temps réguliers. Les résultats sont présentés sur le graphique suivant.

► Calculer la vitesse de dégagement d'O₂ par les thylacoïdes éclairés ; le résultat sera exprimé en µmol d'O₂ dégagé par heure et par mg de Chl.



Cinétique de réduction du DCIP par une suspension de thylacoïdes éclairés.

L'absorbance du DCIP oxydé à 600 nm est mesurée au cours du temps réactionnel, en minutes.

► On réalise la réaction de Hill dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment mais on utilise des chloroplastes purifiés à la place des thylacoïdes. Sachant que la quantité de chloroplastes utilisée dans le milieu réactionnel contient 100 µg de Chl, quelle sera l'allure de la cinétique de réduction du DCIP ?

III – Mise en évidence de la formation d'un gradient de protons au cours de la photosynthèse

On dispose de 10 ml de suspension de thylacoïdes dans un milieu isotonique (teneur en Chl de 0,5 mg/ml). On mesure la variation de pH du milieu extérieur au cours de l'éclairement de cette suspension de thylacoïdes en présence d'un accepteur artificiel d'électrons. A l'obscurité, on note que la valeur du pH du milieu extérieur est égale à 7,10. Lorsqu'on éclaire les 10 ml de suspension, on observe une élévation du pH extérieur dont la valeur se stabilise à 7,23.

► A l'aide d'un schéma simplifié des thylacoïdes établir un bilan des électrons et protons mis en jeu au cours des réactions photochimiques. Rappel : les plastoquinones sont des transporteurs mobiles qui fonctionnent selon l'équation $PQ + 2 H^+ + 2 e^- \leftrightarrow PQH_2$

► Expliquer l'alcalinisation du milieu extérieur observée au cours de l'éclairement.

► Calculer la valeur du pH du lumen des thylacoïdes atteinte au cours de l'éclairement. On sait que le volume moyen du lumen est de 3 µl/mg de Chl. Par ailleurs, on considère qu'à l'obscurité, le pH initial du lumen est égal à celui du milieu extérieur.

2^{ème} partie – Nutrition hydrique et minérale

Pré requis - Avant de réaliser les exercices qui traitent des notions de potentiel hydrique dans les cellules végétales vous devez pouvoir répondre aux questions suivantes :

Qu'est ce que le potentiel hydrique Ψ d'un système ? Quelles sont ces composantes ? Dans le cas d'une cellule végétale quelle est la signification biologique de ces composantes ? Quel est l'intérêt de connaître le potentiel hydrique d'un système ?

Exercice 1

Une cellule dont le potentiel osmotique (Ψ_s) est égal à -1,6 MPa et le potentiel de pression (Ψ_p) vaut +0,8 MPa est placée dans 100 ml d'une solution de saccharose dont le potentiel osmotique Ψ_{sol} est égal à -0,7 MPa.

- ▶ Existe-t-il des mouvements d'eau entre la cellule et la solution ? Si oui, dans quelle direction s'effectuent-ils ?
- ▶ Quelles seront les valeurs du potentiel hydrique (Ψ_c), de Ψ_s et de Ψ_p de la cellule et de Ψ_{sol} lorsque l'état d'équilibre sera atteint ? Quelle(s) hypothèse(s) faut-il émettre pour effectuer ce calcul ?

Exercice 2

Trois cellules issues du même tissu végétal dont les caractéristiques sont $\Psi_s = -1,5$ MPa et $\Psi_p = +0,75$ MPa sont placées dans trois béchers distincts contenant 100 ml d'une solution à 100 mM de saccharose (A), chlorure de sodium (NaCl, B), chlorure de calcium (CaCl_2 , C). L'expérience est effectuée à 27°C.

- ▶ Existe-t-il des mouvements d'eau entre la cellule et les différentes solutions ? Si oui, dans quelles directions s'effectuent-ils ? Dans quelle condition l'équilibre sera atteint le plus rapidement ?
- ▶ Quelles seront les valeurs de Ψ_c , Ψ_s et Ψ_p de la cellule et de Ψ_{sol} de la solution lorsque l'état d'équilibre sera atteint dans les 3 béchers ? Quelle(s) hypothèse(s) faut-il émettre pour effectuer ce calcul ?

Remarque : Le potentiel osmotique de solutions diluées est calculé grâce à la loi de van't Hoff : $\Psi_s = -RTC$ où R est la constante des gaz parfaits ($8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T la température en °K et C la concentration en solutés.

Exercice 3

Une cellule A ($\Psi_{sA} = -2.0$ MPa et $\Psi_{pA} = + 0.6$ MPa) est placée au contact d'une cellule B ($\Psi_{sB} = -1.6$ MPa et $\Psi_{pB} = + 1.2$ MPa).

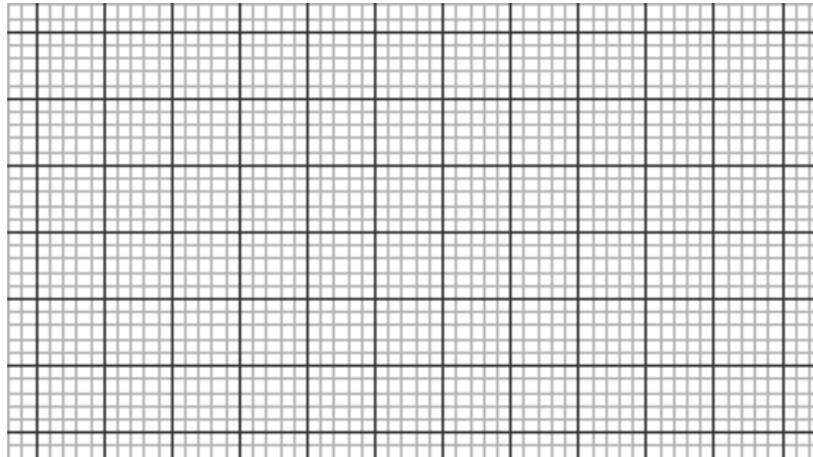
- ▶ Existe-t-il des mouvements d'eau entre les cellules A et B ? Si oui, dans quelle direction s'effectuent-ils ?
- ▶ Quelles sont les valeurs de Ψ_c , Ψ_s et Ψ_p des cellules A et B lorsque l'état d'équilibre est atteint ? Quelle(s) hypothèse(s) faut-il émettre pour effectuer ce calcul ?

Exercice 4 : Détermination expérimentale du potentiel hydrique d'un tissu végétal

On souhaite déterminer expérimentalement le potentiel hydrique des cellules du parenchyme de tubercules de pomme de terre. Pour cela on découpe à l'emporte-pièce des échantillons dont on détermine le poids et que l'on place dans différentes solutions diluées de sorbitol (glucide difficilement absorbé par les cellules). Le volume des solutions est en très large excès (>100 fois) par rapport au volume des échantillons de tissu végétal. Les échantillons sont maintenus dans les différentes solutions pendant plusieurs heures à 20°C puis à nouveau pesés après avoir éliminé l'excès de solution. Dans le tableau suivant les variations de poids, exprimées en % du poids initial, sont reportées en fonction de la concentration des solutions de sorbitol.

Sorbitol, M	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Δ poids (%)	14	12.5	8	-2	-12	-13	-13.5

- ▶ Justifier les précautions expérimentales qui consistent à maintenir un rapport de volume solution/échantillon important et à réaliser l'incubation sur une longue période.
- ▶ Pour quelles raisons les variations de poids sont-elles exprimées en % du poids initial ?
- ▶ Déterminer le potentiel hydrique des cellules de parenchyme de pomme de terre.



Exercice 5 : La survie de plants de tomate à un stress osmotique

Des plants de tomate sont cultivés à 27°C sur une solution nutritive standard de concentration osmolaire totale 0.1 osM. Afin de tester la résistance de ces plants au stress hydrique on ajoute des concentrations croissantes de polyéthylène glycol (PEG) à la solution nutritive. Le PEG est une substance hydrosoluble non ionisable qui ne pénètre pas dans les tissus végétaux. On considère que le potentiel hydrique des racines, mesuré au niveau du xylème, ne varie pas dans les différentes conditions testées, $\Psi_{\text{racines}} = -0,75 \text{ MPa}$.

- ▶ Expliquer en quoi le protocole expérimental utilisé mime des conditions de stress hydrique.
- ▶ Déterminer la concentration en PEG qu'il faut ajouter à la solution nutritive standard pour atteindre le point de flétrissement permanent. Ce point caractérise la teneur en eau du sol en deçà de laquelle le déficit d'approvisionnement en eau affecte le fonctionnement de processus vitaux essentiels (flétrissement).

Exercice 6 : La nutrition minérale en phosphore

Le phosphore est un des 6 macroéléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. Dans de nombreux écosystèmes naturels cet élément est un facteur limitant pour plusieurs raisons : des complexes insolubles et non assimilables se forment entre le phosphore et différents cations présents dans le sol, les formes assimilées par la plante (phosphate PO_4^{3-}) sont très peu concentrées dans la solution du sol (de l'ordre du μM), des zones d'épuisement se forment à proximité des racines. Les symptômes d'une carence en phosphore sont une coloration verte accrue des feuilles, parfois accompagnée d'une coloration rouge due à la production d'anthocyanes, un ralentissement de la croissance et une production réduite de graines. Pour ces raisons les engrais couramment employés en agriculture renferment des quantités importantes de phosphore.

- ▶ Dresser un inventaire des différentes formes organiques contenant du phosphore dans une cellule végétale en précisant leurs rôles biologiques.

Expérience 1 : La morphologie du système racinaire est un des premiers facteurs qui conditionne l'absorption minérale et donc la croissance de la plante. Afin d'étudier l'architecture du système racinaire en fonction de la disponibilité en phosphate inorganique

(Pi) dans le sol des plantules d'*Arabidopsis thaliana* ont été semées sur des milieux de culture contenant 1 mM Pi (milieu standard) ou 5 μ M Pi (milieu carencé). Après 14 jours de culture différentes mesures sont effectuées (tableau 1) : longueur de la racine primaire et du système racinaire complet, vitesse d'incorporation du Pi après incubation du système racinaire d'une plantule dans une solution de Pi radioactif ($^{32}\text{PO}_4^{3-}$).

Tableau 1	Milieu standard (+P)	Milieu carencé (-P)
Longueur racine primaire (cm)	9,5 \pm 1	5,7 \pm 0,7
Longueur système racinaire complet (cm)	21 \pm 3	19 \pm 2
Vitesse d'incorporation du Pi (μ mol Pi / h / g)	1,1 \pm 0,2	5,6 \pm 0,7

Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne \pm écart type de 5 mesures indépendantes. La vitesse d'incorporation du Pi est calculée en μ moles de Pi incorporé par heure et par gramme de matière fraîche.

- ▶ Quelles sont les conséquences de la carence en Pi sur l'architecture racinaire ?
- ▶ Quelles sont les conséquences de la carence en Pi sur la capacité intrinsèque des racines à absorber le Pi disponible dans le sol ? Comment peut-on expliquer ce phénomène au niveau moléculaire ?

Expérience 2 : Un laboratoire a sélectionné un mutant d'*Arabidopsis* qui présente les symptômes d'une carence en Pi (feuilles vert foncé contenant d'importantes quantités d'anthocyanes) lorsqu'il pousse sur un sol contenant une quantité appropriée de phosphore. Différentes expériences sont réalisées afin de comprendre l'origine du phénotype anormal de cette lignée nommée *pho1*.

Des plantules sauvages (wild type, WT) et mutantes (*pho1*) sont cultivées sur un milieu contenant 1 mM de Pi. Après 7 jours de culture les racines et les feuilles sont séparées pour mesurer la masse fraîche, la teneur en Pi et la teneur en phosphate total (tableau 2).

Tableau 2		Poids frais (g)	Pi (μ mol / g MF)	Phosphate total (μ mol / g MF)
<i>pho1</i>	feuilles	6,4 \pm 0,8	5,1 \pm 1,5	15 \pm 3
	racines	3,2 \pm 0,4	15,3 \pm 0,6	39 \pm 2
WT	feuilles	22 \pm 4	10,3 \pm 0,7	29 \pm 3
	racines	7 \pm 1	11,1 \pm 0,4	30 \pm 2

- ▶ A quoi correspondent les valeurs "phosphate total" ? Quel est l'intérêt de mesurer ce paramètre ?
- ▶ Quelles sont les caractéristiques du mutant *pho1* ? Quelles hypothèses peut-on formuler sur la nature de la mutation *pho1* ?

Des plantules WT et *pho1* sont cultivées pendant 14 jours sur un milieu contenant du Pi en quantité non limitante avant d'être transférées pendant 1 heure dans une solution nutritive contenant du Pi radioactif. A la fin de la période d'incubation on détermine la vitesse d'incorporation de la radioactivité dans les racines et le % de radioactivité incorporée qui est retrouvée dans les feuilles. Une expérience similaire est réalisée en parallèle en ajoutant à la solution nutritive du sulfate radioactif ($^{35}\text{SO}_4^{2-}$) à la place du Pi radioactif. Les résultats des expériences d'incorporation sont rassemblés dans le tableau 3.

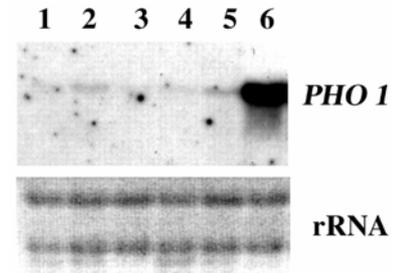
Tableau 3		Absorption racinaire (nmol / h / g)	Transfert vers les feuilles (%)
<i>pho1</i>	Pi	1559 \pm 144	0,9 \pm 0,1
	Sulfate	367 \pm 34	35 \pm 3
WT	Pi	1593 \pm 130	22 \pm 3
	Sulfate	391 \pm 45	25 \pm 4

Les vitesses d'incorporations de Pi et sulfate sont exprimées en nmoles incorporées par heure et par gramme de matière fraîche.

► Ces expériences permettent-elles de confirmer/infirmes les hypothèses émises précédemment ? En quoi l'expérience d'incorporation de sulfate est-elle importante ?

Le gène affecté dans le mutant *pho1* a été identifié et caractérisé. PHO1 code une protéine de 782 acides aminés qui possède 6 hélices transmembranaires prédites. L'expression du gène PHO1 dans différents organes d'*Arabidopsis* est analysée par Northern blot (Figure 1).

Figure 1 : Expression tissulaire du gène PHO1 d'*Arabidopsis*. Des ARN sont extraits à partir de différents organes d'*Arabidopsis*, séparés en gel d'agarose puis hybridés avec une sonde PHO1. Une coloration du gel au bromure d'éthidium permet de visualiser les ARN ribosomiques (rRNA). 1, graines ; 2, feuilles de la rosette ; 3, tiges ; 4, feuilles de la tige ; 5, fleurs ; 6, racines.



Le promoteur du gène PHO1 a été cloné en amont du gène rapport GUS codant la β -glucuronidase (fusion transcriptionnelle). Lorsque l'enzyme GUS est exprimée elle est capable de cliver son substrat X-Gluc pour produire un composé bleu insoluble qui permet de localiser l'enzyme au niveau tissulaire et cellulaire. Des plantules WT d'*Arabidopsis* ont été transformées avec la construction proPHO1:GUS et l'expression du transgène a été visualisée par microscopie optique après révélation de l'activité GUS *in vivo* (Figure 2).

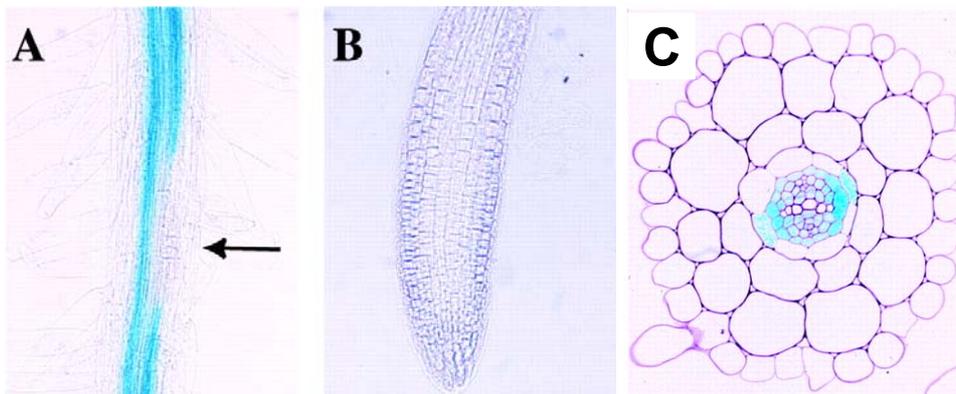


Figure 2 : Profil d'expression de la fusion transcriptionnelle proPHO1:GUS. L'activité GUS est observée après 15 à 30 min de réaction (incubation des plantules avec le substrat de la β -glucuronidase). A, zone mature de la racine ; B, apex et zone d'élongation de la racine ; C, zone mature de la racine. A et B, vues longitudinales ; C, coupe transversale. La flèche indique la zone de formation d'une racine secondaire. Après 24h de coloration aucun marquage GUS n'est observé dans les feuilles, les fleurs ou les graines.

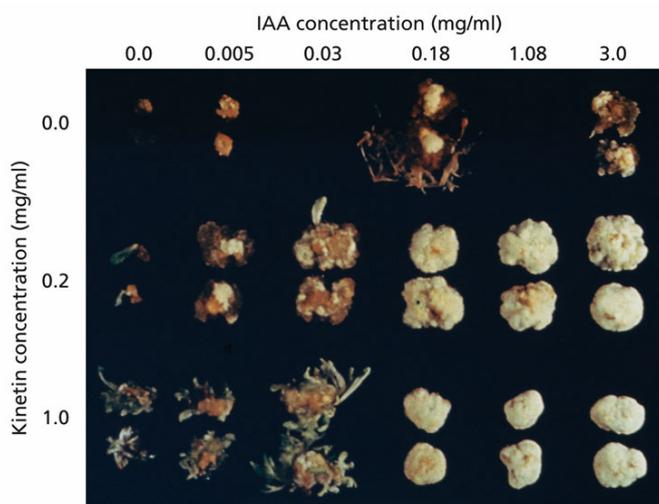
► En quoi les expériences des figures 1 et 2 sont-elles complémentaires ? Que pouvez-vous conclure sur la localisation et la fonction de la protéine PHO1 ?

3^{ème} partie – Hormones végétales

Contrôle de l'organogenèse in vitro par les auxines et les cytokinines

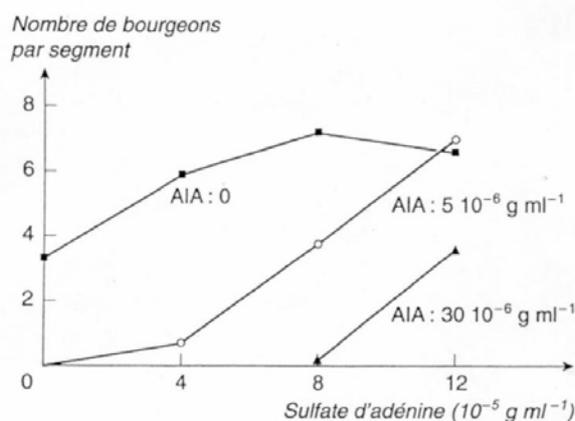
Expérience 1 : Des fragments de moelle de tige de tabac sont cultivés *in vitro* sur des milieux contenant ou non une auxine (acide β -indolacétique, AIA ou IAA) et une cytokinine (kinétine). Après plusieurs semaines, on observe l'allure des cultures.

- ▶ Quels organes sont reconnaissables ? Classez en 3 ou 4 catégories (dont vous donnerez les caractéristiques macroscopiques) les types de structures obtenues.
- ▶ Quels sont les effets des deux types d'hormones sur la prolifération cellulaire ? Sur la différenciation des organes ?



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 21.16 © 2009 Sinauer Associates, Inc.

Expériences 2 : Des fragments de tige de tabac sont cultivés *in vitro* sur des milieux contenant ou non une auxine (AIA) et une cytokinine (sulfate d'adénine), dans des conditions de concentrations qui favorisent la formation de bourgeons et donc de feuilles. Après 35 jours de culture on compte le nombre de bourgeons néoformés. Les résultats sont reportés dans le graphe ci-dessous.



- ▶ Dans les conditions de culture de cette expérience, comment se comporte le fragment de tige en l'absence d'hormones ?
- ▶ Quel est l'effet de la cytokinine seule ? de l'auxine seule ?
- ▶ Quels effets peut-on *a priori* attendre de l'action combinée des deux hormones ? Qu'en est-il ?

Contrôle hormonal de la maturation des fruits

La maturation des fruits est un phénomène physiologique complexe. Chez les fruits charnus, on observe une phase au cours de laquelle il y a une augmentation importante de la respiration et modification des activités biochimiques. On observe notamment une augmentation de la production de sucres, de la consommation d'acides organiques, des modifications des pigments et des parois cellulaires. La maturation est contrôlée de façon hormonale. On distingue deux types d'espèces, dites "climactériques" ou "non climactériques", selon le rôle joué par l'éthylène dans la maturation.

CAS D'UN FRUIT CLIMACTERIQUE : LA TOMATE

Le développement du fruit de tomate est caractérisé par 3 phases successives : une phase de croissance lente (nombreuses divisions cellulaires) pendant la 1^{ère} semaine, une phase de croissance rapide (croissance cellulaire intense) et enfin une phase de maturation après 4 à 5 semaines de développement.

Expérience 1 : Des plants de tomates sont traités 2 jours après anthèse (soit au tout début du développement du fruit) par de l'eau, de l'éthrel, un précurseur d'éthylène couramment utilisé en agronomie, ou de l'acide aminooxyacétique (AOA), un inhibiteur de synthèse d'éthylène. On suit au cours du développement des fruits la production d'éthylène et la quantité d'ACC (acide aminocyclopropane carboxylique), précurseur naturel de l'éthylène (Fig. 1).

Métabolisme de l'éthylène :

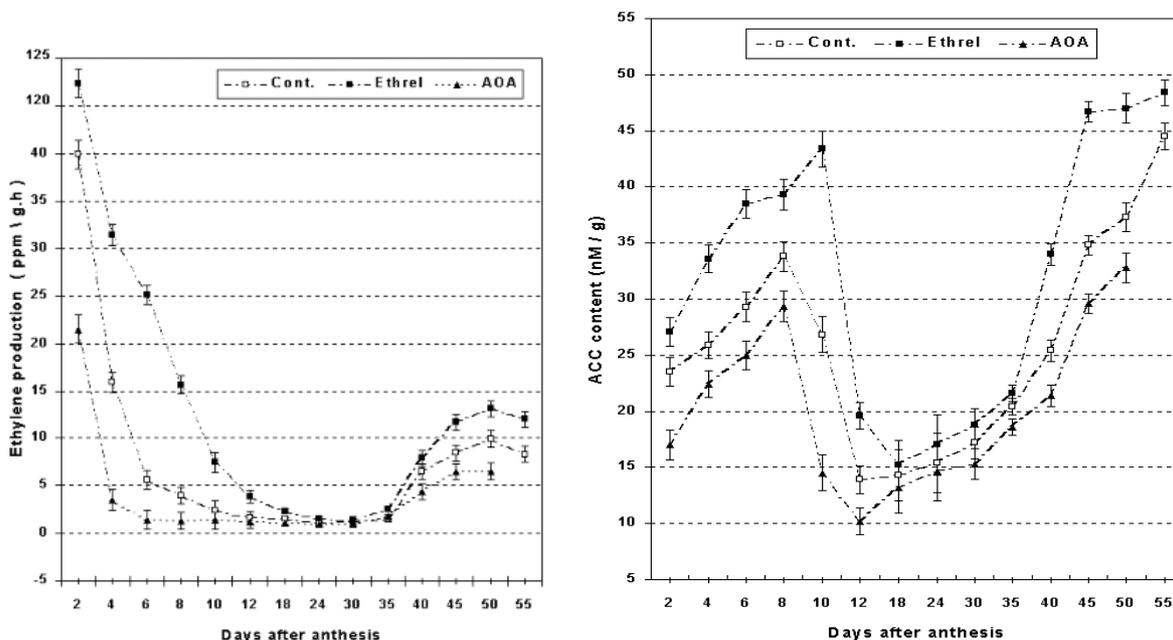
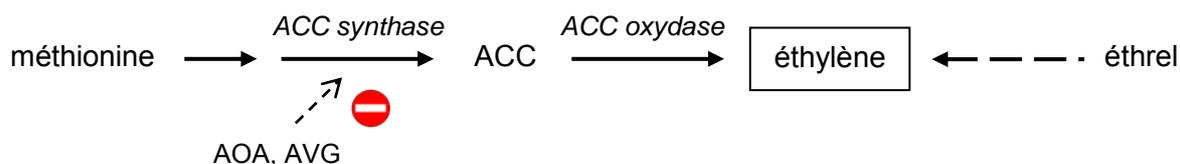


Fig 1 : Effets de traitements à l'éthrel ou à l'AOA effectués 2 jours après anthèse sur la production d'éthylène (à gauche) ou d'ACC (à droite) au cours du développement du fruit de tomate.

1 - A quel(s) stade(s) du développement normal du fruit de tomate observe-t-on une production d'éthylène ? Quel est l'effet des traitements à l'éthrel et à l'AOA sur la production d'éthylène. Sachant que le traitement est effectué 2 jours après anthèse quelle(s) hypothèse(s) pouvez-vous faire pour expliquer un effet à long terme ?

2 - Comparez les courbes d'accumulation d'ACC et de production d'éthylène lors de chacune des 3 phases de développement du fruit. Sachant que l'ACC est le précurseur de l'éthylène *in planta* (cf schéma), quelles hypothèses pouvez-vous faire sur l'activité ACC oxydase qui convertit l'ACC en éthylène au cours du développement du fruit ?

3 - Quel est l'effet de l'application d'AOA ou d'éthrel sur l'accumulation d'ACC ? Comment expliquer l'effet à long terme d'un traitement précoce à l'éthrel ?

Expérience 2 : Des tomates transgéniques chez lesquelles le gène de l'ACC oxydase est inactivé ont été produites. Ces tomates restent vertes à une date où les fruits de plantes contrôles sont rouges mais peuvent éventuellement rougir après traitement à l'éthylène (C_2H_4) ou au propylène (C_3H_6) (Fig. 2). On observe la production d'éthylène et l'activité respiratoire (caractéristique de la phase de maturation) chez ces plantes, à l'air ou en présence d'éthylène (Fig. 3).

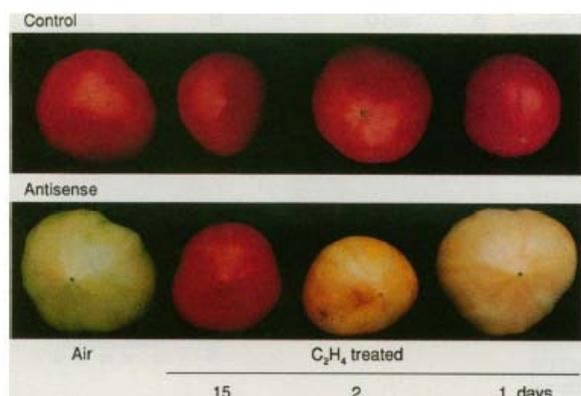


Fig. 2 : Fruits récoltés à 49 jours, avant maturation, traités à l'air ou à l'éthylène pendant 1, 2 ou 15 jours puis à l'air et observés 16 jours après récolte.

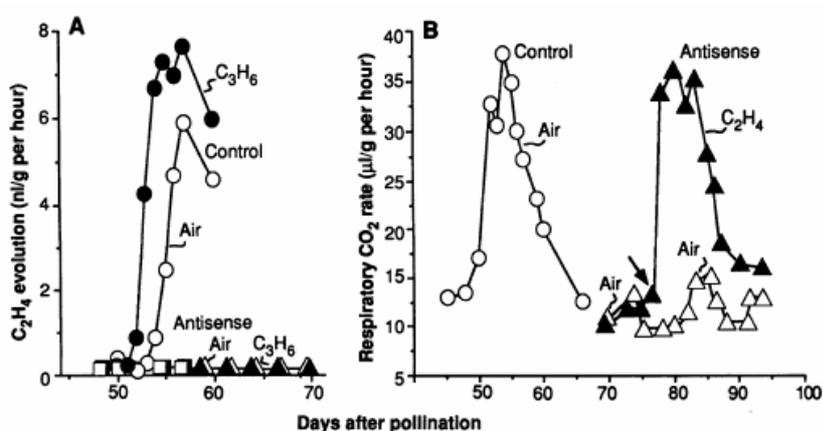


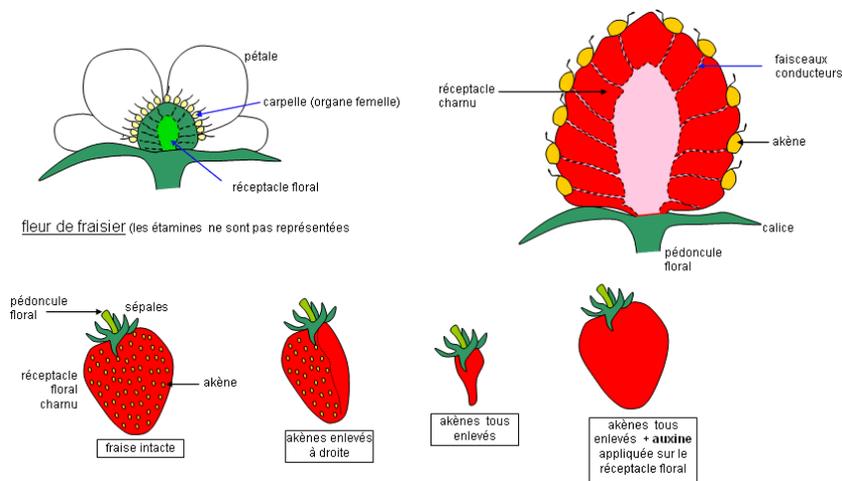
Fig. 3 : Production d'éthylène (A) et activité respiratoire (B) chez des fruits contrôles (cercles) ou transformés (triangles) laissés à l'air (en blanc) ou traités (en noir) au propylène (C_3H_6 , traitement en continu) ou à l'éthylène (C_2H_4 ; traitement à partir du 76^{ème} jour, indiqué par une flèche).

1 - Quel est l'effet de l'inactivation du gène de l'ACC oxydase sur la production d'éthylène et sur la maturation du fruit à l'air ?

2 - Sur les plantes contrôles quel est l'effet d'un traitement à l'éthylène ou au propylène (considérés comme équivalents) ? Qu'en est-il sur les plantes transgéniques étudiées ?

CAS D'UN FRUIT NON CLIMACTERIQUE : LA FRAISE

Chez la fraise, ce n'est pas l'ovaire mais le réceptacle floral qui grossit après fécondation et constitue la partie charnue du fruit (voir figure). Chaque akène constitue en fait un petit fruit sec. La régulation hormonale de la croissance des fraises a été étudiée depuis les années 1950. Interprétez l'expérience de Nitsch présentée ci-dessous.



La maturation de la fraise peut être suivie par l'accumulation d'anthocyanes (pigments de la famille des flavonoïdes et responsables de la coloration rouge) et l'activité phénylalanine ammonia lyase (PAL), enzyme de la voie de biosynthèse des flavonoïdes.

- Lors d'une 1^{ère} expérience, on traite des fruits immatures avec de l'AVG (inhibiteur de la synthèse de l'ACC) ou des ions argent, inhibiteurs de l'action de l'éthylène. On mesure la quantité d'anthocyanes et l'activité PAL 10 jours après le début du traitement.
- Dans une 2^{nde} expérience, les akènes sont ôtés sur des moitiés de fruits immatures. On mesure ensuite la quantité d'anthocyanes et l'activité PAL dans les 2 moitiés de fruits 10 jours après l'élimination des akènes.
- Dans une 3^{ème} expérience, on élimine la totalité des akènes sur des fruits immatures et on réalise une application d'auxine (NAA). Dix jours après l'élimination des akènes on mesure la quantité d'anthocyanes, la quantité de chlorophylle et la fermeté des fruits.

Traitement	Anthocyanes (nmol / g)	Activité PAL (pkat / mg de protéines)	Chlorophylle (µg / g)	Fermeté (unité arbitraire)
Contrôle	280 ± 46	47 ± 9	-	-
+ AVG	345 ± 109	41 ± 10	-	-
+ ions argent	246 ± 148	48 ± 16	-	-
Demi-fruit contrôle	112 ± 25	55 ± 12	-	-
Demi-fruit sans akènes	325 ± 76	127 ± 22	-	-
Contrôle	237 ± 86	-	2,1 ± 0,7	110 ± 30
+ NAA	17 ± 9	-	5,9 ± 1,4	630 ± 90

► Que déduisez-vous de ces résultats en ce qui concerne le contrôle hormonal de la maturation des fraises ?