

**Zeitschrift:** Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse  
**Herausgeber:** Schweizerische Botanische Gesellschaft  
**Band:** 69 (1959)

**Artikel:** Gradients biochimiques radiculaires. I, Auxines et réserves azotées  
**Autor:** Pilet, P.-E. / Siegenthaler, P.-A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48670>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gradients biochimiques radiculaires

## I. Auxines et réserves azotées

Par *P.-E. Pilet* et *P.-A. Siegenthaler*<sup>1</sup>

Laboratoire de Physiologie végétale / Université de Lausanne

Manuscrit reçu le 16 avril 1959

### Avant-propos

Primitivement, le but de cette étude était de mettre en évidence les conséquences d'un traitement auxinique sur la teneur en azote total et protéinique des racines. En fait, il nous a paru indispensable de préciser d'abord la nature des gradients azotés et de comparer les résultats obtenus avec ce que nous savons déjà sur la teneur en auxines de ces mêmes organes (13, 14 et 15) et leur activité auxines-oxydasique (16).

L'objet de ce travail sera donc de présenter en premier lieu les techniques de dosages employés et d'examiner ensuite, en les comparant avec les données relatives au métabolisme auxinique, les résultats obtenus concernant ces gradients azotés.

### Critères de référence

Un premier point nous paraît essentiel, et il convient de le mentionner immédiatement. Lorsqu'on exprime un gradient biochimique le long de l'axe d'un organe déterminé, les résultats peuvent être donnés en fonction d'un certain nombre de grandeurs (nombre de fragments employés, unité de poids frais et de poids sec, nombre de cellules, etc.). Suivant le critère choisi, les courbes obtenues peuvent être très différentes et on comprendra aisément que les valeurs trouvées dépendront essentiellement du mode d'expression adopté. Or, les divers auteurs qui se sont occupés de gradients azotés le long de l'axe radiculaire ne se sont pas toujours servi des mêmes définitions; ceci complique considérablement les comparaisons et la discussion de leurs résultats. C'est pourquoi, et ceci à propos de l'activité auxines-oxydasique par exemple, nous avons insisté (23) sur la nécessité d'utiliser toujours plusieurs critères de référence, chacun présentant tout à la fois des avantages et des désavantages.

---

<sup>1</sup> Ce travail fait l'objet d'une partie de la thèse de doctorat que P.-A. Siegenthaler prépare dans notre laboratoire.

## Quelques travaux

Nous nous bornerons à ne mentionner ici que quelques travaux portant sur la recherche de l'azote dans les racines; nous reparlerons de certains d'entre eux à propos des techniques et dans la discussion de nos observations.

La détermination de l'azote total pour des racines a été faite, entre autres, par Reid (25): pois; Wanner (30): oignon; Erickson et Goddard (6): maïs. La recherche de l'azote protéinique a été entreprise pour diverses racines par Brown et Broadbent (2): pois; Baldovinos (1), Erickson et Goddard (6): maïs; Robinson et Brown (27), Jensen (8): fève; Pilet et Galston (24), Pilet (17): lentille.

## Matériel

Nos essais ont porté sur des racines de 18 mm du *Lens culinaris* (var. *Medikus*), provenant de graines sélectionnées et traitées de la façon suivante:

Les semences sont imbibées 12 h dans de l'eau déionisée puis mises à germer en boîtes de Pétri sur papier filtre humide à l'étuve (obscurité, 25° C). Après 24 h, on trie les graines et on ne conserve que les plantules dont les racines mesurent 3 mm  $\pm$  0,5. Ces germinations sont placées dans les mêmes conditions et lorsque leurs racines mesurent 18 mm, on les récolte pour en préparer les extraits.

## Définitions préliminaires

Nous appellerons *azote total* l'azote, extrait des tissus, à l'état de combinaisons inorganiques (nitrates, composés ammoniacaux, nitrites, etc.) et organiques (protides: acides aminés et protéides, phosphatides, amides, uréides, purines, etc.).

Et nous désignerons par *azote protéinique* l'azote, à l'état de combinaisons organiques, qui précipite sous l'action de l'acide trichloracétique.

## Méthodes

### a) Préparation des extraits

On sectionne une centaine de racines à l'aide d'une guillotine dont le principe a été décrit ailleurs (22). Généralement, nous utilisons des fragments de 3 mm de longueur, à l'exception des sections correspondant à la pointe qui, elles, sont coupées en deux fragments, le premier mesurant 0,5 mm (tissus de la coiffe) et le second de 2,5 mm de longueur (région méristématique). Ces segments ainsi obtenus sont placés dans des godets

à dessiccation, séchés sous vide et pesés. Une fois le poids constant atteint, ils sont déposés directement dans les matras de Kjeldahl (pour la recherche de l'azote total) ou broyés dans un mortier (pour la détermination de l'azote protéinique).

#### *b) Recherche de l'azote total*

La technique est basée sur la méthode de Kjeldahl dont nous résumerons le principe :

Les fragments desséchés sont placés dans des matras de Kjeldahl où ils sont attaqués par  $H_2SO_4$  conc. (à chaud) en présence d'un catalyseur au sélénium. L'azote des composés minéraux et organiques est transformé en sulfate d'ammonium. Par distillation dans l'appareil de Parnas et Wagner, avec un excès de NaOH (30 %), l'ammoniaque est mis en liberté, entraîné par la vapeur d'eau et recueilli dans  $H_3BO_3$  (2 %), contenant déjà l'indicateur (rouge  $\alpha$ -naphtyle), ce qui permet de titrer directement l'ammoniaque par une solution d'HCl n/50.

#### *c) Recherche de l'azote protéinique*

Nous avons utilisé deux méthodes voisines dont nous dirons brièvement les caractéristiques :

1. Technique de Kjeldahl-Nessler, modifiée par Kirk (9), Galston et Dalberg (7), puis Pilet et Galston (24) :

L'azote protéinique est précipité à l'aide d'une solution d'acide trichloracétique et par « nesslerisation », on peut apprécier directement la quantité d'ammoniaque formé (électrophotocolorimètre).

2. Technique de Kjeldahl, modifiée par Brunel (3) :

Le broyat auquel on a ajouté de l'eau distillée est placé pendant 45 min dans un BM bouillant. On refroidit le mélange auquel on ajoute une solution aqueuse d'acide trichloracétique (10 %) et on laisse reposer 12 h. On filtre sur papier (vide léger) puis on lave 3 fois avec une solution d'acide trichloracétique à 2,5 %. Le filtre, sur lequel s'est déposé le précipité protéinique, est jeté dans le matras de Kjeldahl où l'on opère la minéralisation par  $H_2SO_4$  conc., puis le dosage de l'ammoniaque comme dans le cas de l'azote total.

### **Expression des résultats**

Certains auteurs ont pris l'habitude d'utiliser un coefficient pour exprimer la teneur en azote protéinique, dosé par des méthodes comparables à celles que nous avons précédemment décrites. Chibnall (4) et Moysse (11), en particulier, emploient un facteur correctif de 6,25. Or, si un tel procédé de calcul a un sens, comme l'ont montré Vickery et Pucher (29), lorsqu'il s'agit d'établir le bilan du carbone protéinique, il

nous a paru inutile, pour présenter nos résultats, de tenir compte de ce facteur. D'ailleurs, il suffit de faire remarquer que les courbes obtenues en introduisant le facteur susnommé seraient tout simplement parallèles à celles que nous discuterons.

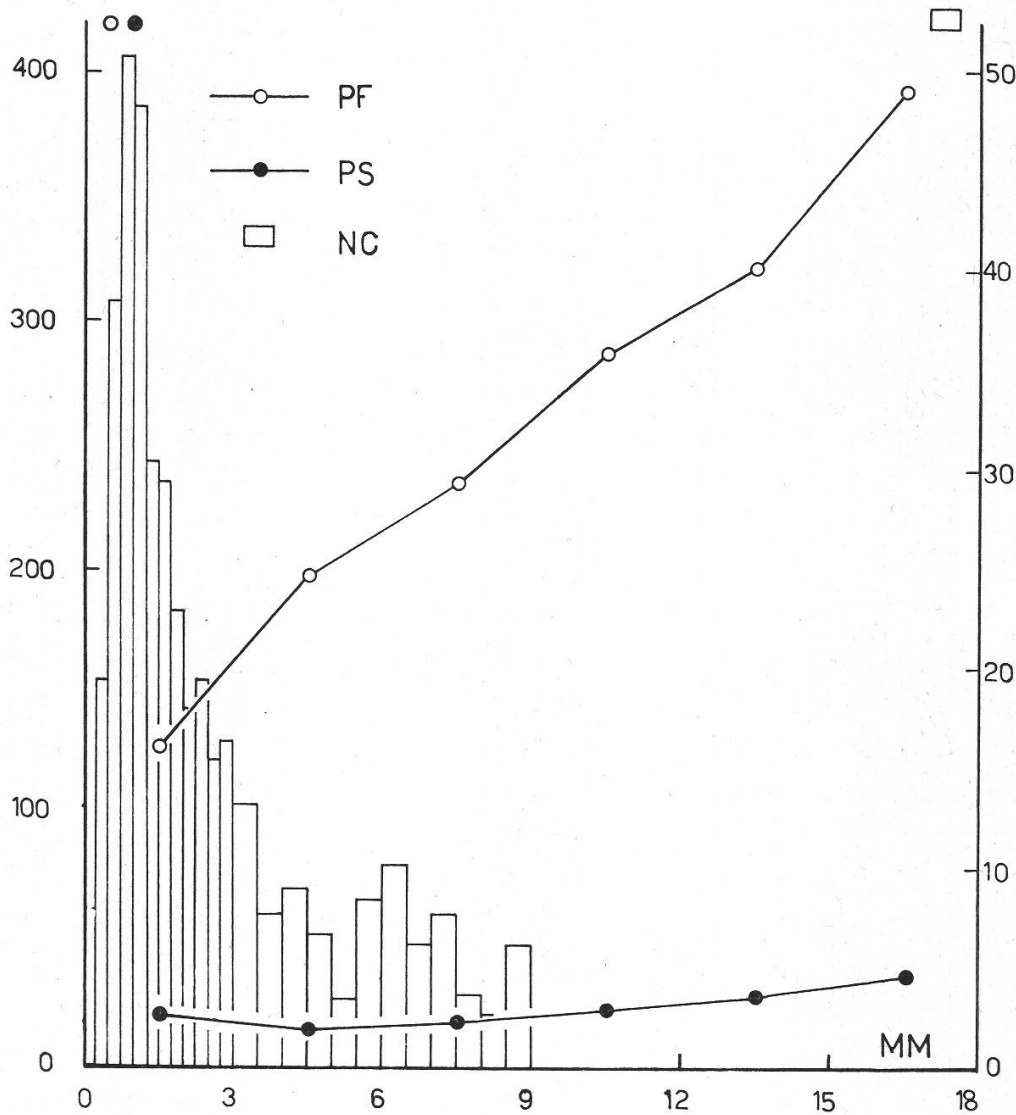


Figure 1

Données préliminaires (gradients radiculaires du *Lens*)

PF: poids frais en mg/100 fragments    PS: poids sec en mg/100 fragments

NC: nombre de cellules (à multiplier par 10<sup>3</sup>) pour 100 fragments

Comme nous exprimerons la teneur en azote en fonction du poids frais, du poids sec et du nombre de cellules, il convient de donner maintenant, et pour un nombre de fragments déterminés (100), la valeur, le long de l'axe de la racine, de ces gradients.

La détermination de ces grandeurs est faite pour chaque série d'analyse (à l'exception du nombre de cellules). A titre d'exemple, nous choisissons pour le poids frais et le poids sec une série de résultats comparables



d'ailleurs à ceux qui furent publiés antérieurement (17 et 24). Le gradient cellulaire sur lequel nous nous baserons est emprunté à une étude récente faite sur le même matériel (23).

Ces résultats, reportés dans la figure 1, montrent que:

1. Le poids frais augmente constamment, de la pointe de la racine à sa base;

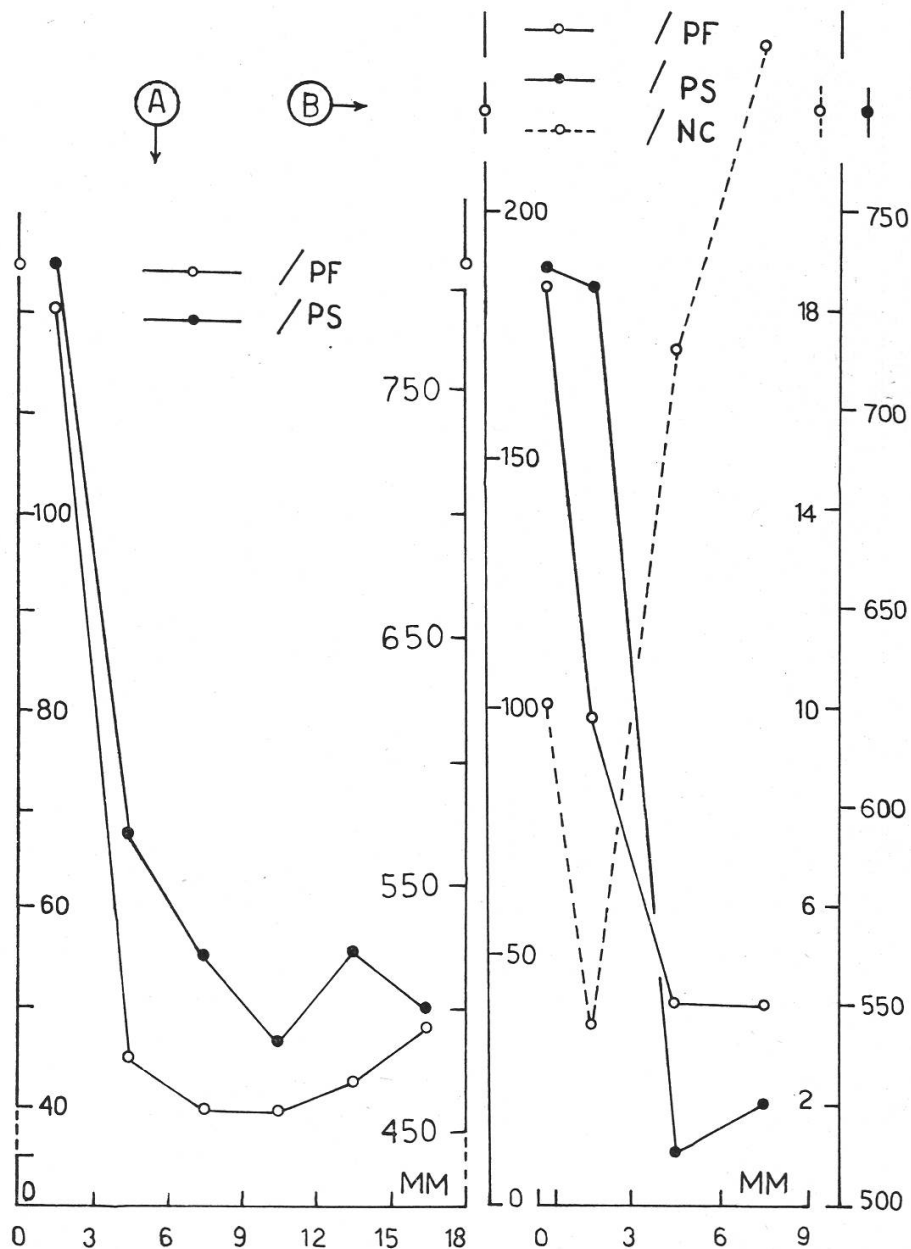


Figure 2

A: Teneur en azote total (section de racine de 0 à 18 mm)  
 /PF: en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de poids frais /PS: en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de poids sec

B: Teneur en azote total (section de racine de 0 à 9 mm)  
 /PF: en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de poids frais /PS: en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de poids sec  
 /NC: en  $\text{mg}/10^8$  cellules

2. Le nombre des cellules, faible dans la coiffe, s'accroît, passe par un maximum au niveau du méristème pour diminuer ensuite.
3. Le poids sec demeure pratiquement constant.

En rappelant ce que nous disions à propos des critères de référence (voir page 58), il convient de noter que les gradients, à part celui du poids sec, sont très variables, et c'est pourquoi il est indispensable de donner et de comparer toutes les courbes, construites à partir de critères différents.

### **Teneur en azote**

Nous avons réalisé deux séries de dosages :

1. analyse des segments de 3 mm chacun, tout le long de la racine (de 0 à 18 mm).
2. Etant donné la structure très hétérogène du premier segment (0 à 3 mm) constitué par des cellules âgées (coiffe) et des cellules jeunes (méristème), nous avons déterminé, comme pour d'autres types de dosages (17), la teneur en azote de fragments de 0 à 0,5 et 0,5 à 3,0 mm, à partir du sommet. Dans cette série de mesures, où nous avons établi une correspondance entre les gradients azotés et l'état de sénescence cellulaire (18, 19 et 20), nous nous sommes bornés à des observations ne portant que sur des fragments de 0 à 9 mm.

#### *a) Azote total*

Ces résultats reportés dans la figure 2 A montrent que la concentration en azote, très grande dans la pointe de la racine, diminue au fur et à mesure qu'on s'approche du collet et ceci aussi bien pour des gradients exprimés en fonction du poids frais que du poids sec. Les résultats donnés dans la figure 2 B indiquent que, si l'on se rapporte au poids frais et au poids sec, la coiffe est très riche en azote. Mais si l'on se base sur le gradient cellulaire, on peut constater que si la coiffe contient en effet plus d'azote total que le méristème, elle en possède moins que la base de la racine.

#### *b) Azote protéinique*

Nous donnerons d'abord les résultats obtenus par la méthode de Kjeldahl-Brunel. Les valeurs obtenues, reportées dans la figure 3 A montrent que la concentration en azote protéinique est plus élevée dans la pointe de la racine que partout ailleurs et ceci aussi bien si on l'exprime en fonction du poids sec que du poids frais.

On voit dans la figure 3 B que, en ce qui concerne les critères poids frais et poids sec, l'azote protéinique est surtout abondant dans la coiffe et si on se rapporte au gradient cellulaire, on peut observer que le méristème est la zone de la racine la moins riche en azote protéinique.

Comparons ces résultats avec ceux qui ont été obtenus par notre seconde méthode de dosage (tableau 1).

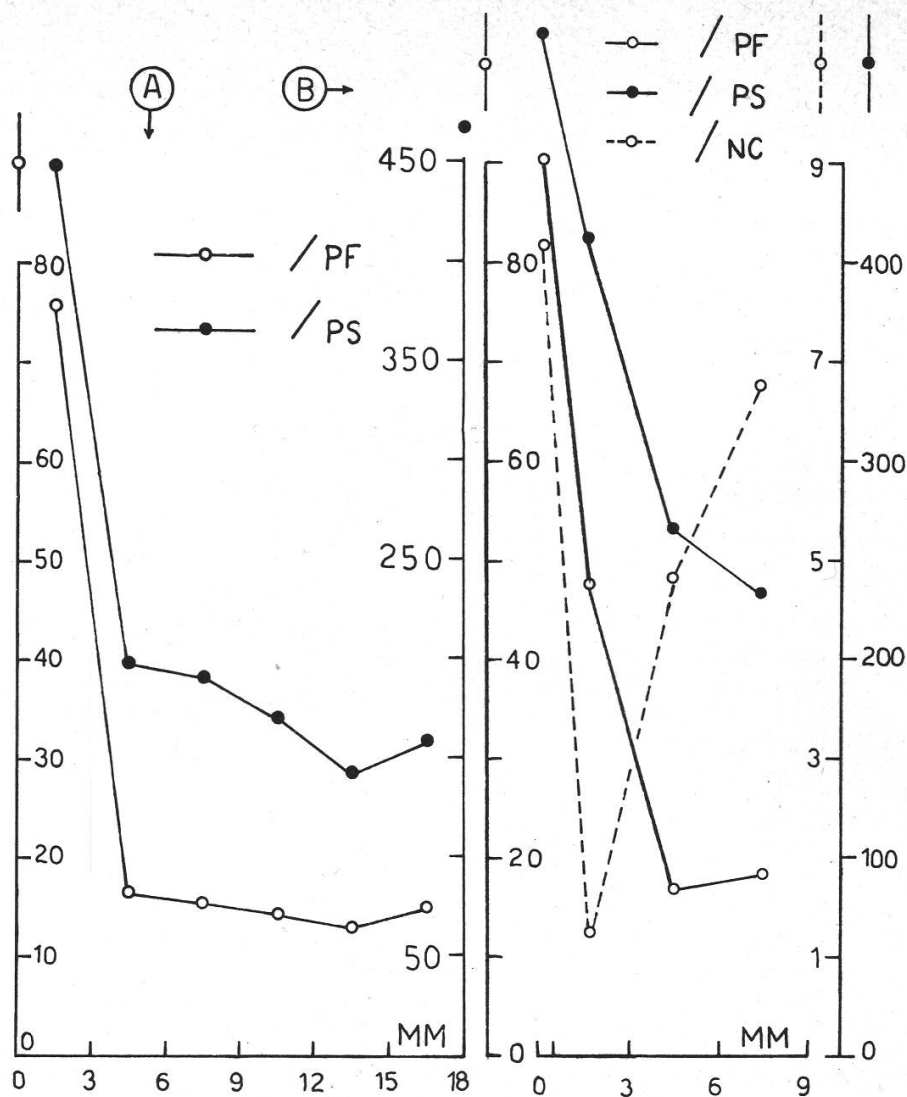


Figure 3

A: Teneur en azote protéinique (section de racine de 0 à 18 mm)  
 /PF: en  $\mu\text{g}/10$  mg de poids frais /PS: en  $\mu\text{g}/10$  mg de poids sec  
 B: Teneur en azote protéinique (section de racine de 0 à 9 mm)  
 /PF: en  $\mu\text{g}/10$  mg de poids frais /PS: en  $\mu\text{g}/10$  mg de poids sec  
 /NC: en  $\text{mg}/10^8$  cellules

Tableau I

Teneur en azote protéinique ( $\mu\text{g}/10$  mg de poids frais) pour divers fragments (3 mm) de racines du *Lens*, déterminée à l'aide des deux méthodes usuelles.

Fragments (mm)	Techniques		
	de Kjeldahl-Kirk		de Kjeldahl-Brunel
	A	B	C
0—3	44,3	64,0	75,8
3—6	9,6	11,1	16,7
6—9	10,0	11,0	15,4
9—12	12,4	13,7	14,1
12—15	13,7	14,6	13,1
15—18	14,3	15,1	15,0

A D'après Pilet et Galston (24). B D'après Pilet (17 et 18). C Mesures originales.



On a pensé attribuer d'abord les différences entre les valeurs fournies par la même technique (A et B) aux conditions de culture du matériel employé (A, Pilet et Galston, 24; B, Pilet, 17 et 18). Mais, en constatant à quel point peuvent varier les résultats obtenus à l'aide d'une technique rigoureusement constante et pour un matériel parfaitement semblable, nous pensons que ces différences ne sont pas caractéristiques (tableau 2).

Tableau 2

Teneur en azote protéinique ( $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de poids frais) pour divers fragments (0 à 0,5 et de 0,5 à 3,0 mm) de racines du *Lens*, déterminée à l'aide de la technique de Kjeldahl-Brunel

Types d'essais	Types de fragments	
	0,0-0,5	0,5-3,0
I	92,5	60,9
II	93,8	39,3
III	114,7	42,0
IV	88,8	57,4
V	58,6	37,4
Total	448,4	237,0
Moyenne	89,7	47,4
Ecart type	20	11

### Discussion des premiers résultats

Etant donné la similitude des courbes obtenues, rapportées en fonction de divers gradients, nous nous bornerons dans la discussion qui va suivre, à ne retenir que les valeurs exprimées en fonction du poids frais et du nombre de cellules.

Les résultats donnés dans la figure 4 montrent que la concentration de l'azote protéinique est toujours plus forte au niveau de la coiffe que dans les autres régions de la racine, et ceci quel que soit le mode de référence employé. En ce qui concerne l'azote total, on arrive à des conclusions semblables, avec la différence que, exprimé en fonction du nombre de cellules, l'azote total est plus abondant à la base de la racine qu'à l'extrême pointe. Si l'on se réfère uniquement au nombre de cellules, on constate que la teneur en azote est minimum au niveau du méristème. Cette observation est en accord avec les données précédemment obtenues, relatives à la sénescence cellulaire (19 et 20) et que confirment encore celles que nous rapporterons dans le tableau 3.

Comparons maintenant nos résultats avec ceux qui ont été obtenus sur un matériel très proche. Au niveau de la coiffe, nous avons noté une forte teneur en azote total et protéinique. (Reid 25) et Baldovinos (1)

Figure 4  
 Gradient d'azote le long de l'axe  
 racinaire  
 A: Azote protéinique en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$   
 de poids frais  
 B: Azote total en  $\mu\text{g}/10\text{ mg}$  de  
 poids frais  
 C: Azote protéinique en  $\text{mg}/10^8$   
 cellules  
 D: Azote total en  $\text{mg}/10^8$   
 cellules

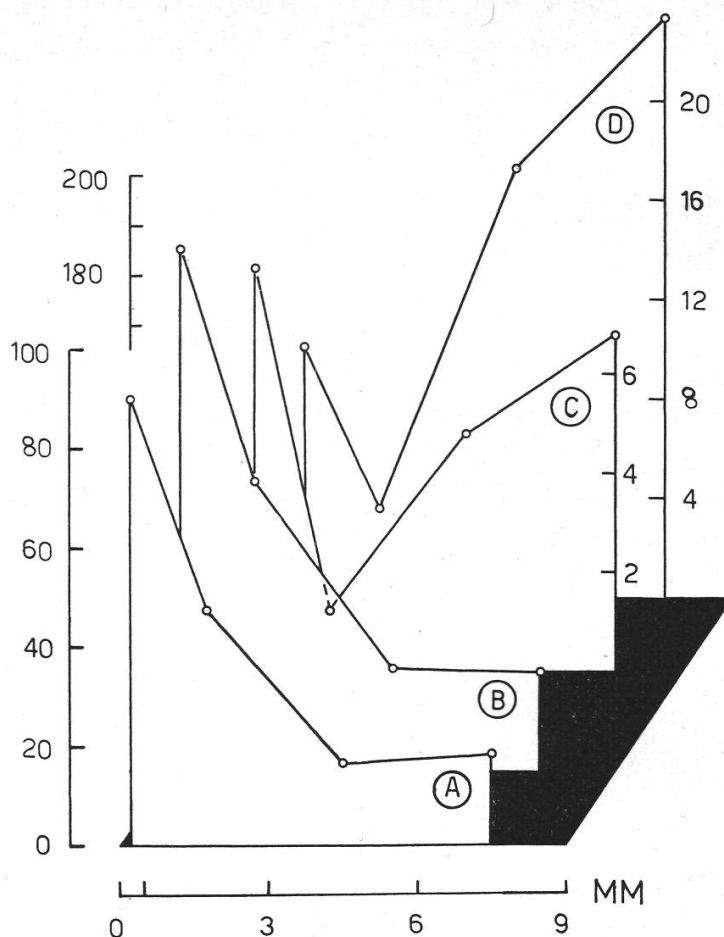


Tableau 3  
 Teneur en azote, en fonction de l'âge des cellules

	Cellules âgées <sup>1</sup>	Cellules jeunes <sup>2</sup>
<i>Azote total</i>		
en $\mu\text{g}/10\text{ mg}$ PF	185,3	97,9
en $\text{mg}/10^8$ cellules	10,08	3,58
<i>Azote protéinique</i>		
en $\mu\text{g}/10\text{ mg}$ PF	89,7	47,4
en $\text{mg}/10^8$ cellules	8,12	1,22

<sup>1</sup> coiffe (0,0 à 0,5 mm)      <sup>2</sup> méristème (0,5 à 3,0 mm)

trouvent en effet que l'azote est plus abondant à l'extrême pointe si on l'exprime en fonction du poids frais. Mais, en rapportant ces valeurs en termes de cellules, la plupart des auteurs notent que l'azote total, comme l'azote protéinique, se trouve en faible quantité.

Au niveau du méristème, nous avons constaté que la teneur en azote total et protéinique était minimum; c'est bien ce que Reid (25), Wanner

(30), Brown et Broadbent (2), Jensen (8) avaient noté en exprimant ces gradients en terme de cellules.

Du méristème à la base de la racine, on a observé que la teneur en azote, exprimée en fonction du nombre des cellules, augmentait; tous les auteurs sont d'accord sur ce fait. Mais, alors que jusqu'à 9 mm l'accroissement était continu, ce que Reid (25) et Wanner (30) ont également observé, d'autres chercheurs ont noté, par contre, que pour des régions de plus en plus proches du collet, la teneur en azote baissait très nettement (Brown et Broadbent, 2; Baldovinos, 1; Robinson et Brown, 27).

Mais il convient de souligner ici combien il est difficile de comparer pour des tissus déterminés la valeur des gradients obtenus et ceci pour plusieurs raisons:

1. Les racines utilisées appartiennent à des plantes d'espèces différentes et on comprendra que l'étalement et la position de leur méristème et des autres tissus ne sauraient être identiques.
2. Il est rare que les auteurs précisent l'endroit exact où sont situés ces types de tissus; aussi est-il difficile de comparer à cet égard les gradients.
3. Pour dénombrer les cellules, diverses techniques sont utilisées qui ne donnent évidemment pas le même résultat, d'où une difficulté de plus lorsqu'il s'agit de comparer les courbes publiées.
4. Enfin, les méthodes de dosage de l'azote ne sont pas, elles non plus, rigoureusement semblables.

### **Auxines et gradients protéiniques**

Sachant la teneur en auxines extractibles contenues dans les diverses régions des racines (Pilet, 13 et 14), nous pouvons calculer, en l'exprimant à l'aide des divers gradients précédemment trouvés, la concentration de ces hormones endogènes.

Ainsi que le montre le tableau 4, on peut noter que, quel que soit le critère de référence choisi, le chiffre exprimant la teneur en auxines est toujours plus grand pour les cellules jeunes que pour les cellules âgées. Ceci peut s'expliquer par la très grande différence de concentration en auxines pour ces deux régions.

A l'aide d'une méthode de dosage biochromatographique, nous avons pu établir récemment (Pilet, 21) la distribution de l'ABIA le long de l'axe racinaire. Les valeurs obtenues, qui concernent cette fois exclusivement les facteurs de croissance dont le Rf est identique à celui de l'ABIA (Rf 0,40 à 0,55 pour le solvant isopropanol [80%] - 28% ammoniacque [10%] - eau bidistillée et déionisée [10%]), ont pu être exprimées en terme d'azote total et protéinique. Les résultats reportés dans la figure 5 autorisent les remarques suivantes:

1. Les valeurs d'ABIA trouvées sont beaucoup plus faibles que celles qui figurent dans le tableau 4.  
Ceci peut s'expliquer par le fait que précédemment nous avons rapporté la teneur totale en auxines extractibles, alors que dans ce graphique, il ne s'agit que de composés assimilables à l'ABIA (même Rf). C'est pourquoi les valeurs trouvées sont bien plus petites.
2. En utilisant les gradients protéiniques, les courbes sont légèrement différentes de celles qu'on obtient d'habitude lorsqu'on exprime ces valeurs en fonction du nombre de fragments ou du poids frais. Ces

Tableau 4

Teneur en auxines extractibles (dosées par le test *Avena*), pour les régions âgées (coiffe) et jeunes (méristème) de racines de 18 mm

Concentration en $\mu\text{g}$ équiv. ABIA	Cellules âgées (coiffe) 0,0-0,5 mm	Cellules jeunes (méristème) 0,5-3,0 mm
1. pour 100 mg PF <sup>1</sup>	0,13	21,00
2. pour 100 fragments <sup>2</sup>	0,03	25,91
3. pour 10 <sup>8</sup> cellules	1,26	86,38
4. pour 1 mg azote total	0,12	24,10
5. pour 1 mg azote protéinique	0,16	70,61

<sup>1</sup> Valeurs données précédemment (Pilet, 13 et 14).

<sup>2</sup> C'est de ces valeurs, calculées à partir des chiffres donnés en 1, qu'on a trouvé les valeurs 3 et 5.

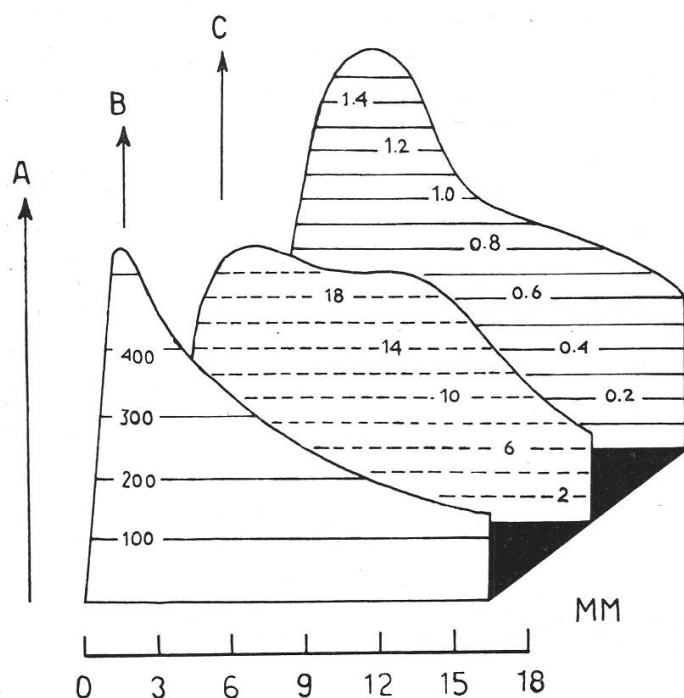


Figure 5

Teneur en auxines (en  $\mu\text{g}/10^{-3}$ ) le long de l'axe racinaire  
 A: Pour 5 g de poids frais  
 B: Pour 1 mg d'azote total  
 C: Pour 1 mg d'azote protéinique  
 (ces valeurs ont été calculées à partir de données biochromatographiques, 21)



différences peuvent être justifiées par la nature même des gradients d'azote.

### Teneur en auxines et en composés azotés

Si l'on compare les figures 4 et 5, on peut déjà constater que dans les tissus riches en auxines, la teneur en composés azotés est plus faible, alors que c'est l'inverse pour les tissus pauvres en hormones endogènes. Nous

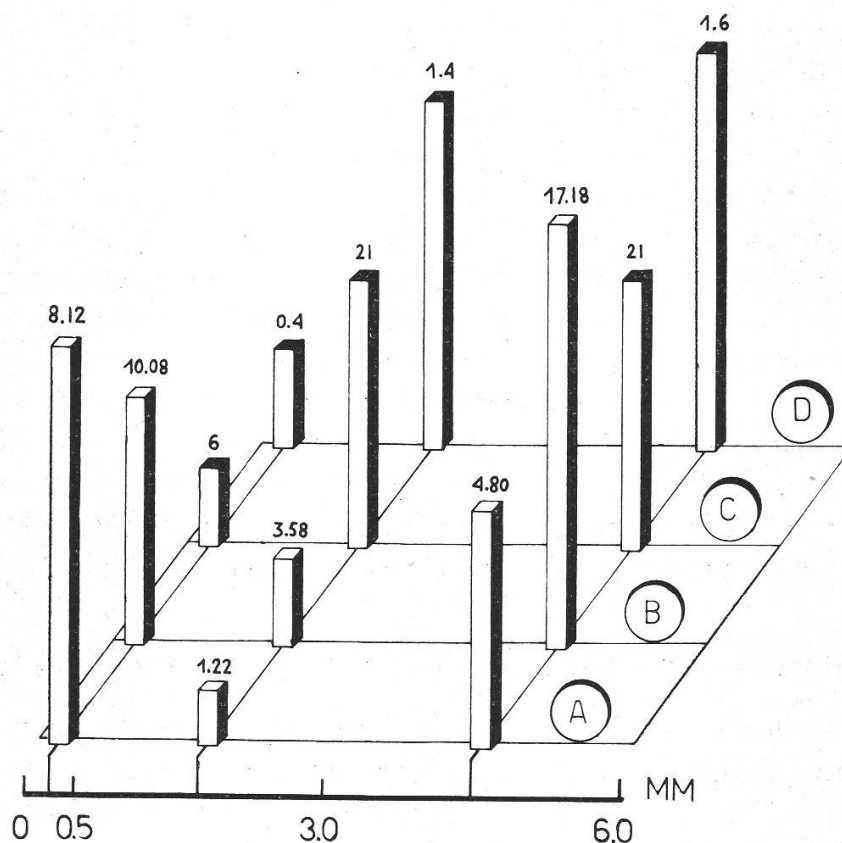


Figure 6

Teneur en composés azotés et en auxines (section de racines de 0 à 9 mm)

- A: Azote protéinique en mg/10<sup>8</sup> cellules
- B: Azote total en mg/10<sup>8</sup> cellules
- C: Auxines en  $\mu\text{g} \cdot 10^{-3}/1$  mg d'azote total
- D: Auxines en  $\mu\text{g} \cdot 10^{-3}/1$  mg d'azote protéinique

rapporterons, pour trois séries de dosage (3 zones de la racine), les valeurs trouvées concernant la concentration en auxines en fonction de l'azote total et protéinique d'une part et d'autre part la teneur en azote total et protéinique rapportée au nombre des cellules radiculaires. L'examen de la figure 6 nous montre que:

1. Dans les tissus pauvres en auxines (coiffe, zone d'élongation), la teneur en azote est relativement élevée.



2. Dans les tissus riches en auxines (méristème), la teneur en azote est minima.

Ces observations indiquent que là où les auxines sont abondantes, l'accumulation des substances azotées est réduite. Ceci confirmerait, dans une certaine mesure quelques-unes des expériences relatives au dosage de l'azote dans les tissus traités par des auxines. Rappelons que Rhodes, Templeman et Thruston (26) avaient constaté une réduction de la concentration des composés azotés et que Nance (12) avait observé que l'absorption des nitrates, par des racines de blé, traitées par du 2,4-D, était fortement diminuée. Il n'est pas impossible que c'est parce que les nitrates pénètrent moins facilement sous l'action des auxines, que la teneur en composés azotés soit plus faible. Christiansen et Thimann (5) relèvent de fortes variations dans la teneur en protéines tantôt accrues tantôt réduites dans les tissus traités. Thimann et Loos (28) constatent que sous l'action de l'acide  $\alpha$ -naphthyl-acétique, il y a augmentation de l'azote protéinique, l'azote soluble, par contre, est moins abondant que chez les témoins. En fait, les résultats concernant les répercussions d'un traitement auxinique sur les réserves azotées sont fort différentes suivant les auteurs, et les contradictions qu'on peut relever dans les publications relatives à ces questions sont nombreuses. Nous nous bornerons pour le moment à admettre que les auxines entraînent un déséquilibre entre la synthèse et la dégradation des substances azotées (Mitchell, 10).

### **Activité auxines-oxydasique et gradients protéiniques**

Nous avons repris les valeurs de l'activité des auxines-oxydases obtenues pour des extraits préparés à partir des divers fragments radiculaires (Pilet, 16 et 17); les résultats obtenus sont reportés dans la figure 7 et dans le tableau 5. On voit que, à part les gradients exprimés en fonction du poids frais (D) et du nombre des fragments (F), l'activité auxines-oxydasique est très grande au niveau de la coiffe, qu'elle baisse pour les tissus méristématiques (où elle atteint une valeur minimum) et qu'elle s'accroît à nouveau lorsqu'on se dirige vers le collet.

Les différences entre les valeurs obtenues, toutes calculées à partir d'une même série de données expérimentales, indiquent très nettement la nécessité de représenter toujours un gradient biochimique déterminé en fonction de plusieurs critères de référence (voir page 63).

### **Conclusion**

Ainsi que nous venons de le voir, qu'il s'agisse de l'azote total ou de l'azote protéinique, il y en a toujours davantage dans l'extrême pointe de la racine, constituée par des cellules âgées (coiffe) que dans la zone voisine, formée de cellules jeunes (méristème). Nous avons là, semble-t-il,

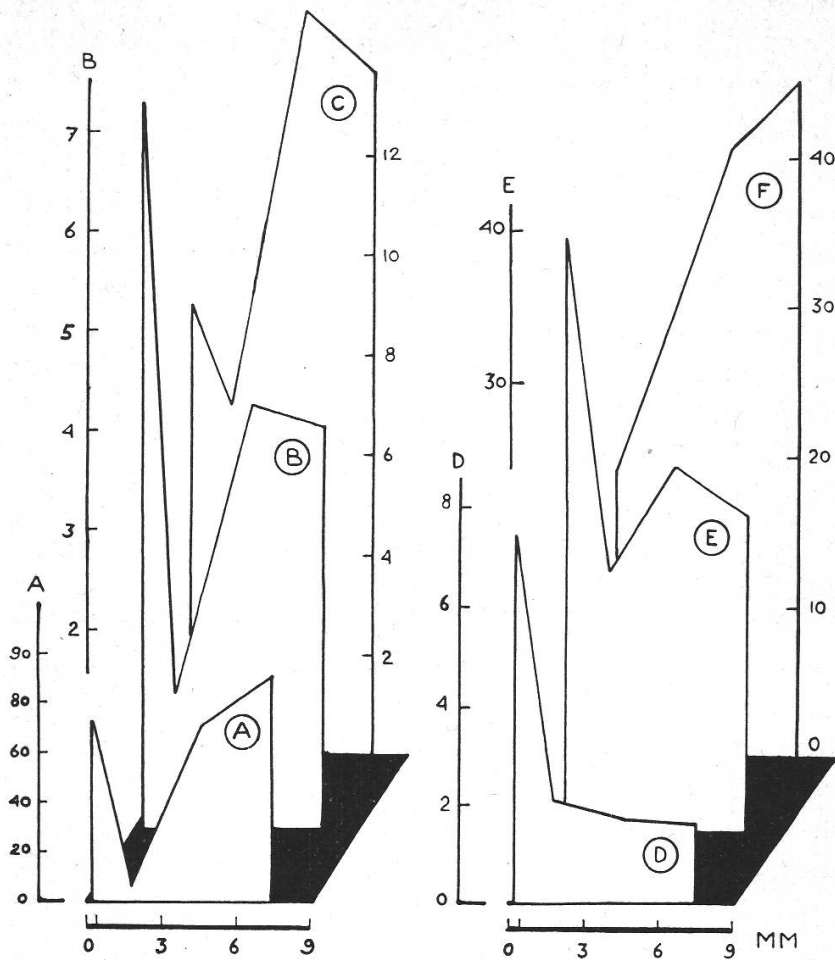


Figure 7

Activité auxines-oxydasique (en  $\mu\text{g}$  d'ABIA détruit en 60 min)  
par rapport :

A:  $10^8$  cellules    B: 0,1 mg d'azote total  
C: 0,1 mg d'azote protéinique    D: 10 mg de poids frais  
E: 10 mg de poids sec    F: 100 fragments

Tableau 5

Activité auxines-oxydasique, exprimée en  $\mu\text{g}$  d'ABIA détruit pendant 60 min et  
pour divers gradients

Zones/mm	Critères de référence					
	/10 mg poids frais	/10 mg poids sec	/0,1 mg azote total	/0,1 mg azote protéin.	/ $10^8$ cellules	/100 fragments
0,0-0,5	7,5	39,6	7,3	9,0	73,3	19
0,5-3,0	2,1	18,1	2,4	7,1	8,6	26
3,0-6,0	1,7	24,4	4,2	14,9	71,4	40
6,0-9,0	1,6	21,2	4,0	13,6	92,3	48

un nouveau critère biochimique relatif à la sénescence cellulaire. En vieillissant, une cellule s'enrichit en azote à moins que ce soit précisément parce que sa teneur en azote s'accroît qu'elle devient sénescente.

Si l'on examine la teneur en auxines le long de l'axe radicaire, on constate, et ceci quel que soit le critère de référence utilisé, qu'il y en a toujours davantage au niveau du méristème et que la concentration en hormones endogènes décroît aussi bien en direction de la coiffe qu'en direction du collet. Or, les gradients employés pour exprimer la répartition quantitative des auxines sont eux-mêmes susceptibles de larges variations. On a donc vraiment le droit de dire que les cellules jeunes sont très riches en hormones de croissance, alors que les cellules âgées en sont presque dépourvues. Comment expliquer ce phénomène ? On pourrait faire intervenir des processus de biogenèse des auxines qui seraient particulièrement actifs au niveau des cellules juvéniles ; on pourrait aussi parler d'accumulation des composés hormonaux dont la synthèse serait réalisée ailleurs. En fait, les résultats présentés dans ce travail nous offrent une troisième possibilité d'interprétation. En effet, si on examine l'activité des auxines-oxydases dans les diverses régions des racines considérées, on constatera que ces enzymes sont particulièrement peu actives au niveau du méristème, c'est-à-dire précisément dans les tissus fortement pourvus d'auxines, alors que dans les régions de l'extrême pointe et de la base, l'activité auxines-oxydasique est grande et les auxines y sont peu abondantes.

Ainsi, une cellule jeune est riche en hormones de croissance parce que, et c'est là une des raisons essentielles mais non exclusives, la destruction *in vivo* de ces auxines est pratiquement nulle, alors qu'une cellule âgée est très pauvre en hormones parce que l'activité auxines-oxydasique y est particulièrement élevée.

Quant aux relations possibles entre l'azote total et protéinique d'une part et les auxines et les auxines-oxydases d'autre part, il est prématuré d'avancer maintenant une hypothèse explicative. Bornons-nous tout simplement à relever le fait que dans les régions riches en auxines et où l'activité auxines-oxydasique est réduite, la teneur en azote est plus faible que dans les tissus pauvres en hormones de croissance.

### Zusammenfassung

1. Um eine treue Auslegung der Ergebnisse zu geben, ist es notwendig, stets mehrere Referenzwerte zu gebrauchen (zum Beispiel: Abschnittszahl, Zellenzahl, Frischgewicht, Trockengewicht usw.).
2. Der Gesamtstickstoff ist reichlich vorhanden in der Wurzelspitze. Man findet am meisten Gesamtstickstoff in diesen Spitzen, wenn man sich sowohl auf das Frischgewicht als auf das Trockengewicht bezieht. Aber wenn man sich auf den Zellgradienten bezieht, merkt man, daß die Wurzelspitze in der Tat mehr Gesamtstickstoff als die Meristeme, aber weniger als die Wurzelbasis enthält.

3. Der Proteinstickstoff ist reichlicher vorhanden in der Wurzelspitze; im Vergleich zur Zellenzahl, ist er in der Meristeme am wenigsten vorhanden.
4. Die Wuchsstoffe sind besonders zahlreich in der Meristeme, und dies gilt für alle gebrauchten Referenzgradienten.
5. Die Oxydasen-Wuchsstoffaktivität ist auf der anderen Seite schwach in der Meristeme. Diese Beobachtung erlaubt die vorangehende zu erklären.
6. Wenn man diese Ergebnisse im Vergleich zum Zellenalter zieht, kann man beobachten, daß die alten Pflanzengebilde reich an Gesamtstickstoff und Proteinstickstoff sind, aber arm an Wuchsstoffen und daß die Aktivität ihres Oxydasen-Wuchsstoffes besonders hoch ist. Auf der anderen Seite ist der Gesamtstickstoff und Proteinstickstoff wenig zahlreich in den jungen Pflanzengebilden, die Wuchsstoffkonzentration und die Aktivität der Oxydasen-Wuchsstoffe gleich Null.

---

#### Bibliographie

- (1) Baldovinos, G. Growth of the root tip. (p. 27). Symp. Growth and Differentiation in plants. Iowa State Coll. 1953.
- (2) Brown, R., and Broadbent, D. The development of cells in the growing zones of the root. *J. exp. Bot.*, **1**, 249, 1950.
- (3) Brunel, A. *Traité pratique de chimie végétale*. **3**, 469, 1949.
- (4) Chibnall, A.C. Protein metabolism in the plant. Yale Univ. Press., 1939.
- (5) Christiansen, G.S. and J., Thimann, K.V. The metabolism of stem tissue during growth and its inhibition. *Arch. Biochem.*, **28**, 117, 1950.
- (6) Erickson, R.O., and Goddard, D.R. An analysis of growth in cellular and biochemical terms. *Growth supplement Symp.*, **10**, 89, 1951.
- (7) Galston, A.W., and Dalberg, L.Y. The adaptative formation and physiological significance of the indole-acetic acid oxidase. *Am. J. Bot.*, **41**, 375, 1954.
- (8) Jensen, W.A. A morphological and biochemical analysis of the early phases of cellular growth in the root tip of *Vicia Faba*. *Exp. Cell. Research*, **8**, 506, 1955.
- (9) Kirk, P.L. Kjeldahl method for total nitrogen. *Anal. Chem.*, **22**, 354, 1950.
- (10) Mitchell, J.W. Translocation of growth-regulating substances and their effect on tissue composition. (In *Plant growth substances*, F. Skoog, Ed. Univ. of Wisconsin Press, 1951, p. 141).
- (11) Moyse, A. Relations entre le métabolisme azoté et la respiration des feuilles détachées. *Thèse Fac. Sc., Paris*, A. N° 2311, (p. 28), 1950.
- (12) Nance, J.F. Inhibition of salt accumulation in excised wheat roots by 2,4-D. *Science*, **109**, 174, 1949.
- (13) Pilet, P.-E. Contribution à l'étude des hormones de croissance (auxines) dans la racine du *Lens*. *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.*, **10**, 137, 1951.
- (14) — Répartition et variations des auxines dans les racines du *Lens*. *Experientia*, **7**, 262, 1951.
- (15) — Auxines et gradients physiologiques dans les racines. VIII<sup>e</sup> Congr. intern. Bot., Paris, **8**, 297, 1954.



- (16) Pilet, P.-E. Variations de l'activité auxines-oxydasique dan les racines du *Lens*. *Experientia*, **13**, 35, 1957.
- (17) — Distribution des groupes sulfhydryles (-SH), activité des auxines-oxydases et teneur en auxines des racines du *Lens*. *Physiol. Plant.*, **10**, 708, 1957.
- (18) — Aspect biochimique du vieillissement des tissus végétaux. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, **66**, 473, 1957.
- (19) — Sénescence cellulaire: hormones et enzymes de croissance. *Actes Soc. helv. Sc. nat.*, **137**, 90, 1957.
- (20) — Activité des auxines-oxydases et vieillissement des tissus. *C.R. Acad. Sc., Paris*, **245**, 371, 1957.
- (21) — Analyse biochromatographique des auxines radiculaires - Techniques et résultats. *Rev. gén. Bot.*, **65**, 605, 1958.
- (22) — Une méthode de préparation de fragments de tissus ou d'organes végétaux. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, **67**, 133, 1959.
- (23) — Activité auxines-oxydasique et expression cellulaire. *C.R. Acad. Sc., Paris*, **248**, 1573, 1959.
- (24) — and Galston, A.W. Auxin destruction, peroxydase activity and peroxide genesis in the roots of *Lens*. *Physiol. Plant.*, **8**, 888, 1955.
- (25) Reid, M.E. A study of physical and chemical changes in the growing region of primary roots of Cow-pea seedlings. *Am. J. Bot.*, **28**, 45, 1941.
- (26) Rhodes, A., Templeman, W.G., and Thruston, M.N. Effect of the plant growth regulator 2-methyl, 4-chloro-phenoxyacetic acid on mineral and nitrogen contents of plants. *Ann. Bot.*, **14**, 181, 1950.
- (27) Robinson, E., and Brown, R. The development of enzyme complement in growing root cells. *J. exp. Bot.*, **3**, 356, 1952.
- (28) Thimann, K.V., and Loos, G.M. Protein synthesis during water uptake by tuber tissue. *Plant. Physiol.*, **32**, 274, 1957.
- (29) Vickery, H.B., and Pucher, G.W. Chemical investigation of the rhubarb plant. III. Interpretations of the behaviour of the components during culture of detached leaves under various conditions. *Connecticut Agr. Exp. St.*, **424**, 107, 1939.
- (30) Wanner, H. Histologische und physiologische Gradienten in der Wurzelspitze. *Bull. Soc. bot. suisse*, **60**, 404, 1950.