

Polarité de transport in vitro de l'auxine radioactive (tige de Lens)

Autor(en): **Pilet, Paul-Emile / Pernet, Jean-Jacques**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse**

Band (Jahr): **80 (1970)**

PDF erstellt am: **03.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-56299>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Polarité de transport *in vitro* de l'auxine radioactive (tige de *Lens*)

Par *Paul-Emile Pilet* et *Jean-Jacques Pernet*

(Institut de biologie et de physiologie végétales, Université de Lausanne)

Manuscrit reçu le 5 décembre 1969

Introduction

Depuis les recherches de Went (1928) et de Van der Weij (1932, 1934), de très nombreux travaux ont été consacrés à l'analyse du transport de l'acide β -indolylacétique (AIA) dans des organes ou des fragments d'organes végétaux (Leopold, 1961; Pilet, 1961; McCready, 1966; Goldsmith, 1968; Vardar, 1968). L'emploi d'AIA marqué par du ^{14}C (Goldsmith et Thimann, 1962; McCready et Jacobs, 1963) a grandement facilité l'étude de ce phénomène et l'utilisation de la méthode de comptage par scintillation liquide (Naqvi, 1963) pour le dosage de la radioactivité a rendu la mesure du transport de l'AIA marqué plus précise et plus rapide. Le but de ce travail consiste à compléter, à l'aide de cette technique de scintillation – précisément adaptée au matériel employé – les résultats relatifs au transport basipète et acropète de l'AIA dans les segments de tige de *Lens culinaris* (Pilet, 1965) et d'examiner notamment la variation du contenu des segments employés en AIA radioactif.

Matériel

Des graines de *Lens culinaris* (Vilmorin) sont imbibées 5 heures dans de l'eau déionisée, puis rincées (10 à 15 minutes) à l'eau courante et mises à germer sur papier-filtre humide dans des boîtes de Pétri (obscurité, 25 °C). Après 48 heures, les plantules dont la tige mesure 2–3 mm sont arrangées sur du papier-filtre recouvrant du coton humide, dans des boîtes de Pétri, pour 48 heures. Des plantules, dont la tige mesure $13 \text{ mm} \pm 1$ sont alors sélectionnées pour les expériences. A l'aide d'une guillotine ad hoc, des segments de 6,6 mm sont prélevés à 2 mm de la graine et placés horizontalement sur des supports spéciaux (8 segments par support) (*fig. 1*).

Une solution d'acide β -indolylacétique radioactif (AIA-2- ^{14}C), dont la radioactivité spécifique est de 13,3 mC/mM, a été utilisée. 1 ml de cette solution est évaporé sous vide. On y ajoute 10 ml d'eau déionisée et 150 mg d'agar (purifié pour bactériologie, Merck) et l'on agite le tout (3 minutes) au BM bouillant. La solution chaude d'agar (1,5 %) – contenant $3,10^{-5}\text{M}$ d'AIA – est aspirée dans des tubes de verre calibrés qui sont ensuite fermés avec du Parafilm (American Can Company) et conservés au réfrigérateur (+2 °C, obscurité). A l'aide d'une guillotine spéciale, les cylindres d'agar sont découpés avant chaque expérience en blocs de 2,55 mm de diamètre et respectivement de 1,78 mm et 1,36 mm d'épaisseur pour les blocs donneurs et receveurs.

Méthode

Analyse du transport: Pour la mise en évidence d'un transport basipète *in vitro* de l'auxine (Pilet 1968a), les blocs contenant l'AIA-2- ^{14}C (blocs donneurs) sont déposés sur la surface de section apicale des fragments, les blocs chargés de récolter le ^{14}C transporté au travers des fragments (blocs receveurs) étant placés sur la section opposée. Pour l'étude du transport acropète, les blocs donneurs sont mis sur la section basale. Les surfaces de sections des segments sont préalablement

humectées. Pour chaque essai 2 à 4 supports sont utilisés; ils sont conservés en atmosphère humide (obscurité, $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0,1$) pendant la durée de l'expérience (1 à 7 heures).

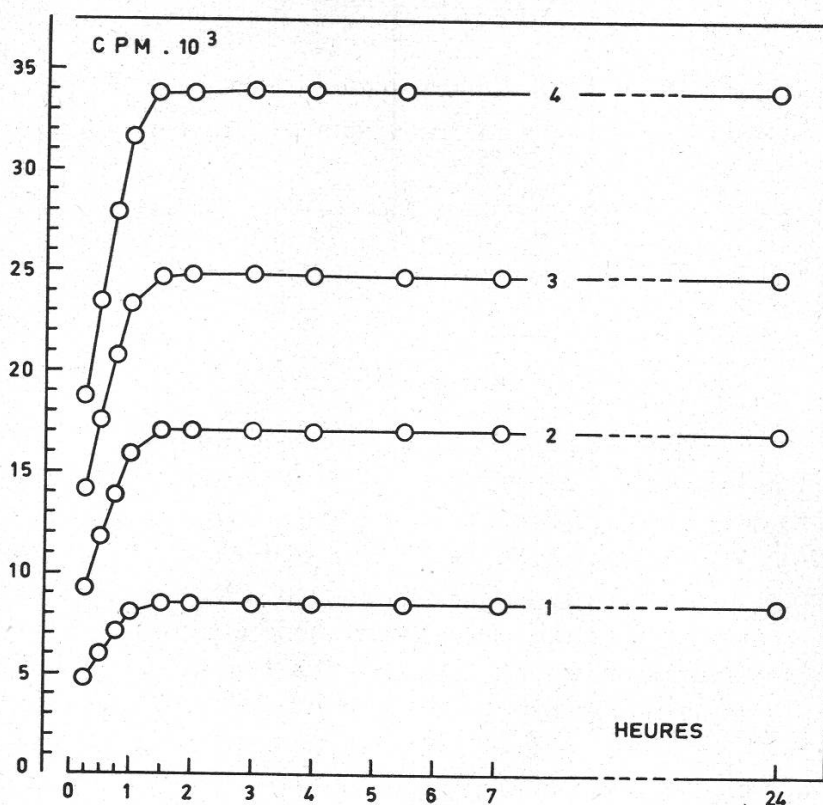


Figure 1

Evolution au cours du temps (heures) de l'extraction de la radioactivité à partir de blocs d'agar contenant de l'AIA-2- ^{14}C ($3,10^{-5}\text{M}$) placés dans 15 ml de solution scintillante froide. (1, 2, 3, 4: nombre de blocs par flacon)

Mesure de la radioactivité: Les comptages se font à l'aide d'un compteur à scintillation liquide (Nuclear Chicago, Mark 1). La solution scintillante contient 4 g d'Omnifluor (98 % 2,5 diphenyl-oxazol (PPO) +2 % p-bis (methyl-styryl)-benzène - (Pilot Chemicals Inc.) par litre d'un mélange d'éthanol absolu et de toluène (1:3; v/v) (Naqvi, 1963). A la fin de l'expérience, les blocs donneurs et receveurs sont placés, 4 par 4, dans des flacons à compter en verre contenant 15 ml de scintillateur. La longueur des segments est mesurée avant (L_0) et après (L_t) l'expérience, puis ceux-ci sont coupés en 3 ou 4 fragments suivant l'importance de leur croissance pendant la durée du transport. Les fragments sont alors transférés directement dans les flacons (4 fragments homologues par flacon). Les flacons sont conservés (obscurité, $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) 4 heures pour les blocs d'agar et 16 heures pour les fragments afin d'assurer une bonne extraction de l'AIA puis comptés ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10-20 minutes). Le bruit de fond moyen est soustrait automatiquement. Le «quenching» est contrôlé par la méthode du rapport de canaux, au moyen d'un standard externe. Les résultats sont donnés généralement en désintégrations par minute (DPM) ou parfois en coups par minute (CPM). Le rendement de comptage ($10^2 \cdot \text{CPM}/\text{DPM}$), calculé par adjonction de standard interne (toluène- ^{14}C) est de 86 %. Toutes les manipulations se font sous faible lumière verte ($535\text{ nm}\pm 35$).

Observations préliminaires: Avant toute chose, il était nécessaire de connaître avec quelle rapidité l'AIA-2- ^{14}C contenu dans les blocs diffusait dans le mélange scintillant. La figure 2 montre que l'activité maximale est atteinte après 2 heures déjà et qu'elle se maintient constante dans les limites de l'expérience (jusqu'à 24 heures).

Il importait de vérifier également si la méthode de comptage direct permettait de mesurer la totalité de la radioactivité de l'échantillon. Un certain nombre de blocs d'agar contenant de l'AIA, ainsi que des fragments de tiges, ont été brûlés selon la technique de combustion décrite par Kalberer et Rutschman (1961), et le $^{14}\text{CO}_2$, absorbé dans une solution méthanolique d'éthanol-

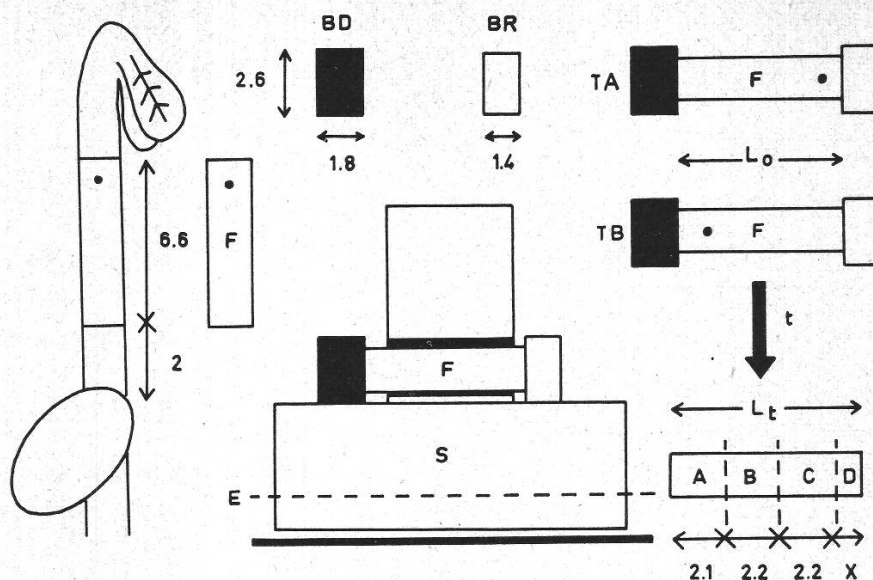


Figure 2

Préparation du matériel biologique. F: fragment d'épicotyle de *Lens*. BD: bloc d'agar donneur. BR: bloc receveur. S: support. E: niveau de l'eau. TA: transport acropète. TB: transport basipète. L_o : longueur initiale. L_t : longueur finale. A, B, C, D: segments coupés aux dépens du fragment

amine, a été compté par scintillation liquide. Les résultats obtenus par les deux méthodes ont été comparés dans les tableaux 1 et 2 d'où l'on peut déduire que:

1. La technique de comptage direct, appliquée à des blocs d'agar, donne exactement les mêmes valeurs que la méthode de combustion.
2. Bien que les valeurs absolues de la radioactivité des fragments soient quelque peu différentes d'une expérience à l'autre – la variabilité du matériel biologique l'explique – il n'y a plus de différence significative si l'on compare les valeurs relatives (% ΔD).
3. Le comptage direct mesure donc bien la totalité de l'AIA contenu dans des blocs d'agar ou dans les fragments de tige.

Tableau 1

Radioactivité de blocs d'agar enrichis en AIA-2- ^{14}C ($3.10^{-5}M$)
 Comparaison de deux techniques de comptage

N	Radioactivité (DPM) par bloc	
	Comptage direct	Comptage par «flask combustion»
1	9433	9592
2	9575	9606
4	9605	9472
6	9950	9499
8	9648	9261 ¹
10	9348	9131 ¹
15	9559	—
Moyenne	9585	9556

N: nombre de blocs d'agar par flacon

¹: valeurs non utilisées dans le calcul de la moyenne

Tableau 2

Radioactivité dans les blocs donneurs (D) et dans les fragments (F)
Concentration initiale d'AIA-2- ^{14}C $\cdot 3.10^{-5}\text{M}$

	Expérience 1		Expérience 2	
	DPM bloc ou fragment	% ΔD	DPM bloc ou fragment	% ΔD
D_0	9787	—	9787	
D_5	4712	—	4533	
$\Delta D = D_0 - D_5$	5075	—	5254	
F	4473	88,1	4716 ¹	89,7

¹ A part cette valeur («flask combustion»), toutes ont été obtenues par la méthode de comptage direct.

Résultats et discussion

Transport basipète

Variations de la radioactivité dans les blocs donneurs et receveurs (fig. 3)

La radioactivité cédée par les blocs donneurs augmente pratiquement linéairement avec la durée de l'expérience (équation de régression: $y = 8,17x + 0,88$; coefficient de corrélation 0,999). Ceci avait déjà été noté par McCready et Jacobs (1963),

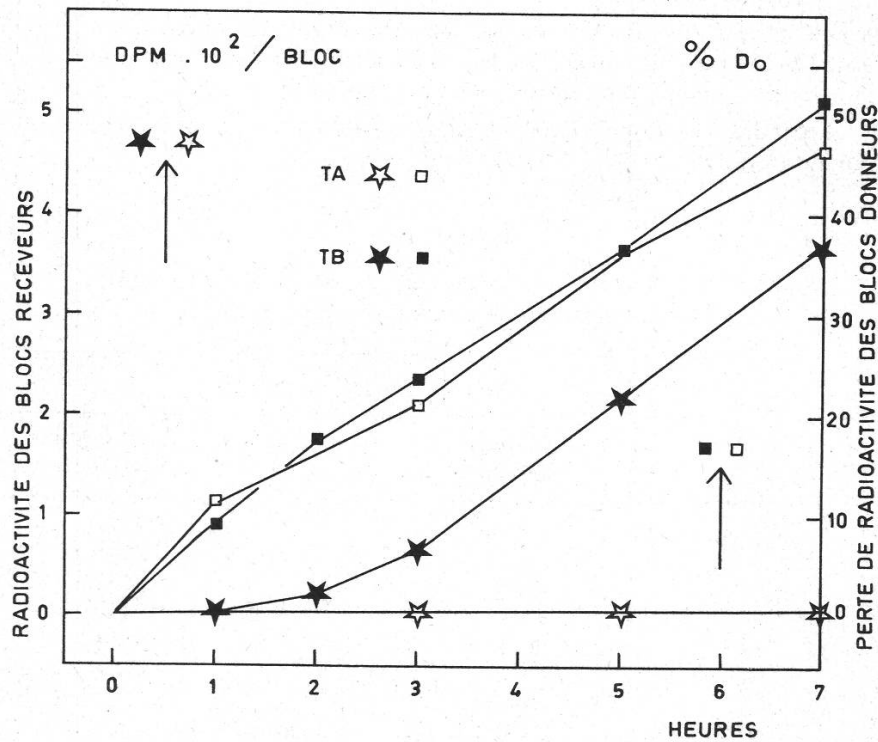


Figure 3

Variations au cours du temps de la radioactivité dans les blocs donneurs et receveurs. TA: transport acropète. TB: transport basipète

Pilet (1965), Keitt et Baker (1966) et Gorter et Veen (1966). On peut toutefois relever une augmentation légèrement plus rapide pour les 2 premières heures.

L'accroissement de la radioactivité dans les blocs receveurs paraît suivre deux phases:

a) la première, non linéaire (McCready, 1963; Thornton et Thimann, 1967), probablement exponentielle (Keitt et Baker, 1966), dépendrait du fait qu'une partie de l'AIA pourrait se déplacer avec une vitesse plus grande que celle du transport normal de l'auxine (Vardar, 1964; Newman, 1965);

b) la deuxième, linéaire, correspondrait à un taux de transport constant (McCready, 1963).

Il est possible de calculer la vitesse de transport de l'AIA par la méthode initialement décrite par Van der Weij (1934) et adaptée à des mesures de radioactivité par McCready et Jacobs (1963) et Pilet (1965).

Utilisant la partie linéaire de la courbe (Gordon et Eib, 1956; Jacobs, 1967; McCready et Jacobs, 1963; Pilet 1965), dont l'équation de régression est $y = 76x - 162$, on extrapole à «zéro AIA». Le temps T nécessaire pour que la radioactivité soit transportée à travers le segment est ainsi déterminé. Connaissant la longueur L du fragment au temps T, la vitesse de transport V est égale à $L/T = 3,4$ mm/h.

Si cette valeur est inférieure à celles indiquées précédemment par Pilet (1965) qui trouve 6,4 mm/h sur des tiges de *Lens* et par McCready et Jacobs (1963) qui donnent 5,7 mm/h pour des pétioles de *Phaseolus*, elle est proche, par contre, de la vitesse calculée par Jacobs et McCready (1967) qui est de l'ordre de 2,1 à 3,3 mm/h pour des tiges de *Coleus*.

Il faut toutefois noter que les écarts observés dans les valeurs données pour les vitesses de transport dépendent très directement de l'âge des tissus (Osborne, Horton et Black, 1968), de la vitesse de croissance de ces tissus (Pilet, en préparation) et de l'influence de facteurs extérieurs comme la température, par exemple (Pilet, 1968^b). De plus, la vitesse telle qu'elle est calculée ici correspond évidemment à des valeurs arbitraires puisque l'on ne tient pas compte de la portion exponentielle de la courbe (Thornton et Thimann, 1967) et il est clair que la vitesse réelle est supérieure.

Variation de la radioactivité dans les segments (fig. 4)

Les résultats obtenus autorisent les remarques suivantes:

1. la radioactivité tend à suivre une distribution logarithmique (Horwitz, 1958; Goldsmith et Thimann, 1962; Leopold et Hall, 1966);
2. cependant, elle s'en écarte de plus en plus dans les derniers millimètres (Goldsmith et Thimann, 1962; de la Fuente et Leopold, 1966; Thompson, 1966; Morgan et Gaussman, 1966);
3. contrairement à ce qui paraît se passer dans les coleoptiles (Goldsmith et Thimann, 1962), l'allure de la distribution change considérablement avec le temps, s'écartant de plus en plus d'une distribution logarithmique;
4. la radioactivité est pratiquement constante dans les deux derniers fragments, parfois même supérieure dans le fragment basal (de la Fuente et Leopold,

1966; Wilkins et Whyte, 1968; Thimann et Wardlaw, 1963), ce qui pourrait s'expliquer par un « effet de barrière » provoqué par l'interface tissu-agar (Thimann et Wardlaw, 1963).

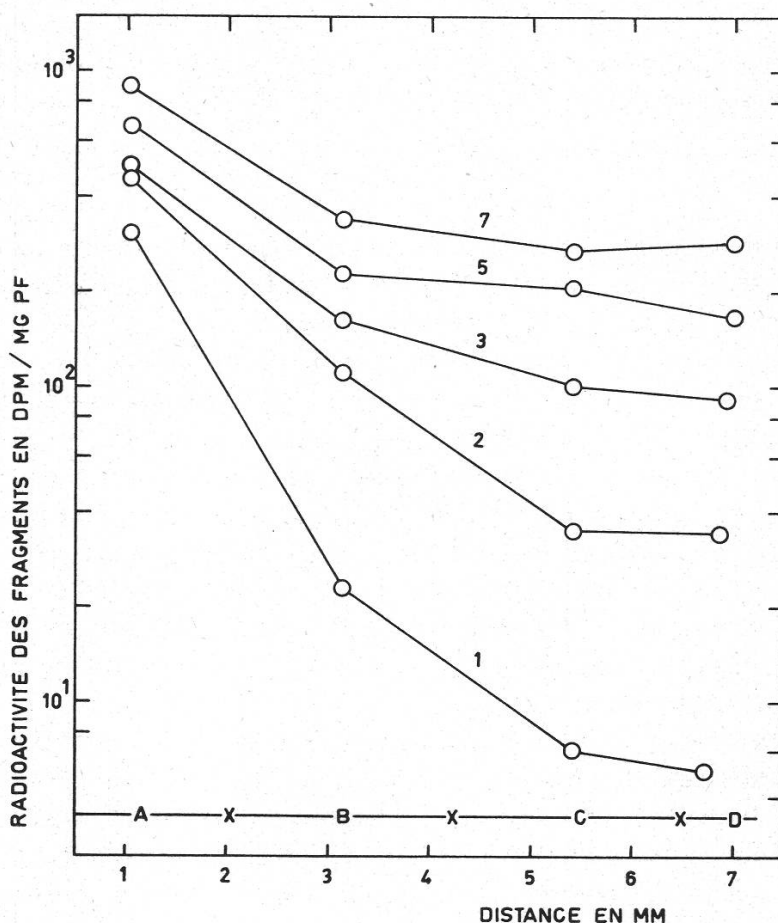


Figure 4

Distribution (en fonction de la distance en mm) du ^{14}C dans des fragments de tiges traitées par l'AIA-2- ^{14}C ($3,10^{-5}\text{M}$) contenu dans un bloc donneur déposés sur leur section apicale
Durée de l'expérience en h (1, 2, 3, 5 et 7)

Transport acropète

Variations de la radioactivité dans les blocs donneurs et receveurs (fig. 3)

Si la perte de radioactivité des blocs donneurs est pratiquement proportionnelle à la durée de l'expérience (équation de régression: $y = 7,51 \times + 0,16$; coefficient de corrélation: 0,997) – ce qui avait été montré par McCready et Jacobs (1963) – elle est cependant légèrement plus forte pendant la première heure.

Les valeurs de la radioactivité observées dans les blocs receveurs en fonction du temps sont numériquement très faibles (*tableau 3*), de plus elles ne sont pas statistiquement différentes ($P = 0,05$). Ceci implique un « transport » acropète très faible et confirme l'idée d'une polarité de transport accusée dans les épicotyles de *Lens* (Pilet, 1965).

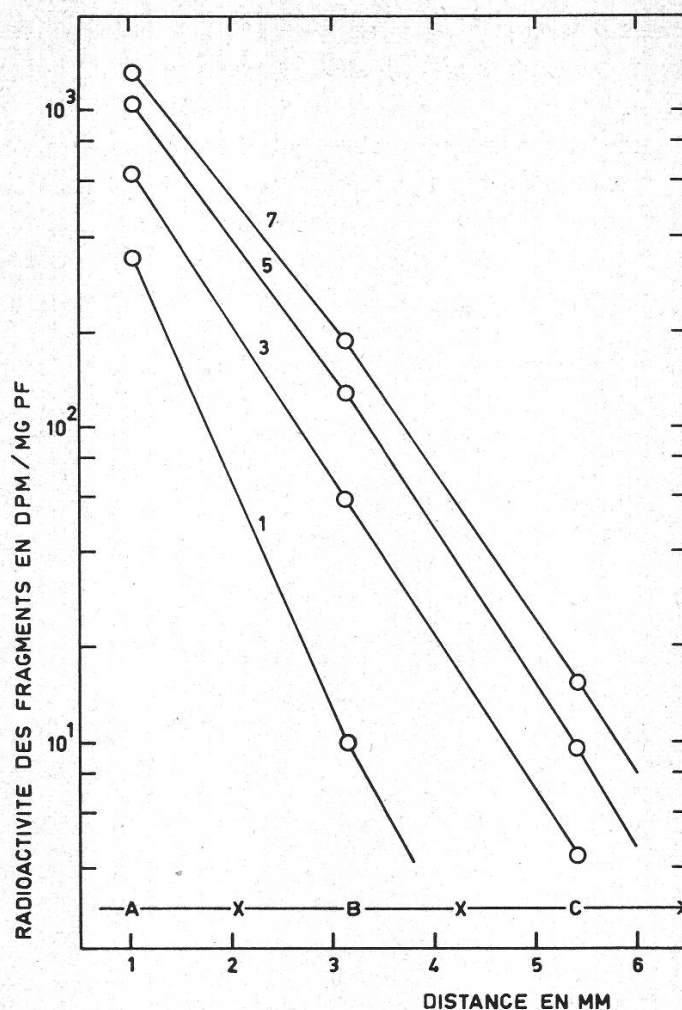


Figure 5

Distribution (en fonction de la distance en mm) du ^{14}C dans des fragments de tiges traitées par l'AIA-2- ^{14}C ($3,10^{-5}\text{M}$) contenu dans un bloc donneur déposés sur leur section basale
Durée de l'expérience en h (1, 3, 5 et 7)

Variation de la radioactivité dans les segments (fig. 5)

Les résultats de l'analyse de la radioactivité dans les fragments permettent les remarques suivantes:

- la distribution est pratiquement logarithmique (de la Fuente et Leopold, 1966) et ceci quelle que soit la durée de l'expérience;
- la très faible radioactivité mesurée dans les fragments apicaux correspond à celle obtenue pour les blocs receveurs.

Comparaison des transports basipète et acropète

Les courbes décrivant la perte de radioactivité des blocs donneurs sont semblables, à l'amplitude près, tant pour la transport acropète (TA) que pour le transport basipète (TB) (McCready et Jacobs, 1963; Keitt et Baker, 1966). Cependant, la

différence est faible durant les premières heures (Naqvi et Gordon, 1965). Si l'on admet que l'absorption est la même aux deux extrémités du segment – la polarité n'intervenant qu'ultérieurement (Gorter et Veen, 1966) – cette différence observée peut s'expliquer par des considérations purement physiques: une diminution du transport à partir de l'interface agar-tissu produirait une diminution du gradient de concentration à travers cette interface (Gordon et Eib, 1956).

L'accroissement de la radioactivité dans les blocs receveurs est très différent selon qu'il s'agit de transport basipète ou acropète. Nous pouvons calculer le *degré de*

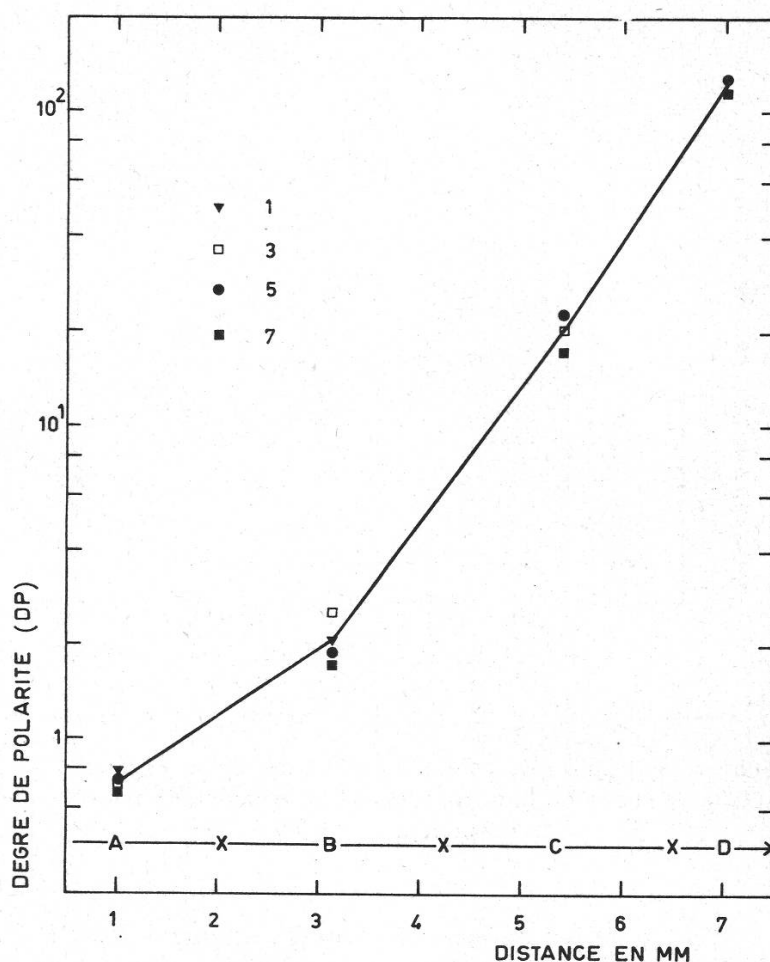


Figure 6

Evolution du degré de polarité (DP) en fonction du temps (1, 3, 5 et 7 heures) et de la distance en mm au bloc donneur

polarité (DP), rapport du mouvement basipète par rapport au mouvement acropète (Pilet, 1968^b). Soit C la valeur de la radioactivité dans le bloc receveur exprimée en % de l'AIA cédé par le bloc donneur, on a: $DP = C_{TB}/C_{TA}$. Les résultats présentés dans le *tableau 3* montrent que le DP augmente avec la durée de l'expérience, ce qui indique une très forte polarité du transport.

De la comparaison des résultats donnés dans les *figures 4* et *5*, nous constatons que:

1. la pente du gradient de radioactivité dans les segments est plus forte dans le cas du transport acropète que dans celui du transport basipète, ce qui avait déjà été

- noté par (Thimann et Wardlaw (1963), de la Fuente et Leopold (1966) et Wilkins et Whyte (1968), encore que la différence soit faible après 1 heure;
- la radioactivité dans le fragment A (le plus près du bloc donneur) est plus grande après un transport acropète qu'après un transport basipète (Thimann et Wardlaw, 1963; Goldsmith, 1966). Ce fait s'explique si l'on admet que la pénétration de l'AIA est pratiquement la même aux deux extrémités et que la vitesse du transport basipète est beaucoup plus grande que celle du transport acropète.

Tableau 3
Variations au cours du temps (heures) du degré de polarité (DP)

Heures	$\Delta D = D_0 - D_t$		R_t		$C = R_t \cdot 10^3 / \Delta D$		$DP = C_{TB} / C_{TA}$
	TA	TB	TA	TB	TA	TB	
1	1019	1141	2	3	0,20	0,26	1,3
3	2363	2556	3	66	0,12	2,58	21,5
5	4602	4343	4	218	0,09	5,01	55,7
7	6072	6108	6	370	0,10	6,05	60,5

Il est possible de calculer, de la même manière que dans le cas des blocs receveurs, le DP dans les segments utilisés pour le transport. Les valeurs du DP (*figures 6*) montrent que:

- à une même distance du bloc donneur, le DP reste sensiblement constant au cours du temps;
- le DP augmente approximativement d'une façon logarithmique avec la distance, ce qui avait été noté par de la Fuente et Leopold (1966), en accord d'ailleurs avec le modèle de transport proposé par Leopold et Hall (1966);
- dans le fragment le plus proche du bloc receveur, le DP est supérieur à celui calculé dans les blocs;
- dans le fragment le plus proche du bloc donneur, le DP est légèrement inférieur à 1.

Si le calcul du DP, pour les segments, ne fournit pas des indications aussi claires que celui donné par les blocs receveurs, c'est vraisemblablement parce que, dans les tissus, une certaine partie de l'AIA se trouve immobilisée (Goldsmith et Thimann, 1962).

Les résultats présentés montrent que si le transport basipète dans les segments de tiges de *Lens culinaris* est important, le transport acropète, lui, par contre, est très faible. Dans ces conditions, il est impossible de déterminer si le déplacement acropète de l'AIA est le fait d'un «transport» – impliquant la participation de cellules vivantes (Goldsmith, 1968) – ou s'il s'agit d'un simple courant de diffusion; les deux hypothèses ne s'excluant d'ailleurs pas l'une l'autre.

Pour caractériser le transport de l'AIA *in vitro*, les mesures de la radioactivité des blocs donneurs et receveurs sont donc utilement complétées par celles de la radio-

activité dans les segments. Cependant, si les dernières analyses permettent de connaître la distribution de l'auxine, elles ne donnent aucune information quantitative relativement à la part de l'auxine transportée par rapport à celle qui est fixée dans le tissu et qu'il conviendra de préciser.

Zusammenfassung

In Stengelfragmenten von Linsenkeimlingen wurde der Transport markierter Indollessigsäure (IES-2- ^{14}C) untersucht. C^{14} wurde mit einer modifizierten direkten Zählmethode bestimmt. Die in früheren Versuchen festgestellte Polarität des C^{14} -Transportes wurde bestätigt; die basipetale Verlagerung war weit stärker als die akropetale. Ähnliche Befunde wurden für den C^{14} -Gradienten in den Stengelfragmenten erhalten. Methodik und Ergebnisse werden diskutiert.

Summary

The transport of labeled IAA (IAA-2- ^{14}C) in stem fragments prepared from *Lens* seedlings was analysed. The detection of the radiocarbon was made using a direct counting method adapted to the biological material employed. The polarity of the "in vitro" ^{14}C transport, reported by the study of the donors and receiver agar blocks, was confirmed. The basipetal translocation was found to be far greater than the acropetal movement. Similar observations were made on the gradient of ^{14}C in the fragments. Techniques and results were discussed.

References

- Black M.K. et D.J. Osborne. 1965. Polarity of transport of benzyladenine and indole-3-acetic acid in petiole segments of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiol.* **40**, 676-680.
- de la Fuente R.K. et A.C. Leopold 1966. Kinetics of polar auxin transport. *Plant Physiol.* **41**, 1481-1484.
- Goldsmith M.H.M. 1966. Movement of indolacetic acid in coleoptiles of *Avena sativa* L. II. Suspension of polarity by total inhibition of the basipetal transport. *Plant Physiol.* **41**, 15-27.
- 1968. The transport of auxin. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **19**, 347-360.
- et K.V. Thimann. 1962. Some characteristics of movement of indoleacetic acid in coleoptiles of *Avena*. I. Uptake, destruction, immobilization, and distribution of IAA during basipetal translocation. *Plant Physiol.* **37**, 492-505.
- Gordon S.A. et M. Eib. 1956. Hormonal relations in the phototropic response: polarity and velocity of auxin transport. Argonne Natl. Lab., Bio. Med. Res. Div. Quarterly report (April-June) 51-56.
- Gorter Chr.J. et H. Veen. 1966. Auxin transport in explants of *Coleus*. *Plant Physiol.* **41**, 83-86.
- Horwitz L. 1958. Some simplified mathematical treatments of translocation in plants. *Plant Physiol.* **33**, 81-93.
- Jacobs W.P. 1967. Comparison of the movement and vascular differentiation effects of the endogenous auxin and of phenoxyacetic weedkillers in stems and petioles of *Coleus* and *Phaseolus*. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **144**, 102-117.
- et C.C. McCready. 1967. Polar transport of growth-regulators in pith and vascular tissues of *Coleus* stems. *Amer. J. Bot.* **54**, 1035-1040.
- Kalberer F. et J. Rutschmann. 1961. Eine Schnellmethode zur Bestimmung von Tritium, Radiokohlenstoff und Radioschwefel in beliebigem organischem Probenmaterial mittels des Flüssigkeits-Scintillations-Zählers. *Helvetica Chimica Acta XLIV*, 1956-1967.
- Keitt Jr. G.W. et R.A. Baker. 1966. Auxin activity of substituted benzoic acids and their effect on polar auxin transport. *Plant Physiol.* **41**, 1561-1569.
- Leopold A.C. 1961. The transport of auxin. *Handbuch der Pflanzenphysiologie* **14**, 671-682.
- et O.F. Hall. 1966. Mathematical model of polar auxin transport. *Plant Physiol.* **41**, 1476-1480.
- McCready C.C. 1963. Movements of growth regulators in plants. I. Polar transport of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in segments from the petioles of *Phaseolus vulgaris*. *New Phytol.* **62**, 3-18.
- 1966. Translocation of growth regulators. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **17**, 283-294.
- et W.P. Jacobs. 1963. Movement of growth regulators in plants. II. Polar transport of radioactivity from indoleacetic acid-¹⁴C and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-¹⁴C in petioles of *Phaseolus vulgaris*. *New Phytol.* **62**, 19-34.
- Morgan P.W. et H.W. Gausman. 1966. Effects of ethylene on auxin transport. *Plant Physiol.* **41**, 45-52.
- Naqvi S.M. 1963. Transport studies with C¹⁴-indoleacetic acid and C¹⁴ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in *Coleus* stems. Ph. D. Thesis, Princeton University, Princeton, New Jersey.
- et S.A. Gordon. 1965. Auxin transport in flowering and vegetative shoots of *Coleus blumei* Benth. *Plant Physiol.* **40**, 116-118.
- Newman I.A. 1965. Distribution of indolyl-3-acetic acid labelled with ¹⁴C in *Avena*. *Nature* **205**, 1336-1337.
- Osborne D.J., R.F. Horton et M.K. Black. 1968. Senescence in excised petiole segments: the relevance to auxin and kinin transport. Dans «The transport of plant hormones» Ed. Y. Vardar, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 79-96.
- Pilet P.E. 1961. Les phytohormones de croissance. Paris, Masson & C^{ie}.
- 1965. Polar transport of radioactivity from ¹⁴C-labelled- β -indolylacetic acid in stems of *Lens culinaris*. *Physiol. Plant.* **18**, 687-702.
- 1968a. *In vitro* and *in vivo* auxin and cytokinin translocation. Intern. Conf. Plant Growth Regul. Carleton, 993-1004.
- 1968b. Basipetal and acropetal auxin transport in relation with temperature. *Physiol. Plant.* **21**, 1196-1200.

- Thimann K.V. et I.F. Wardlaw 1963. The effect of light on the uptake and transport of indole-acetic acid in the green stem of the pea. *Plant Physiol.* **16**, 368–377.
- Thompson N.P. 1966. Vascular regeneration and long distance transport of indole-3-acetic acid in *Coleus* stems. *Plant Physiol.* **41**, 1106–1112.
- Thornton K.M. et K.V. Thimann. 1967. Transient effects of light on auxin transport in the *Avena* coleoptile. *Plant Physiol.* **42**, 247–257.
- Van der Weij H.G. 1932. Der Mechanismus des Wuchsstofftransportes. *Rec. Trav. Bot. Néerl.* **29**, 379–496.
- 1934. Der Mechanismus des Wuchsstofftransportes II. *Rec. Trav. Bot. Néerl.* **31**, 810–857.
- Vardar Y. 1964. Experiments with *Helianthus annuus* hypocotyls on IAA-¹⁴C transport in relation with temperature. *Berichte der Schweiz. Bot. Ges.* **74**, 229–236.
- 1968. The transport of plant hormones. North-Holland Publ. Amsterdam.
- Went F.W. 1928. Wuchsstoff und Wachstum. *Rec. Trav. Bot. Néerl.* **25**, 1–116.
- Whitehouse R.L. et S. Zalik. 1967. Translocation of indole-3-acetic-1-¹⁴C and tryptophan-1-¹⁴C in seedlings of *Phaseolus coccineus* L. and *Zea mays* L. — *Plant Physiol.* **42**, 1363–1372.
- Wilkins M.B. et P. Whyte. 1968. Polar transport of auxin in *Zea* coleoptiles under anaerobic conditions. *Intern. Conf. Plant Growth Regul. Carleton.* 1051–1062.