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

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 74 (1964)

Artikel: Action in vitro et in vivo du fluor sur le catabolisme de l'acide - indolylacétique

Autor: Pilet, Paul-Emile / Collet, Gérald

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52028

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

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

Action in vitro et in vivo du fluor sur le catabolisme de l'acide β-indolylacétique

Par *Paul-Emile Pilet* et *Gérald Collet*

Laboratoire de Physiologie végétale
(Université de Lausanne)

Manuscrit reçu le 8 juin 1964

1. Introduction

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude du catabolisme auxinique (v. Galston et Hillman, 1961; Pilet, 1961 a) et tout particulièrement aux composés susceptibles de modifier l'activité des systèmes enzymatiques responsables de ces processus (v. Pilet, 1960).

On a réservé à ces substances qui modifient les effets des auxines-oxydases le nom d'effecteurs auxines-oxydasiques (Pilet, 1960, 1961 a et b; Collet, 1962; Gaspar, Pilet et Bastin, 1964).

Connaissant l'action du fluor sur la respiration des racines du *Lens*, en relation avec des traitements à l'acide β-indolylacétique (ABIA) (Pilet, 1964) et ayant, à plusieurs reprises, relevé la très forte activité auxines-oxydasique des racines du *Lens* (Pilet, 1957 b), il pouvait être intéressant – et c'est l'objet de cette étude – d'analyser l'action du fluor sur le catabolisme auxinique et de chercher à savoir si le fluor peut être considéré comme un effecteur auxines-oxydasique.

2. Quelques travaux

A notre connaissance, aucune publication n'a été consacrée à l'action du fluor sur la destruction *in vitro* et *in vivo* de l'ABIA. Par contre, on est mieux informé quant au rôle que le fluor exerce sur d'autres systèmes enzymatiques. En rappelant brièvement quelques faits, on pourra saisir plus aisément quelques-uns des résultats discutés dans ce travail.

Warburg et Christian (1942) indiquent que le fluor inhibe l'activité des énolases provenant de la levure et Miller (1958) fait la même observation pour des énolases extraites du *Pisum*. Or, l'on sait depuis longtemps que le fluor, à forte concentration, peut inhiber l'absorption de l'oxygène (James, 1946; Bonner, 1948) sans que pourtant cette inhibition soit ni constante, ni durable (Hill et coll., 1959; Pilet, 1963 a

et 1964). De plus, l'addition de pyruvate qui peut empêcher l'effet inhibiteur de hautes doses de fluor semble indiquer que la réduction des processus respiratoires peut se situer au niveau des systèmes énolasiques (Laties, 1949). Pourtant, cette inhibition n'est réellement observée que pour des doses très fortes de fluor. McNulty et Lords (1960) ont vérifié ce fait pour des algues, Pilet (1963 a) pour des disques de feuilles de vigne et d'abricotier et (1964) pour des fragments de racines de lentille. Ces faits doivent être placés dans la perspective d'une action directe du fluor sur l'ATP et McNulty, à ce propos, observe une augmentation caractéristique du taux en phosphate estérifié qui proviendrait de l'ATP.

Il convient encore de citer les recherches qui ont montré l'action du fluor sur les enzymes réglant l'anabolisme et le catabolisme des chlorophylles (McNulty et Newman, 1956, 1961; Pilet, 1963 b).

Pour terminer, rappelons les recherches de Ordin et Skoe (1963) qui estiment que l'inhibition de la croissance des cellules végétales par de fortes concentrations de fluor n'est pas exclusivement due à des processus cataboliques réduits, mais résulterait également de perturbations dans la fixation de certains composés au niveau des membranes squelettiques. Il n'est pas exclu alors que l'activité de certaines enzymes responsables de telles réactions soient influencées par le fluor.

3. Matériel et techniques

3.1 Préparation des extraits auxines-oxydasiques

La technique a déjà été résumée et discutée ailleurs (Pilet 1957 a; Pilet et Collet, 1962; Pilet et Gaspar, 1964). Nous n'en donnerons qu'un sommaire résumé:

- les graines sont déposées (4 h) dans de l'eau déionisée (obscurité; 25 °C);
- après imbibition, on les lave plusieurs fois à l'eau déionisée;
- on les sème alors en boîtes de Pétri sur papier filtre et eau déionisée; les boîtes sont placées à l'étuve (25 °C, obscurité);
- 24 heures après le semis, on sélectionne les plantules dont les racines ont ± 3 mm;
- 48 h après le semis, la vitesse de croissance des racines est maximale; seules les plantules dont la racine mesure 18 mm ± 1, sont conservées;
- des pointes de racines de 12 mm sont prélevées et placées dans un tube de verre taré plongeant dans une solution aqueuse de NaCl à 1,5% (température maintenue entre —6 °C et +2 °C) d'un bécher; ce dernier plonge dans un second qui contient de l'alcool à —40 °C;

– on pèse ensuite le matériel. A titre d'indication, 100 pointes de 12 mm pèsent environ 1 g.

Le matériel est broyé dans un mortier sortant du congélateur, en présence de quelques gouttes d'une solution-tampon phosphate (pH: 6,1), la température maintenue entre —6 °C et +2 °C, jusqu'à obtention d'une crème onctueuse sans plus aucune particule structurée. Toutes les opérations se font en lumière verte.

Ce broyat additionné de solution-tampon est centrifugé une première fois pendant 10 minutes à 8000 t/min; température entre —6 °C et +2 °C.

Le culot, resuspendu avec les eaux de rinçage du mortier et du pistil (gardées jusqu'alors au frigidaire à 0 °C), est centrifugé une deuxième fois dans les mêmes conditions.

Les deux surnageants réunis sont amenés à un volume déterminé (selon la concentration désirée) dans des ballons jaugés, gardés au frigidaire.

3.2 Chromatographie sur silice (couche mince)

La séparation des divers composés d'un extrait végétal est réalisée par chromatographie sur couche mince de silice (Kieselgel G. Merck) selon la technique que nous avons mise au point (v. Collet, Dubouchet et Pilet, 1964). Deux solvants chromatographiques sont utilisés: l'AMIN (acétate de méthyle-isopropanol-ammoniaque 25% [45/35/20]) et le CA (chloroforme-ac. acétique 96% [95/5]).

Nous avons choisi trois révélateurs chimiques: 1° le réactif de Salkowski modifié par Pilet (1957 a) et adapté à la couche mince (Collet, Dubouchet et Pilet, 1964). 2° le Prochazka (Stahl 1962; Collet, Dubouchet et Pilet, 1964) et un révélateur du fluor: oxychlorure de zirconium en solution acide-cyanure d'ériochrome (1/1) (Oelschläger et Kirchgessner, 1960; Oelschläger, 1962; Pilet, 1963).

Les chromatogrammes, après élimination des éluants sont aspergés d'un brouillard de ces réactifs, puis examinés en lumière naturelle ou sous U.V.

3.3 Activité auxines-oxydasique

La méthode a également été discutée longuement ailleurs (Pilet, 1957 a; Pilet et Collet, 1962); nous nous bornerons à en rappeler les grandes lignes:

a) incubation de l'extrait actif;

b) mesure de la concentration d'ABIA dégradé;

c) calculs.

a) Dans des erlenmeyers de 50 ml; dans une étuve à 25 °C, pourvue d'un chariot permettant l'agitation continuelle des extraits incubés.

Chaque erlenmeyer contient:

4 ml de tampon-phosphate (pH 6,1)

4 ml d'extrait de *Lens* (conc. déterminée)

Au temps 0 on ajoute 2 ml d'une solution d'ABIA à 50 y/ml.

b) Après 30′, 60′, 120′ et 180′ on prélève dans l'extrait incubé 2 ml du mélange (extrait + ABIA) et ils sont ajoutés à 8 ml de Salkowski (préparé selon Pilet 1957 a), contenu dans un tube de Klett. Le mélange est réalisé en renversant 4 fois le tube bouché. On mesure les indices colorimétriques It toutes les 300 sec au photocolorimètre Klett-Summerson (filtre 535 mu ∓35 mu); (le zéro du colorimètre est contrôlé avec un mélange de 8 ml de Salkowski +2 ml de tampon-phosphate). Parallèlement aux incubations en présence de substrat (ABIA), des extraits sont incubés sans ABIA et recevront celui-ci immédiatement avant la mesure au colorimètre qui nous donnera l'indice I′.

c) Pour un mélange d'incubation de 50 ml contenant:

20 ml d'extrait de *Lens* (conc. donnée);

20 ml tampon

10 ml ABIA à 50 γ/ml

1° ABIA détruit:

au temps t $\frac{I' - It}{I'} \cdot 500$

2° ABIA détruit/100 mg PF

au temps t $\frac{I' - It}{I} \cdot 500 \cdot \frac{100}{x}$

x étant la quantité de poids frais (PF) de racines de *Lens* pour 20 ml d'extrait.

3.4 Mode d'action des effecteurs auxines-oxydasiques

Un effecteur enzymatique peut agir de diverses façons et à plusieurs reprises (Pilet, 1961 a; Pilet et Collet, 1962) nous avons insisté sur l'importance de la détermination de l'activité auxines-oxydasique en rapport avec la nature de l'application de l'effecteur envisagé. Sans discuter ici les types d'analyses du catabolisme auxinique *(in vivo, in situ* et *in vitro)* puisque nous ne nous occuperons que de l'inactivation de l'ABIA

in vitro, rappelons qu'un effecteur (ici le fluor éventuellement) peut exercer son action de deux façons distinctes:

a) action *in vivo* – l'effecteur est fourni aux tissus avant la préparation de l'extrait enzymatique;

b) action *in vitro* – l'effecteur est donné à l'extrait enzymatique.

4. Résultats

4.1 Action du fluor sur la séparation chromatographique des composés d'un extrait végétal

La présence du fluor est aisément mise en évidence sur la couche mince, en aspergeant celle-ci avec le réactif approprié (v.p. 217). Le fluor décolore le réactif et fait apparaître une plage jaune pâle sur fond rose. Un chauffage à 110 °C pendant 5 min avive les couleurs; dans ces conditions, le réactif imbibant la silice, colorée en rouge amarante (rouge-mauve, pourpre violacé), en présence du fluor, est jaune intense.

Examiné à la lumière U.V., les zones fluorées apparaissent en bleu-pâle sur fond rouge-rose brillant («scotchlight»). Les deux solvants chromatographiques utilisés n'entraînent pas le NaF (Rf: 0,0).

Nous avons alors examiné si la présence de NaF pouvait, dans un extrait végétal contenant ou non de l'ABIA, modifier la séparation chromatographique des composés de l'extrait. Quatre chromatographies, répétées dans chaque solvant et révélées par le Salkowski, le Prochazka et le réactif du fluor, comprenaient la séparation chromatographique de:

1. extrait seul
2. extrait contenant du NaF (1.10^{-2}M)
3. extrait contenant de l'ABIA (10 γ/ml)
4. extrait contenant un mélange de NaF et d'ABIA

Aucune différence due à la présence de fluor n'est à signaler entre ces 4 séparations. Le NaF ne modifie donc pas *in vitro* la composition de l'extrait végétal. Il ne se fixe pas non plus sur l'un de ces composés (son Rf demeure 0,0). (Remarque: la tache initiale de certains extraits Te décolore le réactif du fluor.)

4.2 Action du fluor sur l'activité auxines-oxydasique

Nous examinerons successivement deux séries de résultats obtenus:

a) à l'aide de la technique de la chromatographie sur couche mince;

b) en utilisant la méthode colorimétrique.

a) Analyses chromatographiques

Nous avons examiné l'action du NaF sur l'activité enzymatique responsable de la destruction de l'ABIA suivant deux modalités:

1. *in vitro;* 2. *in vivo*

et nous avons comparé les séparations chromatographiques des extraits analysés après 120 min d'incubation à celles d'extraits Te n'ayant jamais été en contact avec du NaF (III).

L'incubation (obscurité, 25 °C, 120 min) se fait en présence de 10 γ/ml, d'ABIA.

Figure 1

III: extrait brut Te

I: extrait brut Te+NaF 1.10^{-2}M

II: extrait brut provenant de plantules traitées pendant 24 h avec du NaF 1.10^{-2}M

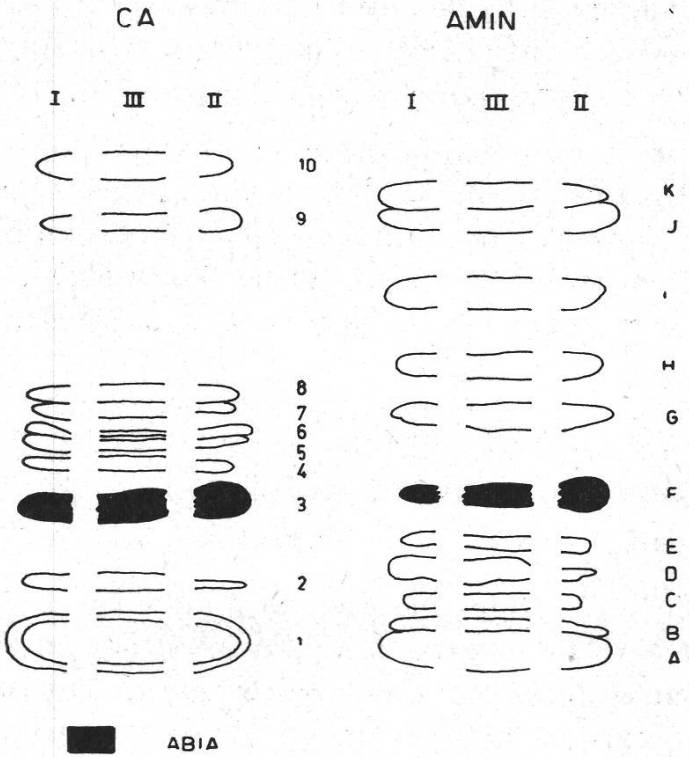

Figure 1

Influence du fluor (NaF) sur l'activité auxines-oxydasique.
Séparation par chromatographie sur couche mince
Solvants:
CA (chloroforme-acide acétique 96 %; 95/5)
AMIN (acétate de méthyle-isopropanol-ammoniaque 25 %, 45/35/20)
I, II et III. Divers types d'extraits
(V. tableau 1)

Tableau 1

Influence du fluor (NaF) sur l'activité auxines-oxydasique
Séparation par *chromatographie sur couche mince* (v. fig. 1)
Deux solvants chromatographiques:
CA (chloroforme-acide acétique 96 %; 95/5)
AMIN (acétate de méthyle-isopropanol-ammoniaque 25 %; 45/35/20)
Examens en lumière naturelle et aux U.V.
Révélateurs: Salkowski (S) et Prochazka (P) coloration naturelle (nat)

		Colorations			Fluorescences (U.V.)		
		S	P	nat	S	P	nat
CA	1	brun	j-beige	—	mauve-orangé	bleu	bleu-clair
	2	—	—	—	—	clair	—
	3[1]	violet	orangé	rosé	jaune	jaune-orangé	—
	4	rose-violet	rose	—	bleu	bleu	—
	5	orangé	—	—	bleu-clair	bleu	mauve
	6	bleu-mauve	mauve	—	beige	beige-bleu	beige-rose
	7	rose	—	—	—	rouge-pâle	—
	8	—	—	—	bleu	rose-mauve	—
	9	rose-mauve	—	—	mauve-pâle	bleu	bleu
	10	ocré-brun-pâle	—	—	bleu-clair	clair	clair
AMIN	A	—	—	—	—	—	bleu
	B	—	—	—	—	bleu-pâle	bleu
	C	—	—	—	—	jaune-vert	—
	D	violet	—	—	ocré rouge	beige	bleu-clair
	E	—	—	—	—	clair	bleu
	F[1]	violet-orangé	jaune	—	orangé	jaune	sombre
	G	rose	rose	—	bleu-vert	bleu-turquoise	—
	H	—	—	—	—	—	clair
	I	—	—	—	—	—	clair
	J	mauve	mauve	—	—	bleu-mauve	bleu
	K	brun-orangé	clair	—	—	clair	bleu

[1] ABIA

Dans ces *essais préliminaires*, on ne constate (fig. 1; tableau 1) aucune différence qualitative entre les 3 cas; les colorations données par les réactifs choisis ne varient qu'en intensité (spécialement en ce qui concerne l'ABIA). Le fluor ne semble pas perturber qualitativement l'activité auxine-oxydasique.

Par contre, l'extrait provenant de plantules prétraitées, présente du point de vue quantitatif, une beaucoup plus grande teneur en ABIA. Cette variation de l'activité auxines-oxydasique, mesurée colorimétriquement sur une partie aliquote, correspond par rapport à III à: I+5,5%; II —40,0%.

Ces résultats semblent donc indiquer que:

1. Le fluor n'a pas d'action caractéristique *in vitro* sur la destruction de l'ABIA par des systèmes enzymatiques.
2. Le fluor, par contre, assure une inhibition nette, lorsqu'on le fait agir *in vivo*, sur les auxines-oxydases.

Ces données seront confirmées par l'analyse colorimétrique encore que l'inhibition exercée par le fluor *in vivo* ne soit pas – comme on le verra – la conséquence de l'action directe du fluor sur les enzymes contrôlant le catabolisme de l'ABIA.

Tableau 2

Activité *in vitro* des auxines-oxydases en présence de fluor (NaF); traitement *in vitro*
Extrait de racines du *Lens*
L'activité enzymatique est donnée en μg d'ABIA détruit pour une incubation de 60 mn et en %. (Valeurs relatives)
Concentration de l'extrait: 757,20 mg/25 ml

Concentration du fluor en M (NaF)	Activité		%[1]
	/100 mg Poids frais	/10 racines	
$1.10^{-\infty}$	60,1	65,0	—
1.10^{-6}	64,1	69,4	+6,70
1.10^{-5}	59,5	64,4	—1,01
1.10^{-4}	59,5	64,4	—1,01
1.10^{-3}	63,1	68,3	+4,99

[1] Valeurs calculées à partir des résultats donnés pour 100 mg de poids frais.
Valeurs + (stimulation)
Valeurs — (inhibition)

b) Analyses colorimétriques

Nous distinguerons deux séries d'analyses:

1. analyses des effets *in vitro;*
2. analyses des effets *in vivo.*

Rappelons que la mesure de l'activité auxines-oxydasique se fait ici toujours *in vitro*

1. Analyses des effets *in vitro.*

Sans entrer dans trop de détails, nous rappellerons que le fluor est administré à l'extrait enzymatique (juste avant l'incubation) dont on évalue l'activité comme on l'a dit plus haut.

Les résultats, donnés dans le *tableau 2*, indiquent nettement – que l'activité absolue soit rapportée à une unité de poids frais ou à un nombre donné de racines utilisées pour la préparation de l'extrait – que le fluor n'exerce aucune action significative *in vitro* sur la destruction *in vitro* de l'ABIA. Les valeurs relatives, calculées par rapport au lot témoin, montrent que le fluor ne saurait être considéré comme un effecteur auxines-oxydasique.

2. Analyses des effets *in vivo*

Dans cette série, le fluor est donné, non à des extraits enzymatiques,

Tableau 3

Activité *in vitro* des auxines-oxydases en présence de fluor (NaF); traitement *in vivo*
Racines du *Lens*
L'activité enzymatique est donnée en μg d'ABIA détruit pour une incubation de 120 mn et en %. (Valeurs relatives)

Concentration du fluor en M (NaF)	Activité en μg		%[1]
	/100 mg Poids frais	/10 racines	
$1.10^{-\infty}$	39,4	93,8	—
5.10^{-4}	48,1	112,2	+22,03
1.10^{-3}	49,5	106,4	+25,49
5.10^{-3}	33,7	47,3	—14,59
1.10^{-2}	23,2	30,7	—41,26

[1] Valeurs calculées à partir des résultats donnés pour 100 mg de poids frais.
Valeurs + (stimulation)
Valeurs — (inhibition)

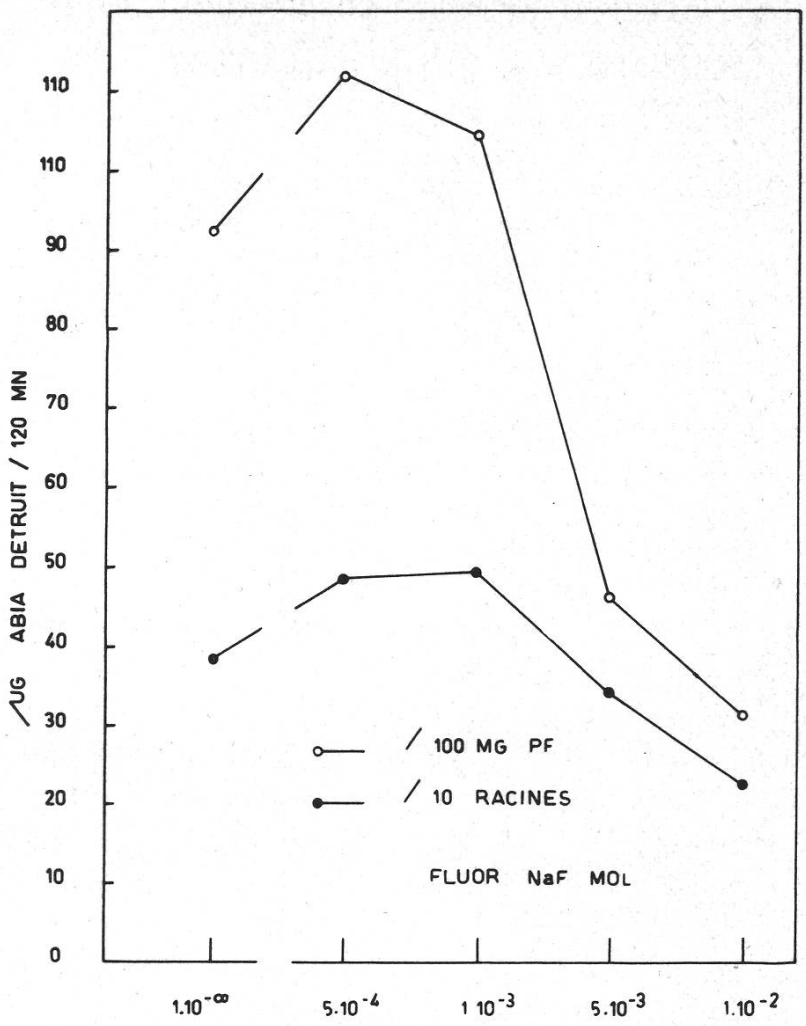

Figure 2

Action *in vivo* du fluor sur l'activité *in vitro* des auxines-oxydases des racines du *Lens*. (Valeurs absolues)

mais à des tissus intacts. Les résultats rapportés dans le *tableau 3* et dans les *figures* 2 et 3 permettent les remarques suivantes:

1. En valeurs absolues, l'activité enzymatique est fortement stimulée par le fluor à faibles concentrations et légèrement inhibée à fortes doses.

2. Les résultats sont plus caractéristiques lorsque la dégradation de l'ABIA est rapportée pour 100 mg de poids frais de racines que pour un nombre donné de racines employées.

3. En valeurs relatives, les résultats sont plus nets jusqu'à 3.10^{-3}M de fluor (en NaF), on observe une stimulation notable de l'activité auxines-oxydasique pour des doses plus fortes, le fluor, administré *in vivo*, inhibe le catabolisme *in vitro* de l'ABIA.

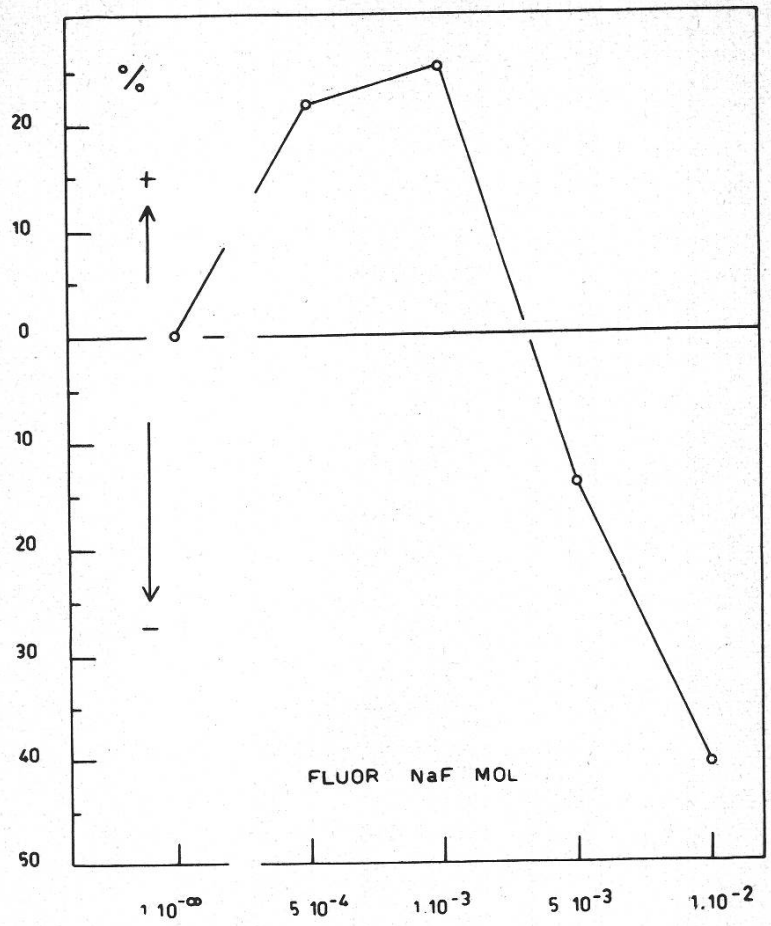

Figure 3

Action *in vivo* du fluor sur l'activité *in vitro* des auxines-oxydases des racines du *Lens*. (Valeurs relatives)

5. Conclusion

Les résultats précédents nous permettent d'affirmer que le fluor n'exerce aucune action *in vitro* sur le catabolisme auxinique. Par contre, *in vivo* il peut modifier l'activité auxines-oxydasique: à faibles doses il stimule ces enzymes alors qu'à fortes concentrations il les inhibe. A cet égard, le fluor peut être considéré comme un effecteur *in vivo* des auxines-oxydases (Pilet, 1961 a; Gaspar, Pilet et Bastin, 1964).

Cependant, on peut douter, même dans les résultats obtenus par des essais *in vivo*, que le fluor exerce réellement une action directe sur les auxines-oxydases. Le fait que son intervention soit nulle *in vitro* et le fait aussi que le fluor agisse sur les énolases d'une part et sur les transformations de l'ATP et de l'ADP nous amène à considérer que l'action de cet effecteur est essentiellement indirecte. En fait, c'est au niveau de l'absorption de l'oxygène, ou plus exactement à l'échelle des *oxydations respiratoires*, que le fluor doit exercer réellement son activité. McNulty et

Lords (1960) et Pilet (1963 a et 1964) ont montré que le fluor peut accélérer et parfois inhiber la pénétration de l'oxygène – tout comme il stimule ou freine l'activité auxines-oxydasique. Ces variations dans le mode d'action du fluor sont dues, comme il l'a été démontré à plusieurs reprises, à la concentration même de cet effecteur. Or, on sait que la dégradation de l'ABIA, par voie enzymatique, nécessite de l'oxygène, du moins pour une partie des transformations biochimiques qui correspondent à la destruction des molécules actives (Pilet, 1963 a). C'est donc en agissant sur l'absorption d'oxygène que le fluor, en fin de compte, paraît contrôler la transformation *in vivo* de l'ABIA.

Il convient de relever encore que l'absorption d'oxygène peut être due à un effet mécanique exclusivement. Audus (1935) avait très nettement mis en évidence un tel processus dans des feuilles et il n'est pas exclu que les modifications, par le fluor, des échanges respiratoires ne soient pas aussi dues à de tels processus.

Du *point de vue pratique*, il est clair que le fluor n'est pas l'inhibiteur que certains auteurs ont imaginé. Capable de stimuler l'activité des systèmes enzymatiques, le fluor n'inhibe le plus souvent ces mêmes enzymes que lorsqu'il est administré à des doses très élevées. Enfin, il convient de souligner que le plus souvent, même de fortes concentrations exogènes ne correspondent qu'à des doses endogènes relativement faibles (Pilet, 1963 b).

Ce travail a pu être réalisé grâce à la collaboration technique de Mlle A. Wolff.

Summary

1. Roots of *Lens culinaris* plants grown under controlled conditions were used to study the action of fluoride on the auxin catabolism (β-indolylacetic acid destruction) *in vitro* and *in vivo*.

2. A thin layer chromatographic technique and the colorimetric analyses were performed to determine the activity of the IAA-oxidases.

3. No effect of the fluoride on the *in vitro* destruction of IAA was detected.

4. An increase (with low fluoride level) and a decrease (with high fluoride level) of the *in vivo* destruction of IAA were observed.

5. From these results it can be concluded that fluoride acts on the IAA catabolism only in connexion with the oxygen uptake.

6. Consequently, fluoride has no direct effect on the enzymes which control *in vivo* auxin destruction.

Zusammenfassung

An Linsenwurzeln wurde der Einfluss von Fluorid auf die Desaktivierung der Indolylessigsäure *in vitro* und *in vivo* untersucht. Während *in vitro* keine Fluoridwirkung festgestellt wurde, zeigte sich *in vivo* eine Steigerung (mit geringen Fluoridkonzentrationen) oder eine Verminderung (mit hohen Fluoridkonzentrationen) der Indolylessigsäure-Desaktivierung. Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass Fluorid die Auxin-Oxydasen nicht direkt beeinflusst, sondern durch seine Wirkung auf die Sauerstoffaufnahme die Desaktivierung der Indolylessigsäure *in vivo* erhöht bzw. vermindert.

Bibliographie

Collet G. Action de l'acide gibbérellique sur la croissance et le catabolisme auxinique du Phaseolus vulgaris L. Thèse Lausanne 1962.

Audus L.J. 1935. Mechanical stimulation and respiration rate in cherry laurel. New Phytol. **34**, 386.

Bonner J. 1948. Biochemical mechanisms in the respiration of the *Avena* coleoptile. Arch. Biochem. **17**, 311.

Collet G., Dubouchet J., Pilet P.-E. 1964. Etude, par chromatographie sur couche mince, de quelques composés indoliques. Méthodes et premiers résultats. Physiol. vég. **2**, 157.

Galston A.W., Hillman W.S. 1961. The degradation of auxin. Encyclopedia of Plant Physiology. Ed. W. Ruhland, p. 647.

Gaspar Th., Pilet P.-E., Bastin M. 1964. Effecteurs auxines-oxydasiques: définition et indices. Physiol. vég. **2**, 221.

Hill A.G., Pack M.R., Transtrum L.G., Winters W.S. 1959. Effects of atmospheric fluorides and various types of injury on the respiration of leaf tissues. Plant Physiol. **34**, 11.

James W.O. 1946. Respiration of plants. Ann. Rev. Biochem. **15**, 417.

Laties G.G. 1949. The role of pyruvate in the aerobic respiration of barley roots. Arch. Biochem. **20**, 284.

McNulty I.B., Lords J.L. 1960. Possible explanation of fluoride-induced respiration in *Chlorella pyrenoidosa*. Science **132**, 1553.

— Newman D.W. 1956. The effects of a lime spray on the respiration rate and chlorophyll content of leaves exposed to atmospheric fluorides. Utah Acad. Proc. **33**, 73.

— — 1961. Mechanism of fluoride induced chlorosis. Plant Physiol. **36**, 385.

Miller G.W. 1958. Properties of enolase extracts from pea seeds. Plant Physiol. **33**, 199.

Oelschläger W. 1962. Zur Bestimmung geringster Fluormengen. Zeitschr. f. analyt. Chemie, **1**, 1.

— Kirchgessner M. 1960. Die Fehlermöglichkeiten bei der Bestimmung des Fluorgehaltes von Futtermitteln. Landwirtsch. Forschung, **13**, 64.

Ordin L., Skoe B.P. 1963. Inhibition of metabolism in *Avena* coleoptile tissue by fluoride. Plant Physiol. **38**, 416.

Pilet P.-E. 1957 a). Dosage photocolorimétrique de l'acide β-indolyl-acétique: application à l'étude des auxines-oxydases. Rev. gén. Bot. **64**, 106.

— 1957 b). Variations de l'activité des auxines-oxydases dans les racines du *Lens*. Experientia **13**, 35.

— 1960. Le catabolisme auxinique. Bull. Soc. franç. Physiol. vég. **6**, 119.

— 1961 a). Les Phytohormones de croissance. Masson Ed., Paris.

— 1961 b). Kinetics of the auxin catabolism. Physiol. Plant **14**, 787.

— 1962. L'hydroxy-3-méthyl-3 oxo-2 indole, un des produits possibles du catabolisme de l'acide β-indolylacétique. Bull. Soc. Chim. Biol. **44**, 875.

— 1963 a). Action du fluor et de l'acide β-indolylacétique sur la respiration de disques de feuilles. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. **68**, 359.

— 1963 b). Sur la pénétration du fluor dans les feuilles. Action de l'acide β-indolyl-acétique. Bull. Soc. Bot. suisse **73**, 58.

— 1964. Action du fluor et de l'acide β-indolylacétique sur la respiration des tissus radiculaires. Rev. gén. Bot. **71**, 12.

— Collet G. 1962. Méthode d'analyse du catabolisme auxinique. Impr. Ch. Zwahlen, Lausanne.

— Gaspar Th. 1964. Analyse critique de l'activité auxines-oxydasiques des racines du *Lens*. Physiol. Plant, sous presse.

Stahl E. 1962. Dünnschicht-Chromatographie. Ein Laboratoriums-Handbuch. Springer Verlag.

Warburg O., Christian W. 1942. Isolierung und Kristallisation des Gärungsfermentes Enolase. Biochem. Ztschr. **310**, 384.