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

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 73 (1963)

Artikel: Sur la pénétration du fluor dans les feuilles. Action de l'acide -indolyl-acétique

Autor: Pilet, Paul-Emile

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-51553

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: 01.10.2025

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

Sur la pénétration du fluor dans les feuilles

Action de l'acide β-indolyl-acétique

Par *Paul-Emile Pilet*

Laboratoire de Physiologie végétale

Université de Lausanne

Manuscrit reçu le 10 janvier 1963

Le problème

Depuis les premières recherches (v. p.ex. Gautier, 1915) portant sur l'action du fluor sur les végétaux, de très nombreuses publications ont été consacrées à ce sujet, les unes d'intérêt strictement agronomique (v. Miller, 1952, et Katz et Shore, 1955), d'autres plus biologiques (v. Bredemann, 1956, et Thomas, 1951, 1961). A part quelques exceptions, les travaux ont porté essentiellement sur l'analyse macroscopique des «fluoroses». Pourtant, on trouve quelques rares indications sur les effets anatomiques et histologiques que le fluor provoque dans les tissus végétaux (Solberg et coll. 1955; Adams et Solberg, 1956; Treshow, 1956). Une question semble avoir retenu surtout l'attention des physiologistes; il s'agit de l'action du fluor sur les chlorophylles, nous en dirons quelques mots plus loin (v. p. 81).

Mais un problème, pourtant essentiel, n'a guère tenté jusqu'à maintenant les chercheurs. Nous pouvons le formuler de la façon suivante: quelle relation y a-t-il entre la teneur en fluor du milieu et celle des tissus de plantes qui vivent dans ce milieu? De nombreuses observations sur le terrain ont bien mis en évidence deux aspects de ce problème:

1. la pénétration du fluor dépend surtout de la nature des tissus examinés; elle varie d'une espèce végétale à l'autre;
2. l'importance des fluoroses observées n'est pas toujours liée à la teneur en fluor des tissus atteints; il y a en effet une sensibilité propre des cellules qu'il convient de prendre en considération.

En d'autres termes, et c'est ce qui rend l'étude de ces problèmes si délicate, une plante peut contenir relativement beaucoup de fluor, par rapport à une autre, bien qu'elle se trouve dans un milieu relativement plus pauvre en fluor. D'autre part, des végétaux peuvent présenter des symptômes très caractéristiques de fluorose et ne contenir que fort peu de

fluor. Enfin, et ceci découle de ce qui précède, des plantes peuvent manifester, parce que très sensibles, des fluoroses nettes alors même qu'elles vivent dans un milieu relativement pauvre en fluor.

Il pouvait être intéressant de connaître, pour certaines espèces distinctes, les rapports entre le taux en fluor du milieu et l'amplitude de la pénétration du fluor dans les tissus. Nous avons choisi des disques de feuilles – matériel commode lorsqu'il s'agit de répéter plusieurs fois les essais sur un grand nombre d'individus – parce que l'accumulation du fluor dans les cellules se traduit assez rapidement par une dépigmentation partielle qu'il est facile de mettre en évidence.

D'autre part, nous avons complété cette série d'analyses par l'étude de l'action d'un composé auxinique, l'acide β-indolyl-acétique (ABIA), sur l'entrée du fluor. Dans tous les essais dont il est fait mention dans ce travail, nous avons utilisé, comme source de fluor, du NaF à diverses concentrations.

Test biologique

L'étude de l'action du fluor sur la morphologie et la physiologie des feuilles a donné lieu à un certain nombre de travaux; parmi les plus récents, nous citerons ceux de Lawrenz et Mitchell (1941), Zimmerman (1950), Johnson et coll. (1950), Allmendinger (1950), Reckendorfer (1952), Cortesi (1953), Haas et coll. (1955), Thomas (1956), Hill et coll. (1958). Nous discuterons plus loin ceux qui ont trait à l'influence que peut avoir le fluor sur les chlorophylles foliaires.

Nous avons choisi, comme test biologique, des feuilles de quatre plantes généralement cultivées dans des terrains qui peuvent subir l'action de gaz fluorés, il s'agit de l'abricotier, du cerisier, du pommier et de la vigne.

Techniques

Nous résumerons brièvement la méthode de préparation de ces disques de feuilles (figure 1):

1. des disques de 15 mm de diamètre sont découpés à l'emporte-pièce et déposés provisoirement dans une solution de Ringer;
2. parallèlement, on place dans des boîtes de Petri de 16,7 cm du coton et un papier-filtre;
3. on met de l'eau déionisée ou la solution active de façon à avoir les chiffres moyens suivants (en g):

Boîte de Petri	461,50	
+ filtre	462,70	
filtre		1,20

+ filtre + coton	464,95	
filtre + coton		3,45
+ filtre + coton + eau	484,60	
filtre + coton + eau		23,10
Eau		19,65

4. ces disques (40 par boîte et 120 par essai) resteront un temps variable dans ces boîtes de Petri, elles-mêmes conservées dans un incubateur (obscurité, 25 °C).

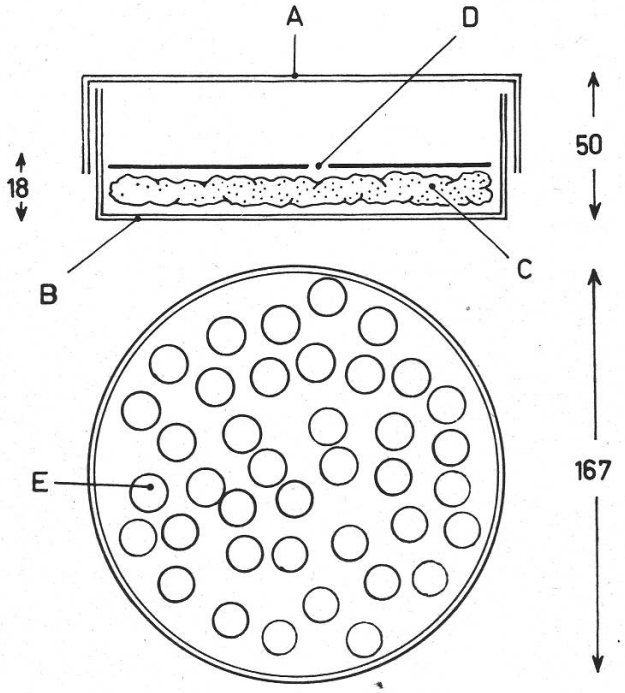

Figure 1

Schéma illustrant le montage utilisé dans ces essais pour le traitement par NaF de disques de feuilles. A = Couvercle de la boîte de Petri; B = Récipient de base; C = Coton imprégné d'une solution active (eau, NaF, ABIA); D = Disque de papier-filtre; E = Disque de feuille. Les dimensions sont données en mm

Quelques données expérimentales

On peut évaluer, d'abord, les variations du poids frais de ces disques, lorsqu'on les met en contact pendant un certain temps (12 et 24 h) avec de l'eau déionisée. Ces chiffres, reportés dans la figure 2, sont importants à connaître. Ils nous seront utiles pour rapporter les valeurs du taux en fluor dans les essais suivants.

Les premiers résultats montrent que:

1. des disques de mêmes dimensions n'ont pas initialement le même poids: ceux de feuilles de cerisier sont les plus légers, ceux de la vigne les plus lourds;

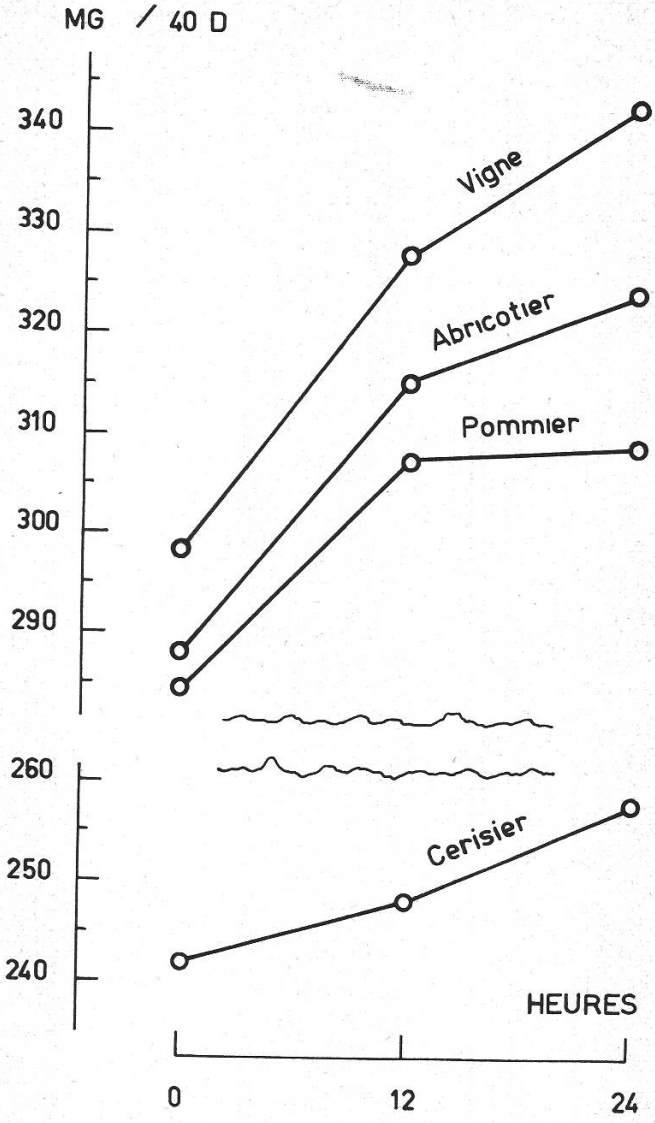

Figure 2

Variations (valeurs absolues) de disques de feuilles en présence d'eau. Les mesures sont données en mg pour 40 disques. Chaque point correspond à une valeur moyenne calculée pour 120 essais

2. l'accroissement de la teneur en eau est également différent, et on peut déjà remarquer que les disques initialement plus légers sont ceux qui absorberont le moins d'eau.

Pour rendre compte plus exactement de l'intensité de l'entrée de l'eau dans les tissus, nous exprimerons les précédents résultats en valeurs relatives, calculées par rapport au lot initial correspondant (%). Les valeurs obtenues sont données dans la figure 3; elles autorisent les remarques suivantes:

1. l'accroissement du poids frais est d'autant plus élevé que la durée d'incubation est plus grande;

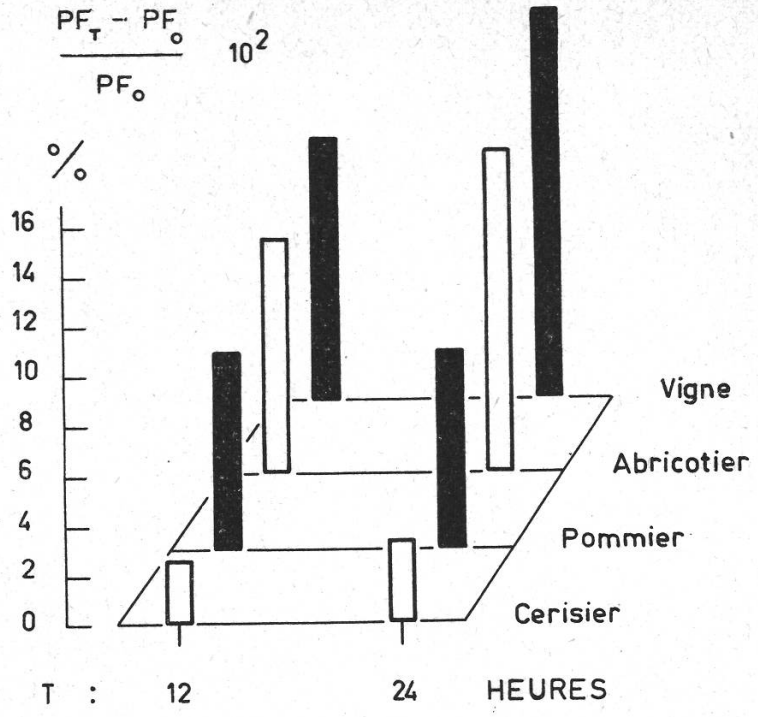

Figure 3

Variations (valeurs relatives) de disques de feuilles en présence d'eau. Les résultats sont donnés par rapport aux valeurs initiales respectives

2. les disques de cerisier restent ceux qui absorbent relativement le moins d'eau, alors que ceux de la vigne en retiennent des quantités appréciables.

Ces chiffres seront employés dans le calcul de la «teneur dynamique» en fluor, ils nous paraissent essentiels pour comparer les résultats obtenus.

Dosage du fluor dans les tissus

Quelques méthodes

De nombreux travaux font mention de résultats concernant le taux en fluor des tissus végétaux; nous citerons en particulier ceux de Mitchell et coll. (1945), de Zimmerman et coll. (1956 et 1957) de Ledbetter (1960) et de Alther (1961). Plus rares sont les publications mentionnant la description de techniques commodes et précises pour le dosage en fluor dans les tissus. Mentionnons les méthodes de Willard et coll. (1933), Biraghi (1938), Miller et coll. (1948), Fabre et coll. (1955), Nielsen et coll. (1955), Mavrodineanu et coll. (1956) et de Nielsen (1958). Parmi les techniques récentes, nous avons pratiqué celle de Gwirtsam, Mavrodineanu et Coe (1957) et essayé celle de Zundel (1960) et celle de Matthey, Fassa et Demole (1960). Nous avons finalement adopté la

méthode mise au point par Oelschläger et Kirchgessner (1960) et par Oelschläger (1962) et qui nous a donné d'excellents résultats[1].

Principe de la technique

Après distillation et purification des extraits de tissus végétaux, le fluor contenu dans le matériel à analyser, est dosé par une méthode colorimétrique indirecte. Un mélange d'oxychlorure de zirconium et de cyanine d'ériochrome – qui donne une forte coloration orange (pH acide) – sert de réactif. En effet, cette solution est particulièrement décolorée

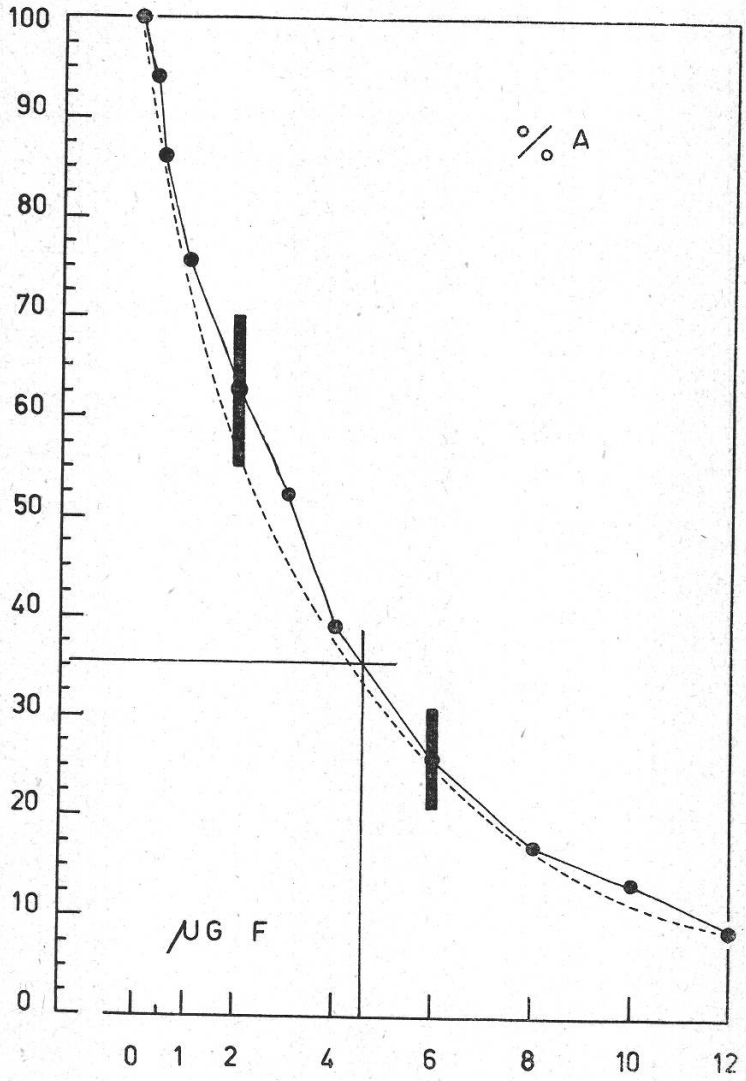

Figure 4

Courbe étalon obtenue par titration du NaF (concentrations en µg de fluor) à l'aide de la technique décrite dans le texte. Spectrophotomètre Zeiss «Opton» M_4Q. Les valeurs sont données (%A) en % du coefficient d'absorption

[1] Nous tenons à exprimer au prof. Wöhlbier, directeur de l'Institut für Tierernährungslehre der Landwirtschaftlichen Hochschule, où nous avons essayé d'abord cette méthode, à Hohenheim, nos sincères remerciements. Depuis plus d'un an, avant que ne soit publiée cette technique, nous avons pu la mettre en pratique dans notre laboratoire.

par les composés fluorés. Sans entrer dans les détails techniques, mentionnés dans le travail de Oelschläger (1962), disons que la courbe étalon est obtenue par mesure du coefficient d'absorption à 520 mμ (figure 4).

Teneur en fluor des tissus traités

Traitements au NaF

Pour trois concentrations de NaF (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M), nous avons déterminé la teneur en fluor de disques de feuilles de vigne, d'abricotier, de pommier et de cerisier après 12 et 24 heures d'incubation. Les résultats sont toujours données en mg de fluor pour 100 g de poids sec, les valeurs sont rapportées au lot témoin correspondant (non traité par NaF) et calculées pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg.

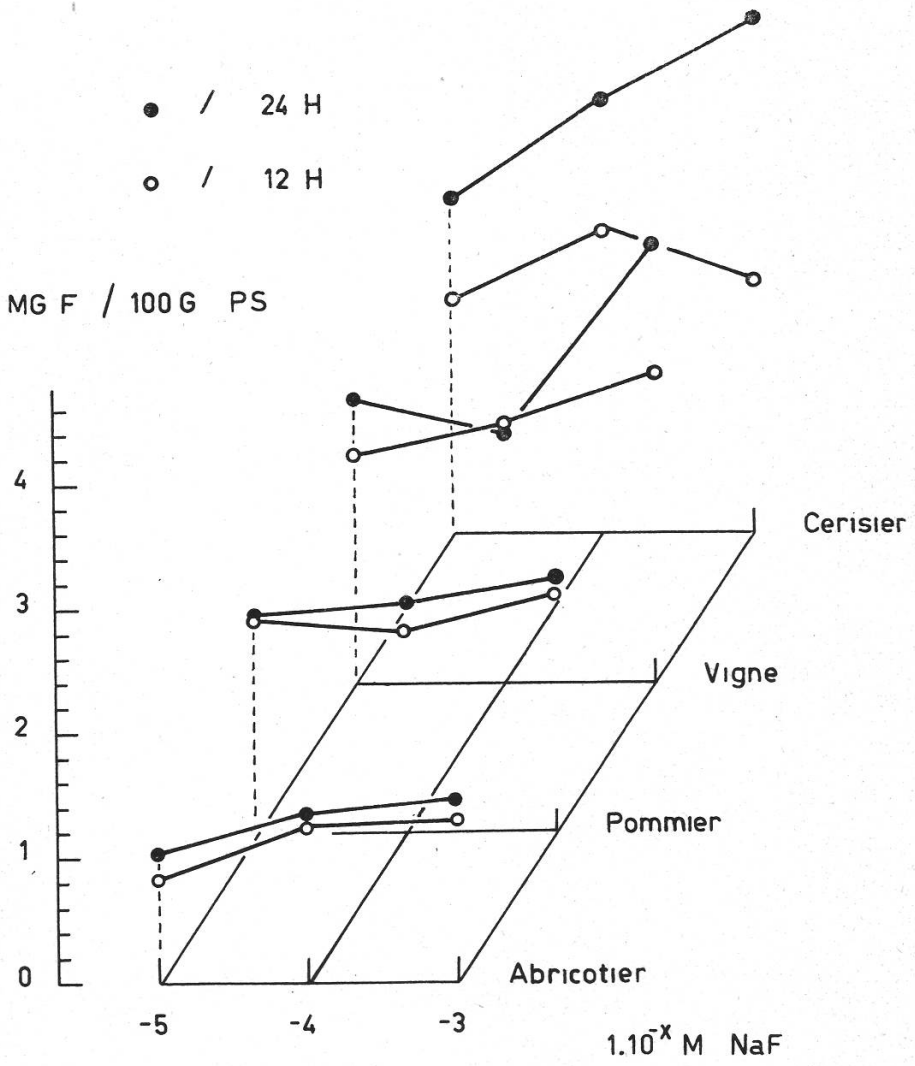

Figure 5

Teneur en fluor (en mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles. Les mesures ont été faites après 12 et 24 heures, les essais portent sur trois concentrations de NaF

Les chiffres obtenus, dans cette série d'essais, sont donnés dans les tableau 1 (mesures après 12 h) et tableau 2 (mesures après 24 h) et dans la figure 5.

Tableau 1

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) rapportée au témoin, de disques de feuilles, pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg
Mesures après 12 heures

Matériel biologique	Concentration de NaF en M		
	1.10^{-5}	1.10^{-4}	1.10^{-3}
Vigne	1,82	2,14	2,45
Abricotier	0,81	1,26	1,27
Pommier	1,70	1,64 ?	1,96 ?
Cerisier	1,94	2,42	2,04 ?

Tableau 2

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) rapportée au témoin, de disques de feuilles, pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg
Mesures après 24 heures

Matériel biologique	Concentration de NaF en M		
	1.10^{-5}	1.10^{-4}	1.10^{-3}
Vigne	2,34	2,02 ?	3,51
Abricotier	1,02	1,36	1,41
Pommier	1,71	1,84	1,99
Cerisier	2,78	3,45	4,10

Quelques remarques générales s'imposent:

1. pour des concentrations équivalentes de NaF, les disques de feuilles du cerisier sont ceux qui paraissent absorber le plus de fluor;
2. l'accumulation du fluor, au cours du temps, est très variable suivant le matériel employé; ainsi, pour l'abricotier et le pommier le taux en fluor

change-t-il très peu en 24 heures, alors que pour le cerisier les différences sont appréciables.

Il nous a paru utile d'exprimer les résultats précédents d'une autre façon encore, en rapportant la teneur en fluor des tissus par rapport à celle du milieu (exprimée par exemple en mg de F/litre de milieu). Dans la figure 6, où ces valeurs sont données (après 24 h), il est tout à fait caractéristique de relever combien diffère, pour ces divers disques de feuilles, le «pouvoir de pénétration» du fluor dans les tissus.

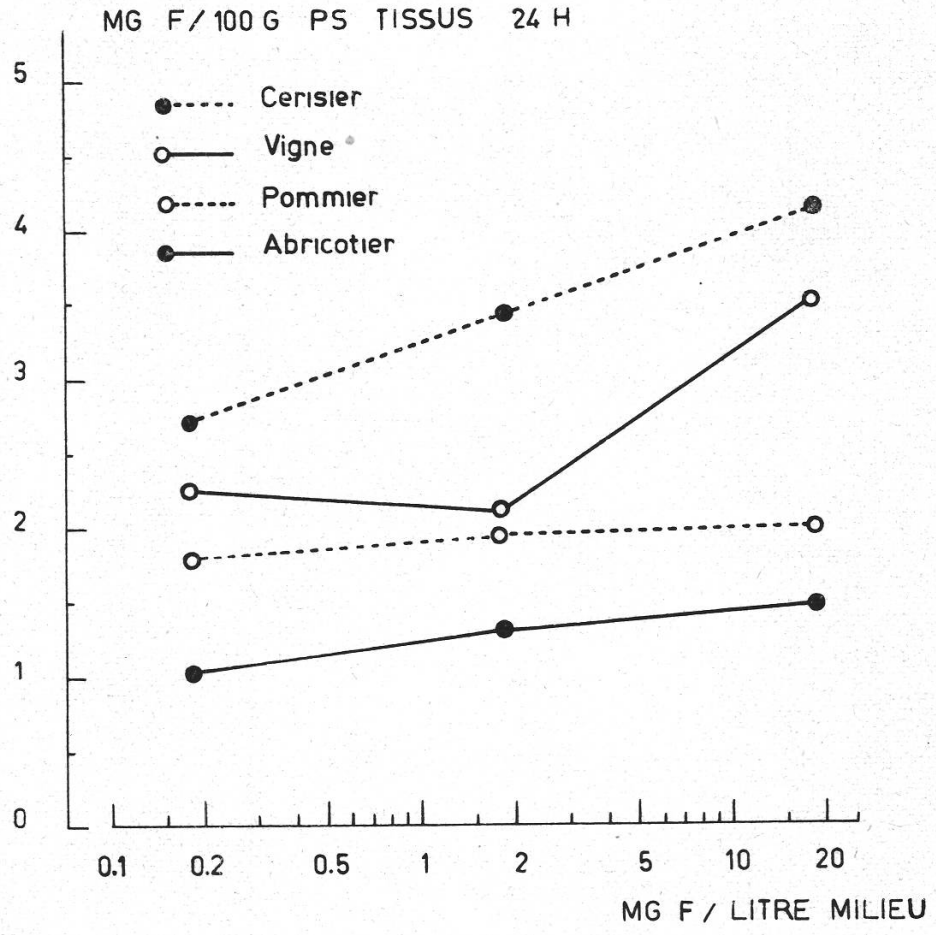

Figure 6

Teneur en fluor (en mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles. Les mesures ont été faites après 24 heures. Les résultats sont donnés en fonction de la teneur en fluor (calculée à partir de la concentration de NaF) du milieu

Dans le même ordre d'idée, on peut exprimer la variation de la teneur en fluor (entre 12 et 24 h) et là encore (figure 7) mais d'une façon plus nette, les différences entre les lots distincts de feuilles sont encore plus accusées.

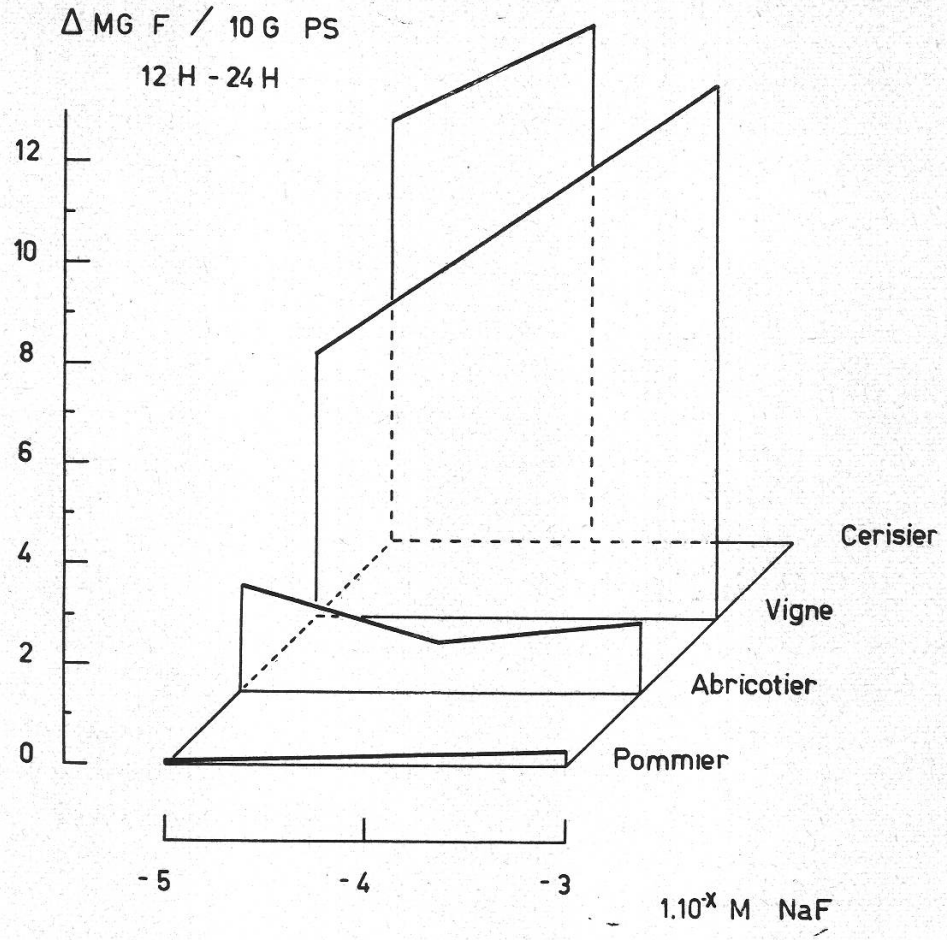

Figure 7

Variation de la teneur en fluor (entre 12 et 24 h) pour des disques de feuilles (10 g de poids sec). Les essais portent sur trois concentrations de NaF

Sans entrer dans une discussion trop longue, quelques considérations générales doivent être données:

1. dans des conditions rigoureusement identiques, des disques de feuilles provenant d'espèces différentes vont absorber du fluor en quantité fort variable;
2. c'est dans les disques de feuilles de cerisier que le fluor s'accumule le plus facilement, alors que les disques de feuilles d'abricotier en absorbent le moins.

Il convient de noter que le cerisier, pratiquement insensible aux gaz fluorés, sauf pour des concentrations particulièrement élevées, est précisément celui dont les disques de feuilles absorbent le plus de fluor, tandis que l'abricotier, dont les feuilles des pousses annuelles présentent souvent des symptômes de fluorose caractéristiques, donne des disques foliaires de ces pousses à l'intérieur desquels va s'accumuler peu de fluor. Nous sommes en face d'un exemple particulièrement net de sensibilité spécifique. Ces

observations strictement d'ordre biologique peuvent présenter des conséquences pratiques qui ne sont pas sans intérêt. En effet, il nous paraît des plus discutable de vouloir apprécier l'intensité de fluorose – et par conséquent des dégâts y relatifs – par une simple mesure du taux en fluor contenu dans les tissus nécrosés.

Traitements combinés au NaF et à l'ABIA

Peu de travaux ont été consacrés à l'étude de l'action combinée du fluor et de l'ABIA (v. Pilet, 1961*a*). Deux questions doivent être examinées parallèlement: 1. action du fluor sur la croissance et secondairement sur les auxines endogènes et par conséquent sur l'ABIA; 2. action du fluor sur le métabolisme de l'ABIA et secondairement sur la croissance. Mais, comme nous l'avons montré à plusieurs reprises (Pilet, 1953, 1957, 1961*b*, *c* et *d*), il n'est guère facile de dissocier ces divers processus.

Bonner et Wildman (1947) ont montré que le fluor et certains fluorures sont d'efficaces inhibiteurs de la croissance des tissus végétaux. Ces auteurs confirment ainsi leurs observations sur des disques de feuilles d'épinard, matériel sur lequel ils avaient étudié les échanges respiratoires (Bonner et Wildman, 1946). Ils considèrent que l'action de ces composés s'exerce d'abord sur la respiration; l'inhibition de la croissance serait un phénomène secondaire. En étudiant l'action du fluoro-acétate sur les échanges respiratoires de coléoptiles d'*Avena* et d'entre-nœud de *Pisum*, Thimann et Bonner (1949) constatent que cette substance bloque la condensation de l'acétyl-CoA et de l'oxalacétate. Or, une telle action est liée à celle de l'ABIA qui se trouve en quelque sorte «bloquée». Il s'ensuit que la croissance des tests biologiques utilisés est perturbée. Bonner et Thimann (1950) examinent alors avec soin les mécanismes probables d'intervention du fluor dans le cycle pyruvique et les conséquences possibles de ces processus sur la croissance de fragments d'organes végétaux. Hackett et Thimann (1953) reprennent, sur des disques de pomme de terre, cette question. Ils établissent les relations entre l'absorption d'oxygène et la pénétration de l'eau dans les tissus et montrent le rôle joué par le fluor dans ces phénomènes.

Des essais sont en cours dans notre laboratoire[2] pour préciser l'action du fluor sur un certain nombre de processus physiologiques et biochimiques. En même temps, pour des composés comme l'anisole, la benzylamine, la benzaldéhyde, l'acide benzoïque, etc..., nous déterminons l'influence de la position du fluor sur le cycle (o, p et m). Ces essais donnent des indications sur le mode d'action du fluor dans les tissus végétaux.

---

[2] P. E. Pilet: Action de quelques composés fluorés sur la croissance et la respiration de tissus végétaux (en préparation).

Les expériences dont il est fait mention dans le présent travail et relativement à l'action combinée du NaF et de l'ABIA, sont de deux types:

1. traitements parallèles à l'ABIA et au NaF. Les deux composés sont donnés en même temps et l'on fait varier les concentrations de l'un et de l'autre; les disques de feuilles sont donc mis en contact avec une solution auxinique contenant du fluor;

2. traitements successifs à l'ABIA puis au NaF. Les disques de feuilles sont d'abord placés en contact pendant un certain temps avec de l'ABIA à diverses concentrations (prétraitement). Après quoi, les disques sont lavés et on les traite par une solution de NaF.

Traitements parallèles

Nous avons réalisé ces essais sur deux types de feuilles (vigne et abricotier). Nous avons employé deux concentrations d'ABIA (1.10^{-5} et 1.10^{-4}M) et trois concentrations de NaF (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M). Les résultats (teneur en fluor) sont reportés dans le tableau 3, où sont données

Tableau 3

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) rapportée au témoin, de disques de feuilles, pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg

Mesures après 12 heures

Les lots ont été traités parallèlement par du NaF (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) et par de l'ABIA (1.10^{-5} et 1.10^{-4}M)

	Concentration de NaF en M	Concentration d'ABIA en M				
		$1.10^{-\infty}$	1.10^{-5}		1.10^{-4}	
		VA	VA	VR	VA	VR
Vigne	1.10^{-5}	1,82	1,91	4,81	2,20	20,9
	1.10^{-4}	2,14	2,21	3,1	2,46	10,3
	1.10^{-3}	2,45	2,70	10,2	2,49	1,7
Abricotier	1.10^{-5}	0,81	1,12	38,2	1,22	50,6
	1.10^{-4}	1,26	1,51	19,8	1,88	49,2
	1.10^{-3}	1,27	1,54	21,2	1,86	46,4

VA: valeurs absolues
VR: valeurs relatives (%) par rapport au témoin

parallèlement les valeurs absolues et les valeurs relatives. Nous en tirerons quelques remarques générales:

a) valeurs absolues

1. Le taux en fluor augmente avec la concentration du fluor dans le milieu, ce qui confirme nos précédentes observations;
2. l'accroissement du taux en fluor est plus net pour l'abricotier que pour la vigne, bien que les disques de ce dernier type de feuille contiennent nettement plus de fluor;
3. en présence d'ABIA, l'augmentation de l'absorption du fluor est d'autant plus nette que la concentration d'ABIA est plus élevée, et ceci est vrai aussi bien pour les disques de vigne que pour ceux d'abricotier.

b) valeurs relatives

1. Pour la vigne, et pour des doses d'ABIA de 1.10^{-5}M, on peut noter que la pénétration du fluor est d'autant plus grande que sa concentration dans le milieu est plus forte;

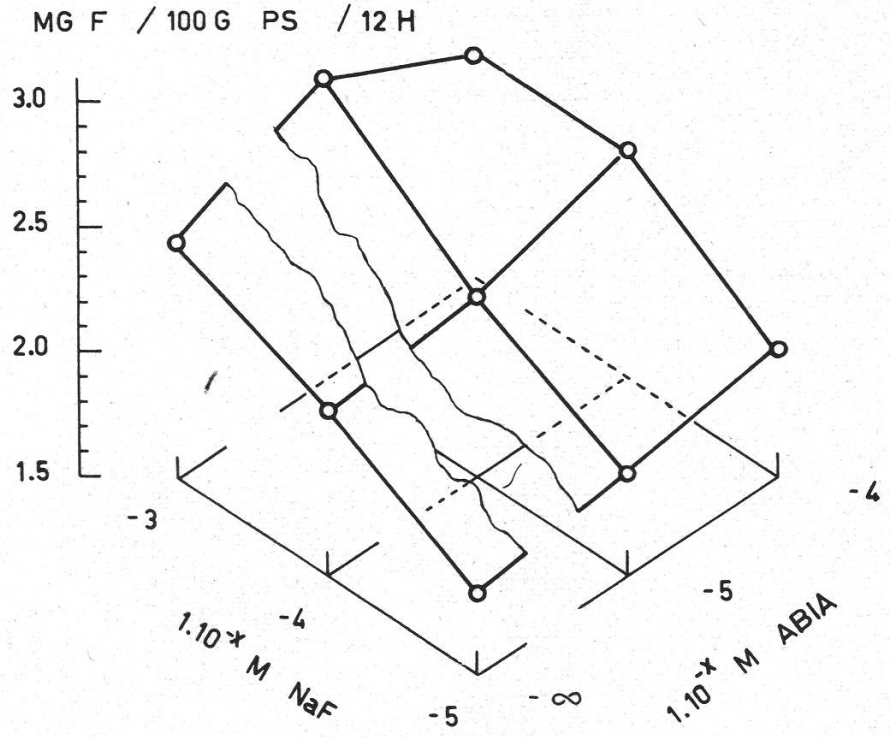

Figure 8

Action combinée de NaF et de l'ABIA, à diverses concentrations sur la teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles de vigne. Les mesures sont faites après 12 heures

2. pour l'abricotier, c'est l'inverse qui se produit; en d'autres termes l'ABIA ne semblerait favoriser l'entrée du fluor que dans la mesure où celui-ci n'est pas très abondant dans le milieu;
3. pour des concentrations plus élevées d'ABIA (1.10^{-4}M), la pénétration du fluor est d'autant plus élevée que celui-ci est moins abondant dans le milieu.

Ces résultats nécessitent quelques commentaires.

Il paraît évident que l'ABIA agit sur l'entrée du fluor dans les tissus de feuilles de vigne et d'abricotier, mais il est non moins certain que le fluor a une action sur la pénétration de l'ABIA. Les phénomènes observés montrent bien que ce que nous mesurons est en fait la résultante de ces processus. En effet, si pour de faibles doses d'ABIA, et pour les disques de vigne, la pénétration du fluor est d'autant plus forte que celui-ci est plus abondant dans le milieu, ce n'est pas ce qu'on observe lorsque l'ABIA utilisé est plus concentré. Pourtant, en présence d'ABIA, le fluor pénètre

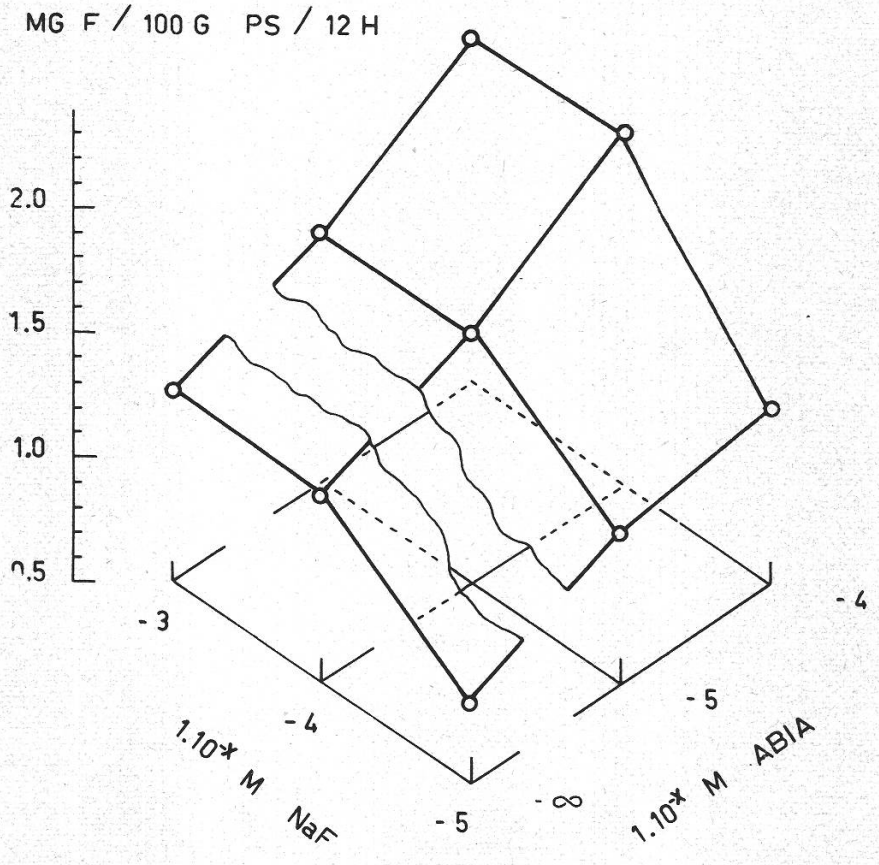

Figure 9

Action combinée de NaF et de l'ABIA, à diverses concentrations sur la teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles d'abricotier. Les mesures sont faites après 12 heures

mieux que si ce composé est absent. Pour de fortes doses de fluor (1.10^{-3} M), et pour la vigne surtout, l'ABIA semble réduire, à première vue, l'entrée du fluor qui reste pourtant toujours supérieure à la valeur qu'elle prend pour des lots non traités par l'ABIA. Cette observation est importante, car elle met en évidence l'action que le fluor semble exercer sur certains mécanismes contrôlés par l'ABIA. Il est intéressant, à ce propos, de noter combien les renseignements obtenus, en analysant les valeurs absolues, diffèrent de ceux que fournit l'examen des valeurs relatives.

Quelques données complémentaires pourront être fournies en étudiant un certain nombre de graphiques concernant cette série de mesures.

Bornons-nous à examiner sommairement les variations de la teneur en fluor (valeurs absolues) après une période d'incubation de 12 heures pour des disques de feuilles de vigne (figure 8) et d'abricotier (figure 9). Ainsi qu'on peut s'en rendre compte, en étudiant ces graphiques:

1. la teneur en fluor augmente à la fois avec le taux en NaF et avec celui de l'ABIA;

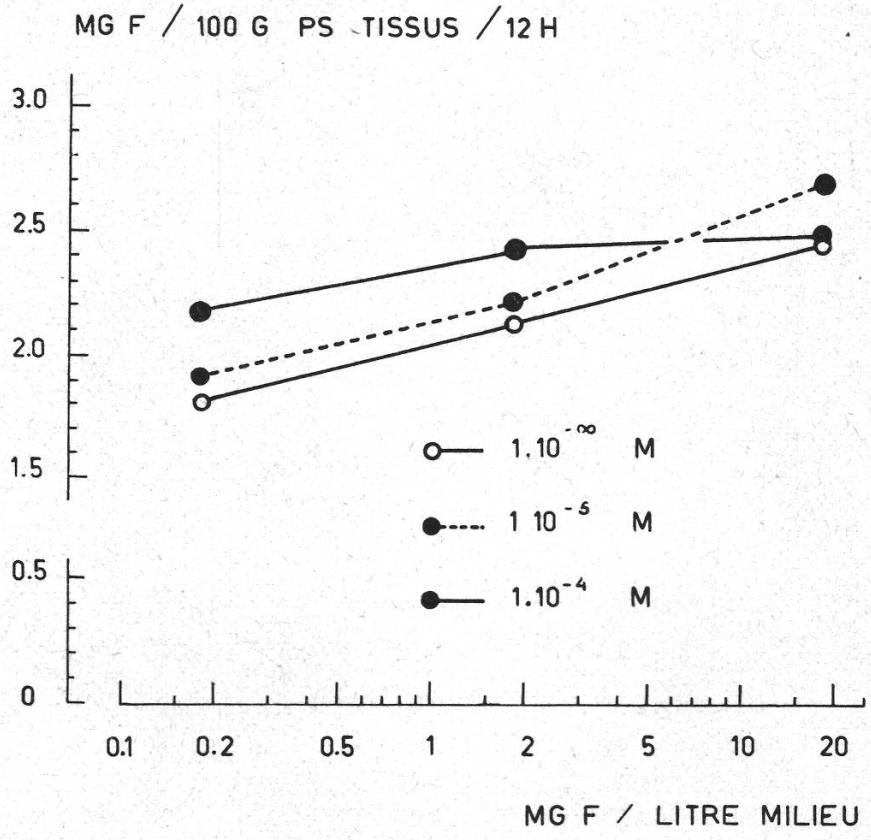

Figure 10

Action combinée de NaF (exprimé en mg de fluor dans le milieu) et d'ABIA (à deux concentrations: 1.10^{-5} et 1.10^{-4}M) sur la teneur en fluor (en mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles de vigne. Mesures après 12 heures

2. pour de fortes doses de NaF et d'ABIA, la pénétration du fluor est très prononcée dans le cas des disques de feuilles d'abricotier et pratiquement plus faible pour ceux de feuilles de vigne.

On peut évidemment exprimer ces résultats, comme on l'a fait pour des traitements sans ABIA (v. figure 6), en donnant la teneur en fluor contenue dans les tissus en fonction de celle (calculée à partir de la concentration de NaF en M) du milieu. Ces valeurs (données toujours en grandeurs absolues) seront rapportées pour des disques de feuilles de vigne (figure 10) et d'abricotier (figure 11) et pour une période d'incubation de 12 heures.

Ces graphiques appellent quelques remarques:

1. la pénétration du fluor est nettement favorisée par l'ABIA, et ceci d'autant plus fortement que la concentration d'ABIA es plus élevée;
2. dans le cas de la vigne, la teneur en fluor s'accroît presque proportionnellement avec la concentration de NaF dans le milieu;
3. pour l'abricotier, l'augmentation du taux en fluor paraît limitée; au-delà d'une concentration du fluor dans le milieu de l'ordre de 2 mg/l, tout se passe comme si le fluor n'entrait plus à l'intérieur des disques de

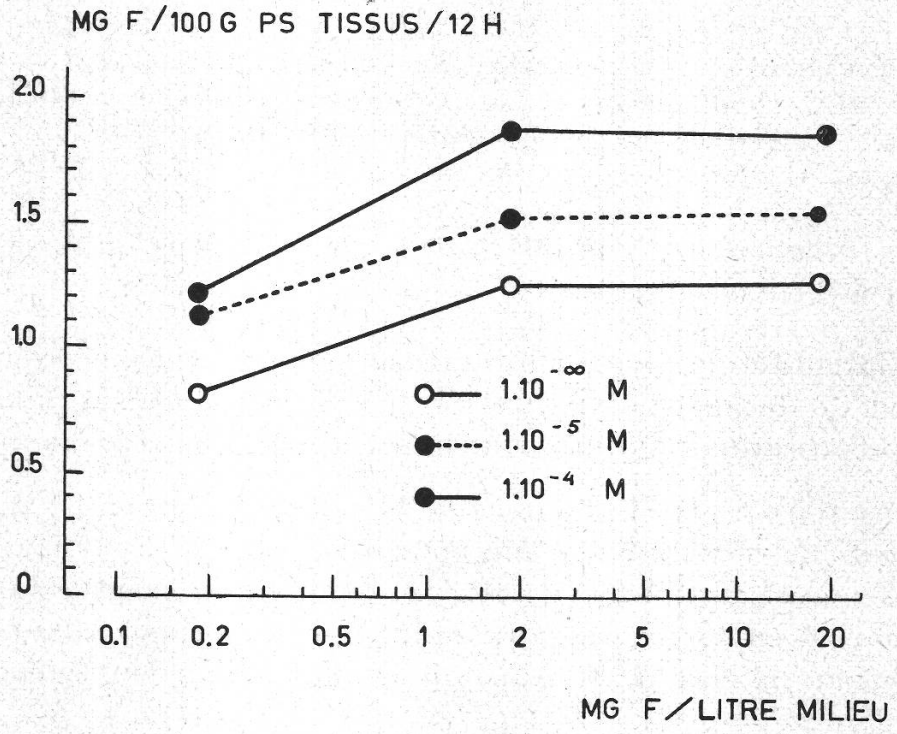

Figure 11

Action combinée de NaF (exprimé en mg de fluor dans le milieu) et d'ABIA (à deux concentrations: 1.10^{-5} et 1.10^{-4}M) sur la teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles d'abricotier. Mesures après 12 heures

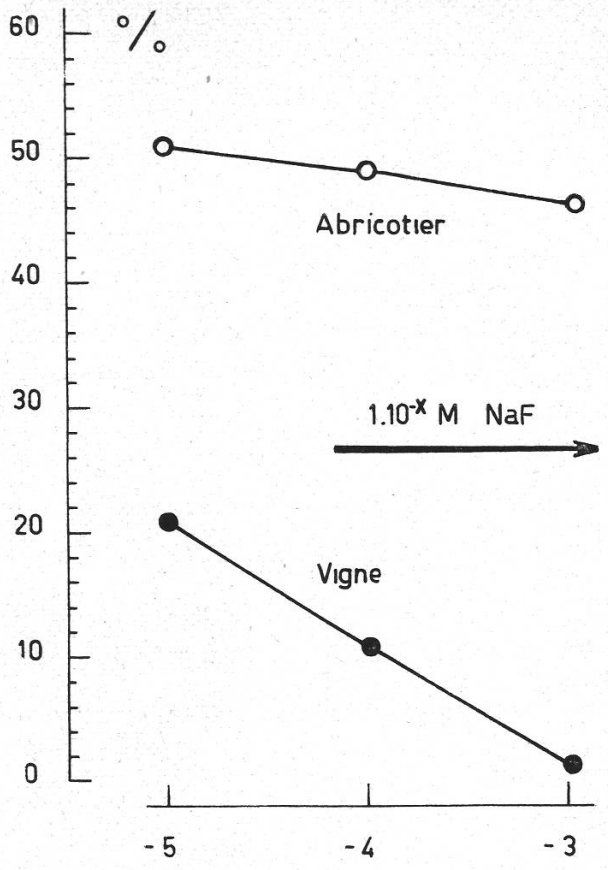

Figure 12

Teneur en fluor exprimée en valeurs relatives (le % est donné par rapport au lot témoin non traité par l'ABIA, voir tableau 3, de disques de feuilles mis en contact simultanément avec NaF (à trois concentrations) et l'ABIA (1.10^{-4}M)

feuilles. Nous avons déjà discuté plus haut le sens qu'il convient de donner à cette observation.

Avec l'intention de préciser les interactions probables entre le NaF et l'ABIA, et de dégager l'action réciproque de ces deux substances, nous avons repris certains résultats pour les exprimer plus clairement.

Donnons tout d'abord (figure 12), la teneur en fluor de disques de feuilles de vigne et d'abricotier mis en contact avec NaF (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) et avec de l'ABIA (1.10^{-4}M) pendant 12 heures. Les valeurs seront données en % par rapport au lot témoin correspondant (diverses concentrations de NaF seul). Ainsi qu'on peut le voir nettement:

1. la concentration interne du fluor diminue lorsque le taux en NaF du milieu augmente;
2. cette réduction relative de la teneur en fluor des disques de feuilles est beaucoup plus caractéristique pour la vigne que pour l'abricotier.

Ces résultats confirment donc ceux que nous avions précédemment discutés; ils montrent clairement que l'ABIA agit sur l'entrée du fluor dans les tissus, et indiquent également que le fluor intervient dans certains processus physiologiques contrôlés par l'ABIA.

Ces observations nous paraissent devoir être prises en considération lorsque, du point de vue pratique, on discute de la pénétration du fluor dans les tissus végétaux. En effet, comme on vient de le voir, cette absorption de fluor est placée directement ou indirectement sous le contrôle des auxines. Or, le contenu même en hormones de croissance, ce que nous avons appelé l'*état auxinique endogène* (Pilet, 1961*e* et 1962), peut être totalement modifié par l'état physiologique des tissus (v. Pilet, 1953 et 1961*a*) et surtout varie très fortement suivant leur âge (Pilet, 1961*c*).

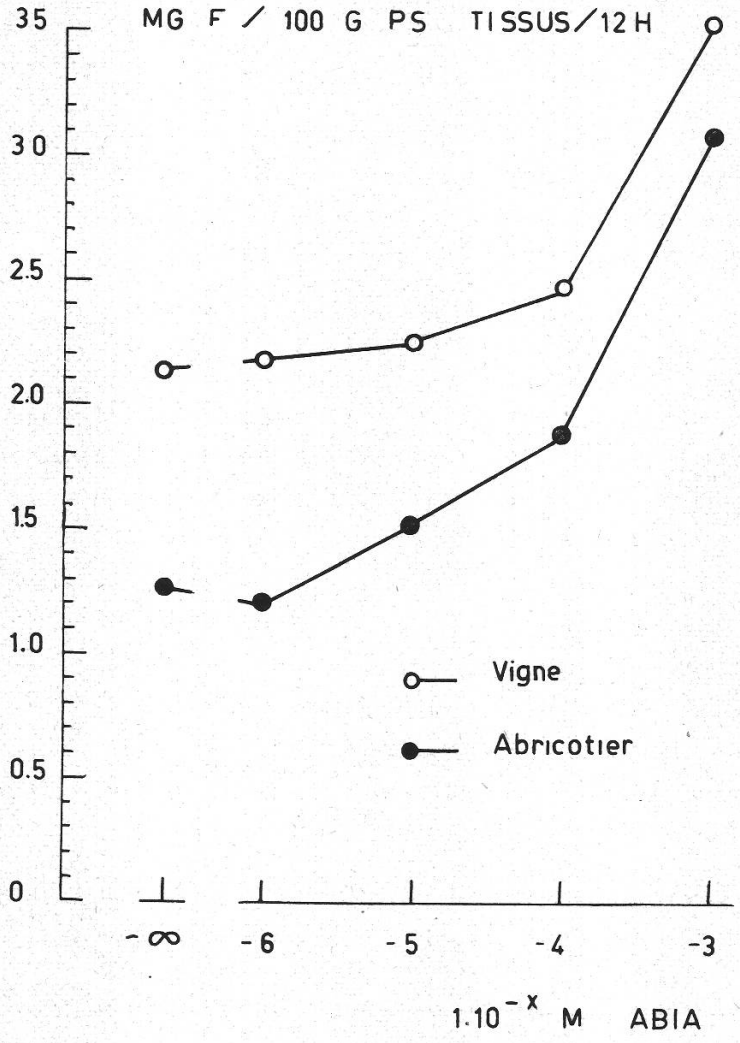

Figure 13

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles de vigne et d'abricotier mis en contact avec une solution de NaF (1.10^{-4}M) contenant de l'ABIA à diverses concentrations (1.10^{-6} à 1.10^{-3}M). Mesures après 12 heures

Par conséquent, des feuilles semblables, appartenant à un arbre identique, situé dans un milieu strictement comparable et en présence d'une même concentration en fluor, peuvent en absorber différemment parce que leur état auxinique endogène a varié.

Examinons cette fois les variations de la teneur en fluor de disques de feuilles de vigne et d'abricotier placés en contact avec de l'ABIA à diverses concentrations (1.10^{-6}, 1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M), et en présence d'une seule concentration de NaF (1.10^{-4}M). Les résultats de cette nouvelle série d'essais (figure 13) montrent que:

1. avec un accroissement de la concentration en ABIA, la teneur en fluor des disques de feuilles augmente dans la même mesure;
2. cette pénétration accélérée du fluor est plus caractéristique pour les disques de feuilles d'abricotier que pour ceux de feuilles de vigne;
3. pourtant la vigne contiendra plus de fluor que l'abricotier;
4. les différences observées entre les valeurs absolues et les valeurs relatives peuvent se justifier par le fait que, sans ABIA, les disques de feuilles de vigne absorbent de plus fortes doses de fluor que ceux de feuilles d'abricotier.

Traitements successifs

Afin de mettre plus nettement en évidence l'action réciproque de l'ABIA et du NaF, nous avons réalisé les expériences suivantes. Les disques de feuilles de vigne et d'abricotier sont préalablement mis en contact (prétraitement) avec des solutions d'ABIA à diverses concentrations (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) et ceci pendant 2, 4 ou 8 heures. Après quoi, ces disques sont soigneusement lavés dans de l'eau déionisée et déposés sur des papiers-filtres (voir notre technique) en présence d'une solution de NaF (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M). Nous choisirons comme lots témoins ceux qui n'ont pas été en contact avec de l'ABIA mais préalablement placés en présence, pendant 2, 4 ou 8 heures, d'eau déionisée, puis traités par NaF.

Les valeurs correspondant au taux en fluor dans les disques de feuilles ainsi traitées sont données dans le tableau 4. On peut remarquer que:

1. la teneur en fluor augmente avec la concentration du milieu en NaF;
2. qu'elle s'accroît avec la concentration d'ABIA, dans les limites de celles qui ont été utilisées;
3. qu'elle est d'autant plus élevée que la durée du prétraitement à l'ABIA se prolonge.

Tableau 4

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) rapportée au témoin[1], de disques de feuilles, pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg

Prétraitement à l'ABIA (1.10^{-4}M et 1.10^{-3}M)

Traitement au NaF (1.10^{-4}M et 1.10^{-3}M)

Durée du prétraitement: x heures

Durée du traitement: 12 heures

Concentration de NaF en M		Concentration d'ABIA en M					
		1.10^{-4}			1.10^{-3}		
		x:2	x:4	x:8	x:2	x:4	x:8
Vigne	1.10^{-4}	2,50	2,61	3,17	2,12	2,64	3,84
	1.10^{-3}	2,57	2,94	2,72 ?	2,80	3,37	4,02
Abricotier	1.10^{-4}	1,41	1,57	1,96	1,57	1,62	1,60
	1.10^{-3}	1,63	1,73	2,07	1,64	1,40 ?	2,28

[1] Les lots témoins correspondent à ceux qui n'ont pas été traités par l'ABIA, et qui ont été mis en contact pendant 2, 4 et 8 heures avec de l'eau.

Afin de simplifier la discussion de ces résultats nous avons, pour une seule période de prétraitement arbitrairement fixée à 4 heures, examiné pour des disques de feuilles de vigne (figure 14) et d'abricotier (figure 15) l'action de l'ABIA, administré d'abord et à diverses concentrations (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) sur celle du NaF donné également à trois concentrations différentes (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M). Ainsi qu'on peut le voir dans les deux figures citées:

1. pour la vigne, le taux en fluor interne augmente sensiblement avec l'accroissement de la concentration externe du NaF; ce fluor endogène est également d'autant plus abondant que la concentration de l'ABIA, mis en contact préalable avec ces disques de feuilles, est plus élevée; il n'y a pas entre l'ABIA et le NaF de compétition quelconque et les effets paraissent toujours être tout au plus additifs;

2. pour l'abricotier, les résultats sont un peu différents et indiquent très nettement, pour toutes les concentrations d'ABIA choisies que le NaF, à forte dose (1.10^{-3}M) réduit sensiblement l'action stimulante exercée par l'ABIA.

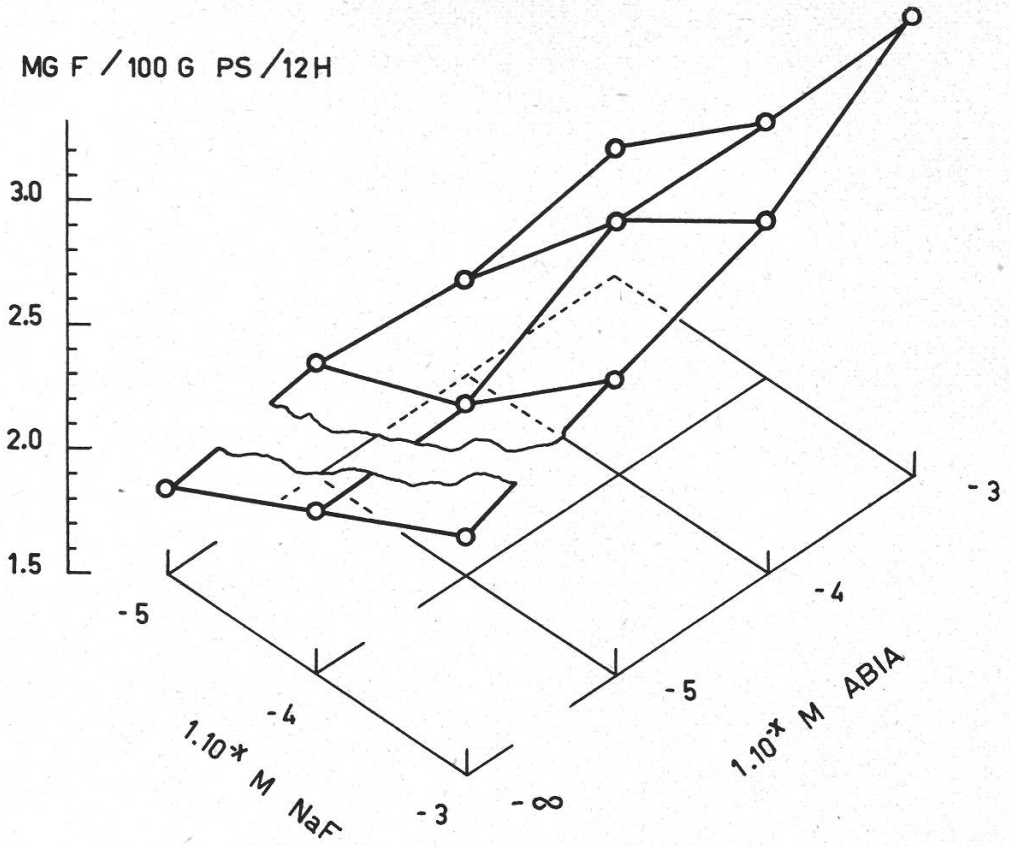

Figure 14

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles de vigne traités d'abord (4 h) par de l'ABIA à diverses concentrations (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) puis par du NaF (12 h) à trois concentrations (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M)

Il est donc nettement démontré que:

a) l'ABIA peut influencer l'entrée du fluor aussi bien lorsque ce composé est donné avant ou en même temps que le produit fluoré;

b) le fluor, pour certaines feuilles (celles de l'abricotier notamment), peut réduire l'action qu'exerce l'ABIA sur sa pénétration.

Cette première remarque confirme ce que nous disions plus haut quant à l'importance de l'état auxinique endogène sur la pénétration du fluor. Il suffit d'une modification de cet état, dû à l'absorption de composés auxiniques exogènes, pour que le fluor, administré après un tel prétraitement en subisse encore les conséquences.

Afin de voir dans quelle mesure l'ABIA pouvait contrôler l'entrée du fluor dans les feuilles, nous avons réalisé l'expérience suivante:

Des disques de feuilles de vigne sont traités par de l'ABIA pendant 4 ou 8 heures (x) à des concentrations de 1.10^{-4}M et de 1.10^{-3}M. Après

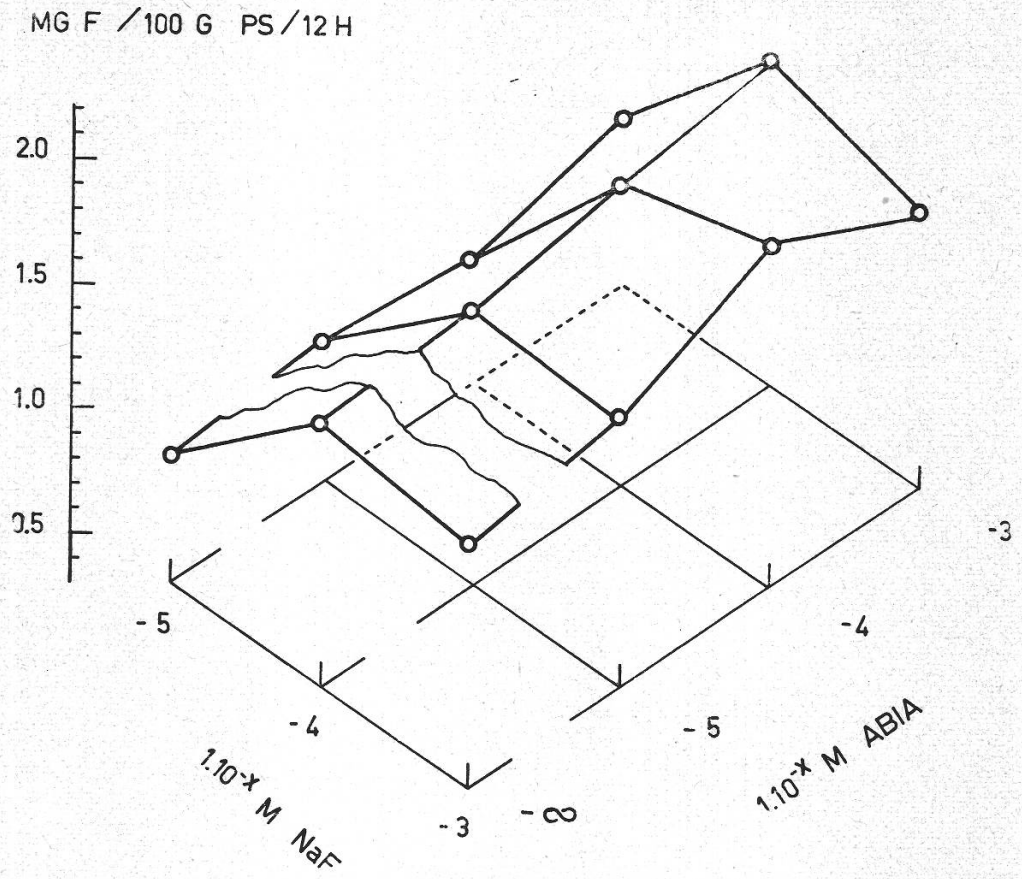

Figure 15

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles d'abricotier traités d'abord (4 h) par de l'ABIA à diverses concentrations (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) puis par du NaF (12 h) à trois concentrations (1.10^{-5}, 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M)

quoi, ces disques sont déposés sur papier-filtre selon notre technique habituelle et mis en contact avec de l'eau déionisée pendant une période variable (que nous appellerons période intermédiaire) de 0 à 8 heures (y). Ces disques sont alors transportés sur du papier-filtre et placés en présence de NaF à 1.10^{-4} et 1.10^{-3}M. Les analyses du taux en fluor sont faites après 12 heures. Les résultats donnés dans le tableau 5 permettent les remarques suivantes:

1. la teneur en fluor endogène augmente: *a)* avec la concentration d'ABIA, *b)* avec la durée du prétraitement par l'ABIA et *c)* avec la concentration exogène de NaF;

2. si la période qui sépare le moment où cesse le prétraitement de celle où commence le traitement augmente, le taux en fluor reste toujours relativement élevé, mais la valeur obtenue, si cette période intermédiaire est nulle, demeure constamment plus forte que celle qui a été initialement mesurée.

Tableau 5

Teneur en fluor (mg pour 100 g de poids sec) de disques de feuilles de vigne, pour une variation unitaire de poids frais de 10 mg

Prétraitement à l'ABIA (1.10^{-4}M et 1.10^{-3}M)

Traitement au NaF (1.10^{-4}M et 1.10^{-3}M)

Durée du pétraitement: x heures

Durée de la période intermédiaire (eau déionisée): y heures

Durée du traitement: 12 heures

NaF en M	y	Concentration d'ABIA en M			
		1.10^{-4}		1.10^{-3}	
		x:4	x:8	x:4	x:8
1.10^{-4}	0	2,61	3,17	2,64	3,84
	4	2,50	2,04 ?	2,60	3,41
	8	2,10	3,00	2,72 ?	3,17
1.10^{-3}	0	2,94	2,72 ?	3,37	4,02
	4	2,12	2,70	3,10	3,80
	8	2,05	2,54	1,27 ?	3,52

Ces observations indiquent donc que l'action de l'ABIA est persistante; elles confirment notre point de vue sur l'importance de l'état auxinique endogène et montrent le rôle que peut jouer la concentration interne des auxines dans la pénétration du fluor à l'intérieur de ces disques de feuilles.

Pourtant, si le taux en fluor diminue sensiblement avec la durée de cette période intermédiaire, il faut admettre que le contenu en auxines, après avoir fortement augmenté immédiatement après le prétraitement, s'est mis à baisser.

A quoi peut-on attribuer ce ralentissement de l'entrée du fluor dans ces disques de feuilles ? Nous pouvons y voir deux raisons qui toutes deux concernent cette réduction du taux en auxines endogènes.

1. Tout d'abord, l'ABIA qui est entré dans les disques de feuilles placées en contact de solutions relativement concentrées, va se mettre à diffuser hors des tissus, dès l'instant où ces disques de feuilles se trouveront avec de l'eau déionisée.

2. D'autre part, l'ABIA exogène qui vient d'entrer dans les disques de feuilles sera progressivement – puisque l'apport extérieur est supprimé –

dégradé par voie enzymatique, et nous devons alors faire intervenir les systèmes auxines-oxydasique (Pilet, 1960 et 1961*f*).

Teneur en chlorophylle

Quelques travaux

Parmi les premiers symptômes de fluorose dans les feuilles qui furent enregistrés, il faut mentionner la chlorose. Citons d'abord les observations de Thomas et coll. (1956) sur le Pin et d'autres conifères, qui sont très sensibles à l'acide fluorhydrique, et sur les aiguilles desquelles apparaissent de petites taches jaunâtres qui deviennent brun-rougeâtres. Ces auteurs relèvent également des taches de chlorose sur le Maïs qui se forment deux à trois jours après une fumigation aux gaz fluorés. Ces taches n'ont d'ailleurs qu'une existence transitoire. Les feuilles de l'abricotier, du prunier et du pêcher deviennent, sous l'action de traitements comparables, d'abord jaunes sur les bords avant que ne prennent naissance des nécroses localisées. Pourtant, sur quelques espèces – dont le nombre est d'ailleurs limité – des chloroses peuvent être décelées. De tels processus sont généralement considérés comme des symptômes initiaux d'une fluorose des feuilles, (Griffin et coll., 1952; Kendrick et coll., 1956; Wander et coll., 1956; McNulty et coll., 1956). Pour Solberg et coll. (1955) et Adams et coll. (1956), le fluor aurait une action sur la structure des chloroplastes de certaines plantes, dont notamment le *Pinus ponderosa*. A certaines concentrations, ceux-ci commenceraient, en effet, à se décomposer assez rapidement. Quelques travaux ont essayé de préciser le mode d'action du fluor sur les chlorophylles et sur les pigments qui leur sont associés. On pouvait se demander, étant donnés les résultats macroscopiques obtenus, si le fluor intervenait sur l'anabolisme des chlorophylles en empêchant leur synthèse ou s'il intervenait sur leur catabolisme en accélérant leur dégradation. L'action du fluor sur l'anabolisme de ces pigments est mal connue; citons pourtant les recherches de Bandurski (1949) qui montre que la biosynthèse des caroténoïdes est réellement inhibée par le fluor. Ceci ne voulait toutefois pas dire que le fluor intervenait dans la genèse des chlorophylles. D'ailleurs, Bogorad (1958) n'a pas réussi à démontrer que le fluor inhibait la formation de certains précurseurs des chlorophylles comme le porphobilinogène (qui donne des porphyrines).

Une mention spéciale doit être faite des recherches de McNulty et Newman (1961) concernant la teneur en chlorophylles et en carotènes de plantules du *Phaseolus vulgaris* et du *Glycine max*. Ces auteurs montrent d'abord que la concentration en chlorophylles *a* et *b* (ces pigments ont été étudiés selon la technique de Koski et coll., 1950) est nettement réduite à la suite de

traitements au NaF. Sur des plantules étiolées, ils constatent, de plus, que l'accumulation des chlorophylles *a* et *b* et de la protochlorophylle est inhibée par le fluor. Ils ne peuvent pas, par contre, observer une modification quantitative dans la transformation de la protochlorophylle en chlorophylle. Des résultats du même ordre sont obtenus avec les caroténoïdes (dosés selon la méthode de Goodwin, 1958).

Il semble donc que la biosynthèse des pigments chlorophylliens, comme aussi leur dégradation, soient influencées par des composés fluorés. Mais il convient de rappeler que de telles conclusions ne peuvent être, sans plus, généralisées. En effet, les observations qui permettent d'affirmer d'une façon catégorique que le fluor perturbe le métabolisme des chlorophylles, ne concernent que quelques espèces, d'ailleurs peu nombreuses, parmi lesquelles nous pouvons citer certains arbres fruitiers et divers conifères.

Le problème

Sans vouloir, pour le moment, essayer de mettre en évidence l'action du fluor sur la formation des chlorophylles[3], nous nous sommes attachés, à l'aide d'une technique d'ailleurs très approximative, à l'examen de la destruction des pigments foliaires sous l'action du NaF. Etant donnés les résultats obtenus avec nos essais portant sur l'emploi de NaF et d'ABIA, nous avons étudié les effets de l'action combinée de ces substances.

Technique

Il y a quelques années, nous avons mis au point (Pilet et Meylan, 1958; Pilet et Gaschen, 1958) une méthode de mesure de surface foliaire. A ce propos, nous avons montré qu'il était possible, à l'aide de cette technique, de déterminer d'une façon précise, le *coefficient de transparence*, de disques de feuilles. Nous dirons quelques mots de cette méthode, employée dans les essais dont il est fait mention plus haut.

On fait tomber sur une cellule photo-électrique particulièrement sensible un faisceau lumineux donné par une lampe dont l'intensité réglable est maintenue constante durant l'expérience. On intercale, entre la source de lumière et la cellule, un diaphragme dont l'ouverture peut varier et une plaque de verre. On mesure, pour une intensité lumineuse et une ouverture de diaphragme données, la valeur lue sur un galvanomètre branché sur la cellule photo-électrique. On dépose alors sur la plaque de verre, exactement en son centre, un fragment de feuille dont on veut déterminer la

---

[3] Des essais sont en cours où l'on se propose d'analyser, par une technique spectrophotométrique, l'intensité des processus anaboliques correspondant à la genèse de la chlorophylle *a* et le rôle joué par des dérivés fluorés sur ces phénomènes.

surface, on note à nouveau la valeur fournie par le luxmètre. On fait alors varier la surface des fragments. On comprend facilement que si la surface s'accroît, l'intensité de la lumière qui tombe sur la cellule va diminuer. On peut ainsi construire, pour une feuille donnée, la courbe étalon.

Au lieu d'utiliser directement des sections de feuilles, on peut réaliser l'expérience suivante: on intercale une feuille (ou un fragment assez volumineux) entre une plaque de verre et un plateau opaque percé d'un trou au diamètre connu. On détermine alors la valeur de l'intensité de la lumière qui tombe sur la cellule et qui a traversé la feuille sur une surface correspondant à celle de l'ouverture du plateau.

Nous considérerons, comme lot témoin, des disques de feuilles non traités préalablement par l'ABIA ou le NaF. Les valeurs qui seront discutées seront toujours ramenées à celles obtenues pour le témoin, compte tenu des diverses approximations (v. Pilet et Gaschen, 1958). Pour chaque série d'essais, les résultats donnés pour le lot témoin sont arbitrairement fixés à 100.

Résultats

Les disques de feuilles de vigne et d'abricotier sont déposés 48 heures dans les boîtes de Petri, sur papier-filtre, en présence des solutions actives selon la technique décrite plus haut. Les essais suivants, pour chaque série de disques, ont été réalisés:

a) témoins (sans ABIA, ni NaF) ..... 1 essai
b) contact avec du NaF (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) ..... 2 essais
c) contact avec de l'ABIA (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) ..... 2 essais
d) contact avec les deux composés mélangés ..... 4 essais

Ces neuf types d'essais ont été répétés trois fois et les chiffres contenus dans le tableau 6 correspondent aux valeurs moyennes de ces essais. Ils permettent de tirer les conclusions suivantes:

1. le NaF seul, provoque une sensible réduction de l'opacité des disques foliaires;

2. cette augmentation du coefficient de transparence est d'autant plus nette que la concentration en NaF est plus élevée;

3. elle n'est pas la même pour les disques de feuilles de vigne, que pour ceux de feuilles d'abricotier, ces derniers étant nettement plus sensibles que les premiers;

4. l'ABIA seul exerce une action du même ordre, mais nettement moins forte que celle du NaF;

Tableau 6

Estimation approximative[1] de la teneur en chlorophylles (détermination du coefficient de transparence par une méthode photo-électrique) de disques de feuilles. Traitement simultané de NaF (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M) et d'ABIA (1.10^{-4} et 1.10^{-3}M)

Mesures après 48 heures

	Concentration de NaF en M	Concentration d'ABIA en M		
		$1.10^{-\infty}$	1.10^{-4}	1.10^{-3}
Vigne	$1.10^{-\infty}$	100	91	87
	1.10^{-4}	82	74	65
	1.10^{-3}	76	78 ?	58
Abricotier	$1.10^{-\infty}$	100	93	82
	1.10^{-4}	61	59	62 ?
	1.10^{-3}	54	48	37

[1] Arbitrairement, la valeur 100 correspond au lot témoin (sans NaF et sans ABIA) après 48 heures.

5. lorsque le NaF est mélangé à l'ABIA, les modifications de l'opacité des disques de feuilles employés sont encore plus caractéristiques; l'effet résultant dû à l'application parallèle de ces composés est souvent plus qu'additif.

Ainsi, les mesures du coefficient de transparence rendent-elles bien compte, malgré l'aspect sommaire de la technique et l'approximation biologique délicate des résultats, des processus qui se déroulent dans les disques de feuilles après un traitement au NaF et à l'ABIA. Il est bien évident que cette modification de l'opacité des tissus foliaires n'est pas due uniquement aux variations de la teneur en chlorophylle, d'autres facteurs endogènes sont perturbés et ce que nous mesurons est en fait une résultante d'un certain nombre de phénomènes probablement fort différents.

En attendant de discuter des résultats relatifs à l'analyse spectrophotométrique du contenu des feuilles en pigments chlorophylliens (v. note p. 82), ces mesures nous ont tout de même permis d'examiner, sur ces disques de feuilles, les conséquences d'un traitement au NaF.

Il pouvait être intéressant de comparer certains de nos résultats, obtenus avec la méthode décrite plus haut, à ceux qui, sur un matériel à peu près

Tableau 7

Comparaison entre les variations du coefficient de transparence de disques de feuilles d'abricotier et de vigne et de la teneur en chlorophylles *a* des feuilles étiolées du haricot, traitées par NaF à diverses concentrations

Pour-cent d'inhibition calculé par rapport au lot témoin

Mesures après 96 heures

Concentration en NaF	Vigne	Abricotier	Haricot[1]
$2{,}63.10^{-3}$M	27	39	15,5
$5{,}26.10^{-3}$M	36	53	30,0
$7{,}89.10^{-3}$M	48	66	42,2
$10{,}5.10^{-3}$M	56	67	55,5

[1] Ces valeurs ont été recalculées d'après celles contenues dans le travail de McNulty et Newman (1961); elles étaient données en mg de chlorophylle *a*/g de poids sec.

équivalent, ont été consacrés à l'action du NaF sur la teneur en chlorophylles. Nous songeons aux expériences de McNulty et Newman (1961), sur des feuilles du *Phaseolus vulgaris*. Et pour que soit plus facile la comparaison de nos observations avec celles de ces auteurs, nous avons repris les concentrations de NaF qu'ils avaient utilisées, de même que nous avons choisi, comme période d'incubation, celle qu'ils ont proposée (c'est-à-dire 96 h). Pour simplifier la discussion, les résultats ont été rapportés en valeurs relatives calculées par rapport au témoin (non traité par du NaF).

Les chiffres obtenus (ceux qui ont été tirés du travail mentionné et ceux qui proviennent de nos essais) sont donnés dans le tableau 7 et dans la figure 16. On en peut tirer quelques conclusions:

1. le taux en chlorophylle *a* (haricot) est d'autant plus bas (% d'inhibition plus élevé) que la teneur en fluor du milieu est plus forte;
2. le coefficient de transparence, mesuré pour des disques de feuilles d'abricotier et de vigne, subit des variations du même ordre;
3. le parallélisme entre ces trois courbes indique bien que les mesures d'opacité sont en fait des mesures indirectes de la teneur en pigments chlorophylliens.

Pourtant, si les mesures rapportées paraissent établir nettement une similitude entre le taux en chlorophylles et l'opacité des disques foliaires, il importe de relever que ces disques ne présentaient, à «l'œil nu», aucune chlorose caractéristique.

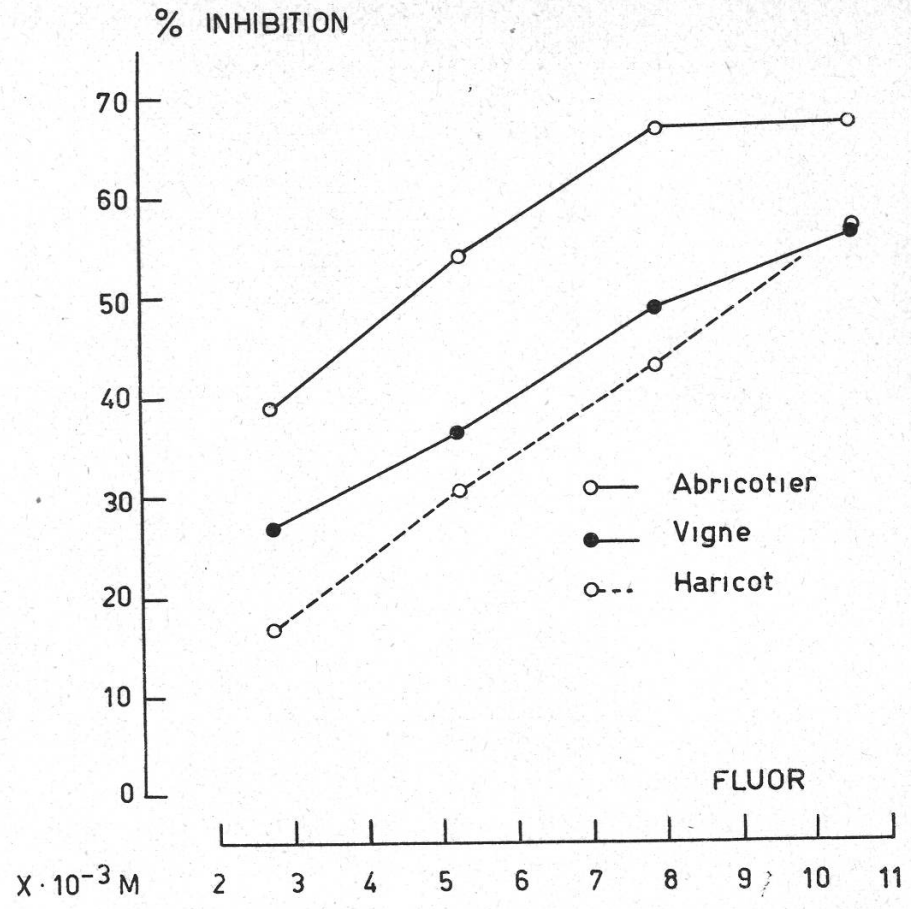

Figure 16

Comparaison entre les valeurs du coefficient de transparence (méthode photo-électrique) de disques de feuilles de vigne et d'abricotier et la teneur en chlorophylle *a* de feuilles étiolées du haricot. Ces feuilles ont été traitées 96 heures par du NaF à diverses concentrations. Les valeurs sont données en % calculé par rapport au lot témoin. Les chiffres concernant le haricot sont recalculés par rapport à ceux présentés par McNulty et Newman (1961). Voir tableau 7

Sans doute est-il prématuré d'en tirer quelques conclusions générales relativement à l'action du fluor sur la genèse et la dégradation des chlorophylles. Mais il est possible de conserver, pour le moment du moins, un certain nombre d'hypothèses. Le fluor peut agir d'abord sur les précurseurs des pigments chlorophylliens, soit en empêchant leur biosynthèse, soit en retardant ou en inhibant leur transformation en chlorophylles. Le fluor peut intervenir directement sur les chlorophylles constituées en provoquant leur dégradation. Il paraît évident, avec les essais *in vivo* et *in vitro* réalisés que le fluor intervient au niveau des enzymes responsables de ces processus, mais il y a là un immense domaine de recherche encore fort peu exploré.

Discussion

Une question essentielle, à laquelle nous avons fait allusion à plusieurs reprises dans ce travail, mérite d'être discutée sommairement dans la perspective des résultats obtenus. L'analyse de la teneur en fluor des tissus végétaux nous paraît d'abord absolument indispensable lorsqu'on essaie de rendre compte de divers processus physiologiques et biochimiques sur lesquels agit le fluor. Malheureusement, dans trop de travaux, on se borne encore à exprimer les variations de ces phénomènes en fonction du taux externe en fluor. On oublie que le fluor ne pénètre pas toujours également dans les tissus végétaux. Pour connaître exactement l'action de cet élément sur les mécanismes biologiques, il est bien plus utile de savoir exactement à quelle concentration endogène il agit. Ces renseignements accumulés dans cet ordre d'idées ne sont pas inutiles pour les problèmes pratiques que pose l'action du fluor sur la morphologie et la physiologie des plantes.

En effet, nous savons maintenant que:

a) le taux en fluor des tissus végétaux n'est pas toujours en relation directe avec celui du milieu ambiant;

b) certaines espèces en absorbent de fortes quantités, même si elles se trouvent dans une atmosphère qui en est presque dépourvue;

c) d'autres espèces ne retiennent que peu de fluor, même si elles vivent dans un milieu qui en contient beaucoup.

Il s'ensuit que l'appréciation des symptômes de fluorose, tant morphologique que physiologique, ne peut être valablement entreprise que par la connaissance simultanée du taux en fluor dans le milieu où se trouvent les plantes examinées et à l'intérieur même de leurs tissus.

Là encore, une discussion nuancée s'impose. La sensibilité des plantes vis-à-vis du fluor n'est pas la même d'un végétal à l'autre. Certaines plantes peuvent être très riches en fluor et ne présenter que peu de symptômes caractéristiques, alors que d'autres, pratiquement «démunies» de fluor offrent à l'observation macroscopique, microscopique ou biochimique des signes évidents d'une fluorose caractérisée.

Enfin, il serait également discutable de généraliser les expériences faites en laboratoire et d'en tirer, pour le domaine pratique, des conclusions immédiates. Les concentrations généralement utilisées pour des essais quantitatifs, restent toujours bien au-dessus de celles qu'on trouve réellement dans la nature. Pour que soit bien claire l'action du fluor sur certains processus envisagés, il est en effet indispensable d'utiliser des quantités de fluor suffisamment élevées pour que les observations soient possibles. Or,

il n'est pas du tout prouvé qu'à des concentrations plus faibles, et avec les innombrables facteurs périphériques qui existent et agissent dans des cultures extérieures, le fluor se comporte de semblable façon.

Résumé

1. Des analyses du taux en fluor, à l'intérieur des tissus végétaux (disques de feuilles calibrés) d'abricotier, de vigne, de cerisier et de pommier, ont permis d'établir, en tenant compte des variations de poids, des rapports entre la concentration endogène et exogène de cet élément.
2. L'étude de la pénétration du fluor, dans certaines conditions précises, a pu être ainsi entreprise.
3. Le taux en fluor des tissus nécrosés ne saurait être un critère valable pour l'appréciation d'une fluorose, et par conséquent de l'amplitude des dégâts y relatifs.
4. L'intervention de l'ABIA (acide β-indolyl-acétique) est particulièrement nette; cette substance favorise l'entrée du fluor, et cette action dépend de sa concentration interne. Il est donc essentiel, pour préciser la sensibilité d'un tissu ou d'un organe végétal au fluor, d'en connaître l'état auxinique endogène.
5. A fortes doses, le fluor dont l'absorption est accélérée par l'ABIA, se met à agir sur ce composé auxinique, et en diminue notablement l'efficacité.
6. Le fluor intervient dans le métabolisme des pigments chlorophylliens, soit en ralentissant l'anabolisme de ces substances, soit en accélérant leur catabolisme. Là encore l'ABIA entre en synergisme avec cet élément.

Ce travail a pu être réalisé grâce à la collaboration technique de Mesdemoiselles A. Wolff, J. Blanchard, S. Delafontaine, A. Carrard, E. Knüsli et D. Forney.

Zusammenfassung

1. Analysen über den Fluorgehalt im Innern pflanzlicher Gewebe (geeichte, ausgestanzte Blattscheibchen) des Aprikosenbaumes, der Rebe, des Kirsch- und des Apfelbaumes erlaubten die Festsetzung von Verhältniszahlen zwischen der endogenen und exogenen Konzentration dieses Elementes, unter Berücksichtigung der Gewichtsunterschiede.
2. Das Eindringen des Fluors unter bestimmten, genauen Bedingungen konnte studiert werden.

3. Der in nekrotischem Gewebe festgestellte Fluorgehalt ist kein geeignetes Mittel zur Festsetzung des Grades der Fluoreinwirkung oder gar der damit im Zusammenhang stehenden Schäden. Ebenso ist die Empfindlichkeit gegenüber Fluor von einer Pflanzenspezies zur anderen verschieden.

4. Die Auswirkung des IES (β-indolylessigsäure) tritt besonders deutlich hervor; diese Substanz begünstigt den Eintritt des Fluors, ein Vorgang, der von der internen Konzentration abhängt. Um die Empfindlichkeit eines Gewebes oder eines pflanzlichen Organes auf Fluor bestimmen zu können, ist es demnach wesentlich, dessen endogenen Wachstumszustand zu kennen.

5. Bei starken Dosen beginnt das Fluor, dessen Absorption durch das IES beschleunigt wird, auf diesen Wuchsstoff einzuwirken, was dessen Wirksamkeit erheblich vermindert.

6. Das Fluor schaltet sich in den Stoffwechsel der Chlorophyll-Farbstoffe ein, wobei es einerseits den Aufbau dieser Substanzen verlangsamt, andererseits deren Abbau beschleunigt. Auch hierin tritt das IES in einen Synergismus mit diesem Element.

Summary

1. Analyses of the fluorine concentration of plant tissues (calibrated, small disks of leaves) of the apricot tree, of grape, of the cherry and the apple tree permitted to establish ratio figures for the endogenous and the exogenous concentration of this element, taking account of the weight differences.

2. It was possible to study the penetration of the fluorine under certain precise conditions.

3. The fluorine content found in necrotic tissue is no proper criterion to determine the degree of fluorine effect or the damage. Furthermore varies the fluorine sensibility from one plant species to another.

4. The effect of the IAA (β-indolyl acetic acid) is particularly striking; this substance promotes the entrance of the fluorine, a process which depends on the internal concentration. To define the sensibility to fluorine of a tissue or a plant organism it is therefore essential to know its endogenous state of growth.

5. In case of heavy dosis, the fluorine, the absorption of which is accelerated by the IAA, begins to influence this auxin compound thereby reducing considerably its efficiency.

6. The fluorine interferes with the metabolism of the pigments of the chlorophyll, causing on the one hand a retardation of the anabolism of these substances, on the other hand an acceleration of their catabolism. Also here the IAA enters into a synergism with this element.

Bibliographie

Adams D. F., Solberg R. A. 1956. Histological responses of some plant leaves to hydrogen fluoride and sulfur dioxide. Am. J. Bot. **43**, 755.

Allmendinger D. F. 1950. The control of fluoride scorch of *Gladiolus* with foliar dusts and sprays. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. **56**, 427.

Alther E. W. 1961. Mengen- und Spurenelement-Untersuchungen in Gras und Heu, in: Chemisch-biologische Untersuchungen zur Fluorose des Rindes. (Diss.) Hohenheim.

Bandurski R. S. 1949. Synthesis of carotenoid pigments in detached bean leaves. Bot. Gaz. **111**, 95.

Biraghi A. 1938. Determinazione della presenza di fluoro nei tessuti vegetali colpiti da emanazioni gassose. Boll. staz. patol. vegetale **18**, 360.

Bogorad L. 1958. The enzymatic synthesis of porphyrins from porphobilinogen. J. Biol. Chem. **233**, 501.

Bonner J., Wildman S. G. 1946. Enzymatic mechanisms in the respiration of spinach leaves. Arch. Biochem. **10**, 497.

— — 1947. Contributions to the study of auxin physiology. Growth **11**, 51.

Bonner W. D., Thimann K. V. 1950. Studies on the growth and inhibition of isolated plant parts. III. The action of some inhibitors concerned with pyruvate metabolism. Am. J. Bot. **37**, 66.

Bredemann G. 1956. Biochemie und Physiologie des Fluors. 2e éd. 299 p. Akademie-Verlag, Berlin.

Cortesi M. 1953. Le fluor et les tissus végétaux. Réunion des soc. de Pharmacie N° 953, Lyon, mai.

Fabre R., Truhaut R., Rouquette A. 1955. Sur le microdosage du fluor dans les végétaux. C. R. Ac. Sc. **240**, 226.

Gautier A. 1915. Influence du fluor sur la végétation. C. R. Ac. Sc. **160**, 194.

Goodwin T. W. 1958. The changes in carotenoid and chlorophyll pigments in the leaves of diciduous trees during autumn necrosis. Biochem. J. **68**, 503.

Griffin S. W., Bayles B. B. 1952. Some effects to fluorine fumes on vegetation. In "Air Pollution", McGraw-Hill Book Co., New York, p. 106.

Gwirtsman J., Mavrodineanu R., Coe R. R. 1957. Determination of fluorides in plant tissue, air, and water. Anal. Chem. **29**, 887.

Haas A. R. C., Brusca J. N. 1955. Fluorine toxicity in *Citrus*. Cal. Agr. **9**, 15.

Hackett D. P., Thimann K. V. 1953. The nature of the auxin-induced water uptake by potato tissue. II. The relation between respiration and water absorption. Am. J. Bot. **40**, 183.

Hill A. C., Transtrum L. G., Pack M. R., Winters W. S. 1958. Air pollution with relation to agronomic crops: VI. An investigation of the "Hidden Injury" theory of fluoride damage to plants. Agronomy J. **50**, 562.

Johnson F., Allmendinger D. F., Miller V. L., Gould C. J. 1950. Leaf scorch of *Gladiolus* caused by atmospheric fluoric effluents. Phytopath. **40**, 239.

Katz M., Shore V. C. 1955. Air pollution damage to vegetation. J. Air Pollution Control Assoc. **5**, 2.

Kendrick J. B., Darley E. F., Middleton J. T., Paulus A. O. 1956. Plant response to polluted air. Cal. Agr. **10**, 9.

Koski V. M., French C. S., Smith J. H. C. 1950. The action spectrum for the transformation of protochlorophyll to chlorophyll *a* in normal and albino corn seedlings. Arch. Biochem. Biophys. **29**, 339.

Lawrenz M., Mitchell H. H. 1941. The relative assimilation of fluorine from fluorine-bearing minerals and food (tea) and from water and food. J. Nutrition **22**, 621.

Ledbetter M. C., Mavrodineanu R., Weiss A. J. 1960. Distribution studies of radioactive fluorine-18 and stable fluorine-19 in Tomato Plants. Contrib. Boyce Thompson Inst. **20**, 331.

McNulty I. B., 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. Mechanisms of fluoride induced chlorosis. Plant Physiol. **36**, 385.

Matthey E., Fassa F., Demole V. 1960. Le dosage du fluor dans les tissus animaux et végétaux et dans les denrées alimentaires. Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene **51**, 339.

Mavrodineanu R., Gwirtsman J. 1956. Use of sodium peroxide fusion for the determination of fluorides in vegetation. Contr. Boyce Thompson Inst. **18**, 419.

Miller V. L. 1952. The effect of atmospheric fluoride on Washington agriculture. In "Air Pollution", New York, McGraw-Hill Book Co.

— Johnson F., Allmendinger D.F. 1948. Fluorine analysis of Italian Prune foliage affected by marginal scorch. Phytopath. **38**, 30.

Mitchell H. H., Edman M. 1945. Fluorine in soils, plants and animals. Soil Sci. **60**, 81.

Nielsen H. M. 1958. Determination of microgram quantities of fluoride. Anal. Chem. **30**, 1009.

Nielsen J. P., Dangerfield A. D. 1955. Use of ion exchange resin for determination of atmospheric fluorides. A.M.A. Arch. Ind. Health **11**, 61.

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. Landwirtschaftliche Forschung **13**, 64.

Pilet P. E. 1953. Physiologie des racines du *Lens* et hormones de croissance. Phyton **4**, 247.

— 1957. Distribution des groupes sulfhydryles, activité des auxines-oxydases et teneur en auxines des racines du *Lens*. Physiol. Plant. **10**, 708.

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

— 1961*a*. Les phytohormones de croissance. Masson Ed. Paris.

— 1961*b*. Interaction entre la 6-furfurylamino-purine et l'acide β-indolyl-acétique. Rev. gén. bot. **68**, 345.

— 1961*c*. Auxins and the process of aging in root cells. Plant growth regulation. Fourth intern. Conf., The Iowa State Univ. Press, pp. 167–178.

— 1961*d*. L'action des auxines sur la croissance des cellules. Handbuch der Pflanzenphysiol. Springer Verlag, XIV, pp. 784–806.

— 1961*e*. Gradients de croissance et problèmes auxiniques. II. Etat statique et dynamique. Bull. Soc. bot. suisse **71**, 25.

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

Pilet P. E. 1962. L'état auxinique endogène. L'Année biologique (sous presse).

— Gaschen M. 1958. Un test auxinique foliaire. Bull. Soc. bot. suisse **68**, 315.

— Meylan A. 1958. Une méthode de mesure de surface foliaire. Bull. Soc. bot. suisse **68**, 307.

Reckendorfer P. 1952. Ein Beitrag zur Mikrochemie des Rauchschadens durch Fluor: Die Wanderung des Fluors im pflanzlichen Gewebe. I. Teil: Die unsichtbaren Schaden. Pflanzenschutzberichte **9**, 33.

Solberg R. A., Adams D. F., Perschau H.A. 1955. Some effects of hydrogen fluoride on the internal structure of *Pinus ponderosa* needles. Proc. Third Nat. Air Pollution Symp., Pasadena Cal. **3**, 164

Thimann K. V., Bonner W. D. 1949. Experiments on the growth and inhibition of isolated plant parts. II. The action of several enzyme inhibitors on the growth of the *Avena* coleoptile and on *Pisum* internodes. Am. J. Bot. **36**, 213.

Thomas M. D. 1951. Gas damage to plants. Ann. Rev. Plant Physiol. **2**, 293.

— 1956. The invisible injury of plant damage. J. Air Pollution Control Assoc. **5**, 205.

— 1961. Effects of air pollution on plants. In "Air Pollution" World Health Organ. Genève, pp. 233–278.

— Hendricks R. H. 1956. Description of hydrogen fluoride lesions. Air Pollution Handbook, New York, 9.

Treshow M. 1956. The effects of fluorine on the anatomy of Chinese apricot leaves. Abstract in Phytopath. **46**, 640.

Wander I. W., McBride J. J. 1956. Chlorosis produced by fluorine on *Citrus* in Florida. Science **123**, 933.

Willard H. H., Winter O. B. 1933. Volumetric method for determination of fluorine. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. **5**, 7.

Zimmerman P. W. 1950. Impurities in the air and their influence on plant life. Proc. First Nat. Air Pollution Symp., Pasadena Cal., Nov. 10–11 1949, p. 135.

— Hitchcock A. E. 1956. Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulfur dioxide gases. Contr. Boyce Thompson Inst. **18**, 263.

— — Gwirtsman J. 1957. Fluorine in food with special reference to tea. Contr. Boyce Thompson Inst. **19**, 49.

Zundel G. 1960. Méthode de dosage du fluor. Bull. Apicole, III, **2**.