

**ACTIVITES DE L'ACIDE PHENOXYACETIQUE
ET DE SES DERIVES SUR LA CROISSANCE
DU BANANIER PLANTAIN (*MUSA AAB*) CV CORNE 1
EN CULTURE HYDROPONIQUE**

L. TURQUIN^{1*} ; S. AKE¹ ; P. ANNO¹ ; E. DEGNY² ; Y. T. N'GUESSAN²

*1 Laboratoire de Physiologie Végétale - UFR Biosciences - Université de Cocody –
Abidjan BP 582 ABIDJAN 22 COTE D'IVOIRE*

*2 Laboratoire de Chimie Organique Structurale UFR SSMT- Université de Cocody -
Abidjan BP 582 ABIDJAN 22 COTE D'IVOIRE*

(Reçu le 21/07/2003 – Révisé le 01/04/2005 – Accepté le 25/05/2005)

Summary : *Minimum nutritive conditions for culture in hydroponic controlled medium were defined in order to experiment the biological activities of phenoxyacetic acid (PAA) and those of seven of its derivatives on the plantain (*Musa AAB*) cv Horn 1. Suckers collected from mother stem were used in culture with a base hydroponics medium prepared using a nutritional additive and different dilutions of synthesized auxinic derivatives. Those culture conditions allowed to considerably reduce the time for sprouting which made it possible to plant the material earlier in field than under no stimulating conditions and also to improve plant survival score and growth rate of the suckers. With the experimental set up, inhibition / stimulation activities or other qualitative effect of PAA or its derivatives were measured. PAA and its derivatives 3,4-D, 3,5-D and 2,4-MPA showed inhibition / stimulation activities on morphometric, morphological and biochemical parameters of the suckers when those were use in culture in their presence. PAA showed moderated effects while 3,4-D had a strictly inhibitory effect on the growth of the suckers. 3,5-D and 2,4-MPA stimulated the growth of pseudo-trunk, roots length and suckers weight. Suckers traditionally eliminated, would be used for plantations.*

Keys-words: *b-suckers - plantain banana - growth - hydroponic culture - phenoxyacetic acid (PAA) - 3,4-dichloro-phenoxyacetic acid (3,4-D) - 3,5-dichlorophenoxyacetic acid (3,5-D) - 2,4-dimethylphenoxyacetic acid (2,4-MPA).*

* Auteur de correspondance : Laboratoire de Physiologie Végétale - UFR Biosciences
- Université de Cocody – Abidjan BP 582 ABIDJAN 22 COTE D'IVOIRE

I – INTRODUCTION

Dans les zones intertropicales humides, et surtout dans la sous-région ouest africaine, la banane, et plus particulièrement la banane plantain, occupe une place importante dans l'alimentation des populations^[1,2,3,4]. La croissance démographique très rapide dans ces pays en développement, entraîne une demande sans cesse croissante de cette denrée, largement supérieure à l'offre, du fait d'une production traditionnelle insuffisante. C'est la raison pour laquelle l'amélioration de cette production, fait l'objet d'une préoccupation tant nationale^[5] qu'internationale^[6]. Cette préoccupation nous a amené à l'étude du bananier plantain. La culture intensive de bananiers a fait intervenir l'usage de diverses molécules hormonales telles l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) à 250 μM , l'éthylène à 500 μM chez *Musa sp* pour l'amélioration de la qualité du fruit, la précocité de la floraison, ou de la modification du cycle biologique et végétatif^[7, 8]. Ainsi, dans le cadre d'un programme de recherche des effets de divers régulateurs de croissance pour l'amélioration des exploitations agricoles, certaines molécules dont quelques dérivés de l'acide phénoxyacétique (APA), ont été synthétisées et mises en expérimentation. A notre connaissance, l'APA n'a pas encore été expérimenté chez le bananier. De plus, l'action de l'APA a été envisagée sous l'angle structure-réactivité en utilisant la méthode semi-empirique de calcul des orbitales moléculaires AM1. Nous, nous proposons d'expérimenter les conditions d'éveil et de stimulation rapide de la croissance et du développement de rejet-écailles de type *b* (rejet-écailles d'origine souterraine qui apparaissent toujours à la surface du sol, au voisinage du pied-mère jamais apparemment fixé sur le bulbe-parent) chez le bananier plantain *Musa AAB cv Corne 1*. Cette variété est très appréciée pour la qualité

de ses fruits et son importance économique liée à une forte demande des populations tant sur le marché national, sous-régional, qu'international.

II - MATERIEL ET METHODES

1 - Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est constitué rejet-écailles de type *b* ou rejets *b* [9] du bananier plantain *Musa* AAB cv Corne 1 (figure 1).

FIGURE 1 : *Rejet-écaille de type b ou (rejet b) de bananier plantain cv Corne 1, débarrassé des parties nécrosées et racines*



2 - Méthodes

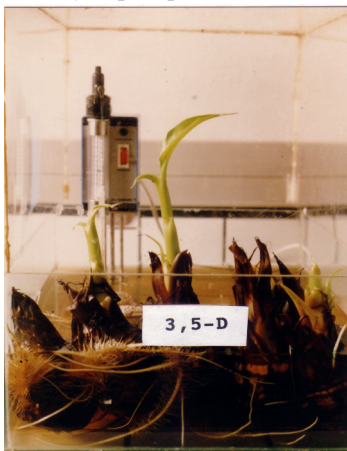
- Dispositif expérimental

Les rejets calibrés ont été mis en culture, à l'aide du dispositif expérimental décrit ci-après. Les cultures ont été réalisées dans des bacs de verre de 40 l. La régulation thermique à 35 °C et l'aération du milieu de culture ont été effectuées à l'aide d'un thermoplongeur de

type Polystat II (Bioblock). L'évaporation a été minimisée par une cuve de plexiglas. La photopériode a été de 13 h de lumière. Ce système de culture à température élevée et en agitation constante, a permis une bonne humidification de l'atmosphère dans l'enceinte de culture (figure 2).

Le milieu de culture est constitué d'eau et d'un additif nutritionnel (*complezal* SOFACO) pour les témoins. Ce milieu est complété des substances à tester pour les essais.

FIGURE 2: *Dispositif expérimental de la culture de rejets de bananier plantain cv Corne 1 en milieu hydroponique*



- Recherche des concentrations optimales des activités hormonales des dérivés

Durant 16 jours de culture, les mesures de paramètres de croissance : hauteur du pseudo-tronc (h), masse (m), feuilles lancéolées (fl) et racines (r) des rejets ont été effectuées. Trois concentrations (10 μ M, 0,1 μ M et 0,001 μ M) des dérivés se situant dans une zone d'activité

habituelle des régulateurs de croissance chez les végétaux, ont été expérimentées. Pour l'étude de l'activité de l'APA ou d'un de ses dérivés, les paramètres morphologiques des rejets soumis à leur influence ont été comparés à ceux des témoins.

- Définition d'un facteur de stimulation χ

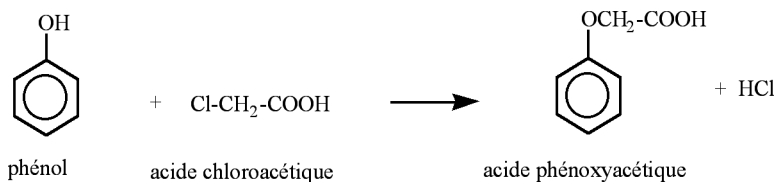
Appelons, χ , le facteur de stimulation ou d'inhibition qui est obtenu en prenant la différence entre le pourcentage de l'essai par rapport au témoin, moins 100. $\chi = T \% - 100$ où $T \%$ est le pourcentage de l'essai par rapport au témoin. Si χ est positif, la substance a un effet de stimulation ; si χ est négatif, la substance a un effet d'inhibition. L'effet est d'autant plus accentué que la valeur absolue de χ est grande. Par ailleurs, d'autres effets qualitatifs concernant le délai d'ouverture des écailles, l'organogenèse foliaire et racinaire, ont été recherchés.

- Biochimie des rejet-écailles

Une étude biochimique de 75 rejet-écailles a été réalisée en vue de vérifier l'incidence des traitements sur les marqueurs biochimiques. Toutes les analyses ont été effectuées sur du matériel végétal lyophilisé. Les glucides ont été dosés par la méthode enzymatique^[10], les protéines (p) selon la méthode de BRADFORD^[11] et les phénols (ph) par celle de MARIGO^[12]. Les résultats du dosage des glucides (g) sont exprimés en μg (ou équivalent glucose/ml). Le taux de protéines, exprimé en mg/ml de matière sèche, est déterminé, à l'aide de la courbe étalon. Les résultats du dosage des phénols sont exprimés en μg ac. chlorogénique/g de matière sèche.

- Synthèse de l'acide phénoxyacétique et ses dérivés

La synthèse de l'APA a été réalisée selon le mode opératoire de POKORNY^[13] par la réaction suivante :



Les produits substitués de l'acide phénoxyacétique ont été obtenus en utilisant la même réaction que précédemment à partir de dérivés substitués du phénol, qui sont des produits commerciaux.

Acides	Acides
Phénoxyacétique <i>APA</i>	2-chloro 5-méthylphénoxyacétique <i>2,5-CMPA</i>
2,5-dichlorophénoxyacétique <i>2,5-D</i>	3-méthyl 4-chlorophénoxyacétique <i>3,4-MCPA</i>
3,4-dichlorophénoxyacétique <i>3,4-D</i>	2,3-diméthylphénoxyacétique <i>2,3-MPA</i>
3,5-dichlorophénoxyacétique <i>3,5-D</i>	2,4-diméthylphénoxyacétique <i>2,4-MPA</i>

Une étude de la géométrie des dérivés synthétisés a été nécessaire afin de faire une corrélation entre leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs effets sur les cultures. Leurs géométries ont été calculées par minimisation complète de l'énergie par rapport à toutes les coordonnées internes (longueurs de liaison, angles de liaison et angles dièdres de la structure). Nous avons utilisé la méthode de calcul semi-empirique AM1 (AUSTIN Model 1)^[14] pour évaluer les grandeurs physico-chimiques des molécules étudiées. L'erreur habituellement commise par

rapport aux mesures expérimentales, est suffisamment acceptable pour permettre des comparaisons au sein d'une même famille de composés.

En application du théorème de KOOPMANS^[15], le potentiel d'ionisation est donné par l'énergie de la plus Haute Orbitale Moléculaire Occupée (HOMO : Highest Occupied Molecular Orbital), et l'affinité électronique est déterminée par l'énergie de la plus Basse Orbitale Moléculaire Vacante (LUMO : Lowest Unoccupied Molecular Orbital) au signe près.

- Préparation des solution-mères

L'APA a été dissout dans l'eau distillée. Le pH a été ramené à la neutralité avec de la soude 0,1 N puis le volume final a été complété à 1 l pour l'obtention de la solution-mère de concentration 10^{-3} M.

III – RESULTATS

1 - Action de l'APA et ses dérivés sur les rejets

Nous étudierons d'abord l'action au niveau des paramètres morphologiques (*fl, h, m et r*) puis des paramètres biochimiques (*ph, p et g*).

a - Paramètres morphologiques

La croissance des organes considérés a été pour la partie aérienne des rejets :

- le nombre de feuilles lancéolées,
- la hauteur du pseudo tronc,

et pour la partie souterraine :

- la masse fraîche et la masse sèche du bulbe,
- le nombre, la longueur, la masse fraîche et la masse sèche de racines.

Chaque produit a été expérimenté aux trois concentrations (0,001 ; 0,1 et 10 μ M). Sur les graphes, l'effet du produit à une concentration

donnée n'apparaît que s'il est inhibiteur ou stimulateur par rapport au témoin.

- Feuilles lancéolées

L'observation du nombre de feuilles lancéolées (*fl*) émises par les rejets soumis à l'influence des produits pendant la durée des expériences, montre que :

A forte concentration : l'APA et ses dérivés 3,4-D, 3,5-D et 2,3-MPA inhibent la formation des feuilles.

A moyenne concentration : seul le 3,4-D inhibe la formation des feuilles

A faible concentration : seul le 2,5-D stimule l'organogenèse foliaire ; le nombre de feuilles lancéolées a doublé par rapport à celui des témoins (figure 3).

FIGURE 3 : Effets de l'acide phénoxyacétique et de ses dérivés sur les feuilles lancéolées chez les rejets de bananier plantain cv Corne 1

- Hauteur du pseudo-tronc du jeune plant

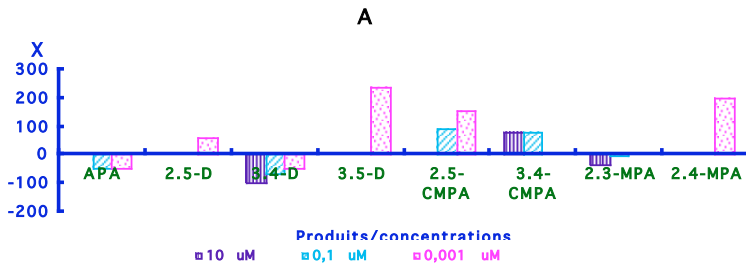
Sur la hauteur (*h*) du rejet, à forte concentration, la plupart des produits sont sans effet, à l'exception du 3,4-D et du 2,3-MPA qui inhibent ainsi que du 3,4-CM qui stimule.

A concentration moyenne, l'APA et le 3,4-D inhibe, à l'opposé du 2,5-CMPA et du 3,4-CMPA qui stimulent.

A faible concentration, les effets stimulants sont plus marqués, et, dans l'ordre croissant, 2,5-D, 2,5-CMPA, 2,4-MPA avec $\chi_{2,4-MPA} = 200$ et 3,5-D qui manifeste l'effet le plus important avec un $\chi_{3,5-D} = 237$ (figure 4A).

Le 3,4-D a un effet inhibiteur quelle que soit la concentration avec $-100 < \chi_{3,4-D} < -47$.

FIGURES 4 : A-C. Activités de l'acide phénoxyacétique et de ses dérivés sur les paramètres morphologiques chez les rejets de bananier plantain cv Corne 1



- Masse fraîche et matières sèches du rejet

Sur la masse de matière fraîche des rejets :

A forte concentration, les produits sont sans effet, seul le 3,4-D a une action inhibitrice avec $\chi_{3,4-D} = -98$ (figure 4B).

A moyenne concentration, une moitié des produits est sans effet, le 3,5-D, le 3,4-D, 2,5-D 2,5-CMPA stimulent dans l'ordre croissant des χ , avec $\chi_{2,5-CMPA} = 111$ pour le dernier.

A faible concentration, la majorité des produits stimulent (avec le χ le plus élevé pour le 2,5-CMPA) (figure 4B).

Sur la masse de matières sèches des rejets :

A forte concentration, l'APA et le 2,3-MPA inhibent, les autres produits étant sans effet (figure 4C).

A moyenne concentration le 3,5-D, le 3,4-D le 2,3-MPA inhibent. Le 2,4-MPA et 2,5-D stimulent avec $\chi_{2,5-D} = 45$.

A faible concentration, le 2,5-CMPA et le 3,4-CMPA, inhibent, à l'opposé du 3,4-D et du 2,5-D qui stimulent .

- Racines des rejets

Nombre de racines (figure 5A)

A forte concentration : le 3,4-D ($\chi_{3,4-D} = -100$) et le 2,3-MPA inhibent. L'APA, les dérivés 2,4-MPA, 3,4-CMPA et 2,5-CMPA stimulent avec $\chi_{2,5-CMPA} = 200$.

A moyenne concentration : seul le 3,4-D inhibe ; le 3,5-D et 2,4-MPA stimulent avec $\chi_{2,4-MPA} = 100$, les autres étant sans effets.

A faible concentration : tous les produits sont sans effet, sauf le 2,5-D qui manifeste ne très légère inhibition.

Longueur des racines

A forte concentration, on n'observe pas de stimulation ; trois produits inhibent, le 3,4-CMPA, le 2,3-MPA et le 3,4-D qui a l'effet le plus marqué avec $\chi_{3,4-D} = -100$. L'APA et les autres dérivés sont sans effet (figure 5 B).

A moyenne concentration, on a le 2,3-MPA et le 3,4-D qui inhibent ; à l'inverse, l'APA, 2,4-MPA, 2,5-D, 3,5-D et 2,5-CMPA ($\chi_{2,5-CMPA} = 308$) ont, dans l'ordre croissant, une activité stimulante,

A faible concentration : aucun effet des produits.

*** *Matière fraîche des racines* (figure 5C)

A forte et moyenne concentrations : les effets sont similaires à ceux observés sur la longueur des racines.

A faible concentration : l'APA et le 2,5-D ($\chi_{2,5-D} = 300$) sont les seuls qui stimulent.

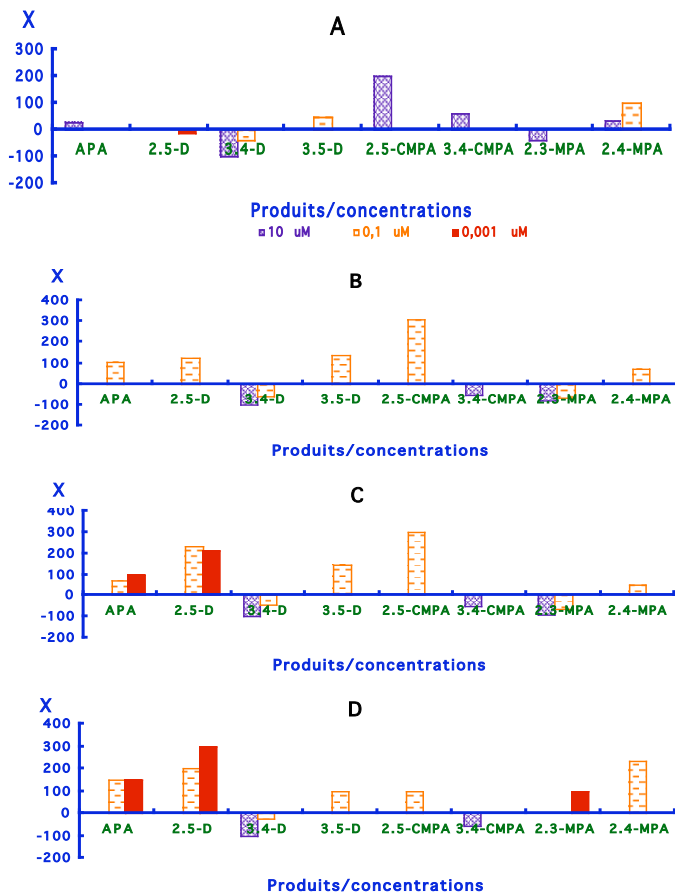
*** *Matière sèches des racines* (figure 5D)

A forte concentration : Il n'y a pas de stimulation, le 3,4-CMPA et le 3,4-D inhibent ($\chi_{\square\square\square\square} = -100$).

A moyenne concentration : La plupart des produits stimulent, la stimulation la plus forte est obtenue avec 2,4-MPA avec $\chi_{2,4-MPA} = 233$, seul le 3,4-D inhibe ;

A faible concentration : On n'observe que des stimulations pour trois produits 2,3-MPA, APA et 2,5-D avec $\chi_{2,5-D} = 300$. (figure 5D).

FIGURES 5 : A-D. Activités de l'acide phénoxyacétique et de ses dérivés sur les racines chez les rejets de bananier plantain cv Corne 1



A – Nombre B – Longueur C - Matière fraîche D - Matière sèches

b - Paramètres biochimiques

Les activités biochimiques ne concernent que les composés ayant exercé une influence notoire (inhibition et/ou stimulation) sur les paramètres de croissance des rejets, notamment l'APA, et ses dérivés 3,4-dichlorophénoxyacétique, 3,5-chlorophénoxyacétique et 2,4-diméthylphénoxyacétique. Les phénols intervenant dans les mécanismes de défense des végétaux, les protéines et les glucides étant des métabolites primaires utiles à divers niveaux dans le fonctionnement des végétaux, il est apparu nécessaire de voir si leur *pool* cellulaire est affecté ou non par l'application des dérivés étudiés.

** Phénols*

Le bilan de variation des phénols fait apparaître une faible augmentation des concentrations en fin de la culture malgré des fluctuations ; exception faite de l'APA. Le 3,4-D provoqua la plus forte accumulation de phénols.

*** Protéines*

Quel que soit le traitement appliqué aux rejets de bananiers en culture hydroponique, le bilan des teneurs en protéines est caractérisé par une baisse au terme de la culture en dépit de quelques fluctuations avec la perte la plus faible pour le 3,4-D et les plus fortes avec l'APA et le 3,5-D.

**** Sucres solubles*

Le bilan au terme de la culture, montre une quantité plus importante de sucres sous l'action du 2,4-MPA, suivi du 3,5-D à l'opposé des témoins.

2 - Les caractéristiques physico-chimiques des produits synthétisés

2.1 Structure-activité

Les relations structure-activité sont devenues un vaste champ d'investigation, à telle enseigne qu'une revue spécialisée leur est consacrée et que des relations quantitatives ont permis de faire le lien entre structures, propriétés physico-chimiques et activités biologiques (17).

Une des approches les plus réussies dans l'étude de l'activité biologique des molécules concerne les tentatives pour établir une relation entre les modifications de structures moléculaires et l'activité biologique sur le plan quantitatif et prédictif (QSARS : Quantitative Structure-Activity Relationship)^[18]. De nombreux travaux ont été consacrés à la mise en place de modèles mathématiques en vue d'établir des corrélations quantitatives de structure-activité et parmi ces modèles nous avons en bonne place le calcul des orbitales moléculaires^[26, 27, 28, 29].

2.2 La géométrie

Au plan de la géométrie, la molécule de base (1) non substituée, présente, une structure plane (figures 3A-3B). Les longueurs de liaisons du cycle benzénique sont de 1,39 Å. Les angles de liaison ne s'écartent guère de 120° ; ce qui confère à cette partie une structure plane (tableaux IA-IB). La différence entre l'acide et l'anion se situe au niveau des longueurs de liaisons et angles de liaisons de la partie acétique. L'acide présente une structure dans laquelle la liaison C₈-C₉ (1,5 Å) est longue et la liaison C₉-O₁₀ (1,23 Å) qui est une double liaison carbone-oxygène s'allonge dans le cas de l'anion : cette longueur est alors identique à celle de C₉-O₁₁ (1,36 Å). Globalement, les deux structures restent semblables au niveau des angles et présentent une variation au niveau de quelques longueurs de liaisons. Les densités électroniques des atomes de la partie acétique sont modifiées.

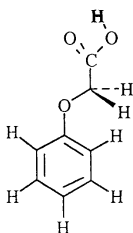
Pour les acides phénoxyacétiques substitués sur le noyau phénoxy par deux atomes de chlore, la planéité de la molécule n'est pas

affectée. Les structures des composés (3) et (4) restent planes aussi bien pour les acides que pour les anions. Les comparaisons faites précédemment entre l'acide phénoxyacétique non substitué et son anion restent valables, dans le cas des dérivés dichlorés (3) et (4). Nous remarquons que les longueurs de liaison carbone-chlore de la forme acide restent inférieures à celles de l'anion quelles que soient les positions des substituants. La structure du composé (2) est différente de celle des deux autres dérivés chlorés. La partie acétique n'est pas dans le même plan que la partie phénoxy. Nous avons un angle dièdre qui avoisine 85° alors que l'anion a une structure plane.

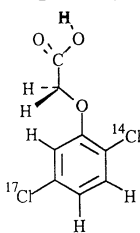
Pour les acides phénoxyacétiques (7) et (8) substitués sur le noyau phénoxy avec deux groupements méthyles, les molécules ne sont pas planes. Il en est de même pour les anions. Les angles des parties acétiques sont plus grands que ceux, rencontrés dans l'APA non substitué. L'APA substitué à la fois par un chlore et un méthyle, présente une structure comparable à celle de l'APA substitué avec les deux groupements méthyle. Le tableau IA montre que les variations de géométries sont négligeables. Les composés de 1 à 6 ont une symétrie Cs. Pour les composés (7) et (8), le groupement acétique fait un angle de 79° et $82,5^\circ$ respectivement par rapport au plan du groupement phénoxy, ceci à cause de l'effet stérique du groupement méthyle en position ortho.

Les propriétés physico-chimiques des molécules jouent un rôle au niveau de réactions biologiques^[26]. Parmi ces propriétés, il faut privilégier celles qui favorisent les interactions intermoléculaires, notamment le moment dipolaire permanent, le potentiel d'ionisation, l'affinité électronique^[27, 32].

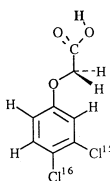
FIGURE 6A : Structure de l'acide phénoxyacétique et de ses dérivés



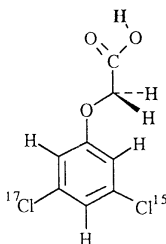
1. Acide phénoxyacétique



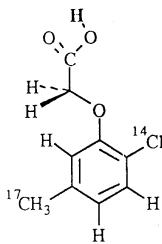
2. Acide 2,5-dichloro phénoxyacétique



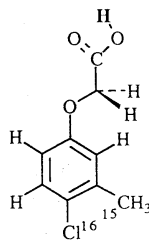
3. Acide 3,4-dichloro-phénoxyacétique



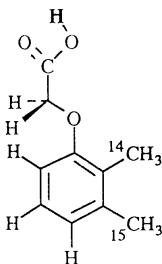
4. Acide 3,5-dichloro-phénoxyacétique



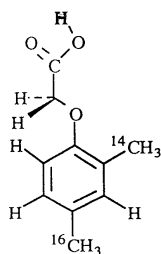
5. Acide 2-chloro 5-méthylphénoxyacétique



6. Acide 3-méthyl 4-chloro phénoxyacétique



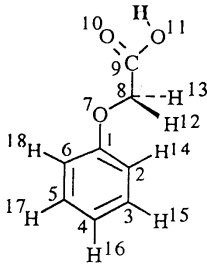
7. Acide 2,3-



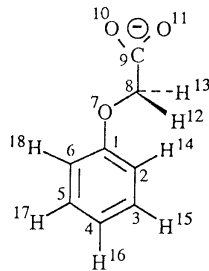
8. Acide 2,4-diméthyl phénoxyacétique

diméthyl
phénoxyacétique

FIGURE 6B : *L'acide phénoxyacétique et son sel d'acide phénoxyacétique*



Acide phénoxyacétique



Sel d'acide phénoxyacétique

Numérotation adoptée pour les calculs semi-empiriques AM1
(Austin Model 1)

TABLEAU IA : *Longueur de liaisons remarquables et valeur des angles de l'acide phénoxyacétique et ses dérivés : 1 à 8 composés étudiés*

N°	DISTANCES (Å)					ANGLES (degré)			
	a	b	c	d	e	α	β	γ	δ
1	1,38	1,43	1,5	1,23	1,36	115,2	106,5	131,1	111,8
2	1,39	1,42	1,5	1,23	1,36	114,9	111,4	130,4	112,7
3	1,38	1,43	1,5	1,23	1,36	115,4	106,4	130,9	111,8
4	1,38	1,43	1,5	1,23	1,36	115,4	106,4	130,9	111,7
5	1,39	1,42	1,5	1,23	1,36	116,5	108,8	120,2	113,7
6	1,39	1,43	1,5	1,23	1,37	115,3	106,5	131,0	111,8
7	1,39	1,42	1,5	1,23	1,36	115,9	110,4	129,4	113,5

8 | 1,39 | 1,42 | 1,5 | 1,23 | 1,36 | 116,3 | 110,8 | 129,1 | 113,6

TABLEAU IB : Identification des liaisons et angles des dièdres

Lettres	Liaisons	Lettres	Angles
□	C ₁ -O ₇	α	C ₈ -O ₇ -C ₁
□	O ₇ -C ₈	β	C ₉ -C ₈ -O ₇
c	C ₈ -C ₉	γ	O ₁₀ -C ₉ -C ₈
□	C ₉ -O ₁₀	δ	O ₁₁ -C ₉ -C ₈
e	C ₉ -O ₁₁		

2.3 Propriétés physico-chimiques des APA en phase gazeuse

En phase gazeuse, le potentiel d'ionisation et l'enthalpie de formation des acides phénoxyacétiques varient peu d'une molécule à l'autre. Les affinités électroniques du 3,5-D et de l'APA sont éloignées de celles des autres composés. Les moments dipolaires évoluent de la même manière quel que soit le composé. Parmi toutes les propriétés physico-chimiques étudiées, nous retiendrons les moments dipolaires car, ils ont une évolution significative d'une molécule à l'autre et peuvent donc servir valablement de critère de différenciation des caractères biologiques (figure 7).

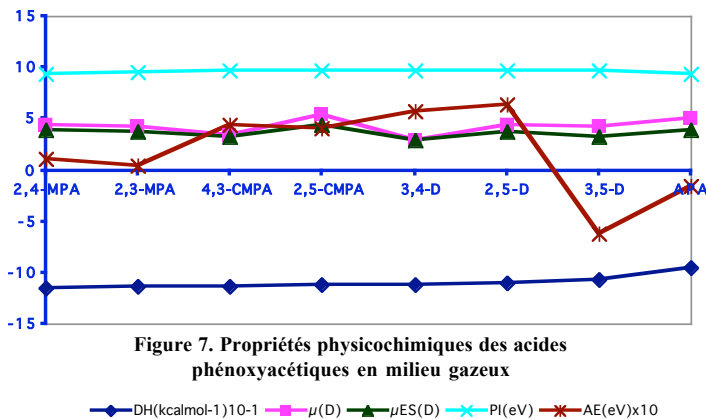
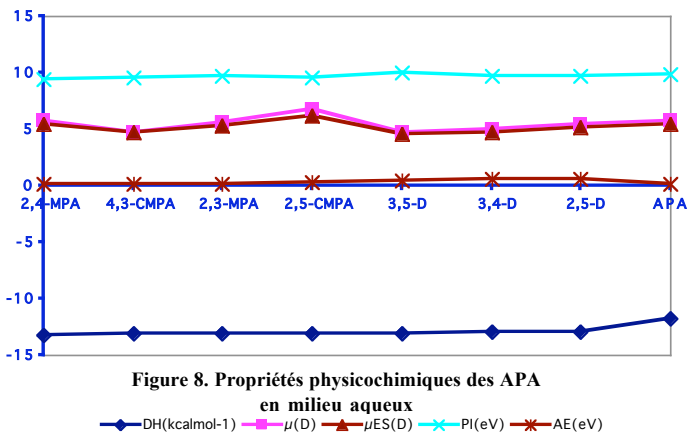


Figure 7. Propriétés physicochimiques des acides phénoxyacétiques en milieu gazeux

2.4 - Moment dipolaire des APA en milieux aqueux

Nous constatons après les calculs à l'état gazeux et à l'état aqueux que les moments dipolaires ont une évolution parallèle. Cependant, les expérimentations ayant été réalisées en milieu aqueux il paraît logique de retenir comme valeur de référence le moment dipolaire en milieu aqueux figure 8.

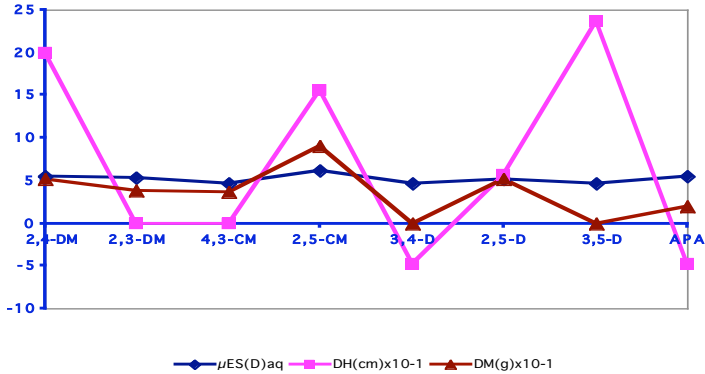


2.4.1 - Relation moments dipolaires, hauteurs et masses à faible concentration (0,001 μM)

Le moment dipolaire évolue parallèlement à la variation de la masse. Pour la hauteur, l'évolution est opposée pour les composés qui stimulent fortement tels le 2,4-MPA et le 3,5-D (figure 9).

On observe une bonne corrélation entre les valeurs de la masse fraîche des rejets et les moments dipolaires.

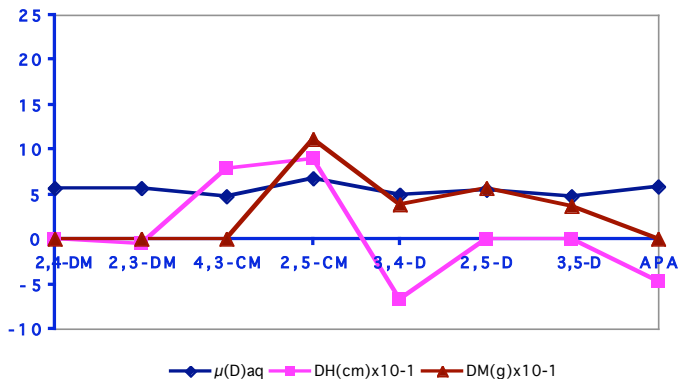
FIGURE 9 : Relation moments dipolaires, hauteurs et masses des rejets de bananier plantain à la concentration 0,001 μM



2.4.2 - Relation moment dipolaire, hauteur et masses à moyenne concentration (0,1 μM)

L'évolution des masses et hauteurs en fonction du moment dipolaire est comparable sauf pour les dérivés 2,5-D, 3,5-D. Elle suit celle du moment dipolaire. L'effet inhibiteur s'observe chez le 3,4-D et l'APA concernant la hauteur figure 10. On note une corrélation entre le moment dipolaire et la masse des rejets sous l'influence de 2,5-CMPA ; 2-5D et 3,4-D.

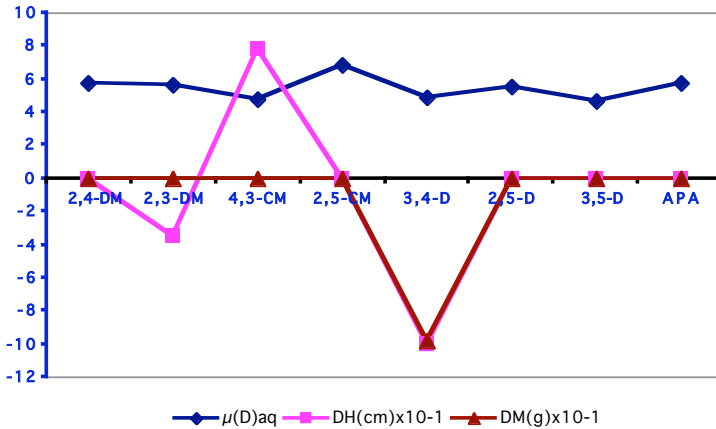
FIGURE 10 : Relation moment dipolaire, hauteur et masses des rejets de bananier plantain à la concentration $0,1\mu\text{M}$ des APA



2.4.3 - Relation moments dipolaires, masses et hauteurs à forte concentration ($10\mu\text{M}$)

Le dérivé 4,3-CM exerce une forte stimulation de la croissance de la hauteur, à l'opposé du 3,4-D qui inhibe fortement. L'effet fortement inhibiteur du 3,4-D se retrouve sur la masse. L'évolution du moment dipolaire est en sens inverse pour l'ensemble des composés excepté pour le 3,4-D figure 11.

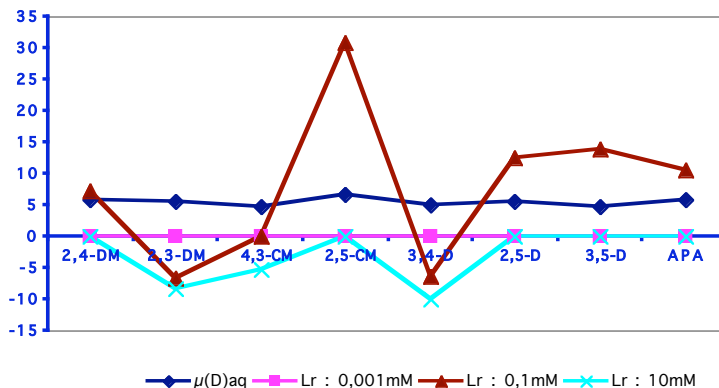
FIGURE 11 : *Relation moment dipolaire, hauteurs et masses de rejets de bananier plantain à la concentration 10 μM des APA*



2.4.4 - Relation moment dipolaire, longueur des racines aux 3 concentrations

A concentration moyenne, les composés stimulent la croissance racinaire à l'exception des dérivés 2,3-MPA et 3,4-D qui l'inhibent. La stimulation la plus forte est observée avec le 2,5-CMPA. L'évolution du moment dipolaire est conforme en certains points (2,3-MPA, 2,5-CMPA, 3,4-D et 2,5-D) à celle de la croissance racinaire. A moyenne et forte concentrations le moment dipolaire présente une bonne corrélation avec la croissance racinaire en dépit de quelques déviations mineures figure 12.

FIGURE 12 : Relation moment dipolaire, Longueur des racines aux concentrations 0,001 ; 0,01 et 10 μM



IV – DISCUSSION

Nous avons mis en évidence les effets des auxines de synthèse étudiées sur certains paramètres morphologiques et biochimiques. Tous ces effets peuvent être, regroupés selon le type d'organe sur lequel ils sont expérimentés ou en fonction de la nature des substituants sur le noyau benzénique (Cl, CH₃ ou les deux simultanément).

Les dérivés dichlorés 2,5-D et 3,5-D exercent une stimulation à faible concentration, sur la masse du rejet et sur la rhizogénèse. Le 3,4-D exerce un effet globalement inhibiteur sur le rejet pour les paramètres de croissance ; effet comparable, à celui, observé chez *Ipomoea batatas*^[13]. Les composés 2,5-D et 3,5-D exercent une stimulation à l'opposé du 3,4-D inhibiteur ; cela permet d'établir une corrélation entre la position et la nature des substituants chlore (Cl)

sur le noyau benzénique et cet effet stimulant. Les positions 2, 5 ainsi que 3, 5 sembleraient liées à cette stimulation à cette concentration. Au contraire, l'effet inhibiteur exercé dans les mêmes conditions par le dérivé dichloré en positions 3, 4 amène à déduire que les positions 3, 4 confèrent une inhibition.

Les dérivés méthylés 2,3-MPA et 2,4-MPA ont des activités en sens inverses. Le 2,3-MPA a une tendance inhibitrice proche de celle de l'APA à l'opposé du 2,4-MPA plutôt stimulant des paramètres de croissance étudiés. Ainsi, les radicaux méthyles en positions 2,3 du cycle confèrent une inhibition forte à 10 et 0,1 μM . Dans le composé 2,4-MPA, les positions *ortho* et *para* sont occupées par le groupement méthyle. Les groupements méthyle étant des donneurs d'électrons par hyperconjugaison, leur effet semble faible par rapport à celui du chlore, et par conséquent moins marqué.

Les composés chloré-méthylés (2,5-CMPA et 3,4-MCPA) ont des actions proches mais d'intensité différente. L'effet stimulant exercé sur la croissance en hauteur du pseudotrunc par le composé 2,5-CMPA est plus important que celui exercé par son homologue 3,4-MCPA. Une comparaison de leur stimulation avec les effets des dérivés chlorés, montre que le 2,5-CMPA a un effet identique à celui du 2,5-D sur la croissance du bulbe. Concernant l'influence sur le développement des racines, le 2,5-CMPA a un effet proche du 2,4-MPA tandis que le 3,4-MCPA a un effet similaire, à un niveau moindre, au composé dichloré de même position 3,4-D ; ce qui met en valeur la forte inhibition exercée par ce dernier en positions 3, 4. Les composés chloré-méthylés comportant à la fois un substituant chlore et un groupement méthyle, leurs effets se rapprochent tantôt des dérivés dichlorés tantôt des dérivés méthylés.

Par rapport à la relation structure-activité de l'APA et de ses dérivés, observée dans l'étude, les substituants en *ortho* et *para*

sembleraient jouer un rôle important dans l'activité d'inhibition à l'opposé des dérivés substitués en *méta* qui semblent présenter une action plutôt stimulante.

Au point de vue de son activité biochimique l'APA, molécule de base, exerce sur les phénols totaux un effet négligeable car les teneurs en début et fin de culture sont de même ordre. Pour les protéines, on note une baisse en fin de culture. Au niveau des glucides, l'APA exerce un effet de stimulation des sucres réducteurs et non réducteurs. Le 3,4-D provoque une forte accumulation de phénols ; cela traduit une réaction de défense de la plante vis-à-vis de la toxicité du 3,4-D. Ce qui explique son effet inhibiteur sur la croissance des rejets. Le composé 2,4-MPA exerce la plus forte stimulation des sucres solubles ; surtout en fin de culture, suivi du 3,5-D. Cette augmentation du taux de sucre est en relation avec la meilleure croissance observée des rejets sous leur influence.

Le fait que 3,5-D stimule et que 3,4-D inhibe, ne provient certainement pas des géométries qui sont tout à fait semblables mais des propriétés physico-chimiques en l'occurrence le moment dipolaire. Ceci a permis de mettre en corrélation le moment dipolaire et l'activité biologique des composés auxiniques sur les jeunes plants. Le moment dipolaire en effet en induisant une polarité plus marquée de la molécule, lui confère une réactivité plus marquée et explique l'importance de cette propriété.

V - CONCLUSION

Cette étude relative à la stimulation précoce de rejet-écailles par des régulateurs de croissance végétale, l'APA et ses dérivés (3,4-D ; 3,5-D ; 2,4-MPA) ont montré l'existence d'une influence réelle, sur la croissance du Bananier plantain cv Come 1. Les influences stimulatrices

sur les rejets en culture hydroponique, exercées par les composés 3,5-D et 2,4-MPA, ou inhibitrices par le dérivé chloré 3,4-D, observées au niveau du cultivar Corne 1, persisteraient-elles chez la plante adulte transférée au champ ? Le suivi de rejets stimulés, transférés dans les conditions naturelles, permettrait non seulement de vérifier cette hypothèse ; mais aussi de vulgariser l'utilisation des stimulants 2,4-MPA et 3,5-D employés pour la première fois en culture bananière. L'utilisation comme "*semence*" de rejet-écailles habituellement éliminés, offrirait de nouvelles possibilités aux planteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - **ANONYME 1** FAO Yearbook 1993, 46, Rome.
- [2] - **N'DABALISHYE, I.** Agriculture ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. Institut Des Savanes (IDESSA) 1995, 45-50 ; 80-95.
- [3] - **ANONYME 2.** La Côte d'Ivoire en chiffres. Dialogue Production Abidjan, 1997, 58-81.
- [4] - **FRISON, E., SHARROCK, S.** The economic, social and nutritional importance of banana in the world. INIBAP, Banana and Food Security International symposium, Douala, Cameroon, 10 - 14 November (1998), 21-35.
- [5] - **N'GUESSAN A E B., KONE D., KOBENAN K., AKE S., TENKOUANO A.** Caractéristiques agronomiques et comportement de quelques hybrides tétraploïdes de bananiers plantain dans le sud de la Côte d'Ivoire. *Bioterre, Rev. ISVTV.* 2000, 6-21.
- [6] - INIBAP : International Network for Banana and Plantain 1996, Montpellier
- [7] - **MURASHIGE, T. et HAMILTON, R. A.,** *Hawaii Farm. Sci.* (1962) 2, 3.
- [8] - **ANJORIN H.O. et OBIGBESAN G.O.,** Influence de la fertilisation azotée sur la croissance et le développement précoces du plantain (*Musa paradisiaca*). *Fruits* (1983) 38, 4, 300-302.
- [9] - **TURQUIN, L.** Etude des potentialités rhizogènes du bananier plantain, cultivar Corne 1 du sou-groupe parthénocarpique, AAB de *Musa*, L. (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*) : Influence de quelques substances de croissance. D.E.A d'Ecologie Tropicale (Option : physiologie végétale). Université Nationale de Côte d'Ivoire 1989, 65.

- [10] - **BERGMEYER, H., U.**, Methods of enzymatic analysis. 2nd English edition 3 Academic Press, Inc. 1967, New York and London.
- [11] - **BRADFORD, M. M.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of proteins utilizing the principle of protein dye binding. *An. Biochem.*(1976) 72, 248-254.
- [12] - **MARIGO, G.** Sur une méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. *Analysis* 2 1973, 106-108.
- [13] - **POKORNY, R.J.**, Some Chlorophenoxyacetic Acids. *J. Am. Chem. Soc.* (1941) 63 1768.
- [14] - **HOUNDONUGBO, B.** Influence de différentes concentrations d'acide indole-3-acétique, d'acide naphthalèneacétique, d'acide 2,4-dichlorophénoxy-acétique et de kinétine sur la callogenèse et l'organogenèse *in vitro* de fragments d'entre-nœuds de deux variétés de patate douce (*Ipomœa batatas* L. Lam.). *Agronomie* (1989) 9, 653-660.
- [15] - **ATTILA, S.** and **NEIL, S.O.** Modern Quantum Chemistry. Introduction to advanced electronic Structure Theory. Mamillan Publishing Co, Inc, 1989, 150-377.
- [16] - **HAMMETT LOUIS P.** Physical Organic Chemistry Reaction Rates, Equilibria, and Mechanisms, Second edition McGraw-HILL BOOK COMPAGY Newyork, London, Düsseldorf 1970 p 355
- [17] - **JUAN RUIZ** and **RAMON POUPLANA** Quantitative Structure-Activity Relationship (2003) Vol 21, Issue 6, p 605-612.
- [18] - **PURCELL W.P.** and **CLAYTON J.M.** Physicochemical Approaches to Drug Design Drug Discovery –Science and development in Changing Society-Advances in Chemistry series 108 *American Chemical Society* (Ed.) 1971.

- [19] - **PURCELL W.P.** and **SINGER J.A. SUNDARAM K., PARKS G.L.**. *Medicinal Chemistry*, 3rd ed., A. Burger, Ed., chap. 10, Wiley, New-York 1970.
- [20] - **KIER L. B.**, *Molecular Orbital Studies in Chemical Pharmacology*, Springer-Verlag, (1970), New-York.
- [21] - **MOORE W.J J.** *Agr. Res.* (1917) 9, 371.
- [22] - **MOORE W.J J.** *Agr. Res.* (1917) 10, 365.
- [23] - **HANSCH C.** *Proc. Int. Pharmacol. Meet.*, 3rd, (1968) 7, 141-167.
- [24] - **HANSCH C.** *Accounts Chem.Res.* (1969) 2, 232.
- [25] - **HANSCH C.** and **FUJITA T. J.** *Amer.Chem.Soc.* (1964) 86, 1616.
- [26] - **PULLMAN B.** *Molecular Orbital Studies in Chemical Pharmacology*. L.B. KIER Ed., p.1 Springer-Verlag, New-York 1964.
- [27] - **PULLMAN B.** *Electronic Aspects of Biochemistry*,. B. PULLMAN Ed., p.559 Academic, New-York 1970.
- [28] - **LÖWDIN.P.O.** *Electronic Aspects of Biochemistry*, B. PULLMAN Ed., p.167 Academic, New-York 1970.
- [29] - **PULLMAN B., PULLMAN A.**, *Quantum Biochemistry*, Interscience, New-York 1963.
- [30] - **PULLMAN A., PULLMAN B.**, *Physico-chemical Mechanisms of Carcinogenesis*, The Jerusalem Symposia on Quantum Chemistry and Biochemistry, I, p. 9, The Israel Academy of sciences and humanities Jerusalem, 1969.
- [31] - **PULLMAN B., PULLMAN A., UMANS R., MAIGRET B.**, *Physico-chemical Mechanisms of Carcinogenesis*, The Jerusalem Symposia on Quantum Chemistry and Biochemistry, I, p. 325, The Israel Academy of sciences and humanities Jerusalem, 1969.
- [32] - **DEWAR M.J.S., ZOEBISCH E.G., HAELY E.F. and STEWART J.P.P.** *J. Am. Chem. Soc.* (1985) 107, 3902.