

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB – BLIDA.

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences agronomiques
Option : Amélioration des productions végétales.

SUJET

**Contribution à l'amélioration de la production
d'alcaloïdes tropaniques par des apports calciques
chez *Datura stramonium* L.**

Présenté par M. Ryad AMDOUN

Devant le jury d'examination:

Président : **Dr Aid F.** (Maître de conférence, USTHB Alger)
Promotrice : **Dr Houmani Z.** (Maître de conférence, Univ. Saad Dahleb- Blida)
Examineurs : **Dr Khelifi L.** (Maître de conférence, INA El-Harrach)
: **M. Amirouche R.** (Chargé de cours, USTHB Alger)
: **M. EI HADI DJ.** (Chargé de cours, Univ. Saad Dahleb- Blida)

Année universitaire : 2002/2003



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à :

- *Ma promotrice, Madame **Houmani Z.** Maître de conférence à l'université de Blida pour son dévouement et ses précieux conseils pour la réalisation de ce travail.*
- *Madame **Aïd F.** Maître de conférence à l'USTHB qui m'a fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire.*
- *Monsieur **Khelifi L.** Maître de conférence à l'INA El-Harrach qui m'a fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury.*
- *Monsieur **Amirouche R.** Chargé de cours à l'USTHB pour avoir accepté de juger mon travail au sein du jury.*
- *Monsieur **El Hadi DJ.** Chargé de cours à l'université de Blida, pour sa participation en tant que membre du jury.*

Ces remerciements s'adressent également :

- *Aux enseignants du département d'agronomie qui ont participé à l'enseignement de mon année théorique.*
- *A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

DEDICACES

A mes parents,

A ma mère avec tout mon amour et mes remerciements, sans le sacrifice duquel je n'aurais sûrement pas achevé mes études.

A mon père avec mes vifs remerciements pour son dévouement.

Je tiens à leur exprimer toute ma gratitude et l'expression de mon incommensurable amour.

A mes sœurs et mes frères dont la complicité est inoubliable. Merci.

A Samia qui ma soutenu tout le long de ce travail.

A mes camarades : Ahlem, Djamel, Farida, Ahlem, Fatiha, Manel et m'hamed.

A mes amis : Nabile, Brahim, Amine, Amar Mustapha, Mohamed, Nacime, Kamel et Redouane.

Je dédie ce modeste travail.

Résumé.

Notre étude a pour objectif de déterminer l'influence de différentes doses calciques sur le contenu alcaloïdique de *Datura stramonium* cultivée en plein champ. Nous avons utilisé cinq doses : D0 (témoin, 0,83 % de CaCo₃), D1 (5 % de CaCo₃), D2 (10 % de CaCo₃), D3 (20 % de CaCo₃), D4 (40 % de CaCo₃) et D5 (50 % de CaCo₃). Nous avons mesuré l'influence de ces doses sur la phytomasse et la teneur en alcaloïdes totaux des plants de *Datura stramonium*. Nos résultats montrent que les apports calciques n'ont pas eu d'effet significatif sur la phytomasse ; Alors qu'ils ont eu un effet très hautement significatif sur la teneur en alcaloïdes totaux de *Datura stramonium*.

Mots clés : *Datura stramonium*, apport calcique, alcaloïdes tropaniques, alcaloïdes totaux.

Abstract:

Our survey has for objective to determine the influence of different calcic doses on the alcaloïdique content of *Datura stramonium* cultivated in field. We used five doses: D0 (control, 0,83% of CaCo₃), D1 (5% of CaCo₃), D2 (10% of CaCo₃), D3 (20% of CaCo₃), D4 (40% of CaCo₃) and D5 (50% of CaCo₃). We measured the influence of these doses on the phytomasse and the content in total alkaloids of *Datura stramonium* plantations. Our results show that the calcic contributions didn't have a meaningful effect on the phytomasse; Whereas they had a very highly meaningful effect on the content in total alkaloids of *Datura stramonium*.

Key words: *Datura stramonium*, calcic supply, alkaloids tropaniques, total alkaloids.

ملخص:

الهدف من تجربتنا هو دراسة مدى تأثير الجرعة الكلسية على الألكينيات التروبانية لدى نبتة الداتورة، سترامنيوم المزروعة في الحقل. لقد استخدمنا خمسة جرعات كلسية: د₀ (الشاهد، 0,83% من CaCo₃)، د₁ (5% من CaCo₃)، د₂ (10% من CaCo₃)، د₃ (20% من CaCo₃)، د₄ (40% من CaCo₃)، د₅ (50% من CaCo₃). قمنا بعملية قياس هذه الجرعات على نمو النبتة وكمية الألكينيات التروبانية المركبة الموجودة في النبتة داتورة سترامنيوم. النتائج تبين أن الجرعة الكلسية ليس لها تأثير فعال على نمو النبتة، بينما هذه الجرعة أثرت فعليا على كمية الألكينيات التروبانية المركبة من طرف النبتة داتورة سترامنيوم.

الكلمات

داتورة سترامنيوم، جرعة كلسية، الألكينيات التروبانية، الألكينيات الكاملة

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Chaîne de biosynthèse des alcaloïdes tropaniques (Hyoscyamine et scopolamine).
- Figure 2.** Métabolisme de la tropinone.
- Figure 3.** Biosynthèse de l'hyoscyamine.
- Figure 4.** Formation de la scopolamine (Hydroxylation de l'hyoscyamine).
- Figure 5.** Le *Datura stramonium*
- Figure 6.** Le calcium échangeable.
- Figure 7.** Méthode de prélèvement des échantillons du sol.
- Figure 8.** Dispositif expérimental
- Figure 9.** Schéma du protocole expérimental
- Figure 10.** Nécroses et jaunissement sur une feuille attaquée.
- Figure 11.** Acariens isolés de feuilles attaquées.
- Figure 12.** Evolution du calcium échangeable et du pH durant la culture.
- Figure 13.** Productions de la phytomasse aérienne de *Datura stramonium* en fonction des différents traitements.
- Figure 14.** Production alcaloïdique (g/g MS) des parties aériennes de *Datura stramonium* (30 et 45 jours après le premier apport calcique).
- Figure 15.** Production alcaloïdique (g/g MS) des parties aériennes de *Datura stramonium* (premier et deuxième apport).
- Figure 16.** Production alcaloïdique (g/plant) des parties aériennes de *Datura stramonium* (30 jours après le premier apport).
- Figure 17.** Evolution du calcium échangeable et de la production alcaloïdique des parties aériennes de *Datura stramonium* (30 jours après le premier apport calcique).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques climatiques des deux stations.

Tableau 2. Caractéristiques édaphiques des deux stations expérimentales.

Tableau 3. Composition minérale de la partie aérienne des plants de *Datura stramonium* (30 jours après du premier apport).

Tableau 4. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : L'azote

Tableau 5. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le phosphore

Tableau 6. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le potassium

Tableau 7. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le calcium

Tableau 8. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le magnésium

Tableau 9. Analyse de la variance – phytomasse des plants récoltés 30 jours après le premier traitement.

Tableau 10. Analyse de la variance - phytomasse des plants traités avec un deuxième apport (récoltés 15 après jours le deuxième apport).

Tableau 11. Analyse de la variance – phytomasse des plants non traité avec un deuxième apport (récoltés 15 jours après le deuxième apport).

Tableau 12. Analyse de la variance – Teneur en alcaloïdes totaux des plants traités avec le premier apport (récoltés 30 jours après le premier apport).

Tableau 13. Analyse de la variance - Teneur en Alcaloïdes totaux des plants traités avec un deuxième apport (récoltés 15 après jours le deuxième apport).

Tableau 14. Analyse de la variance – Teneur en Alcaloïdes totaux des plants non traité avec un deuxième apport (récoltés 15 jours après le deuxième apport).

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. BIOSYNTHESE DES ALCALOÏDES TROPANIQUES.....	3
2. REPARTITION DES ALCALOÏDES TROPANIQUES DANS LA PLANTE.....	6
3. LES FACTEURS INFLUENÇANT LA TENEUR EN ALCALOÏDES TROPANIQUES	8
3.1. LES FACTEURS GENETIQUES.....	8
3.2. STADE DE DEVELOPPEMENT.....	9
3.3. LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	10
a. La lumière.....	10
b. Le sol : pH et nutrition minérale.....	11
3.4. STRESS ET FACTEURS D'AGRESSION.....	12
3.5. LES HORMONES.....	14
3.6. LES TRAITEMENTS DES PLANTS APRES RECOLTE.....	15
4. SIGNES DE TOXICITE ET ACTION PHYSIOLOGIQUE.....	16
5. ROLE DES ALCALOÏDES TROPANIQUES DANS LES PLANTES.....	17
6. LES <i>DATURA</i>.....	17
6.1. INTERET DES <i>DATURA</i>	17
6.2. AMELIORATION GENETIQUE DES <i>DATURA</i>	19
6.3. GERMINATION DES GRAINES DES <i>DATURA</i>	20
7. LE <i>DATURA STRAMONIUM</i>.....	20
7.1. DESCRIPTION BOTANIQUE ET ORIGINE DE <i>DATURA STRAMONIUM</i>	20
7.2. EXIGENCES CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES.....	22
7.3. CULTURE ET RECOLTE DE <i>DATURA STRAMONIUM</i>	23
8. LES APPORTS CALCIQUES.....	24
8.1. LE CALCIUM DANS LA PLANTE.....	24
8.2. LE CALCIUM DANS LE SOL.....	26
8.3. PRINCIPAUX PRODUITS CALCIQUES UTILISES.....	28
8.4. L'APPORT CALCIQUE PROPREMENT DIT.....	30

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIEL ET METHODES

1. CONDITIONS CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES STATIONS EXPERIMENTALES	32
1.1. CONDITIONS CLIMATIQUES	32
1.2. CONDITIONS EDAPHIQUES : ANALYSE DU SOL	32
1.2.1. Calcaire total.....	33
1.2.2. Dosage du calcium échangeable.	33
1.2.3. Le taux de matière organique.....	34
1.2.4. Azote total.....	35
1.2.5. Le pH _{eau}	36
1.2.6. La conductivité électrique « CE ».....	36
1.2.7. La texture.....	36
2. CULTURE DES PLANTS DE <i>Datura stramonium</i>	38
2.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....	38
2.1.1. Mise en place des plants.	38
2.1.2. Apport calcique.....	40
2.2. DOSE D'IRRIGATION.	41
3. RECOLTE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS	44
4. DETERMINATION DE LA PHYTOMASSE ET EXTRACTION DU CONTENU ALCALOÏDIQUE.....	45
5. COMPOSITION MINERALE DES POUDRES VEGETALES.	45
5.1. DOSAGE DE L'AZOTE : METHODE KJELDAHL	46
5.2. DOSAGE DU CALCIUM, PHOSPHORE, MAGNESIUM ET POTASSIUM : METHODE TRIACIDE HNO ₃ - H ₂ SO ₄ - HClO ₄	47
6. LE TRAITEMENT STATISTIQUE	48

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. CONDITIONS CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES STATIONS EXPERIMENTALES.	49
1.1. CONDITIONS CLIMATIQUES : TEMPERATURES MOYENNES ET PLUVIOMETRIE.	49
1.2. CARACTERISTIQUES EDAPHIQUES.....	51
1.2.1. <i>Avant la culture</i>	51
1.2.2. <i>Durant la culture : Evolution du calcium échangeable et du pH dans le sol.</i>	55
2. COMPOSITION MINERALE DES PARTIES AERIENNES DES PLANTS.....	57
3. EFFET DES APPORTS CALCIQUES SUR LA PHYTOMASSE ET LES ALCALOÏDES TROPANIQUES TOTAUX DES PLANTS DE <i>DATURA STRAMONIUM</i>.....	60
3.1. LA PHYTOMASSE.....	60
3.2. LES ALCALOÏDES TROPANIQUES TOTAUX	62
4. RENDEMENT ALCALOÏDIQUE PAR PLANT	66
5. DISCUSSION GENERALE.	68
CONCLUSION.....	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

INTRODUCTION

Certains métabolites secondaires synthétisés par les plantes sont d'un grand intérêt pour l'industrie pharmaceutique tels que les alcaloïdes tropaniques dont les plus importants sont la scopolamine et l'hyoscyamine (Shimomura *et al.*, 1991). Ces deux principaux alcaloïdes présentent des propriétés sédatives et mydriatiques (Herouart *et al.*, 1991) ; ils sont extraits à partir de plantes de la famille des *Solanaceae* (Doerk *et al.*, 1991 *in* Houmani, 1999). Parmi ces plantes, celles appartenant au genre *Datura* sont les plus communes et sont assez riches en alcaloïdes. L'Algérie importe ces alcaloïdes sous forme d'extrait d'alcaloïdes totaux, de sulfate d'atropine, de butyl bromure d'hyoscine ou de scopolamine pure (Azouaou *et al.*, 1983 *in* Houmani, 1999) ; Alors que de nombreuses espèces produisant des alcaloïdes poussent à l'état sauvage peuvent être valorisées. Ainsi, cinq espèces de *Datura* (*D. ferox* L, *D. innoxia* Mill, *D. quecifolia* H.B.K, *D. tatula* L. et *D. stramonium* L.) sont identifiées en Algérie (Houmani, 1999 ; Houmani et Cosson, 2000). Ces espèces sont annuelles et poussent en bord des routes sur les talus incultes ou en mauvaises herbes des cultures de *Solanaceae* et des *Cucurbitaceae* (Houmani *et al.*, 1994). Parmi ces espèces *D. stramonium* présente des facilités d'adaptation aux différents sols et climats (Benhizia, 1989 *in* Berradja, 1996).

Les plants de *Datura stramonium* des régions méditerranéennes sont très riches en alcaloïdes (Pelt *et al.*, 1967 cités par Houmani *et al.*, 1994) qu'ils soient jeunes ou adultes (Kinghorn, 1979 ; Miraldi *et al.*, 2001). Cette espèce pourrait être utilisée par l'industrie pharmaceutique humaine et vétérinaire (Friedman et Levin, 1989 ; Houmani *et al.*, 1994).

4. RENDEMENT ALCALOÏDIQUE PAR PLANT.

Les rendements alcaloïdiques de *Datura stramonium* pour les plants récoltés 30 jours après le premier apport calcique varient de 8,53 mg/plant pour le témoin (0,83 % de CaCO₃) à 27,67 mg/plant pour la dose D2 (10 % de CaCO₃).

Les calculs des rendements alcaloïdiques par plant font apparaître trois classes en fonction des traitements : Le témoin (D0 : 0,83% de CaCO₃) avec les rendements les plus faibles (8,53 mg/plant) est suivi de ceux produits par les plants traités par D1 (5 % de CaCO₃) ayant des rendements de 12,6 mg/plant. La troisième classe où les rendements sont trois fois plus supérieurs chez les plants traités à partir de la dose D2 (10 % de CaCO₃) par rapport à ceux du témoin.

Les traitements calciques à 10 % sont, après 30 jours, suffisant pour tripler les rendements alcaloïdiques chez *Datura stramonium* (figure 16).

5. DISCUSSION GENERALE.

Les deux stations expérimentales (Blida et Staouali) présentent les mêmes caractéristiques climatiques de températures moyennes et de pluviométrie. Les conditions de températures se rapprochent de celles recommandées par Cosson (1972) qui permettent un bon développement de *Datura stramonium*. D'autre part, un bon développement de cette espèce est également favorisé par un pH du sol situé aux environs de 7,2 comme cela a été signalé par Demeyer et Dejaegere en 1983 (pH = 6-7).

Durant la culture, les apports calciques ont entraîné une augmentation du pH. Cette situation pourrait être en partie à l'origine de la diminution des taux en azote et en phosphore, malgré que la production de la phytomasse n'enregistre pas de différence significative chez les plants traités et le témoin.

□ 30 jours après le premier apport calcique

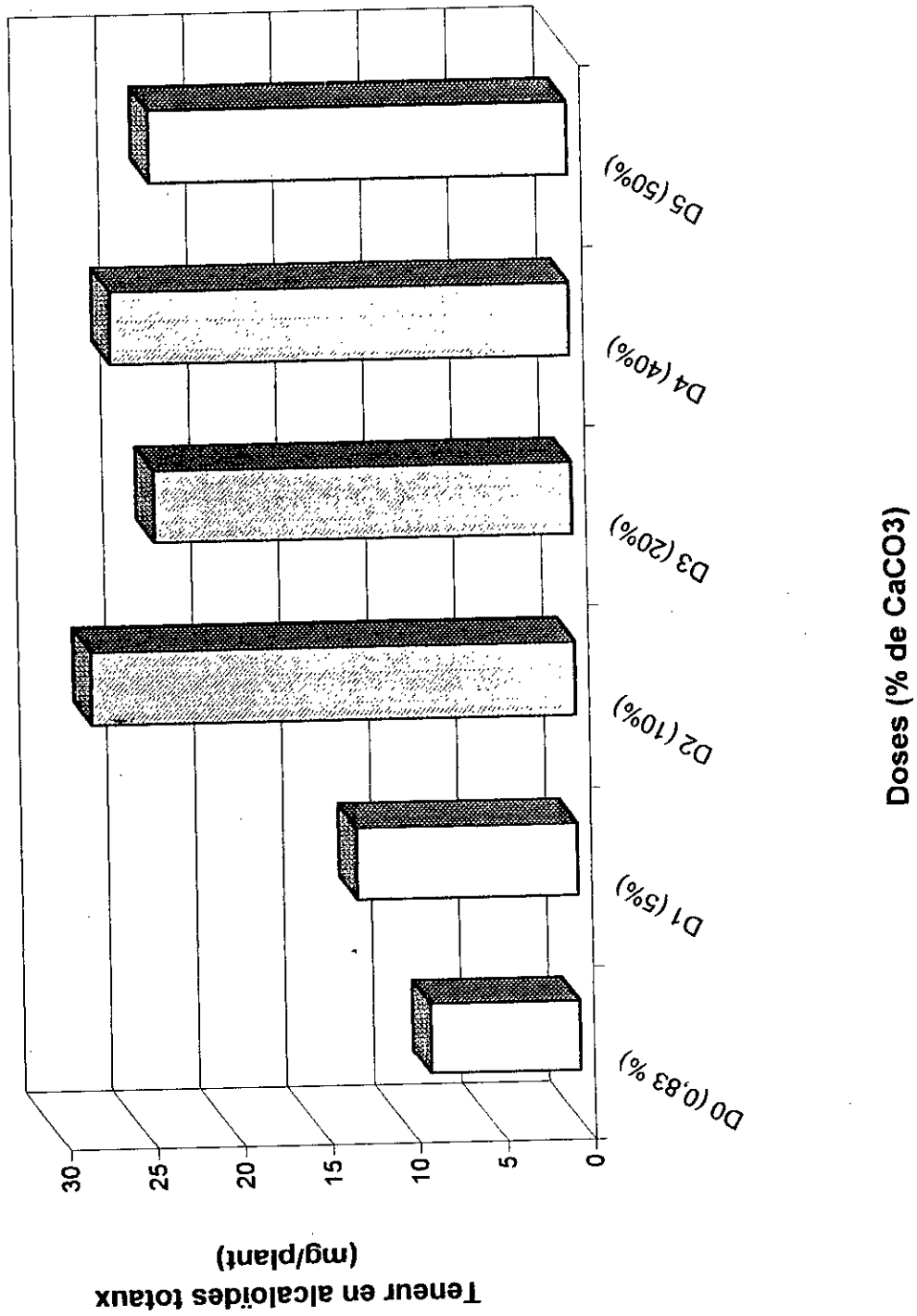


Figure 16. Production alcaloïdique (mg/plants) des partie aériennes de *Datura stramonium* (30 jours après le premier apport).

Notre expérimentation montre que l'augmentation du calcium échangeable dans le sol entraîne une augmentation proportionnelle d'alcaloïdes des plants de *Datura stramonium* (figure 17). Ces résultats confirment ceux de Gontier (1993) et Houmani (1999). Le calcium activerait la *N-methyltransferase* qui est l'une des premières enzymes qui entre dans la voie de biosynthèse des alcaloïdes tropaniques.

D'autre part, ce travail montre que le contenu alcaloïdique n'a pas enregistré une augmentation significative entre les plants récoltés 30 et 45 jours après le premier apport calcique. De même, nous n'avons pas enregistré une augmentation statistiquement significative du contenu alcaloïdique chez les plants traités avec le deuxième apport par rapport au premier. Certains auteurs, Gros (1974) et Coppenet *et al.* (1986), recommandent d'apporter le CaO au moins un mois avant la mise en place de la culture et rapportent que le CaO est un amendement actif. Cependant, ces auteurs considèrent cette caractéristique seulement vis à vis du sol, les besoins de la plante ne sont pas pris en considération. Les 15 jours supplémentaires seraient insuffisants pour apporter une variation statistiquement significative dans le contenu alcaloïdique des plants et ceci malgré que la chaux vive utilisée soit pulvérisée et rapidement soluble.

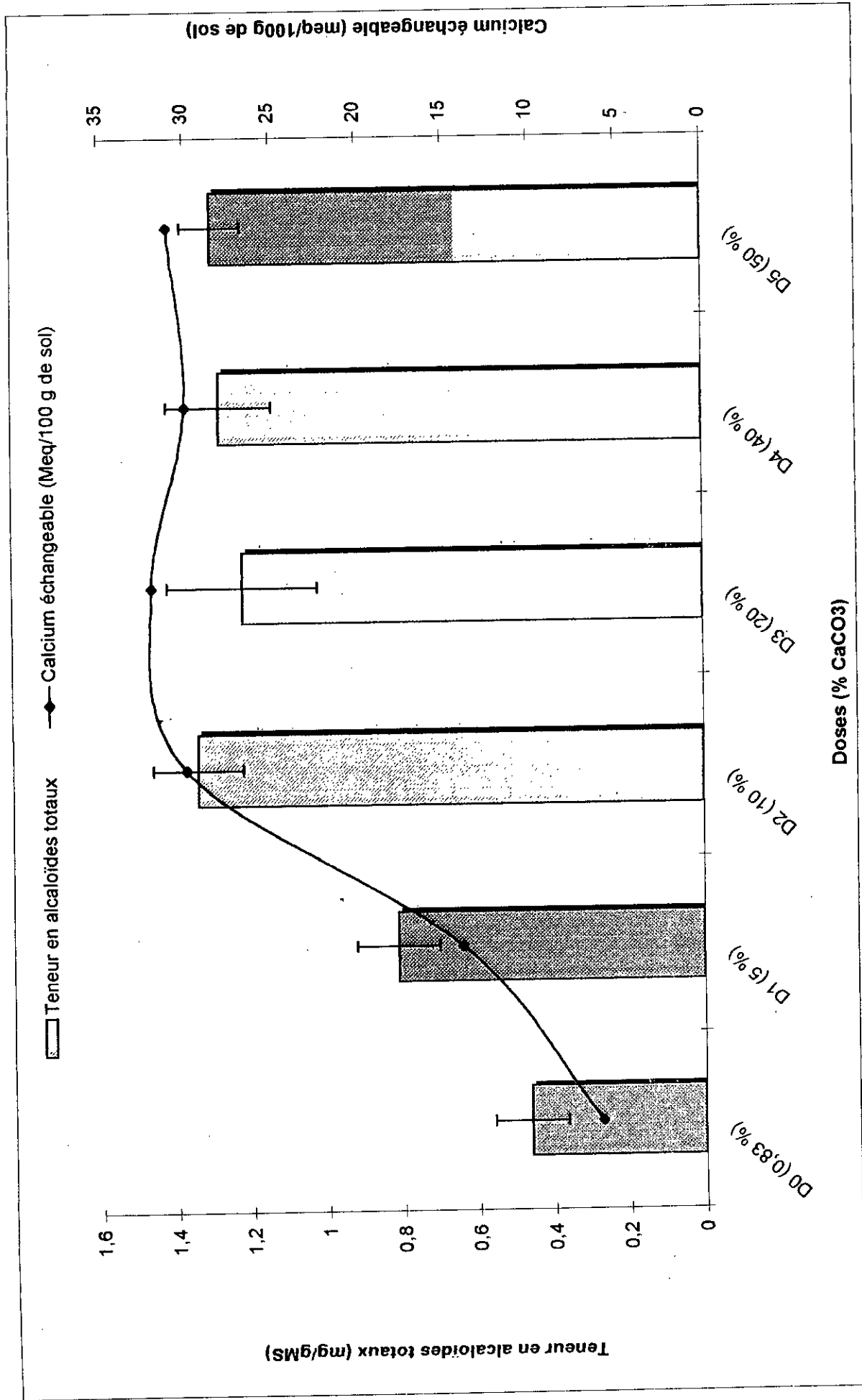


Figure 17. Evolution du calcium échangeable et de la production alcaloïdique des parties aériennes de *Datura stramonium* (30 jours après le premier apport calcique).

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre travail montre que les différentes doses calciques apportées, ainsi que la durée du traitement, n'ont pas eu d'effet sur la production de la phytomasse. Par contre, Les différentes doses calciques ont entraîné une augmentation de la teneur alcaloïdique ; Cette dernière a été triplée dans les plants traités avec D2 (10 % de CaCO_3) par rapport au témoin pour l'ensemble des traitements. Le deuxième apport, ainsi que les 15 jours supplémentaires du premier apport, n'ont pas entraîné une augmentation de la teneur alcaloïdique par rapport aux plants traités une seule fois et récoltés 30 jours après. Donc, il serait plus économique de se limiter à la récolte des plants 30 jours après un traitement par D2 ; cette dose présente le meilleur rendement alcaloïdique par plant.

L'étude de la forme du calcium et la modalité de son apport pourront être aussi important que la dose elle-même. La détermination des doses nous semble être une deuxième étape pour apporter un produit calcique préalablement choisi en fonction de sa forme et la modalité de son apport. Une formulation des « *besoins calciques pour une production alcaloïdique élevée* » serait d'un grand intérêt, Mais seule une expérimentation de moyenne et de longue durée dite « en plein champ » et intégrée dans l'étude des systèmes de culture, permet de déterminer l'état calcique répondant aux objectifs de la culture comme le recommandent Coppenet *et al.* (1986).

Notre expérimentation est un essai pilote, les résultats d'une seule expérimentation ne nous permettent pas d'être affirmatifs, c'est la question de la forme et de la modalité de l'apport qui se pose afin que les apports agissent dans les délais de la culture, les expérimentations à venir devraient d'abord répondre à cette question en prenant en compte à la fois les critères pédologiques et les besoins de la plante. C'est de cette manière qu'on pourrait déterminer alors les modalités d'apport pour une production d'alcaloïdes élevée dans un cadre d'un système de culture industriel.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Armstrong M.J. et Kirby E.A., 1979.- The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution. *Plant Soil* **52**: 427-435.
- Ballare C.I., Scopel A.L., Ghera C.M. et Sanchez R.A., 1988. – The fate of *Datura ferox* seeds in the soil as affected by cultivation, depth of burial and degree of maturity. *Ann. Appl. Biol.* **112** : 337-345.
- Berradja M., 1996. – Effet du stress salin sur les éléments minéraux du *Datura stramonium* au cours de son développement. *Thèse Ing. Blida*. 64p.
- Bonnemaison L., 1962.- Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. *Ed sep, Paris, Tom 1*; 599 p.
- Bouami-Guennouni-Assimi R., Cosson L. et Jacquin-Dubreuil A. 1990. – Selection and improvement of *Datura innoxia mill.* Morphological variability *in vitro* propagated plants. *Bull.soc.bot.fr.137,lettres.(4/5)* : 261 – 269.
- Boulos L., 1983.- Medicinal plant of north africa. *serie medicinal plants of the world*. 164p.
- Brachet J. et Cosson L., 1986.- Changes in the total alkaloid content of *Datura innoxia Mill.*, subjected to salt stress.*J. Exp. Bot.***37(178)**: 650-656.
- Brachet J., Cosson L., Ducourtioux D. et Scheidecker D., 1981. – Effet du NaCl sur les taux d'esters tropaniques du *Datura innoxia Mill.* Cultivé en conditions contrôlées. *Physiol. Vég.* **19 (1)**: 77-85.
- Caldwell C.R. et Haug A., 1981.- Temperature dependence of barley root plasma membrane-bound Ca^{2+} et Mg^{2+} dependant Atpase. *physiol. plant.* **53**: 117-124.
- Cassells A.L. et Barlass M., 1976.- Environmentally induced changes in the cell walls of tomato leaves in relation to cell and protoplast release. *Physiol.plant.***37** : 239-246.
- Chevalier S. et Paris N., 1981.- Absorption et fixation du calcium par les chloroplastes de lupin jaune (*Lupinus luteus L.*) calcifuge et de féverole (*Vicia Fabae L*) calcicole. *Physiol. Vég.* **19(1)**: 23-31.

Cleland R.E., Virk S.S., Taylor D. et Bjorkman T., 1990.- Calcium, cell walls and growth *in* calcium in plant growth and development (R.T.Leonard and P. K.Hepler). *the Amer.Soc.Plan. Physiol. Symposium serie. Vol.4* : 9-16.

Coppenet M., Ailliot B., Cariou G., Colomb B., Darre J. et Haut R.,1986. – Etat calcique des sols et fertilité: Le chaulage. *Cornifer. Ed Acta*, 166p.

Cosson L., 1972.- Influence de l'éclairement sur la teneur en alcaloïdes tropaniques des *Datura* : Analyse des processus pouvant en expliquer les effets. *Thèse de doctorat d'état en sciences naturelles. Université paris VI*. 66 p.

Cosson L., 1976.- Importance des facteurs climatiques et des étapes du développement dans la productivité des alcaloïdes tropaniques. *Etudes de biologie végétale. Hommage au Professeur P. Chouard. Ed. R Jacques. Paris*, 483-494.

Cosson L., Escuderd-Morales A., Cougoul N., 1980. - La régulation écophysiological du métabolisme des alcaloïdes tropaniques (hyoscyamine et atropine). *Plantes médicinales et phytothérapie*, **12** (4) : 319-326.

Cosson L., Chouard P et Paris R., 1966. – Influence de l'éclairement sur les variations ontogéniques des alcaloïdes de *Datura tatula*. *Lloydia*. **29** (1): 19 – 25.

Cosson L. et kuntzmann-Cougoul N., 1980. – La régulation du métabolisme des alcaloïdes tropaniques (Hyoscyamine et scopolamine) chez le *Duboisia myoporoides* R. Br et les *Daturas* cultivés en conditions contrôlées. *Acta Horticulturae* **96** : 135 – 141.

Cougoul N., Miginiac E. et Cosson L., 1979.- Un gradient métabolique: Rapport scopolamine/Hyoscyamine dans les feuilles du *Duboisia myoporoides* en fonction de leur niveau d'insertion et du stade de croissance. *Phytochemistry*. **18** : 949-951.

De Miguel L., 1980.- Changes in levels of endogenous inhibitors during dormancy breakage in *Datura férox* L. seeds. *Z. Pflanzenphysiol.Bd*. **96**: 415-421.

De Miguel L., Burgin M.J., Casal J.J. et Sanchez R.A., 2000. – Antagonistic action of low-fluence and high-irradiance modes of response of phytochrome on germination and β -mannanase activity in *Datura ferox* seeds. *J. Exp. Bot.* **51**(347): 1127-1123.

De Miguel L. et Sanchez R.A.,1992.- Phytochrome-induced germination, endosperm softening and embryo growth potential in *Datura ferox* seeds : sensitivity to low water potential and time to escape to FR reversal. *J.Exp.Bot.***43** (252): 969-974.

Demeyer K. et Dejaegere R.,1988.- Influence of the ion-balance in the growth medium on the yield and alkaloid content of *Datura stramonium* L. *Plant and Soil.***114**: 79-86.

Demeyer K. et Dejaegere R.,1992.- Effet of the nitrogen form used in the growth medium (NO_3^- , NH_4^+) on alkaloid production in *Datura stramonium* L. *Plant and Soil.***147**:79-86.

Demeyer K. et Van De Velde H., 1985.- Increasing yield and productivity of alkaloids in *Datura stramonium*. *VAAM se Verenginer Voor Plantenfysiologie -Gent*,13.

Demeyer K. et Dejaegere R., 1989.- Influence of the ion-balance in the growth medium on the yield and alkaloid content of *Datura stramonium* L. *Plant and Soil* **114**: 289-294.

Demeyer K. et Dejaegere R.,1995.- The effect of total mineral dose and pH on alkaloid accumulation in *Datura stramonium* L. *Journal of herbs, spices & medicinal plants.* **3**(3):35-43.

Desailly I., Fliniaux M.A. et Jacquin-Dubreuil A., 1980.- Etude de la distribution des alcaloïdes dérivés de l'acide tropique chez *Datura stramonium* L., par dosage immunoenzymatique : localisation tissulaire et subcellulaire. *C.R. Acad.Sci., Paris, 306, Ser.III*, 591-596.

Duthil J.,1973.- Elément d'écologie et d'agronomie. *Ed. J-B Ballière. Tom II, 265p.*

Duval J., 1991.- Les nématodes de la tomate. http://www.eap.mcgill.ca/AgroBio/ab_head.htm].

El-Hammady M., Shatla M.N., Girgis A.N. et El-Halwagy M.H., 1982.- Virus diseases of some medicinal plants in Egypt.III effect of single and double infection with CMV and PVX on alkaloids of *Datura stramonium* L. *lesves. Acta phytopathologica academiae scientarum hungaricae*, **17**(1-2): 47-51.

- Faust M. et Klein J.D., 1974.- Levels and sites of metabolically active calcium in apple fruit. *J. Ame. Soc. Hortic.* **99**: 93-94.
- Fauvel G., 1999.- Systématique et biologie sommaire des acariens nuisibles. *PHM revue horticole*, **399** ; 16 – 19.
- Felidj M., 1998.- Effets de certaines conditions de conservation après récolte sur *Datura stramonium L* : Germination des graines ; Production alcaloïdique des plantes. *Thèse Ing Blida*, 68p.
- Fluck H., 1977.- Petit guide panoramique des herbes médicinales. Ed. *Delachaux et Nestlé S.A., Paris*, 1086 p.
- Friedman M., Levin C.E. 1989.- Composition of jimson Weed (*Datura stramonium*) seeds. *J.Agric.Food.Chem.*, **37**, 998-1005.
- Fourment H. et Roques S., 1942.- Répertoire des plantes médicinales et aromatiques d'Algérie. Ed. Direction de l'économie algérienne, inspection générale de l'agriculture, Alger. *Bull*, N°61, 159p.
- Gad A.M., Omar M.A. et Aziz Y.L., 1985.- Comparative study on the anatomy of three species of henbane, *Hyoscyamus sp.* *Alex J. agric. Res.* **30** (3) : 1293-1302.
- Gay G., Olié J.P., Löö H. et Denker P., 1986. – Aspects cliniques, pharmacologiques et thérapeutiques de l'intoxication au *Datura*. *L'évolution psychiatrique.* **51** (3) : 671 – 682.
- Georget M., 1999.- Les acariens en pépinière ornementale. *PHM revue horticole*, **399** : 25 – 26.
- Guignard J.L., Cosson L. et Henry M., 1985.- Abrégé de phytochimie. Ed. *Masson*, 224 p.
- Guignard J.L., 1989.- Abrégés de botanique, Ed. *Masson, Paris*, 259 p.
- Gougoul N., Miginiac E. et Cosson L., 1979. – Un gradient métabolique : Rapport Scopolamine/hyoscyamine dans les feuilles du *Duboisia* et du stade de croissance. *Phytochemistry.* **18**: 949 – 951.

Gros A.,1974.- Engrais : Guide pratique de la fertilisation. Edition la maison Rustique. 6^{ème} édition. 433 p.

Guenouni-Assimi R.,1986.- Comparaison entre la variabilité spontanée et celle provoquée par les rayons X chez le *Datura innoxia* Mill. Multiplié *in vitro*. Thèse de Doctorat. Université de paris.

Guillon A. et Bequerel L, 1950.- Les alcaloïdes du *Datura stramonium* au cours de son développement. *C.R de l'Académie des Sciences, Paris*. **230** (99) : 1604-1606.

Gupta S., Prabhakar V.S. et Madan C.L., 1976.- The distribution of total alkaloids and major components in the different organs of *Datura metel* Var. *Fastuosa* at various stages of growth.*Bd.23, heft 4*: 370-376.

Hashimoto T., Yukimune Y. et Yamada Y., 1986.- Tropane alkaloid production in *Hyoscyamus* root cultures. *J. Plant Physiol.***124**: 61-75.

Hashimoto T et Yamada Y ., 1987.- Purification and characterization of *hyoscyamine 6 β hydroxylase* from root cultures of *Hyoscyamus niger* L. *Eur.J.Biochem.***164**.277-285.

Hecht-buchholz C., 1979.- Calcium deficiency and plant ultrastructure. *Commun. Soil.Sci.Plant Anal.* **10** : 67-81.

Heller R., 1969.- Biologie végétale : Nutrition et métabolisme. *Ed Mason et Cie, tome II*, 578 p.

Herouart D., Gontier E., Sangwan R.S. et Sangwan-Norreel B.S., 1991. – Analysis of the potential use of androgenic *Datura innoxia* for the development of cell cultures producing high amounts of tropane alkaloids. *J. Exp. Bot.* **42** (241) : 1073-1076.

Hodson M.J. et Sangster A.G., 1988.- Observation on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L), with particular reference to silicon. *Ann.Bot.***62**, 463-471.

Houghton P.J., 2001.- Old yet new - pharmaceutical from plants. *J.chem Ed. chem. wisc. edu.* **78** (2): 175-184.

Houmani Z., 1999.- Quelques plantes algériennes à alcaloïdes tropaniques, effet du stress salin et hydrique sur la production d'alcaloïdes, variation de leurs teneurs au cours du stockage. *Thèse de Doctorat. INA El-harrach, 124p.*

Houmani Z., 1996.- Solanaceae à alcaloïdes tropaniques algériennes. *Santé plus. 51 :30-32.*

Houmani Z. et Cosson L., 1998.- Composition en alcaloïdes de deux espèces de *Datura* identifiées en Algérie : *Datura ferox* L et *Datura quercifolia* H.B.K. *Acta bot. Gallica. 145 (3) : 195-198.*

Houmani Z., Cosson L., Corbineau F. et Côme D., 1994.- Etude de la teneur en hyoscyamine et scopolamine d'une population sauvage de *Datura Stramonium* L. En Algérie. *Acta bot. Gallica. 141 (1) : 61-66.*

Houmani Z. et Cosson L., 2000.- Quelques espèces a alcaloïdes tropaniques. in *Ethnopharmacology de Geurci, A. Edition Erga, 205 - 219.*

Houmani Z., Cosson L. et Houmani M., 1999.- *Datura ferox* L. and *D. quercifolia* Kunth (Solanaceae) in Algeria. *Flora Mediterranea 9 : 57-60.*

Kinghorn A.D., 1979.- Tropane alkaloid toxins.in toxic plants. *Edt. N.Yorn, 63-65.*

Kinzel H., 1989.- Calcium in the vacuoles and cell walls of plant tissue.forms of deposition and their physiological and ecological significance.*Flora 182: 99-125.*

Kitamura Y., Yamashita R., Miura H. et Watanabe M., 1995. - Atropine dynamics in seedlings of *Duboisia myoporoides*. *Plant Physiol.146 : 210-216.*

Kuiper D. et Kuiper P.J.C., 1979.- Ca²⁺ and Mg²⁺ stimulated ATPases from roots of *Plantago lanceolata*, *Plantago media* and *Plantago cornopus*: Response to alterations of the level of mineral nutrition and ecological significance. *Physiol Plant.45: 240-244.*

Kumar A., Sharma A., Singh A.K. et Virmani O.P., 1984- Cultivation of *Hyoscyamus* as source of tropane alkaloids: a review. *Cromap.6 (4): 195-211.*

LaHaye P.A. et Epstein E., 1971.- Calcium and salt tolerance by bean plants. *Physiol.plant.25 : 213-218.*

- Lakhdar Ezzine D., 2003.- Etude Comparée de la production tropaniques chez deux espèces de *Datura* : *Datura ferox* L. et *Datura innoxia* Mill., spontanées et cultivées. *Thèse de magistère*. Blida, 74 p.
- Lardinois P., Duez p., Charmart S., Lejoly J., Hanocq M., Guissou p., Sawadogo M. et Molle L., 1988. – Etude des conditions d'optimisation d'une culture de *Datura stramonium* au burkina faso. *Bull. méd. Trad. Pharm.* **2** (1) : 31 – 43.
- Lee J.S., Mulkey T.J. et Evans M.L., 1984-. Inhibition of polar calcium movement and gravitropism in roots treated with auxin-transport inhibitors. *Planta* **160**: 536-543.
- Legge R.L., Thompson E., Baker J.E. et Liberman M., 1982.- The effect of calcium on fluidity and phase properties of microsomal membranaire isolated from postclimacteric Golden Delicious apples. *Plant Cell Physiol.***23**: 161-169.
- Lindsey K., Yeoman M.M., 1983.- The relationship between growth rate, differentiation and alkaloid accumulation in cell cultures. *J. Exp. Bot.* **34** (145): 1055-1065.
- Marschner H., 1998. – Mineral nutrition of higher plants. *Ed academic press*, 889p.
- Mechler E. et Kohlenbach H.W., 1978. – Alkaloid content in leaves of diploid and haploid *Datura* species. *Planta Medica.* **33**: 350 – 355.
- Miraldi E., Masti A., Ferri S. et Comparni I.B., 2001.- Distribution of hyoscyamine and scopolamine in *Datura stramonium*. *Fitoterapia* **72**: 644-648.
- Nakjima K., Hashimoto T. et Yamada Y., 1993.- Tow tropinone reductases with different stereospecificities are short-chain dehydrogenases evolved from a common ancestor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **90**: 9591-9595.
- Paris R.R., 1985.- Secret et vertus des plantes médicinales. *Ed. Sélection du reader's Digest, Paris*, 12-14.
- Parr A.J., Payne J., Eagles J., Chapman B.T., Robins R.J. et Rhodes M.J.C., 1990.- Variation in tropane alkaloid accumulation within the Solanaceae and strategies for its exploitation. *Phytochemistry.***29** (8) : 2545-2550.
- Prats J., 1978 .- La fertilisation raisonnée. Ministère de L'agriculture. *Direction générale de la production et des marchés*, 84p.

- Reda F., Raaiat M., Abdel-Halim M.A., El-Kadi M. et Yacob Z., 1986.- The effect of air temperature on growth and Alkaloidal yield of *Hyoscyamus muticus* L. *J. Agronomy & crop science*, **157**: 235-244.
- Reischaman- Berman O., Kigel J. et Rubin B., 1990.- Dormancy patterns in buried seeds of *Datura ferox* and *D. stramonium*. *Can.J.Bot.* **69** : 173-179.
- Reischman-Berman O., Kigel J. et Rubin B., 1989.- Shoart soaking in water inhibits germination of *Datura ferox* L. and *D. stramonium* L. seeds. *Weed research*. **29**: 357-363.
- Rensing L. et Cornelius G., 1980.- Biologische membranen als komponenten oszillierender systeme. *Biol.Rundsch.* **18**: 197-209.
- Rolard B., 2002.- Pollution chimique et radioactive : les plantes au secours de l'homme. <http://perso.club-internet.fr/phyto200/pollution.html>.
- Sanchez R.A., De Migeul L. et Mercuri O., 1986.- Phytochrome control of cellulase activity in *Datura ferox* L. sedds and its relationship with germination. *J.Exp.Bot.* **37** (183): 1574-1580.
- Sanchez R.A., Eyherabide G. et De Miguel L., 1981.- The influence of irradiance and water deficit during fruit development on seed dormancy in *Datura ferox* L. *Weed Research*. **21**: 127-132.
- Scheidecker D., Chevalier S., Andreopoulos-Renaud U., Bizid A. et Boumati P., 1981.- Localisation histologique du phosphore, du calcium et du potassium au cours de l'évolution des racines du tabac. *Physiol.Vég.* **19** (2): 237-252.
- Schmit J.N., 1981.- Le calcium dans la cellule génératrice en mitose. Etude dans le tube pollinique en germination du *Clivia nobilis* Lindl. (Amaryllidacee). *C. R. Acad. Sci. Ser.[III]* **293**: 755-760.
- Shimomura K., Sauerwein M. et Ishimaru K., 1991.- Tropane alkaloids in the adventitious and hairy root cultures of solanaceous plants. *Phytochemistry*. **30** (7): 2275-2278.
- Shonle I., Bergelson J. 2000.- Evolutionary ecology of the tropane alkaloids of *Datura stramonium* L. (Solanaceae). *Evolution*. **54** (3):778-788.

- Sine L., 1979.- Le dimensionnement d'un réseaux d'irrigation goutte a goutte. *Annales de l'institut national agronomique. El harrach - , VI(3): 47-64.*
- Soriano A., De Eilberg B A. et Suero A., 1970.- Effets of brual and changes of depth in the soil on seeds of *Datura ferox* L. *weed Res.* **11**: 196-199.
- Soltner D., 1988. – Les bases de la production végétale : Le sol. *TomI. Ed, sciences et techniques agricoles. 466 p.*
- Stary F., 1992.- Plantes médicinales. *Ed. Grund, Paris, 22p.*
- Thurzova L., 1981.- Les plantes santé qui poussent autour de nous. *Ed Bordas.268p.*
- Vallet A., 1996.- Contribution à l'étude de la biosynthèse des alcaloïdes tropaniques chez le *Datura innoxia* Mill; transformation par *Agrobactérium tumefaciens*, *Agrobacterium rhizogenes* et culture de chevelus racinaires. *DEA génie enzymatique, bioconversion et microbiologie. Université de Picardie jules Verne. [http/ www.alexandrevallet.com](http://www.alexandrevallet.com)*
- Van De velde, H., Demeyer, K. et Dejagere, R., 1988. – Influence of IAA and DMAA on Hyoscyamine and Scopolamine production in *Datura stramonium* var. *tatula*. *Acta Agronomica Hungarica* **37** (1-2): 55 – 63.
- Verdrager D.J., 1978.- Quelques notions sur des principes actifs des plantes médicinales. *In : ces médicaments qui nous viennent des plantes. Edition Maloine, 15-17.*
- Wallace A., Frolich E. et Lunt O.R., 1966.- Calcium requirements of higher plants. *Nature (london)* **209**: 634p.
- Weaver S.E. et warwick S.I., 1984.- The biology of canadian weeds. *Datura stramoium. Can. J. Bot.* **64**: 979-991.
- Yamani H., 1997.- Evaluation des teneurs en hyoscyamine et en scopolamine d'une plante ornementale, *Datura arborea* L, cultivée dans L'Algérois. *Thèse d'ingénieur. Blida, 57p.*

Annexes

TABLEAUX D'ANALYSE DE LA VARIANCE

ANALYSE MINERALE DES PARTIES AERIENNES DES PLANTS.

Tableau 4. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : L'azote

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	3	16,02	5,34	16,4	3,07	T.H.S
Variation résiduelle	20	6,5	0,325			
Variation = total	23	22,52	0,97			

Tableau 5. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le phosphore

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	3	0,2195	0,073	243,33	3,07	T.H.S
Variation résiduelle	20	0,0071	0,0003			
Variation = total	23	0,2266	0,0098			

Tableau 6. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le potassium

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	3	11,47	3,82	2,85	3,07	N.S
Variation résiduelle	20	26	1,34			
Variation = total	23	38,27	1,66			

Tableau 7. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le calcium

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	3	0,8	0,26	0,86	3,07	N.S
Variation résiduelle	20	6,14	0,30			
Variation = total	23	7,02	0,30			

Tableau 8. Analyse de la variance – Composition chimique des parties aériennes des plants : Le magnésium

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	3	0,021	0,007	0,77	3,07	N.S
Variation résiduelle	20	0,1828	0,009			
Variation - total	23	0,2038	0,008			

EFFET DES APPORTS CALCIQUES SUR LA PHYTOMASSE AERIENNE DES PLANTS DE *Datura stramonium*.

Tableau 9. Analyse de la variance = phytomasse des plants récoltés 30 jours après le premier traitement.

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	93,54	18,708	0,092	2,45	N.S
Variation résiduelle	30	6055,15	201,83			
Variation - total	35	6148,69	175,67			

Tableau 10. Analyse de la variance - phytomasse des plants traités avec un deuxième apport (récoltés 15 après jours le deuxième apport).

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	320,3218	64,0643	0,415	2,45	N.S
Variation résiduelle	30	4627,85983	154,2619			
Variation = total	35	4948,1817	141,37662			

Tableau 11. Analyse de la variance - phytomasse des plants non traité avec un deuxième apport (récoltés 15 jours après le deuxième apport).

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	126,19	25,238	0,134	2,45	N.S
Variation résiduelle	30	5649,509	188,31			
Variation - total	35	5775,699	165,01			

Effet des apports calciques sur la teneur en alcaloïdes tropaniques totaux des plants de *Datura stramonium*.

Tableau 12. Analyse de la variance - Teneur en alcaloïdes totaux des plants traités avec le premier apport (récoltés 30 jours après le premier apport).

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	3,7925	0,758	43,06	2,45	T.H.S
Variation résiduelle	30	0,5308	0,0176			
Variation - total	35	4,3233	0,123			

Tableau 13 . Analyse de la variance - Teneur en Alcaloïdes totaux des plants traités avec un deuxième apport (récoltés 15 après jours le deuxième apport).

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	3,62	0,724	26,81	2,45	T.H.S
Variation résiduelle	30	0,83	0,027			
Variation - total	35	4,45	0,127			

Tableau 14 . Analyse de la variance - Teneur en Alcaloïdes totaux des plants non traité avec un deuxième apport (récoltés 15 jours après le deuxième apport).

Source de variation	DDL	SCE	CM	F _{ob}	F _{th}	Signification
Variation -facteur	5	3,7160	0,7432	12,81	2,45	T.H.S
Variation résiduelle	30	174	0,058			
Variation - total	35	5,4613	0,1560			

Plusieurs facteurs influenceraient la biosynthèse des alcaloïdes tropaniques dont les facteurs génétiques, climatiques et édaphiques. Parmi ces derniers, la composition minérale du sol jouerait un rôle important. Certains auteurs signalent l'influence du calcium sur le contenu alcaloïdique des *Datura*. Houmani (1999) a observé que les plants de *Datura stramonium* qui poussent sur des terres calcaires (CaCO_3) sont plus riches en alcaloïdes que les plants poussant sur des sols non calcaires. Gontier (1993) cité par Houmani (1999) rapporte que le calcium activerait la *N-méthyltransférase* qui est l'une des enzymes de la voie de biosynthèse des alcaloïdes.

L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la production d'alcaloïdes tropaniques totaux chez *Datura stramonium* par des apports calciques au cours du développement ontogénique des plants cultivés en plein-champ. Il s'agit de déterminer l'influence de différentes doses calciques sur le contenu alcaloïdique ; Les paramètres mesurés pour déterminer l'influence des apports calciques sont la phytomasse et la teneur en alcaloïdes totaux.

**SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE**

1. BIOSYNTHESE DES ALCALOÏDES TROPANIQUES

Les alcaloïdes sont issus du métabolisme secondaire, ce sont des substances organiques azotées (Heller, 1969 ; verdrager, 1978). L'azote leur confère une propriété alcaline d'où le nom d'alcaloïdes (Heller, 1969 ; verdrager, 1978 ; Guignard *et al.*, 1985). Tandis que la dénomination tropanique vient de leur noyau fondamental qui est le tropane. Ce sont des esters d'alcool tropanol ou de scopolan avec l'acide tropique (Paris, 1985). Les alcaloïdes se cristallisent et se dissolvent dans les solvants organiques et en général très peu dans l'eau (verdrager, 1978).

Grâce à l'emploi des radioéléments, les grandes étapes de la chaîne de biosynthèse des alcaloïdes tropaniques sont connues; Mais certaines réactions intermédiaires restent hypothétiques (Guignard *et al.*, 1985). Les alcaloïdes sont biosynthétisés par voie enzymatique (Hashimoto et Yamada, 1987 cités par Houmani, 1999) dans le réticulum endoplasmique (Guignard *et al.*, 1985). Deux précurseurs de la chaîne de biosynthèse de l'hyoscyamine et de la scopolamine sont des acides aminés : l'ornithine et l'arginine (Nakjima *et al.*, 1993). Après une série de transformation initiée par l'*ornithine décarboxylase* (ODC) et l'*arginine décarboxylase* (ADC) ainsi que la *putrécine N-methyl-transferase* (figure 1), il y a formation de la tropinone (Verzar et Petri, 1971 *in* Vallet, 1996). Grâce à l'activité de la *tropinone réductase I* (figure 2), la tropinone est réduite en tropine (Nakjima *et al.*, 1993) qui est estérifiée par l'acide tropique donnant ainsi l'hyoscyamine (figure 3) (Gouladis *et al.*, 1991 *in* Houmani, 1999). L'hyoscyamine peut être hydrolysée en tropine et en acide tropique qui sont dépourvus des propriétés physiologiques de l'hyoscyamine (Kinghorn, 1979).

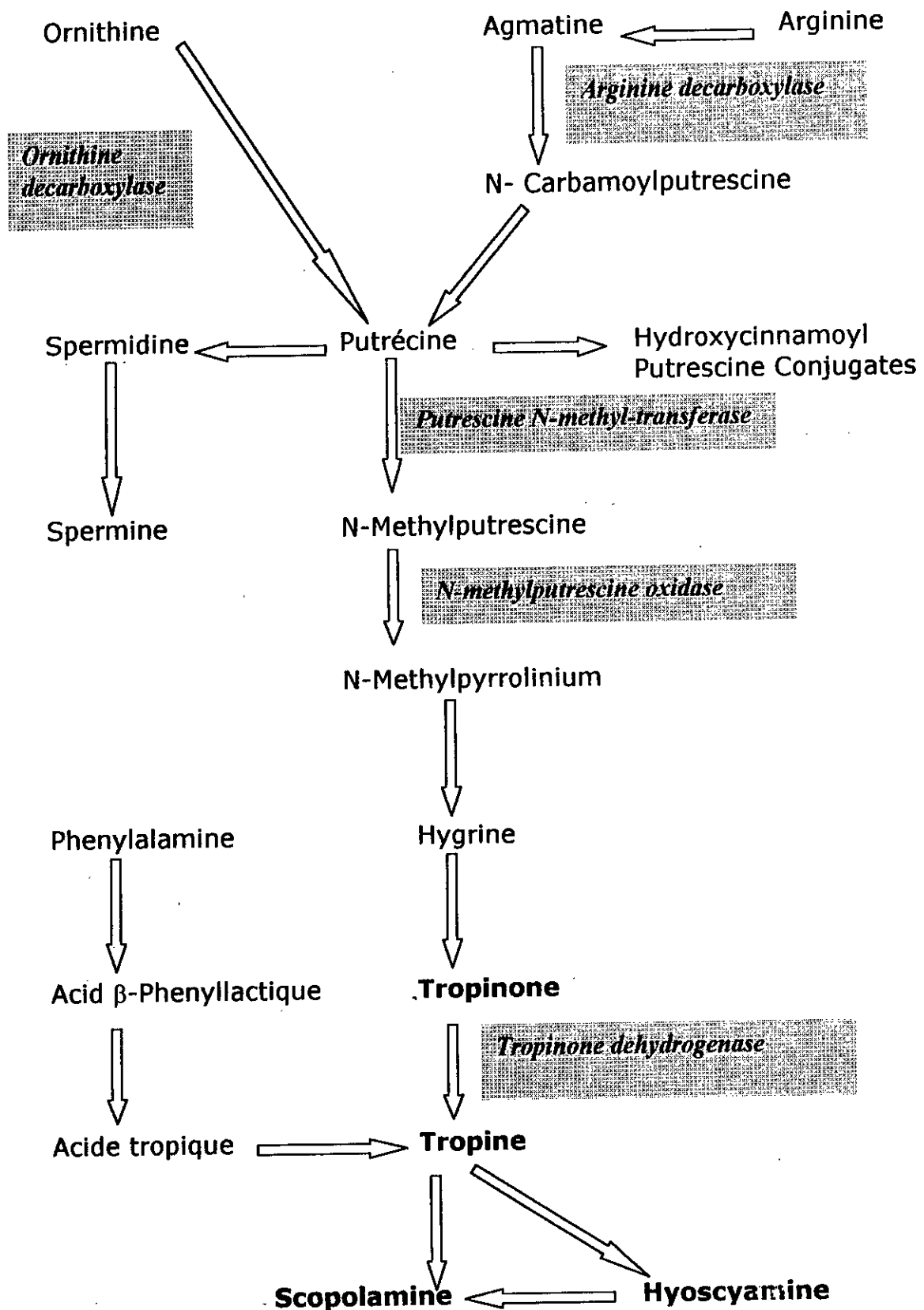


Figure 1. Chaîne de Biosynthèse des alcaloïdes tropaniques (hyoscyamine et scopolamine) (Robins *et al.*, 1990 *in* Felidj, 1998).

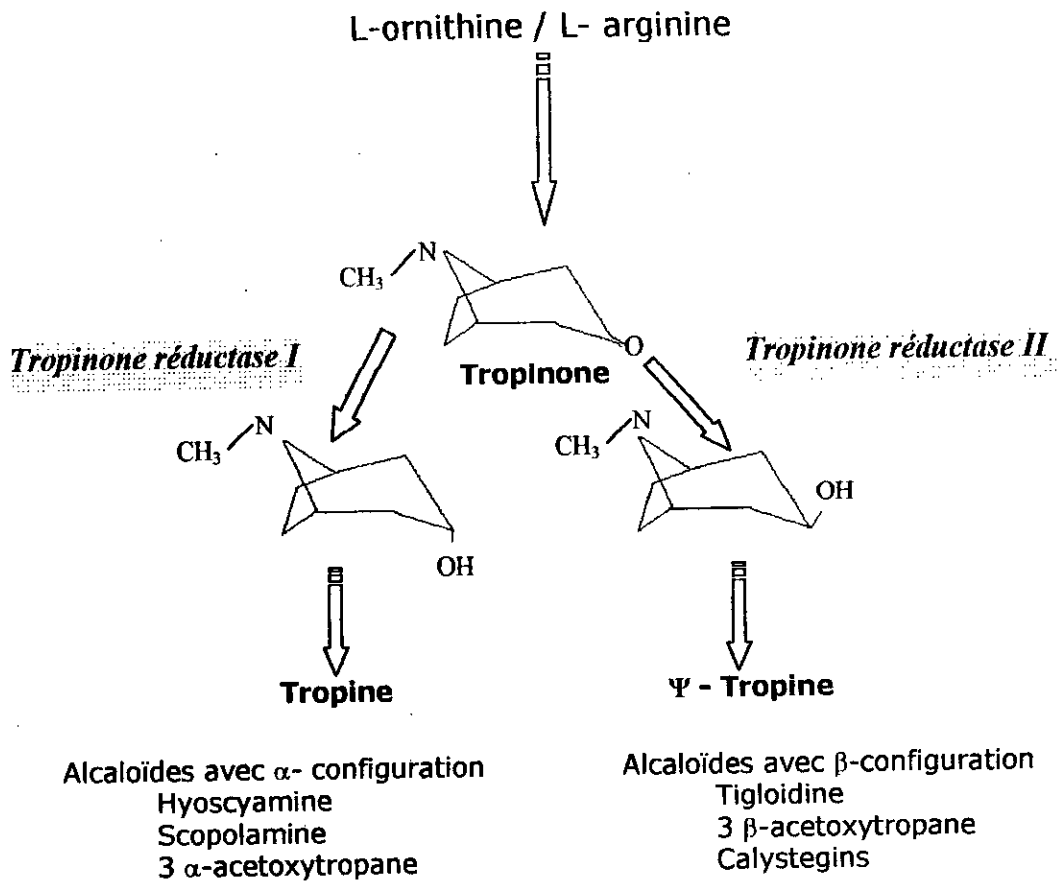


Figure 2. Métabolisme de la tropinone (Nakajima *et al.*, 1993)

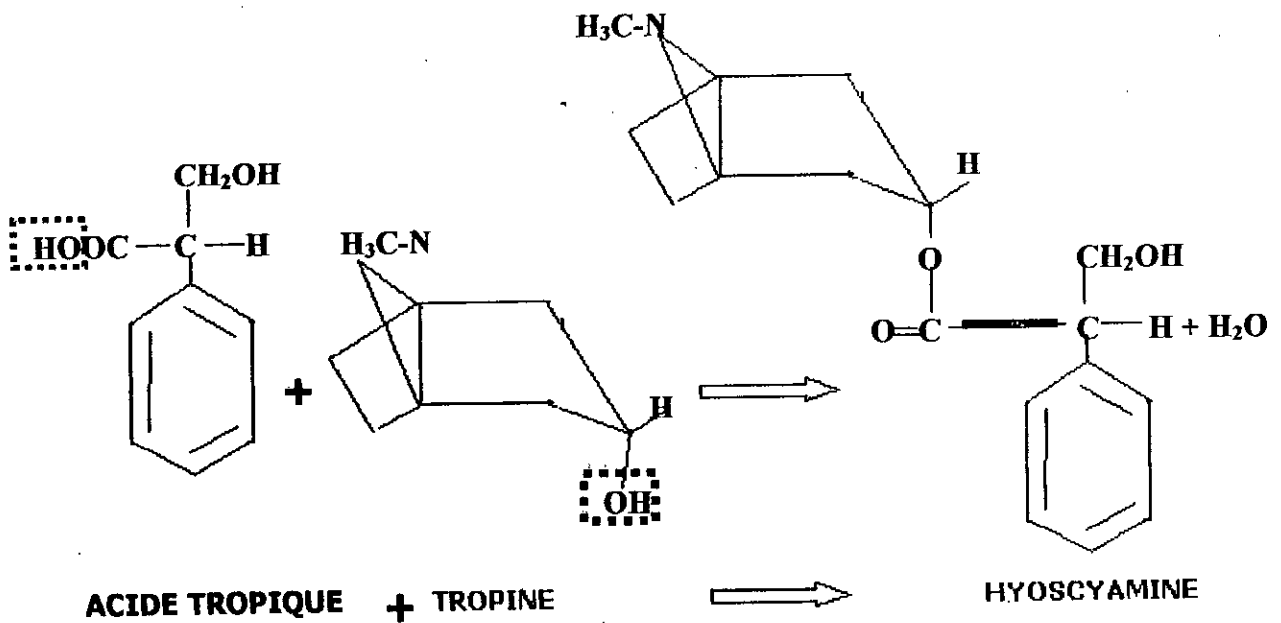


Figure 3. Biosynthèse de L'hyoscyamine (Samuelson, 1992 *in* Lakhdar ezzine, 2003)

La biosynthèse de l'hyoscyamine a lieu au niveau des racines (Kitamura *et al.*, 1995), par la suite, elle migre vers les parties aériennes où elle est soit accumulée (Kitamura *et al.*, 1995) ou biotransformée en scopolamine par une hydroxylation suivie d'une époxydation (figure 4) qui est très intense chez les jeunes plants (Cosson, 1976) et moins performante chez les plants âgées (Lardinois *et al.*, 1988). La transformation de l'hyoscyamine en scopolamine a lieu grâce à deux enzymes (figure 3) : l'*hyoscyamine 6 β hydroxylase* (H6H) (Hashimoto *et al.*, 1986) et l'*hyoscyamine 6 β époxydase* principalement localisé dans les feuilles (Hashimoto *et al.*, 1987).

2. REPARTITION DES ALCALOÏDES TROPANIQUES DANS LA PLANTE

Tous les organes des *Datura* renferment des alcaloïdes à des taux variables (Verdrager, 1978 ; Desailly *et al.*, 1988). Dans les feuilles, les alcaloïdes se localisent dans l'épiderme, le pétiole, les nervures et les cellules (Desailly *et al.*, 1988). La teneur alcaloïdique varie suivant la position de la feuille sur l'axe de la plante (Cougoul *et al.*, 1979 ; Houmani *et al.*, 1994), les travaux de Houmani *et al.* (1994) sur une population sauvage de *Datura stramonium* montrent que les teneurs en alcaloïdes majeurs (hyoscyamine, scopolamine) augmentent de la base vers l'apex avec respectivement 0,58 mg / g MS et 1,24 mg/g MS.

Dans les tiges, les alcaloïdes sont localisés au niveau du parenchyme cortical, les tissus libériens et la moelle, ils disparaîtront de la moelle quand le cylindre central aura vieilli (Guillon et Bequerel, 1950). Les travaux de Miraldi *et al.* (2001) sur le *Datura stramonium*, rapportent que les tiges minces et tendres des jeunes plants de *Datura stramonium* renferment des quantités plus élevées en atropine (0,915 μ g/mg MS) que celles des plants adultes (0,001 μ g/mg MS).

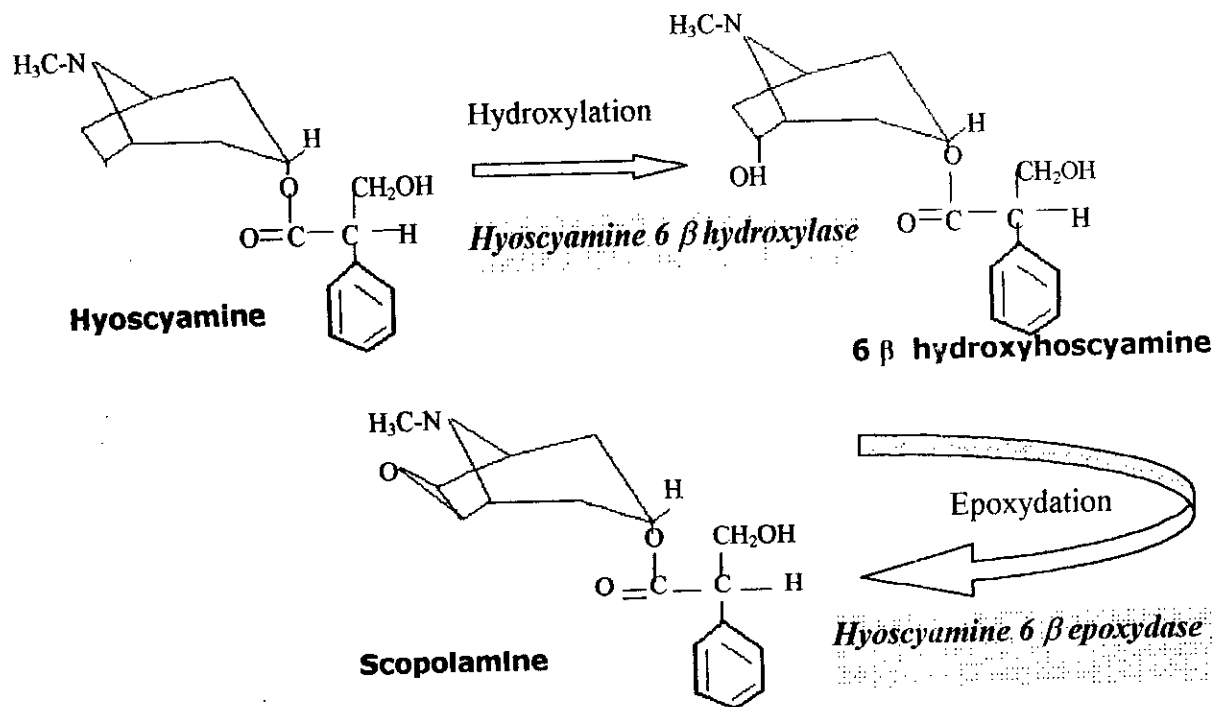


Figure 4. Formation de la scopolamine (Hydroxylation de l'hyoscyamine) (Samuelson, 1992 in Lakhdar ezzine, 2003).

Au niveau des racines, les alcaloïdes se localisent dans le liège et le phelloderme ; En vieillissant, ils ne se retrouvent plus que dans le cylindre central (Guillon et Bequerel, 1950). Les travaux de Miraldi *et al.* (2001) montrent que les racines des jeunes plantes renferment 0,014 mg/g MS de scopolamine et 0,121 mg/ g MS d'atropine ; dans les racines des plantes adultes, ces teneurs sont réduites à l'état de traces.

Dans les fleurs, les alcaloïdes sont présents dans les sépales, dans l'androcée, dans le gynécée, et surtout dans l'épiderme et l'assise corticale des jeunes carpelles ; Ces alcaloïdes sont à l'état de traces dans la corolle complètement formée (Guillon et Bequerel, 1950). Miraldi *et al.* (2001) montrent que chez *D. stramonium* les boutons floraux sont riches en scopolamine (0,106 µg/mg MS), cette teneur diminue graduellement au cours de la maturation des fleurs jusqu'à atteindre la valeur de 0,066 µg/mg MS.

Dans Les fruits verts et les graines d'une population sauvage de *D. stramonium*, Houmani *et al.* (1994) trouvent que la teneur en scopolamine est particulièrement élevée par rapport aux autres organes avec 0,41 mg/ g MS pour les fruits verts et 0,49 mg/g MS pour les graines.

Selon Houmani *et al.* (1994) La somme (hyoscyamine + scopolamine) augmente de la base vers l'apex de la plante contrairement au rapport scopolamine / hyoscyamine. Les mêmes auteurs préconisent de se limiter à la récolte de toute la partie aérienne de *Datura stramonium*, parce que cette dernière est plus riche que les racines : La partie aérienne de *Datura stramonium* renferment 0,91 mg/ g MS d'alcaloïdes majeurs (scopolamine + hyoscyamine) contre 0,20 mg/ g MS dans les racines (Houmani et Cosson, 2000)

3. LES FACTEURS INFLUENÇANT LA TENEUR EN ALCALOÏDES TROPANIQUES

La teneur en alcaloïdes tropaniques de la plante est le résultat de leur biosynthèse d'une part, et de leur catabolisme (dégradation probable) d'autre part. Selon plusieurs travaux, la teneur en alcaloïdes tropaniques dans la plante est variable ; Cette variation est la conséquence de processus complexes dans lesquels interviennent différents types de facteurs dont les facteurs génétiques, le stade de développement des plants et les facteurs environnementaux (Cosson, 1976 ; Cougoul *et al.*, 1979).

3.1. LES FACTEURS GENETIQUES.

Au sein d'une même espèce, le degré de ploïdie pourrait influencer les variations de la teneur alcaloïdique ; C'est ainsi que Mechler et Kohlenbach (1978) ont observé qu'au même stade végétatif la teneur en alcaloïdes dans les feuilles des plants haploïdes de *Datura innoxia*, de *Datura meteloides* et de *Datura wrightii* est plus faible que dans les feuilles des plants diploïdes. Selon Herouart *et al.* (1991), chez les plants régénérés par androgenèse, il serait possible d'obtenir spontanément des plants diploïdes de *Datura stramonium* avec un contenu alcaloïdique folié élevé, particulièrement en scopolamine. Ces variations pourraient s'expliquer par le fait que l'état diploïde est le premier pas vers la polyploïdisation ; il semblerait que plus le degré de ploïdie augmente, et plus la teneur en alcaloïdes tropaniques s'accroît, c'est ainsi que les tétraploïdes montrent un contenu alcaloïdique plus important que les diploïdes (karnick et Saxena, 1970 cités par Mechler et Kohlenbach, 1978).

Une étude histologique menée par Gad *et al.* (1985) sur des tiges de trois espèces d'*Hyoscyamus* égyptien : *Hyoscyamus muticus*, *Hyoscyamus albus* et *Hyoscyamus desetorum*, montre que c'est

l'espèce qui possède les plus grandes cellules qui est plus riche en alcaloïdes. Il s'agit de l'*Hyoscyamus muticus* qui est une espèce des zones désertiques, ses grandes cellules lui permettent de résister et d'emmagasiner de l'eau.

Chaque espèce ou variété, posséderait son propre potentiel génétique qui se traduit dans un environnement donné, par une capacité physiologique à la biosynthèse des alcaloïdes tropaniques. L'analyse phytochimique effectuée par Houmani (1999) sur des plants adultes (présence d'au moins trois fruits mûrs) de *D. stramonium* poussant à l'état sauvage dans différentes localités algériennes (Est, Centre et Sud) montre que les teneurs en alcaloïdes majeurs (scopolamine+ hyoscyamine) varient de $0,9 \pm 0,2$ mg/g MS dans les plantes récoltées dans les plaines du centre (Blida) à $4,3 \pm 1,2$ mg/g MS dans les plaines de l'Est (Sétif). Les plantes de l'Ouest (Chlef) renferment également plus d'alcaloïdes que celles du centre avec $3,1 \pm 0,3$ mg/g MS. Dans toutes les localités, l'hyoscyamine est l'alcaloïde dominant des plantes, mais sa teneur est variable d'une région à une autre.

3.2. STADE DE DEVELOPPEMENT

Plusieurs auteurs tels que Cosson (1976) et Houmani *et al.* (1994) ont mis en évidence la corrélation existante entre le stade de développement des plants et leurs contenus alcaloïdiques.

La teneur en alcaloïdes tropaniques totaux augmente avec le développement des plants (Brachet et Cosson, 1986 ; Houmani *et al.*, 1994 ; Houmani, 1999) et atteint son maximum au stade floraison, ou au début de celui-ci (Gupta *et al.*, 1976 ; Verdrager, 1978 ; El-Hammady *et al.*, 1982 ; Houmani *et al.*, 1994).

Chez le *Datura stramonium*, au stade jeune (apparition du premier bouton floral) le complexe enzymatique epoxydant est très actif (Cosson, 1976), la scopolamine est l'alcaloïde dominant (Gupta *et al.*,

1976 ; Gay *et al.*, 1986 ; Van De Velde *et al.*, 1988 ; Houmani *et al.*, 1994) ; Au fur et à mesure du développement de la plante, le rapport hyoscyamine/scopolamine augmente. La diminution de la teneur en scopolamine correspond à l'augmentation de la teneur en hyoscyamine (Gupta *et al.*, 1976); C'est finalement au stade floraison (apparition d'au moins trois fleurs) ou au stade adulte (présence d'au moins de trois fruit mûrs) que l'hyoscymaine devient prédominante (Lardinois *et al.*, 1988 ; Van De Velde *et al.*, 1988 ; Houmani *et al.*, 1994) .

L'âge physiologique de l'organe influence la teneur et la composition en alcaloïdes tropaniques des plants (Gupta *et al.*, 1976 ; Cosson *et al.*, 1978). Chez le *Datura metel* cultivé en plein champ, Gupta *et al.* (1976) observent que les feuilles adultes de taille moyenne contiennent le maximum d'alcaloïdes principalement de l'hyoscyamine. Les mêmes auteurs montrent qu'il existe une corrélation directe entre le stade de maturité du fruit et sa teneur en alcaloïdes, c'est les jeunes fruits qui possèdent le maximum d'alcaloïdes chez *Datura metel*.

3.3. LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

a. La lumière

Les travaux de Cosson *et al.* (1966) sur des plants de *Datura tatula* soumis à une photopériode de 9 et 16 heures de lumière (14 000 à 18 000 lux) montrent que les teneurs en alcaloïdes totaux varient entre 83 ± 20 mg/ 100 g d'organes jeunes pour 9 heures d'éclairement et 142 ± 22 mg/ 100 g d'organes jeunes pour 16 heures d'éclairement. Selon les mêmes auteurs, c'est plutôt la scopolamine qui est la plus affecté par les conditions lumineuses (47 ± 9 mg/ 100 g d'organes jeunes et 144 ± 16 mg/ 100 g d'organes jeunes pour respectivement 9 et 16 heures d'éclairement) ; Ce n'est pas le cas pour l'hyoscyamine qui présente des teneurs qui varient entre 47 ± 9 mg/ 100 g d'organes jeunes et 28 ± 6 mg/ 100 g d'organes jeunes pour respectivement 9 et 16 heures d'éclairement. Les travaux de Cosson (1976), Cosson et

Kuntzmann-Cougoul (1980) sur *Datura metel* et le *Duboisia myoporoides* dans des conditions contrôlées, présentent les mêmes résultats et mettent en évidence l'influence de la lumière sur le contenu alcaloïdique des *Datura*. Les mêmes auteurs signalent qu'un éclaircissement long et intense favorise l'accumulation de la scopolamine au moment de la floraison. Il existerait donc une corrélation entre l'assimilation chlorophyllienne (photosynthèse) et la teneur en alcaloïdes tropaniques, à raison que l'assimilation chlorophyllienne baisse, La teneur en alcaloïdes diminue (Lindsey et yeoman, 1983).

b. Le sol : pH et nutrition minérale.

L'influence du pH sur l'accumulation de l'hyoscyamine et de la scopolamine sur des plants de *Datura stramonium* cultivés sur de la vermiculite, a été étudiée par Demeyer et Dejaegere (1995) en utilisant trois solutions nutritives de différents pH : 5, 6 et 7. Les résultats de cette étude montrent qu'à pH acide, l'accumulation des alcaloïdes est réduite : A pH 5, l'accumulation des alcaloïdes dans les feuilles et dans les tiges diminue de manière significative comparée avec celle des plants qui poussent dans des milieux à pH 6 ou 7.

Certains éléments minéraux tels que N, P, K, Na, Cl et Ca influeraient directement la biosynthèse des alcaloïdes (Demeyer et van De Velde, 1985).

L'effet de la fertilisation sur la teneur en alcaloïdes des feuilles et des graines des plants de *Datura stramoium* cultivés en plein champ a été étudié par Lardinois *et al.* (1988) : Plusieurs doses d'engrais à dominance azotée, phosphorique et potassique ont été testées. Les résultats de ces travaux montrent que les apports d'engrais augmentent la phytomasse des plants, mais aucun d'entre eux ne favorise la production alcaloïdique (hyoscyamine, scopolamine); Ce sont les plants témoins (non fertilisés) qui présentent les concentrations en alcaloïdes

les plus élevées par rapport à ceux qui ont reçu un apport d'engrais, et ceci quelque soit la dose ou le type d'engrais apporté. Les auteurs expliquent ces résultats par le phénomène de « dilution » qui est un phénomène dépressif qui affecte les concentrations en hyoscyamine suite à l'apport d'engrais ; les teneurs en scopolamine bien que très faibles, ne semblent pas être affecter par l'apport de fumure. Selon les mêmes auteurs, la fertilisation azotée, phosphorique ou potassique influencerait beaucoup plus le métabolisme primaire (phytomasse) que le métabolisme secondaire (alcaloïdes tropanique).

D'autre part, Les travaux de Demeyer et Dejaegere (1989) sur l'alimentation azotée des plants de *D. stramonium* cultivés en hors sol durant 28 semaines, montrent qu'il y a une augmentation de la teneur en alcaloïdes majeurs (scopolamine + hoyscyamine) dans les plants traités avec des rations ioniques à tendance azotée (14,72 mg/plant) par rapport aux plants traités avec d'autres solutions dépourvues d'azote mais à tendance sulfate/potassium (3,636 mg/plant).

L'alimentation calcique augmenterait le contenu alcaloïdique, car le calcium joue un rôle dans la chaîne de biosynthèse des alcaloïdes, c'est ce que Gontier *et al.* (1994) cités par Houmani (1999) ont observé sur une culture d'une suspension cellulaire de *D. innoxia* : Les teneurs en alcaloïdes ont été décuplées avec l'apport de 10 mM de chlorure de calcium. Houmani (1999) a observé que les plants de *D. stramonium* poussant sur des terres calcaires comme Les sols de l'Est (Sétif) qui renferment 42 % de CaCO₃ sont plus riches en alcaloïdes totaux (4,3 ± 1,2 mg/ g MS) que les plants poussant sur des sols non calcaires (0,9 ± 0,2 g/ g MS) comme les sols du Centre (Blida) qui renferment 0,7 % de CaCO₃.

3.4. STRESS ET FACTEURS D'AGRESSION

Les stress qu'ils soient hydriques ou salins (Brachet *et al.*, 1981 ; Houmani, 1999) ainsi que les facteurs d'agression (Cosson et Kuntzmann-Dougoul, 1980) influenceraient la biosynthèse alcaloïdique

des plants. Les travaux de Houmani (1999) sur les plants de *Datura stramonium* cultivés en plein-champ et soumis à un stress hydrique sévère (plant non irrigués) ont montré une réduction de la matière sèche de 38 % par rapport aux plants irrigués tous les jours. Le même auteur rapporte que les plants soumis à un stress hydrique sévère produisent moins d'alcaloïdes que les plants soumis à un stress léger (irrigués une fois par semaine) ; Plus les plants sont privés d'eau moins ils sont riches en alcaloïdes (Houmani, 1999).

Brachet *et al.* (1981) ont étudié l'effet du stress salin sur la croissance et la production alcaloïdique de *D. innoxia* cultivé sous conditions contrôlées (Phytotron). Les auteurs ont observé qu'une dose de 51 mM de NaCl réduit de 40 % la croissance des plants et particulièrement les parties aériennes par rapport aux plants témoins. Selon les mêmes auteurs, sous l'effet du NaCl, la teneur de l'hyoscyamine diminue dans les racines (69 mg/ 100g de MS pour les plants témoins et 58 mg/ 100g de MS pour la dose 51 mM) ; Alors que les teneurs en alcaloïdes majeurs (scopolamine + l'hyoscyamine) augmentent respectivement dans la tige (104 mg/ 100g de MS pour les plants témoins et 147,5 pour les plants traités avec 51 Mm de NaCl) et les feuilles (73,5 mg/ 100g de MS pour les plants témoins et 86 pour les plants traités avec 51 Mm de NaCl). Sur une culture en plein champ de *D. stramonium* soumise à un stress salin, Houmani (1999) a observé une réduction de 30 % de la phytomasse chez le *D. stramonium* cultivé sur un sol contenant 9g/l de NaCl. Le même auteur rapporte qu'une fréquence d'irrigation d'un jour sur deux avec de l'eau renfermant 3g/l de NaCl conduit à une plus grande production alcaloïdique ($1,2 \pm 0,4$ mg/g MS) comparée à celle des plantes témoins arrosées tous les jours à l'eau douce ($0,7 \pm 0,1$ mg/g MS).

Des travaux sur l'influence de deux souches d'*Agrobacterium tumefaciens* B6 et T37 ont été réalisés par Cosson et Kuntzmann-Cougoul (1980). Après inoculation par *Agrobacterium tumefaciens*, les plants de *Datura metel* et *Datura tatula* qui ont réagi en formant des

tumeurs de *crown-gall*, ont été isolés et cultivés en 16 heures d'éclairement journalier à 27°C, avec une humidité relative de 50 %. Trois à quatre mois après l'infection, les tumeurs extraites des tiges présentent un taux d'alcaloïdes 5 à 10 fois supérieur à celui du tissu sain des tiges pour la souche B6, et 2 fois plus élevé seulement pour la souche T37. Les travaux réalisés par El-Hammady *et al.* (1982), indiquent que l'infection par PVX (*Patato Virus X*) ou CMV (*Cucumbre Mosaic Virus*) affecte le contenu en alcaloïdes totaux des feuilles de *D. stramonium* : Durant le stade végétatif, le CMV entraîne une diminution de la teneur en alcaloïdes ; Alors que le PVX induit une augmentation ; Après le stade floraison, la teneur en alcaloïdes totaux des feuilles inoculées par le CMV et le PVX diminue comparée à celle des feuilles saines. Ces travaux montrent donc que les facteurs d'agressions tel que les attaques pathogènes affectent le métabolisme secondaire des *Datura* (Kanegae *et al.*, 1994 in Houmani, 1999).

3.5. LES HORMONES

Les travaux de Lindsey et Yeoman (1983) sur une culture de cellules de *Datura stramonium*, ont permis de montrer que le transfert des cals de *Datura innoxia* du milieu à forte concentration auxinique (10^{-5} M. 2,4 D) vers un milieu de faible concentration (10^{-6} M. 2,4 D), provoque une baisse du contenu alcaloïdique. La scopolamine est plus affectée par les fortes concentrations auxiniques que l'hyoscyamine (Hashimoto *et al.*, 1986).

L'influence de deux phytohormones naturelles sur la production des alcaloïdes chez le *D. stramonium* a été étudiée par Van De Velde *et al.* (1988). Il s'agit d'une auxine (IAA, *Indole-acetic acid*,) et d'une cytokinine (DMAA, *Dimethylaminopurin*), ces deux phytohormones semblent accélérer le développement et augmenter la production des alcaloïdes majeurs (hyoscyamine + scopolamine) chez le *D. stramonium*. Selon Jonas (1969) in Van De Velde *et al.* (1988), l'IAA

augmenterait l'apport énergétique dans la plante en affectant le pentose phosphate, de plus cette auxine affecterait le cycle du glyoxylate, qui augmenterait la teneur en acide glutamique et en ornithine qui est l'un des acides aminés nécessaire pour la biosynthèse des alcaloïdes. La concentration auxinique 10^{-8} M DMAA et 10^{-6} M IAA donne le meilleur résultat, l'effet combiné (IAA, DMAA) donne un important rendement alcaloïdique (Van De Velde *et al.*, 1988).

Kanegae *et al.* (1994) *in* Houmani (1999) soulignent que la formation des métabolites secondaires est influencée par la balance hormonale interne.

3.6. LES TRAITEMENTS DES PLANTS APRES RECOLTE

Après la récolte, la composition en alcaloïdes des plants continue d'évoluer. Certains auteurs ont observé des variations au cours de la conservation des plants. Cette dernière dépend surtout de la température et de la durée de la conservation ; Les feuilles doivent garder leur couleur verte pour conserver leur qualité en alcaloïdes (Kresnek, 1981 *in* Berradja, 1996).

Le séchage des plants peut se faire à des températures qui varient de 25°C à 35 °C (Petrishek *et al.*, 1984 *in* Berradja, 1996). Reda *et al.* (1986) obtiennent des rendements plus élevés à des températures variant de 50°C à 60°C. Bien que le séchage ou la conservation à l'air libre et à l'ombre entraînerait parfois une augmentation de la teneur en alcaloïdes tropaniques et une bonne conservation de ces derniers (Benhizia, 1989 *in* Berradja, 1996), Les plants de *Datura stramonium* conservés à 4° C présentent une teneur alcaloïdique 10 fois plus supérieure que celle des plants conservés à l'air libre (Houmani, 1999).

Au cours de la conservation des plants, leur composition alcaloïdique qualitative est aussi affectée. Durant la conservation des plants adultes d'une population sauvage de *Datura stramonium*, Le

rapport scopolamine/ hyoscyamine varie de 1,2 au moment de la récolte à 4,7 à la fin de la conservation pour les plants conservés à l'air libre et, de 1,5 au moment de la récolte à 6,2 à la fin de conservation pour les plants conservés à 4° C ; Ces résultats montrent que c'est la scopolamine qui devient l'alcaloïde dominant des parties aériennes ce qui n'était pas le cas à la récolte (Felidj, 1998).

4. SIGNES DE TOXICITE ET ACTION PHYSIOLOGIQUE

Les signes de toxicité par les alcaloïdes varient selon la dose prise (Kinghorn, 1979), la sensibilité individuelle et le type d'alcaloïde (Gay et al., 1986). La tolérance est très personnelle et des symptômes d'empoisonnement peuvent apparaître même pour de faibles doses (verdrager, 1978 ; Poletti, 1987). Les alcaloïdes tropaniques affectent le système nerveux central (Stary, 1992). Les propriétés toxiques de la scopolamine sont semblables à celles de l'atropine ; Elle paralyse le système nerveux parasympathique produisant en particulier une sécheresse de la bouche, une dilatation de la pupille des yeux et provoque un sommeil crépusculaire (verdrager, 1978). Elle provoque également des rougissements de la peau, Délire, tachycardie, convulsions et une irritabilité du système nerveux (Kinghorn, 1979). L'hyoscyamine agit sur le cerveau en entraînant un délire suivi d'un coma, elle possède une action supérieure à son isomère l'atropine (Weaver et warwick, 1984). Selon les mêmes auteurs, l'hyoscyamine peut également engendrer des manifestations convulsives jusqu'à l'arrêt respiratoire et la paralysie du muscle ; Elle augmente aussi la tension oculaire et induit une mydriase passive avec photophobie (Gay et al., 1986).

Les alcaloïdes tropaniques trouvent plusieurs applications en pharmacologie. Ils soulagent les spasmes (Fourment et Roques, 1942 ; Stary, 1992 ; Houghton, 2001), les coliques néphrétiques (Stary, 1992) et les crises d'asthme (Fourment et Roques, 1942 ; Boulos, 1983 ; Poletti, 1987 ; Stary, 1992). Ils sont aussi utilisés contre les

convulsions, l'épilepsie, les tremblements séniles, les douleurs rhumatismales et les névralgies (Poletti, 1987). La scopolamine a des propriétés similaires à l'atropine (Verdrager, 1978), elle est anesthésique, et utilisée en association avec la morphine (Verdrager, 1978 ; Gay *et al.*, 1986) et la spartéine pour les grandes interventions chirurgicales (Verdrager, 1978). La scopolamine est également utilisée en injection intra-musculaire ou intraveineuse pour calmer les douleurs de l'entorse. L'atropine est utilisée en ophtalmologie pour la dilution pupillaire (Kinghorn, 1979 ; Houghton, 2001) et comme antispasmodique gastro-intestinal (Houghton, 2001).

5. ROLE DES ALCALOÏDES TROPANIQUES DANS LES PLANTES

Les alcaloïdes sont des métabolites secondaires ; leur rôle n'est pas parfaitement compris, on ignore s'il s'agit de déchets ou de substances de réserves azotées (Heller, 1969 ; verdrager, 1978 ; Cosson et Kuntzmann-cougoul, 1980). Selon Cosson et Kuntzmann-cougoul (1980), L'étude des mécanismes de régulation de leur biosynthèse pourrait être une voie d'approche de leur rôle. Ils pourraient être des produits d'excrétion du métabolisme azoté, et jouer le rôle de réserve d'azote dans certaines circonstances (Guignard *et al.*, 1985).

Les alcaloïdes tropaniques pourraient avoir un rôle de défense. Des travaux sur l'effet des facteurs d'agressions tels que *Agrobacterium tumefaciens* (Cosson et Kuntzmann-Cougoul, 1980), le *Patato Virus X* et *Cucumbre Mosaic Virus* (El-Hammady *et al.*, 1982), ont montré qu'il y a une augmentation du niveau des alcaloïdes sous l'effet de ces maladies. Bien que les insectes phytophages sont fréquemment supposés agir sur le niveau des métabolites secondaires des plantes dont les alcaloïdes, des expérimentations pour mettre en évidence ce phénomène sont discordantes (Shonel et Bergelson, 2000). Les mêmes auteurs ont étudié l'effet des insectes phytophages sur le niveau de deux alcaloïdes tropaniques majeurs (scopolamine et hyoscyamine) ;

les résultats montrent que les insectes phytophages agissent sur le niveau alcaloïdique surtout pour l'hyoscyamine.

6. LES *DATURA*

6.1. INTERET DES *DATURA*

En plus de leur rôle dans la pharmacologie, Les *Datura* trouvent plusieurs autres applications dans divers domaines tels que la phytopathologie, l'agriculture biologique, l'écologie, la physiologie et l'ornementation. Dans le domaine de la phytopathologie, Le *Datura stramonium* est utilisé comme un moyen de lutte biologique contre les nématodes de la tomate ; Il s'agit des nématodes des racines noueuses *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* et *M. javanica* (Duval, 1991). Selon le même auteur, Pour lutter contre ces nématodes, le *Datura stramonium* est utilisé comme culture intercalaire, comme engrais vert, en rotation avec des cultures sensibles et comme mulch. Le même auteur signale que les extraits des substances nématocides du *Datura stramonium* peuvent être appliqués aux racines de la plante susceptible.

L'allélopathie des *Datura* pourrait être utilisée comme moyen pour le désherbage dans le cadre de l'agriculture biologique. Les travaux de Levitt *et al.* (1984) sur les propriétés allelopathique de *Datura stramonium* sur les graines de *Helianthus annuus* cultivées en plein champ montrent que, les alcaloïdes de *Datura stramonium* inhibent le métabolisme de l'hydrolyse de l'amidon des graines de *H. annuus* lors de la germination. Les auteurs rapportent qu'aucun dommage structural dans les cellules dû aux alcaloïdes n'a été observé par microscopie électronique.

Dans le domaine écologique, le *Datura stramonium* peut être utilisé pour désinfecter des sols et les eaux polluées par les métaux lourds ; ainsi ces métaux lourds sont concentrés sur les parois cellulaires de la plante (Rolard, 2002). D'après le même auteur, Le

Datura stramonium assimile les déchets radioactifs, il fait l'objet de recherches aux laboratoires californiens de Los Alamos.

Dans le domaine de la physiologie, les alcaloïdes des *Datura* sont d'excellents détecteurs des réactions du métabolisme azoté de la plante vis à vis des variations du milieu ; Cette caractéristique fait de ces métabolites secondaires des marqueurs de certains processus physiologiques lors du développement de la plante (Cosson *et al.*, 1978; Cosson et Kuntzmann-cougoul, 1980).

Dans le domaine de l'ornementation, certaines espèces dont le *Datura arborea* présente un grand intérêt ornemental par ses grandes fleurs en trompette, ses larges feuilles molles et son port arbustif (Somon, 1987 *in* Yamani, 1997), cette plante est particulièrement cultivée en Algérie (Yamani, 1997).

6.2. AMELIORATION GENETIQUE DES DATURA

Plusieurs travaux de recherche dans le domaine des biotechnologies et de la sélection des variétés riches en alcaloïdes ont été rapportés par plusieurs auteurs. Des irradiations par les rayons X ont été utilisées par Guenouni-Assimi (1986) pour obtenir des mutants performants, mais aucune corrélation entre l'irradiation et le contenu alcaloïdique n'a été obtenue. Selon Herouart *et al.* (1988) la culture d'anthere de *Datura stramonium* permet d'obtenir spontanément des variants diploïdes avec un contenu alcaloïdique folié élevé, particulièrement en scopolamine. Par contre, certains travaux montrent qu'en culture *in vitro* la capacité biosynthétique des plants est réprimée (Parr *et al.*, 1990) et le taux de variants obtenus est faible (Bouami-Guenouni-Assimi *et al.*, 1990).

6.3. GERMINATION DES GRAINES DES *DATURA*

La production de plants des *Datura* pose problème. Selon De Miguel (1980), la majorité des graines de *Datura* possèdent une faculté germinative très réduite. Selon le même auteur, certaines graines comme celles de *Datura ferox* contiennent des inhibiteurs endogènes constitués de la fraction basique (Xanthoxine) et acide (acide abscissique). La germination dépend également de plusieurs paramètres dont la profondeur de l'enterrement des graines (Soriano et al., 1970 ; Ballare et al., 1988 ; Reischman- Berman et al., 1990) et le ramollissement du tégument (De Miguel et Sanchez, 1992).

L'amélioration de la faculté germinative peut être induite selon Sanchez et al. (1981) par le stress hydrique ; En effet, la dormance diminue chez les graines récoltées sur les plants de *Datura ferox* soumis à un stress hydrique durant la période de développement du fruit. La faculté germinative peut être aussi améliorée par scarification (Reischamn-Berman et al., 1989) ou bien par des incubations des graines à des températures alternées (Reischman-Berman et al., 1989). Les graines des *Datura* sont sensibles à la lumière grâce aux phytochromes des graines (Sanchez et al., 1986 ; De Miguel et al., 2000), De Miguel et al. (2000) ont obtenu une amélioration de la faculté germinative de *Datura ferox* par traitement des graines à la lumière rouge.

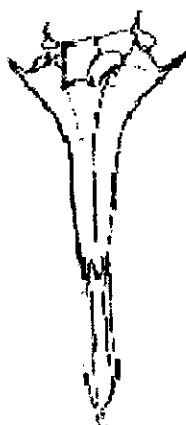
7. LE *DATURA STRAMONIUM*

7.1. DESCRIPTION BOTANIQUE ET ORIGINE DE *Datura stramonium*

Le terme *Datura* a été utilisé d'abord par Linné en 1737, ce dernier effectua une classification et distingua le groupe des stramonium (Gay et al., 1986). Le *Datura stramonium* (figure 5) est une plante annuelle mesurant souvent plus d'un mètre, ses feuilles sont grandes et sinuées.



Partie aérienne



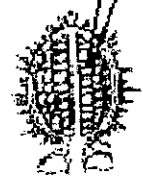
La fleur



Fruit: capsule épineuse



capsule à maturité



Section longitudinale d'une capsule



Graine

Figure 5. Le *Datura stramonium* (Felidj, 1998)

Ses fleurs sont blanches en forme de trompette se terminant par cinq lobes et comportent un stigmate biloculaire et cinq étamines insérées à la base de la corolle (Guignard, 1989). Les fleurs poussent séparément à l'aisselle des branches (Stary, 1992). Le fruit est une capsule ovoïde dressée, épineuse avec de nombreuses graines noires réniformes (Lardinois *et al.*, 1988).

Les botanistes ne s'accordent pas tous quant à l'origine du *Datura stramonium* ; L'hypothèse la plus probable selon Gay *et al.* (1986), étant celle qui la situe aux abords de la mer caspienne, par contre Satina et Avery (1959) cités par Houmani *et al.* (1999) rapportent qu'elle est originaire du Mexique et du Sud-Ouest des USA.

7.2. EXIGENCES CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES

Cosson (1972) rapporte que le *Datura stramonium* est une espèce très exigeante en lumière : Une durée de 16 heures d'éclairement de 14000 à 18000 lux avec 8 heures d'obscurité est requise pour le bon développement des plants, cette photopériode favorise l'augmentation du nombre et de la surface des feuilles. Ceci se traduirait par une augmentation des alcaloïdes totaux dans ces organes (Cosson, 1976 ; Cosson *et al.*, 1978).

D'autre part, la température est un facteur influençant le développement des *Datura*. Ainsi, une température constante de 27°C est nécessaire pour obtenir une bonne croissance végétative (Cosson, 1972). La température influe, d'autre part, sur la faculté germinative des graines de *Datura stramonium*, un optimum de 20°C -35°C est requis pour une bonne germination (Weaver et Warwick, 1984).

Pour un bon développement de *Datura stramonium*, l'humidité relative doit se maintenir entre 65 et 70 % (Cosson, 1972). Le sol doit également être meuble, riche en humus et en éléments nutritifs surtout en azote (Thurzova, 1981). La limite du pH tolérée par le *Datura*

stramonium se situe entre 6 et 8,2 (Demeyer et Dejaegere, 1988 ; Demeyer et Dejaegere, 1995).

7.3. CULTURE ET RECOLTE DE *Datura stramonium*

Les graines extraites de leur capsule mûre sont entreposées dans des sacs en papier à 5°C et dans une ambiance saturée à 45 % en humidité relative. Les graines sont semées l'année qui suit la récolte des graines (Weaver *et al.*, 1984). Deux modes de semis sont pratiqués pour le *Datura stramonium* : le semis direct en pleine terre (Weaver et warwick, 1984) et le semis hors sol sur du terreau ou sur de la tourbe sous châssis chauffé et arrosé (Van Del Velde *et al.*, 1988). En plein terre, avant le semis, les graines sont trempées dans de l'eau pendant 24 h et incubées pendant 7 à 8 jours à une température de 25 °C (Kumar *et al.*, 1984); Par la suite, elles sont semées à une profondeur de 2,5 ou de 5 cm de la surface du sol (Weaver et warwick, 1984). Pour le semis en hors sol, les graines de *Datura stramonium* sont trempées pendant 02 heures dans de l'eau déionisée à pH neutre avant d'être semées à raison de trois graines par pot (de 23 cm de diamètre) contenant de la vermiculite (Van De Velde *et al.*, 1986 ; Demeyer et Dejaegere, 1992). Après 5 semaines de germination, les pots sont placés sous abri, après un mois du semis, les plants atteignent 6 à 8 cm de longueur (Demeyer et Dejaegere, 1989 ; Demeyer et Dejaegere, 1995). Certains auteurs préconisent de les transplanter et de les mettre en culture à des espacements de 50 à 70 cm (Gros-Lebon, 1971 *in* Berradja, 1996).

Les feuilles sont récoltées le matin, entre 8 et 10 heures, par temps sec, afin d'éviter l'action de la rosée et les chaleurs excessives qui peuvent dénaturer les alcaloïdes (Gros-Lebon, 1971 *in* Berradja, 1996). Fluck (1977) signale que la récolte doit être échelonnée et doit se faire au moment de la floraison. Cependant, selon Houmani *et al.* (1994), il serait intéressant de se limiter à la récolte de toute la partie

aérienne de la plante pour une meilleure exploitation, car la partie aérienne est plus riche que les racines en alcaloïdes tropaniques.

Une fois récoltés, les plants sont séchés à l'air libre et à l'ombre pour une meilleure conservation des alcaloïdes (Petrishek *et al.*, 1984 ; Benhizia, 1989 *in* Berradja, 1996). Un bon rendement en alcaloïdes est aussi obtenu par le passage des plants dans l'étuve pendant 24 heures à 60 °C (Reda *et al.*, 1986; Burke, 1990 *in* Houmani, 1999).

8. LES APPORTS CALCIQUES.

8.1. LE CALCIUM DANS LA PLANTE.

Les besoins des plantes en calcium augmentent avec l'augmentation de la concentration externe des métaux lourds (Wallace *et al.*, 1966), d'aluminium ou des protons (LaHaye et Epstein, 1971). La concentration du calcium dans le milieu externe doit être plusieurs fois élevée pour contrecarrer l'effet adverse de concentrations élevées d' H^+ sur l'élongation des racines (Marschner, 1998).

Dans la plante, le calcium se localise au niveau des assises périphériques et le cylindre central, puis au niveau de l'endoderme et les assises corticales (Scheidecker *et al.*, 1981). Il est également présent au niveau de la membrane tylakoïdale des chloroplastes (Chevalier et Paris, 1981). La teneur en calcium dans la plante diffère selon les espèces, l'organe considéré, l'âge et la composition du milieu de culture. La matière sèche peut renfermer de 0,1 à 35 ‰ de calcium (Coppinet *et al.*, 1986). Il peut constituer jusqu'à 10 % du poids sec des feuilles sans provoquer des symptômes de toxicité ou une inhibition sérieuse de la croissance de la plante (Marschner, 1998).

La forme calcique la plus dominante chez les plantes est la forme pectate ; Plus de 50 % du calcium total est sous forme de pectates chez certaines plantes telle que la betterave sucrière (Armstrong et Kirby, 1979). Il peut être sous forme de carbonate précipité au niveau de la

paroi cellulaire d'une manière déférente selon les espèces (Baeyens *in* Duthil, 1973 ; Kinzel, 1989).

Le calcium stabilise les membranes cellulaires en liant le phosphate et les groupes carboxyles des phospholipides et les protéines (Caldwell et Haug, 1981 ; Legge *et al.*, 1982). Les deux charges de Ca^{2+} en font un cation qui se fixe énergiquement sur les membranes biologiques (Coppenet *et al.*, 1986); Il fournit la rigidité à la paroi pecto-cellulosique (Cleland *et al.*, 1990) où se trouve la fraction du calcium total dite échangeable, et inhibe à ce niveau la *polygalacturonase* qui dégrade les pectates (Cassells et Barlass, 1976 ; Marschner, 1998). Une forme plus ou moins facilement échangeable du calcium total est liée au groupe R.COO^- des acides polygalacturoniques (pectines) (Marschner, 1998). C'est pour cela que le symptôme typique d'une carence calcique est la désintégration des parois cellulaires en générale (Hecht-buchholz, 1979) et la chute subite des tissus affectés, tels que les pétioles et les parties supérieures des tiges (Marschner, 1998). Le calcium est impliqué dans la division cellulaire (Schmit, 1981) et dans l'absence d'un apport calcique exogène, le gravitropisme des racines (Lee *et al.*, 1984 ; Bennet *et al.*, 1990) ainsi que la croissance de la plante sont inhibés (Hodson et Sangster, 1988 ; Marschner, 1998).

Le calcium favorise la synthèse des protéines (Faust et Klein, 1974) et stimule une gamme d'enzymes liées à la membrane, particulièrement *ATPases* de la membrane plasmique de la racine de certaines espèces (Kuiper et Kuiper, 1979 ; Rensing et Cornelius, 1980). Le calcium active certaines enzymes indispensables au métabolisme cellulaire parmi lesquelles, l' *α -amylase* qui dégrade l'amidon lors de la germination des graines (Marschner, 1998). Une autre enzymes activée par le calcium est la *putrescine N-méthyltransférase*, qui est l'une des premières enzymes dans la voie de la biosynthèse des alcaloïdes tropaniques (Gontier, 1993 *in* Houmani, 1999).

8.2. LE CALCIUM DANS LE SOL.

Le calcium est abondamment présent dans le sol et sa carence est rare, il est sous forme de nitrates, de chlorures, de humates de chaux, de sulfates, de phosphates et de silicates (Gros, 1967 ; Coppenet *et al.*, 1986). La forme la plus courante se trouve à l'état de particules minérales combinées sous forme de carbonates, cette forme est insoluble ou difficilement soluble, elle caractérise les sols calcaires (Soltner, 1988).

Les cations échangeables constituent pour la plante une réserve importante et précieuse, permettant une alimentation progressive du végétal (Heller, 1969). Le calcium échangeable (figure 5) est présent à l'état ionique libre dans la solution du sol et à l'état ionique fixé sur le complexe adsorbant ou le complexe argilo-humique (Coppenet *et al.*, 1986 ; Soltner, 1988).

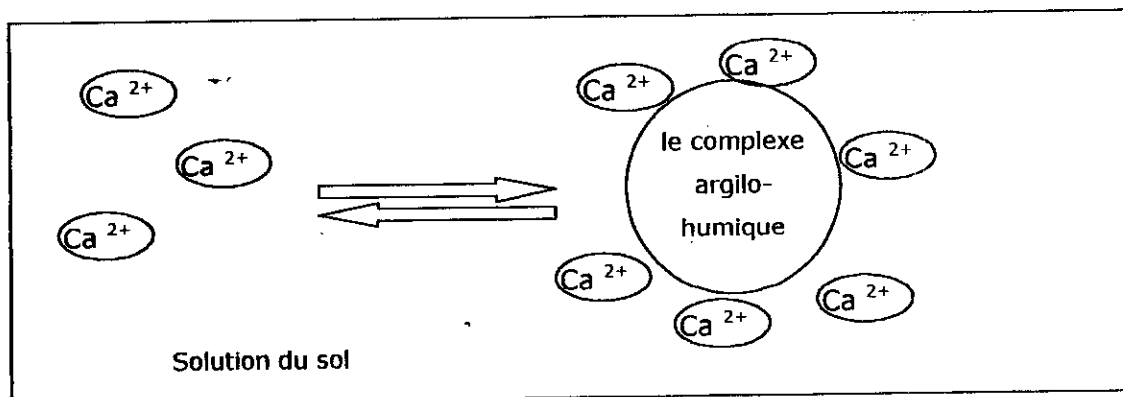
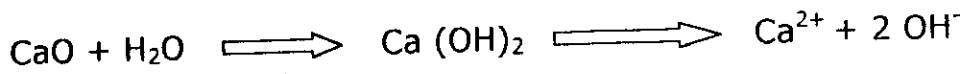


Figure 6. Le calcium échangeable (Soltner, 1988).

Le calcium améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Sur le plan physique du sol, le calcium est l'ion le plus actif pour la floculation du complexe adsorbant (structure améliorée) ; Si le sol est composé de 25 % d'argile, l'apport calcique est nécessaire pour corriger l'excès de compacité, il améliore ainsi la perméabilité du sol à l'air et à l'eau (Gros, 1967 ; Coppenet *et al.*, 1986).

Sur le plan chimique, l'apport calcique vise généralement la correction de l'acidité du sol (amendement) plutôt qu'accroître sa teneur en éléments nutritifs (fertilisants) (Duthil, 1973). La chaux vive (CaO), par exemple, s'hydrate, puis se dissocie dans l'eau du sol :



L'élévation du pH est rapide et aucun résidu acide n'apparaît (Soltner, 1988).

Le pH a une influence très marquée sur l'absorption des éléments minéraux par les végétaux et donc sur leur croissance (Heller, 1969 ; Duthil, 1973, Soltner, 1988). A pH inférieur à 6, l'alimentation minérale est freinée avec un risque de carence pour l'azote, le potassium, le soufre et le magnésium ; Alors qu'à pH = 6-7, tous les éléments sont à leur assimilabilité maximale (Coppenet *et al.*, 1986). Selon ces auteurs, un amendement calcique pour un sol acide relève le pH et crée ainsi des conditions favorables à la nutrition minérale des plants, surtout en ce qui concerne le calcium qui est bien assimilé même dans un milieu à forte alcalinité (PH supérieur ou égale à 8). Par contre une telle réaction du sol, qui peut être obtenue par un « sur-chaulage », réduit l'absorption de l'azote et provoque une précipitation du phosphore sous forme de phosphate calcique (Coppnet *et al.*, 1986). Un pH supérieur ou égale à 8 provoque aussi une carence en magnésium et une insolubilisation des oligo-éléments tel que le manganèse, le zinc, le cuivre et le fer (Soltner, 1988).

Sur le plan biologique du sol, Les principales phases d'actions microbiennes dans le sol sont : la décomposition de la matière organique et l'humification. Les azotobacters et les nitrificateurs ne sont vraiment actifs qu'à partir de pH = 6 du sol avec un optimum qui se situe à pH=7,5 (Gros, 1967 ; Coppenet *et al.*, 1986). Les amendements calciques permettent de relever le pH et d'activer donc la vie biologique du sol.

8.3. PRINCIPAUX PRODUITS CALCIQUES UTILISES.

La concentration du produit en calcium est la première caractéristique à prendre en compte. Cette concentration exprime la capacité du produit à neutraliser l'acidité du sol. L'efficacité du produit est en fonction de l'importance de la surface de contact avec l'eau dans le sol, cela dépend donc de la finesse du produit calcique qui est l'une des composantes de la rapidité d'action du produit sur le sol (Coppenet *et al.*, 1986). D'autre part, selon les mêmes auteurs, la compacité et la finesse du broyage dépendent de l'origine et de la structure du calcaire et la plus part des produits calciques ont pour origine les roches calcaires. Ces auteurs distinguent deux catégories de produits : Les produits crus et les produits cuits. Ces derniers sont obtenus par un passage des roches calcaires au four et qui sont ainsi transformées en chaux vives ou oxyde de calcium (Gros, 1974 ; Prats, 1978 ; Coppnet *et al.*, 1986).

Selon Gros (1974), Les éléments garantis par le commerce sont : la teneur en chaux (CaO), La finesse et la rapidité d'action. La solubilité carbonique est la proportion d'amendement calcaire cru passant en solution dans l'eau saturée de CO₂, elle simule celle qui circule naturellement dans les interstices du sol (Gros, 1974). La rapidité d'action du produit sur le sol est exprimée par la solubilité carbonique, dont l'indication est obligatoire pour les produits crus (Coppenet *et al.*, 1986).

Les produits crus, sont des produits d'origine naturelle contenant le calcium sous forme de CaCO₃, chaque produit cru a un qualificatif de granulométrie et un qualificatif de rapidité d'action (Gros, 1974) :

- Le produit cru est dit *Pulvérisé*, lorsque 80 % du produit passe au tamis de 0,315 mm d'ouverture de maille. Il est qualifié de *Broyé*, lorsque 80 % du produit passe au tamis de 5 mm d'ouverture de maille. Il est *Granulé*, lorsque le produit a été d'abord pulvérisé, puis aggloméré ou compacté en granules pour faciliter son épandage. Le produit est *Concassé ou brut*, suivant l'état sous lequel il est livré,

pour les produits de granulométrie supérieure à celle des produits broyés.

- Le produit calcique cru est qualifié de *rapide*, si sa solubilité carbonique est supérieure ou égale à 50 %. Il est *moyennement rapide*, lorsque sa solubilité carbonique est comprise entre 20 et 50 %. Lorsque celle-ci est inférieure à 20 %, le produit est considéré comme lent.

a. Les Carbonates

Le carbonate de calcium (CaCO_3) est insoluble dans l'eau, sauf si elle est chargée de CO_2 (Gros, 1974). Le CaCO_3 a une action plus lente que celle des chaux, il devrait être utilisé pour des sols légers (Prats, 1978). Les marnes, mélange naturel de calcaire et d'argile, se composent en moyenne de 25 % de CaO (Gros, 1974). Les écumes de défécation contiennent de 35 à 50 % de CaO sous une forme très finement divisée et très active, les craies contiennent de 85 à 98 % de CaCO_3 broyés grossièrement (Prats, 1978).

b. Les oxydes

Les oxydes de chaux sont obtenus par un passage des roches calcaires au four (Gros, 1974). Les chaux agricoles vives renferment 70 à 95 % de CaO sous forme d'oxyde de calcium (Gros, 1974), alors que les chaux agricoles éteintes obtenues par action de l'eau sur la chaux vive, renferment 50 à 72 % de CaO sous forme d'hydroxyde de calcium (Gros, 1974 ; Prats, 1978).

c. Les engrais calciques basiques

Ces engrais apportent des quantités appréciables en chaux : La forme cyanamide totale est constituée de 1/2 de CaO libre, la forme de Scories contient 1/5 en CaO libre (Prats, 1978).

8.4. L'APPORT CALCIQUE PROPREMENT DIT.

L'apport calcique proprement dit consiste à déterminer le type d'amendement et les besoins, en suite, à apporter le produit calcique suivant la meilleure modalité (itinéraire technique). Les critères de choix du type d'amendement porteront sur le coût de l'unité neutralisante, la rapidité d'action et la commodité d'utilisation des produits calciques (Coppnet *et al.*, 1986) :

- *Le coût de l'unité neutralisante* : c'est le coût représentatif de leur potentiel d'action dans le sol. Ceci permet un premier tri entre plusieurs formes des produits calciques.

- *La rapidité d'action* : l'amendement doit avoir un effet sensible dans un délai raisonnable. Il n'est pas impératif que la totalité de l'amendement agit immédiatement. Pour que la chaux agisse vis à vis du sol, Gros (1974) recommande d'apporter le CaO au moins un mois avant la mise en place de la culture.

- *La commodité d'utilisation* : les facilités d'approvisionnement, de manutention, de stockage ou d'épandage sont à prendre en considération. La présentation (pulvérulent ou granulé par exemple), le conditionnement, le mode de livraison sont des éléments très importants pour l'organisation de l'épandage.

La détermination des besoins calciques s'effectue en plusieurs étapes (Gros, 1974 ; Prats, 1978 ; Coppnet *et al.*, 1986) :

- Diagnostiquer l'état calcique actuel du sol à l'aide d'observations et de mesures appropriées : C'est le bilan calcique du sol.

- Déterminer l'état calcique souhaité en prenant en compte des critères agronomiques et économiques ; Ensuite, comparer les deux états et en déduire les meilleurs itinéraires pour les apports calciques. Seule une expérimentation dite « au champ » de moyenne et longue durée, et intégrée dans l'étude des systèmes de culture, permet de déterminer l'état calcique répondant aux objectifs de la culture (Coppnet *et al.*, 1986).

Le transport, la manutention, le stockage et l'épandage ne posent pas de problèmes spécifiques. Ces opérations sont conduites comme pour les autres fertilisants, avec des méthodes et des équipements qui tiennent compte de la présentation du produit (Gros, 1974 ; Coppnet *et al.*, 1986):

- Les produits grossiers (craie tendre, marne) ou très humide (écumes de sucrerie) sont épandus avec des épandeurs de fumier.

- les produits pulvérulents (poudre plus ou moins fine) sont livrés en sac de 50 kg, ils ont l'avantage de pouvoir être manipuler sans moyen mécanique. Ils sont épandus avec les épandeurs pour engrais. Le principal problème qu'ils posent est celui du désagrément causé par le nuage de poussière qu'ils provoquent. On peut remédier à ce problème en évitant l'épandage pendant les périodes de vents forts en utilisant les épandeurs centrifuges ou pendulaires de «jupe » ou tissus de paravent qui limitent la dispersion des particules fines.

- Les produits granulés ne posent pas l'inconvénient de la poussière et facilitent l'utilisation des appareils d'épandages tel que l'appareil centrifuge.

Selon Prats (1978) et Coppnet *et al.* (1986), les apports calciques n'influent que dans la mesure où ils sont répartis dans toute la couche de la rhizosphère. Selon les mêmes auteurs, Il est préférable, pour une action rapide de l'apport, de l'enfouire aussitôt après son épandage, cette opération peut se faire lors du travail du sol. Cependant dans les sols lourds, ces auteurs préconisent un enfouissement un peu superficiel pour ne pas risquer d'emprisonner une partie de l'amendement dans les profondeurs lors d'un labour profond. De même, ces auteurs rapportent qu'il est préférable que le chaulage soit défini en terme de « succession des épandages » sur les différentes parcelles de l'exploitation au cours de l'année et prévoir les époques de l'année les plus propices, ces prévisions seront établies en fonction de la rotation des cultures et de l'approvisionnement en produits calciques.

**PARTIE
EXPERIMENTALE**

MATERIEL ET METHODES

1. CONDITIONS CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES STATIONS EXPERIMENTALES

1.1. CONDITIONS CLIMATIQUES

La station de récolte des plantules de *Datura stramonium* poussant à l'état sauvage est située à Staouali sur le littoral algérois. La culture des plantules de *D. stramonium* a lieu au niveau de la station expérimentale de la faculté Agro-vétérinaire et biologique de Blida. Les données climatiques des deux stations sont recueillies respectivement auprès de l'ITCMI (Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles) de Staouali et de l'ITAF (Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière) de boufarik.

1.2. CONDITIONS EDAPHIQUES : Analyse du sol.

Avant la mise en place de la culture, des échantillons du sol, des deux stations (sol de Blida et de Staouali), ont été prélevés à un mètre d'intervalle et à une profondeur de 20 cm sur la totalité de la parcelle de manière homogène comme le montre la figure 7. Nous avons prélevé en totalité 1 kg de terre pour chaque station pour les analyses.

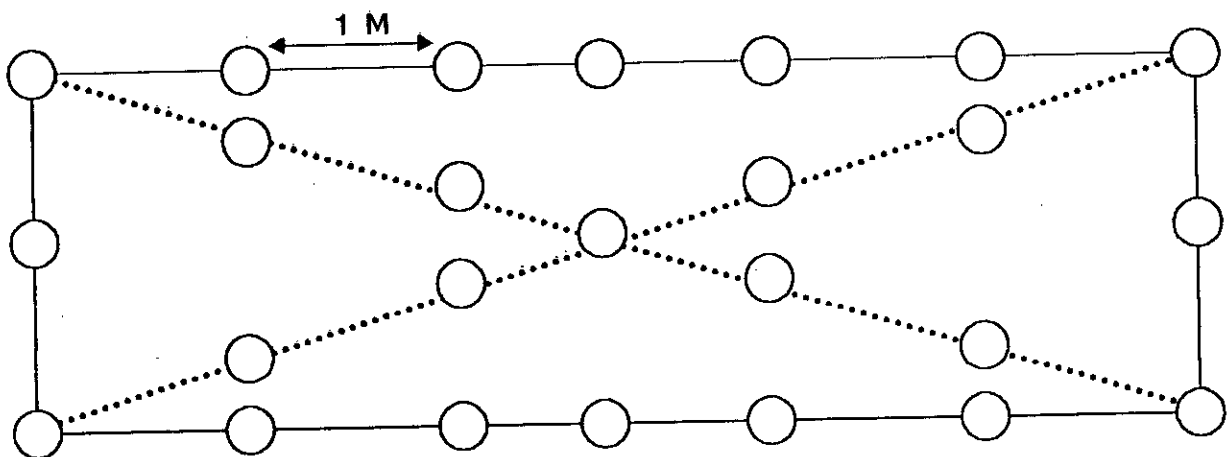


Figure 7. Méthode de prélèvement des échantillons du sol.

Des échantillons du sol ont été prélevés durant la culture pour suivre l'évolution du pH et du calcium échangeable. Les échantillons ont été prélevés au pied des plants à une profondeur de 20 cm au moment des récoltes des plants.

Les échantillons ainsi prélevés, sont séchés à l'air libre, ensuite broyés et tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre. Par la suite ils ont fait l'objet de différentes analyses au laboratoire de pédologie de l'institut d'agronomie d'El-Harrach (INA). Les analyses ont porté sur le calcaire total, le dosage du calcium échangeable, le pH, la conductivité électrique, le taux de matière organique, l'azote total et la texture du sol.

1.2.1. Calcaire total

La méthode utilisée pour déterminer le calcaire total dans le sol est celle du calcimètre de Bernard, qui mesure le volume du gaz carbonique dégagé par la réaction de l'acide chlorhydrique au contact du CaCO_3 pur et sec. La prise d'essai est de 2g de sol mouillé à l'eau distillée introduite dans l'erlen Meyer, 5 ml d'HCl sont rajoutés ensuite, la mesure porte sur le CO_2 qui se dégage de la réaction et qui comprime le liquide dans la colonne de l'appareil. Un essai témoin est réalisé au préalable avec 0,3 g de CaCO_3 pur. Le pourcentage du calcaire est calculé suivant la formule :

$$\% \text{CaCo3} = (0,3 \text{ v} / \text{V.P}) \times 100$$

v : le volume de CO_2 dégagé par 0,3 g de CaCO_3 pur.

V : le volume de CO_2 dégagé par la prise du sol.

P : la prise du sol.

1.2.2. Dosage du calcium échangeable.

Le dosage du calcium échangeable est obtenu par complexométrie. Dans une colonne de percolation, sont introduits successivement : Un tampon de coton hydrophile (n 0,4 g) , 10 g de sable de mer purifié , 10 g de terre séchée intimement mélangée à 10 g de sable de mer purifié. Par

la suite, nous faisons percoler de l'acétate d'ammonium à pH 7 jusqu'à obtention de 250 ml de percolat, dont nous prélevons 25 ml que nous plaçons dans un bécher de 250 ml, 5 ml d'une solution de soude 5N et quelques grains de calon sont ajoutés ensuite. La titration se fait avec une solution d'EDTA N/50 jusqu'à virage de la couleur du pourpre au bleu. La concentration de Ca^{2+} échangeable est calculée par la formule suivante :

$$4X = (0,04.X.250.100) / 25. 10$$

Où **X** est le nombre de ml de l'EDTA pour obtenir le virage.

1.2.3. Le taux de matière organique

La méthode utilisée est celle de « Ann ». Elle consiste à déterminer la matière organique par le biais du carbone organique, car ce dernier représente 58% de la matière organique. Le carbone organique est oxydé à chaud par le bichromate de potassium ($\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$) en milieu sulfurique. Le sulfate de chrome formé, est dosé volumétriquement par le sel de Mohr : 2 g de sol sont mélangés à 10 ml de bicarbonate de sodium, 15 ml d'acide sulfurique concentré et 150 ml d'eau distillée. Une aliquote de 20 ml de ce mélange est prélevée et ajoutée à 150 ml d'eau distillée, 3-5 gouttes de diphénylalanine et 5 ml d'une solution de NaF (3 %). Cette solution est dosée par une solution de sel de Mohr 2N jusqu'au virage de la coloration de la solution vers une coloration verdâtre. Un essai témoin est effectué au préalable en utilisant 2 g de sable de mer calciné. Le taux de matière organique est calculé selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} \% \text{ MO} &= 100.C\% / 58 \\ \% \text{ C} &= (n' - n) \times 0,615 / P \end{aligned}$$

% MO : taux de la matière organique.

% C : taux du carbone

n' : volume de sol de mohl de l'essai témoin.

n : volume de sel de mohl de l'échantillon.

P : prise d'essai de l'échantillon

1.2.4. Azote total.

Nous avons utilisé la méthode « Kjeldahl ». Elle consiste à une minéralisation du sol, de l'azote organique en azote ammoniacal et une distillation dans l'appareil Buchi.

- La Minéralisation :

Une prise d'essai de 2,5 g de sol est mise dans un matras de 250 ml avec 10 ml d'eau distillée, 10 ml d' H_2SO_4 et une pincée de catalyseur. Le tout est chauffé jusqu'à ébullition et décoloration. L'ajustement se fait ensuite avec 100 ml d'eau distillée après le refroidissement du minéralisât.

- La Distillation :

Une prise du minéralisât de 20 ml est transvasée dans l'appareil à distillé de Buchi et ajustée avec 20 ml de soude (10N). La distillation s'arrête après l'obtention de 150 ml de solution distillée. La titration se fait ensuite avec de l'acide (H_2SO_4) jusqu'à l'obtention d'une couleur rouge violacée. Un essai témoin est réalisé au préalable. La teneur en matière azotée par rapport à la matière sèche est :

$$\text{MAT \% / MS} = N_g \times 6,25 ; \text{ où } N_g = V \cdot 0,0007 [(100/y) (250/v)]$$

MAT : teneur en matière azotée

MS : matière sèche

N_g : L'azote total

V : volume de la burette (H_2SO_4)

en ml.

Y : poids de l'échantillon de départ.

v : volume de la prise d'essai.

1.2.5. Le pH_{eau}

Le pH du sol permet d'avoir des indications sur la composition et la nature du sol, la dynamique des éléments nutritifs et les aptitudes culturales du sol. L'assimilabilité des éléments minéraux dépend étroitement du pH. Selon Coppnet *et al.* (1986), Le calcium est très bien assimilé entre un pH 6 et 8, cette assimilabilité diminue à pH inférieur à 6. La mesure du pH_{eau} des échantillons du sol est obtenue par la méthode électrométrique à l'aide du pH-mètre. La prise d'essai est de 20 g de sol séché à l'air libre et 50 ml d'eau distillée mise dans un flacon et porté en agitation pendant une heure. Les mesures du pH sont effectuées après stabilisation de la solution.

1.2.6. La conductivité électrique « CE ».

La conductivité électrique renseigne sur la quantité de sel qui se trouve dans la solution du sol. Elle est mesurée à l'aide du conductimètre, sur un extrait de pâte saturée obtenu à partir d'un échantillon du sol séché puis saturé d'eau distillée. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$CE \text{ (m mhos/ cm à } 25 \text{ °C)} = K^{-1}/r = K^{-1} \cdot C$$

CE: conductivité électrique en mmhos / cm.

K : constante d'étalonnage de l'appareil ou **r :** résistivité en mmohs / cm.

C: conductance spécifique mesurée en mmhos.

1.2.7. La texture

La texture du sol est déterminée par le diagramme textural, en utilisant le pourcentage des fractions fines (argile, limon) et grossières (sable) du sol. L'analyse de la fraction fine du sol est déterminée par la méthode de la pipette de Robinson qui consiste à séparer par sédimentation les différents constituants après leur mise en suspension. La fraction sableuse est déterminée par tamisage.

La première étape de la méthode de Robinson consiste à détruire la matière organique du sol, pour cela, 20 g de sol sont mélangés à 50 ml de H₂O₂ ; le tout est porté dans un bain-marie à 90 °C jusqu'à disparition de l'effervescence.

La deuxième étape vise la dispersion des agrégats. Pour cela, 20g de sol sont mis dans un flacon de 500 ml avec 40 ml d'hexamétaphosphate de sodium et 1 ml d'ammoniac pur. Le flacon est placé en agitation rotative pendant 2 heures, le tout est versé ensuite dans une allonge.

Le contenu de la pipette de Robinson et des tamis est mis dans des capsules portées à l'étuve à 105° C durant 24 heures. L'expression de la teneur en argile, en limons et en sables du sol est exprimée par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \% \text{ argile} &= [(P1-P2) \times Vx 100] / v[P - (P/100 (MO + H + CaCO_3))]. \\ \% \text{ limons fins} &= [(P2-Pr) \times Vx 100] / V[P - (P/100 (MO + H + CaCO_3))]. \\ \% \text{ sables fins} &= (P3 \times 100) / [P - (P/100 (MO + H + CaCO_3))]. \\ \% \text{ sables grossiers} &= (P4 \times 100) / [P - (P/100 (MO + H + CaCO_3))]. \\ \% \text{ limons grossiers} &= 100 - (\% A + \% Lf + \% SF + \% SG). \end{aligned}$$

P : prise d'essai

P1 : poids d'argile + limons fins + hexamétaphosphate prélevé et pesé à sec.

P2 : poids d'argile + hexamétaphosphate prélevé et pesé à sec.

P3 : poids des sables fins

P4 : poids des sables grossiers

Pr : surcharge du dispersant (hexamétaphosphate).

v : volume de la pipette.

V : volume total de la suspension.

Mo : % de la matière organique

H : % d'humidité

CaCO₃ : % de calcaire.

2. CULTURE DES PLANTS DE *Datura stramonium*

2.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

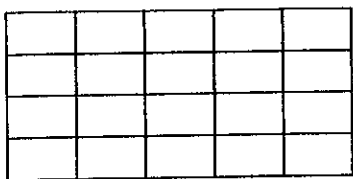
2.1.1. Mise en place des plants.

Les plantules (4-5 feuilles) de *D.stramonium* poussant à l'état sauvage sont prélevées à Staouali au niveau du littoral algérois. Leur transplantation est effectuée le 28 mai 2002 à la station expérimentale de la faculté Agro-Vétérinaire et biologique de Blida.

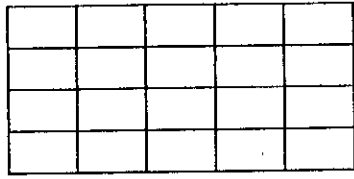
Avant la mise en place de la culture, la parcelle du dispositif, qui fait 112 m² ayant comme précédent cultural une prairie, a reçu un labour moyen (20 cm) par plusieurs passages croisés d'une charrue à disque.

Les plantules sont plantées à 50 cm d'intervalle (plantation dense) comme le recommandent Gros-Lebon (1971) *in* Berradja (1996). Le remplacement des plants morts s'est poursuivi 5 jours après la mise en place. Des doses d'irrigations de deux litres/plant, deux fois par jours, ont été apportées pour assurer la reprise des plantules.

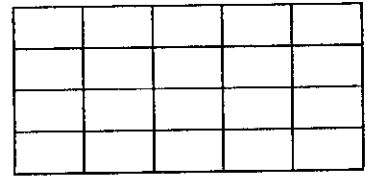
Le dispositif expérimental adopté est le bloc complètement aléatoire à trois répétitions (figure 8). Chaque unité expérimentale comporte 20 plants, ce qui nous donne au total 360 plants pour tout l'essai.



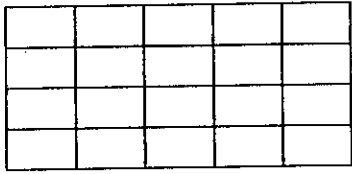
D3



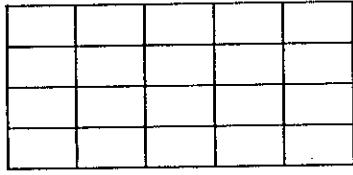
D4



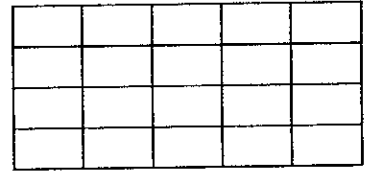
D2



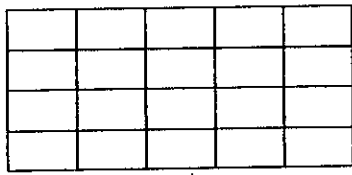
D0



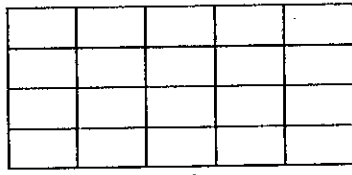
D5



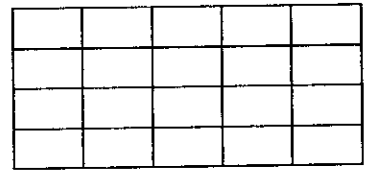
D3



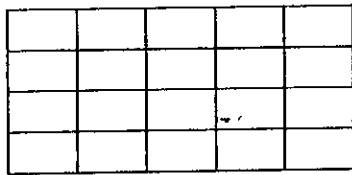
D5



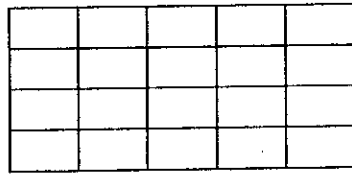
D1



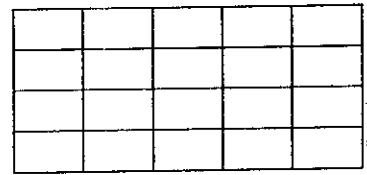
D1



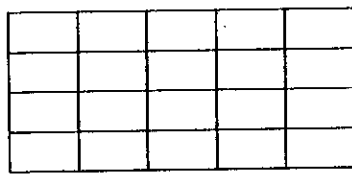
D1



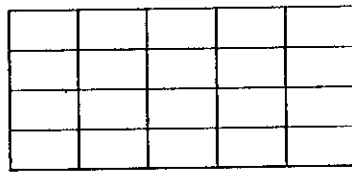
D2



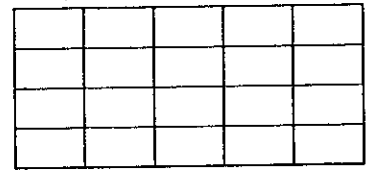
D0



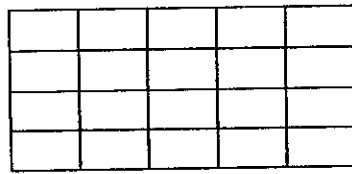
D2



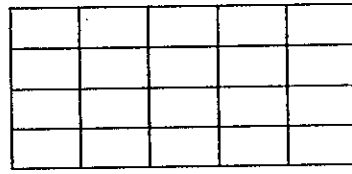
D0



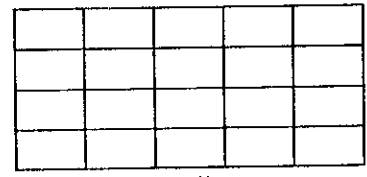
D4



D4



D3



D5

Figure 8. Le dispositif expérimental

2.1.2. Apport calcique

Choix des doses :

Pour simuler les différents types de sols calcaires, les doses ont été choisies sur la base de l'échelle de classification des sols calcaires de Coppenet *et al.* (1986) :

Classement des sols calcaire (d'après Coppenet *et al.*, 1986)

% de CaCO ₃	Dénomination
Moins de 1 %	Non calcaire
1 - 5 %	Très faiblement calcaire
5- 12,5 %	Faiblement calcaire
12,5 - 25 %	Modérément calcaire
25- 37,5 %	Assez fortement calcaire
37,5 - 50 %	Fortement calcaire
Plus de 50 %	Très fortement calcaire

Une progression géométrique entre les doses a été retenue ($D_{n+1} = D_n \times q$, $q = 2$) sauf pour la dose D5 qui représente une dose maximale:

D0 (Témoin) :	0,8% de CaCO ₃ .	D3 :	20 % de CaCO ₃ .
D1 :	5,0 % de CaCO ₃ .	D4 :	40 % de CaCO ₃ .
D2 :	10 % de CaCO ₃ .	D5 :	50 % de CaCO ₃ .

L'équivalent de ces doses à été apporté sous forme de chaux (CaO), Les doses de CaO apportées ont été calculées d'après la formule suivante (Coppenet *et al.*, 1986):

Teneur en calcium (Ca) × 1,4 = teneur en chaux (CaO)

Caractéristique du produit utilisé :

Le produit utilisé est la chaux agricole vive, elle est composée de 70 à 95 % d'oxyde de calcium, 80 % minimum du produit utilisé passe au tamis d'ouverture 0,315 mm. Selon les normes fixées par Gros (1974), on observe que la chaux vive agricole apportée possède une granulométrie dite « pulvérisée », donc c'est un produit à action rapide (Gros, 1974 ; Prats, 1978 et Coppenet *et al.*, 1986).

L'apport proprement dit :

Après la reprise des plants, soit dix jours après leur mise en place, les différentes doses calciques ont été apportées par irrigation, deux litres d'eau pour chaque plant. Les plants témoins ont été arrosés avec la même dose d'irrigation d'eau sans la chaux. Pour observer l'effet de l'enrichissement de ces doses ou le surchaulage, Un deuxième apport calcique a été effectué après 30 jours du premier, la moitié des plants du dispositif ont été traités (figure 9).

2.2. DOSE D'IRRIGATION.

Selon Sine (1976), 80 % des racines des cultures maraîchères denses se trouvent dans les 20 premiers centimètres du sol ($Z_r = 20$ cm) ; La dose théorique d'irrigation pour un plant ayant un système racinaire qui occupe une superficie $S = 625 \text{ cm}^2$ (25 cm x 25 cm) et une profondeur $Z_r = 20$ cm est calculée en utilisant la formule suivante (ITAF, 1995) :

$CU = CR - CF = 45/100 \times \text{poids d'eau contenu dans le sol à CR ou}$

$$CU = 45/100 [(S \times Z_r) \times d \times CR]$$

STATION DE PRELEVEMENT DES PLANTULES : Staouali

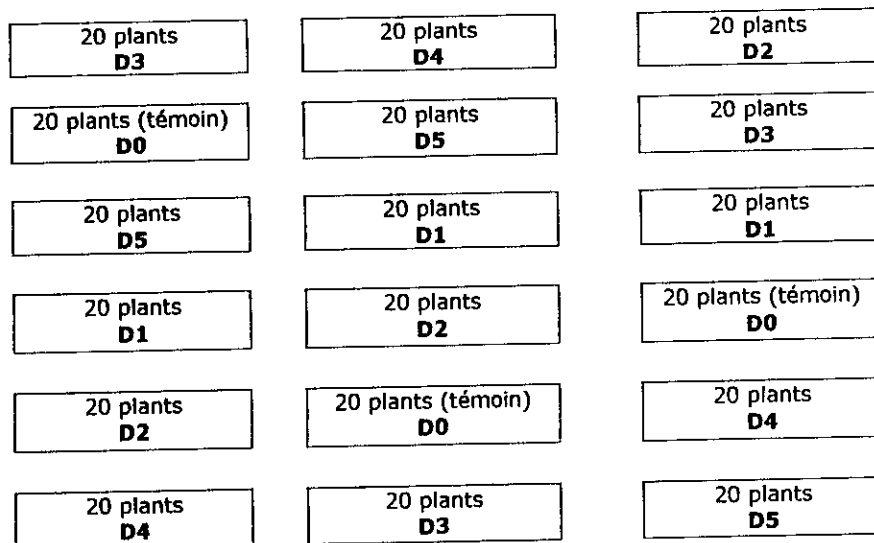
Prélèvements des plantules (4-5 feuilles) et mise en culture

STATION DE CULTURE : Blida

Après 10 jours (reprise)

PREMIER APPORT CALCIQUE

(tous les plants du dispositif sont traités sauf le témoin D0)

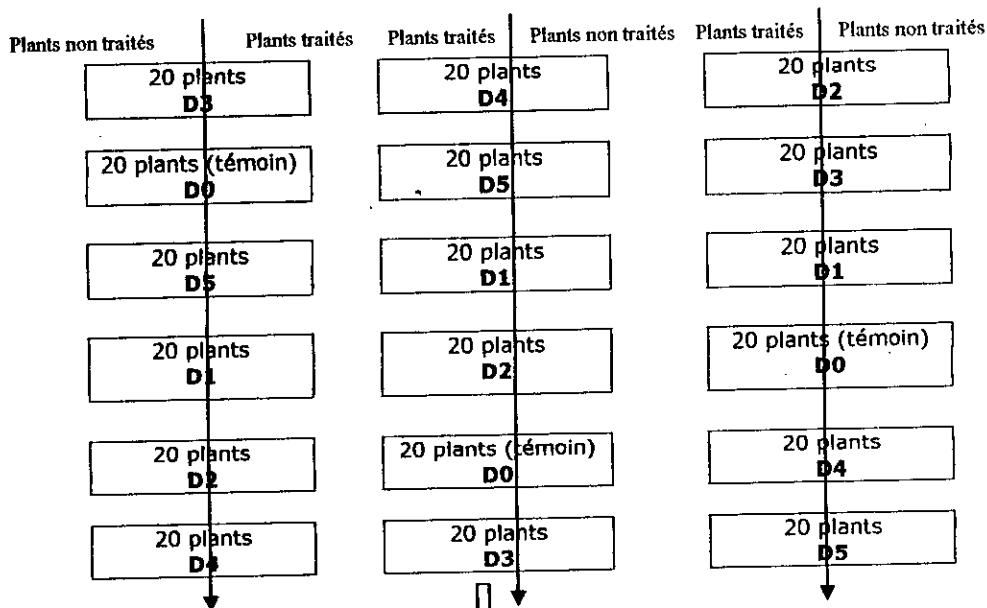


Après 30 jours

Première récolte : 6 échantillons / traitement

DEUXIEME APPORT CALCIQUE

(la moitié des plants du dispositif sont traités)



6 échantillons/ traitement : plants non-traités par un deuxième apport (ou récoltés 45 jours du premier apport)

Après 15 jours
Deuxième récolte

6 échantillons/ traitement : plants traités une deuxième fois (récoltés 15 jours après le deuxième apport)

Figure 9. Schéma du protocole expérimental

CU: Capacité utile.

CR : Capacité de rétention.

CF: Capacité au point de flétrissement.

S : Surface occupée par les racines d'un plant.

Zr : Profondeur occupée par les racines.

d : Densité apparente du sol.

Mesure de la capacité de rétention (CR) :

Un échantillon de 30 g de sol est pris et humecté par remontée capillaire au moyen d'un plan d'eau constant. Après ressuyage, l'échantillon est porté à la centrifugeuse à 1000g pendant 20 minutes, par la suite, 10 g sont prélevés pour déterminer l'humidité par passage à l'étuve à 105 °C.

Calcul de la capacité utile (CU) :

La dose d'irrigation se calcule par rapport au poids du volume de terre du réservoir ($S \times Z_r \times d$); Ceci conduit à recourir à la notion de « poids spécifique du sol en place » qui est obtenu en calculant la densité apparente du sol « d ». La densité apparente « d » est mesurée en utilisant la « Technique du cylindre ». Cette méthode consiste à prélever dans un cylindre métallique à volume connu, une certaine masse de sol qui, une fois séchée à l'étuve, nous permet de calculer « d ». On enfonce le cylindre dans le sol dégagé des débris végétaux sans tasser la terre qui se trouve à l'intérieur. La masse de terre contenue dans le cylindre est récupérée dans une boîte. Cette masse est pesée à l'état humide, puis, elle est portée à l'étuve à 105°C pour avoir le poids sec. La densité apparente « d » est calculée selon la formule suivante :

$$d = p/V$$

P : poids du sol séché à l'étuve ; **V :** volume du cylindre.

Donc, pour un plant de *D. stramonium* cultivé sur un sol limono-sableux d'une densité apparente $d = 1,58 \text{ g/cm}^3$ et une **CR** $\sim 20 \%$, occupant une surface de $S = 625 \text{ cm}^2$ et $Z_r = 20 \text{ cm}$, la dose d'irrigation est calculée comme suite :

$$\text{CU} = 45/100 [(S \times Z_r) \times d \times \text{CR}]$$

Calcul du réservoir : $S \times Z_r = 625 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm}$ ou $0,0625 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 0,0125 \text{ m}^3$.

- Poids d'eau contenu dans le sol à CR :

$$(0,0125 \times 1,58) \times 0,2 = 0,00395 \sim 0,004 \text{ tonnes ou m}^3.$$

**Poids du sol
en place**

CR

$$\text{CU} = 45/100 \times \text{poids d'eau contenu dans le sol à CR} = 0,45 \times 0,004 = 0,0018 \text{ m}^3.$$

La dose d'irrigation est donc $0,0018 \text{ m}^3/\text{plant}$ ou $1,8 \text{ litres/ plant}$, soit près de 2 litres / plant. Chaque plant a été irrigué avec cette dose tout les jours entre 8 et 9 heures durant toute la durée de l'expérimentation.

3. RECOLTE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

Deux périodes de récolte ont été retenues : 30 jours après le premier apport calcique et 15 jours après le deuxième apport calcique (cf. figure 9). A chaque période et pour chaque traitement, nous avons récolté au hasard six plants (parties aériennes) portant trois ramifications pour les différents types d'analyses. Après chaque récolte, les échantillons sont immédiatement pesés et séchés séparément à l'étuve à 60°C comme le recommandent Reda *et al.* (1986) ainsi que Burke (1990) *in* Houmani (1999). Selon ces auteurs, une température de séchage qui oscille entre $50 - 60^\circ\text{C}$ permet une bonne conservation du contenu alcaloïdique dans

les plants. Par la suite, les plants sont broyés et chaque poudre a été mise dans un sachet en papier pour les analyses.

4. DETERMINATION DE LA PHYTOMASSE ET EXTRACTION DU CONTENU ALCALOÏDIQUE

La phytomasse des plants est déterminée par pesée après dessiccation de la matière fraîche à l'étuve à 105 °C durant 24 heures.

Pour l'extraction des alcaloïdes, on a eu recours à la technique décrite par Cosson (1972), et adaptée par Houmani *et al.*(1994). Il s'agit d'une double extraction à ébullition dans 100 ml d'éthanol de 1g de poudre végétale. La solution alcoolique est par la suite évaporée à sec, les impuretés solubles dans l'éthanol sont ainsi éliminées (chlorophylle..etc). Le résidu obtenu est acidifié (H_2SO_4) ; après une agitation, la solution est filtrée et alcalinisée par l'ammoniaque jusqu'à pH = 9,5. Les alcaloïdes sont ensuite purifiés en ajoutant le même volume de chloroforme (V/V) par agitation et un séchage au sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). Après filtration, la solution chloroformique est évaporée à sec. Cet extrait sec correspond aux alcaloïdes totaux.

Pour chaque récolte, nous avons effectué une extraction par partie aérienne de chaque plant, donc six extractions par traitement.

5. COMPOSITION MINERALE DES POUDRES VEGETALES.

L'analyse des tissus végétaux constitue un moyen d'évaluer la fertilité des sols et l'état nutritionnel des plantes. Les analyses chimiques des poudres de la partie aérienne ont porté sur le dosage de l'azote par la Méthode Kjeldahl, et le dosage du calcium, du phosphore, du magnésium et du potassium par méthode triacide $HNO_3 - H_2SO_4 - HClO_4$. Six échantillons (partie aérienne) de la première récolte (30 jours) ont été analysés pour les traitements suivants : D0 (témoin), la dose D1, D2 et D5. Les échantillons de différents traitements prélevés sont lavés à l'eau distillée pour les débarrasser des poussières et séchés dans une étuve à 60 °C pendant 36 heures. La pesée des échantillons après séchage à l'étuve

soude dans un ballon de l'appareil de distillation. Ensuite l'appareil est mis en marche jusqu'à l'obtention d'un volume de 100 ml au moins, puis une titration à l'acide sulfurique (N/20) est faite jusqu'à l'obtention de la couleur initiale de l'indicateur.

La matière azotée totale (MAT) rapportée en pourcentage de matière sèche est donnée par la même formule utilisée pour le sol citée précédemment.

5.2. DOSAGE DU CALCIUM, PHOSPHORE, MAGNESIUM ET POTASSIUM : METHODE TRIACIDE $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HClO}_4$.

L'oxydation par voie humide des échantillons est réalisée par une attaque triacide du type $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HClO}_4$. Une prise d'essai de 2 g est introduite dans un erlen à col conique de 500 ml relié au tube d'évacuation des fumées, raccordé à une trompe à vide (ce dispositif est similaire à celui du minéralisateur de Kjeldahl). Six erlens sont reliés en même temps au tube d'évacuation. La minéralisation est réalisée dans l'ordre suivant :

- Pré- digestion des échantillons :

Dans l'erlen contenant l'échantillon, 5ml de HNO_3 concentré sont rajouté, les erlens sont plongés à mi-hauteur dans un bain-marie pendant 1 heure dont l'eau est à 25 °C. Un témoin est réalisé en deux répétitions contenant le même volume de réactifs que les échantillons et suit les mêmes étapes. On laisse ensuite refroidir les erlens à l'air libre.

- Digestion des échantillons par le mélange triacide $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HClO}_4$:

Le mélange acide est préparé selon le rapport 10/1/4, soit 100 ml de HNO_3 concentré, 10 ml de H_2SO_4 concentré et 40 ml de HClO_4 à 60°C. On rajoute 10 ml du mélange triacide au 2 g de l'échantillon. Les erlens sont installés sur la rampe de minéralisation, la digestion se fait à

200°C. Les fumées sont récupérées par un tube d'évacuation relié à la trompe à vide. La digestion continue jusqu'à ce que l'essentiel des acides soit volatilisé. La digestion est terminée quand la solution obtenue est claire. La solution est ensuite filtrée, le filtrat est transféré dans une fiole de 100 ml et on complète au volume à l'eau distillée.

Le dosage du phosphore se fait par colorimétrie, ceux du potassium, du calcium, et du Magnésium se font par spectrophotométrie

6. LE TRAITEMENT STATISTIQUE

Le traitement statistique des résultats est basé sur l'analyse de la variance suivie de la comparaison multiple des moyennes par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % par le logiciel STATICF. Toutes les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 %.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Au terme de notre expérimentation, nous avons estimé le taux de reprise des plants de *Datura stramonium*, ainsi que le rendement à l'hectare. Nous avons enregistré 27 plants morts sur 360, ce qui nous donne un taux de reprise de 92,5% ; Le rendement à l'hectare pour une densité de plantation de 50 cm x 50 cm est environ 37371 plants/hectare.

1. CONDITIONS CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES STATIONS EXPERIMENTALES.

1.1. CONDITIONS CLIMATIQUES : Températures moyennes et pluviométrie.

Le tableau 1 montre les variations des températures moyennes et de la pluviométrie des deux stations expérimentales (Staouali et Blida). Nous observons que les températures moyennes de la région de Staouali varient de 12,52° C à 25,28° C. Cette région a reçu une pluviométrie de 179,1 mm durant le semestre janvier 2002/ septembre 2002.

En ce qui concerne la station de culture (Blida), les températures moyennes varient de 11,1 à 25,85°C. Durant les mois de culture, les températures moyennes varient de 25,09°C (juin) à 25,85°C (Août). Le cumul de pluviométrie de cette région durant le semestre janvier 2002/ septembre 2002 est de 258,72 mm. En ce qui concerne la période de culture (juin - août), la pluviométrie enregistrée varie de 4,8 mm à 40 mm.

Nous observons d'après le tableau 1, que les variations des températures moyennes et de la pluviométrie des deux stations expérimentales sont semblables.

TABLEAU 1. Caractéristiques climatiques des deux stations : Staouali et Blida.

Mois	Station de prélèvement : Staouali.		Station de culture : Blida.	
	Températures moyennes (C°)	Pluviométrie (mm)	Températures moyennes (C°)	Pluviométrie (mm)
janvier	12,52	30	11,10	33,60
Février	13,15	5,5	12,25	14,25
Mars	15,50	40,2	14,61	67,41
Avril	16,1	54,2	14,67	65,16
Mai	19,45	19,7	19,79	28,40
Juin	23,95	0,6	25,09	4,80
Juillet	24,95	3,7	25,85	5,10
Août	25,28	25,2	25,58	40,00



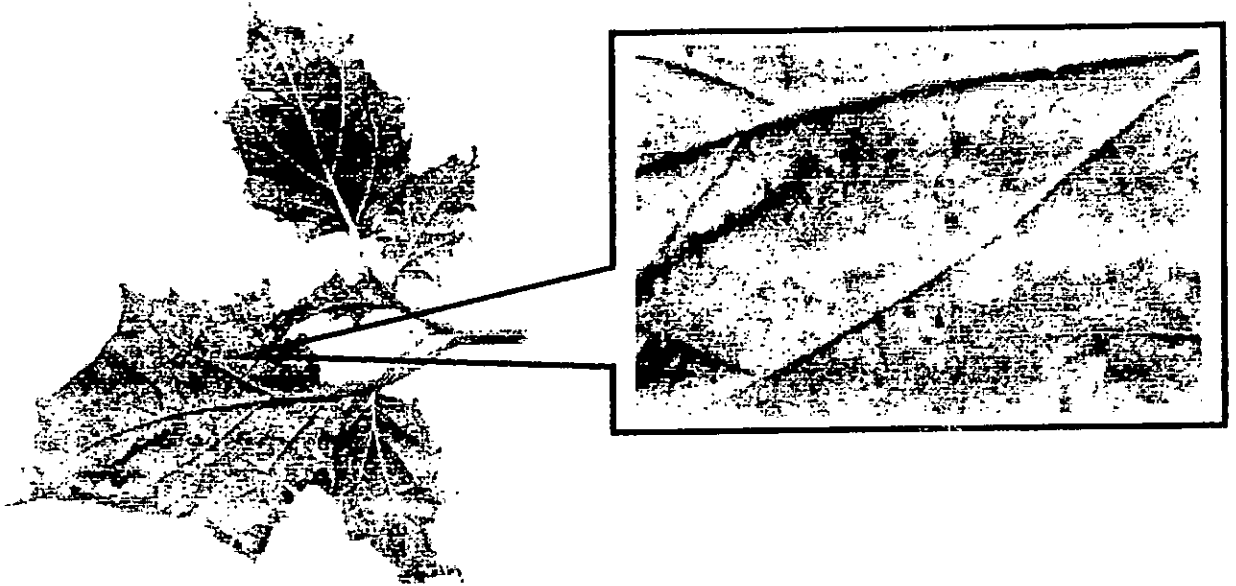


Figure 10. Nécroses et jaunissement sur une feuille attaquée.

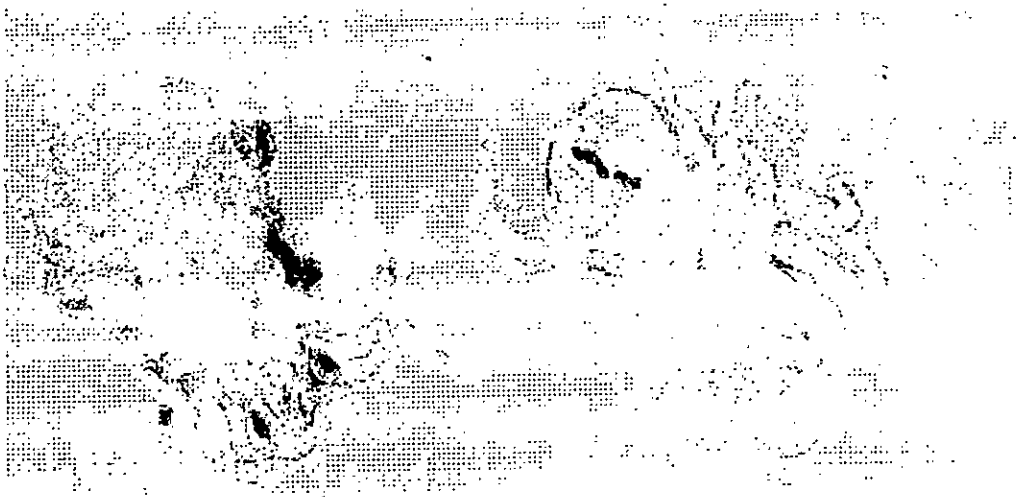


Figure 11. Acariens isolés de feuilles attaquées.

Tableau 2. Caractéristiques édaphiques des deux stations expérimentales.

Caractéristiques du sol	Station de prélèvements des plantes (Staouali)	Station de culture (Blida)
Calcaire total (%)	0,53	0,83
Taux de matière organique (%)	2,06	2,03
Azote total (%)	0,12	0,10
pH _{eau}	6,8	7,2
Conductivité électrique (mmhos/cm à 25°C)	4,02	0,77
Argille (%)	5,88	7,67
Limons (%)	14,98	70,25
L. fin	4,26	16,85
L. grossier	10,72	53,40
Sables (%)	79,25	20,65
S. fin	23,11	8,67
S. grossier	56,14	11,98
Texture	Sablo-limoneuse	Limono-sableuse

Discussion

Coppnet *et al.* (1986) rapportent qu'un sol ayant un taux de moins 1% de CaCO_3 est un sol non calcaire. Les sols des deux stations expérimentales (de prélèvement et de culture) sont donc non calcaires.

Selon Diehl (1975), un sol normal doit renfermer de 2 à 2,5 % de matière organique. Nos résultats se rapprochent de ces normes, les deux sols sont donc moyennement pourvus en matière organique.

Soltner (1988) rapporte qu'un sol qui renferme 0,05 à 0,15 % d'azote total est un sol pourvu en azote. Les deux stations expérimentales sont donc pourvues en azote total.

Un sol qui présente une conductivité électrique de 4 à 8 mmhos / cm est un sol salé, alors qu'un sol qui présente une conductivité électrique de moins 2 mmhos / cm est un sol non salé (Soltner, 1988). Le sol de la station de prélèvement (Staouali) est donc salin, par contre le sol de la station de culture (Blida) est non salin.

Le diagramme de Hennin révèle que la texture du sol de la station de prélèvement est sablo-limoneuse, alors que la station de culture est limono-sableuse.

Conclusion partielle

Les résultats montrent que les deux sols (station de prélèvement et station de culture) diffèrent seulement par leur conductivité électrique et leur texture. En effet, le sol de la station de prélèvement des plantules (Staouali) est plus salin et sa texture est sablo-limoneuse.

1.2.2. Durant la culture : Evolution du calcium échangeable et du pH dans le sol.

Durant la culture, nous avons suivi l'évolution du calcium échangeable et du pH dans le sol. Les résultats obtenus sont représentés par la figure 12. nous observons que :

- Les résultats d'analyse d'échantillons du sol, des plants traités avec le premier apport et récoltés 30 jours après, présentent des variations de calcium échangeable de 14 (D1 : 5 % de CaCO_3) à 32 meq/100 g de sol (D3 : 20% de CaCO_3). Le pH varie de 7,9 (D1 : 5% de CaCO_3) à 9,3 (D5 : 50 % de CaCO_3). Le sol du témoin (D0 : 0,83 % de CaCO_3) par contre présente une teneur en calcium échangeable de 6 meq/100 g de sol, et un pH de 7,2 (D0 : 0,83 % de CaCO_3).

- Pour les sols des plants traités avec le premier apport et récoltés 45 jours après, les teneurs en calcium échangeable varient de 10 (D1 : 5% de CaCO_3) à 36 meq / 100 g de sol (D3 : 20% de CaCO_3). Le pH varie de 7,5 (D1 : 5% de CaCO_3) à 9,1 (D3 : 20% de CaCO_3). Par contre le témoin présente une teneur en calcium échangeable de 6,4 meq / 100 g de sol et un pH de 7,02.

- En ce qui concerne le deuxième apport, les échantillons du sol présentent des teneurs en calcium échangeable allant de 8 (D1 : 5% de CaCO_3) à 38 meq /100g de sol (D3 : 20% de CaCO_3). Le pH varie de 8,1 (D1 : 5% de CaCO_3) à 9,4 (D3 : 20% de CaCO_3). Le témoin contient 6,4 meq/100 de sol de calcium échangeable, et présente un pH de 7,02.

Nous observons que la variation du pH est proportionnelle à celle du calcium échangeable ; Mais il apparaît que cette augmentation se stabilise plus ou moins à partir de la dose D2 (10 % de CaCO_3) et ceci pour l'ensemble des résultats de l'essai.

- Calcium échangeable (meq/100g de sol) - Premier apport calcique (30 jours apres l'apport)
- Calcium échangeable (meq/100g de sol) - Premier apport calcique (45 jours apres l'apport)
- ▲— Calcium échangeable (meq/100g de sol) - Deuxième apport calcique (15 jours apres l'apport)
- pH - Premier apport calcique (30 jours apres l'apport)
- pH - Premier apport calcique (45 jours apres l'apport)
- ▲— pH - Deuxième apport calcique (15 jours apres l'apport)

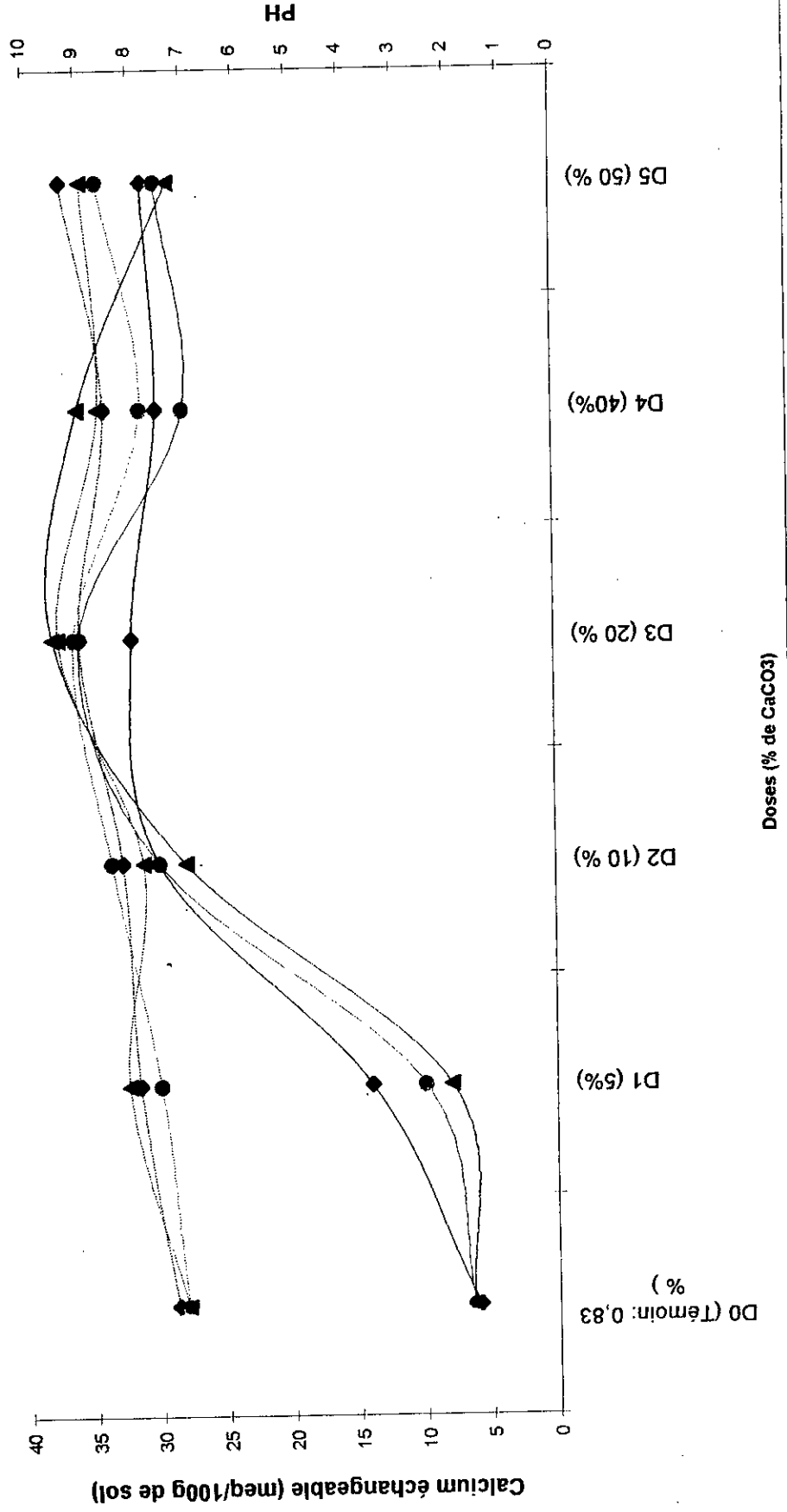


Figure 12. Evolution du calcium échangeable et du pH durant la culture.

Discussion

Coppnet *et al.* (1986) rapportent que la chaux vive est un amendement basique et classent les sols à forte alcalinité à partir d'un pH égal ou supérieur à 8. Les plants de *Datura stramonium* poussent donc sur des sols à forte alcalinité où la teneur en calcium échangeable est élevée.

L'évolution du calcium échangeable se stabilise plus ou moins à partir de la dose D2 (10 % de CaCO_3). Ceci pourrait s'expliquer par le phénomène de la saturation de la solution du sol en calcium échangeable.

Selon Coppnet *et al.* (1986), Le calcium est assimilé par les plants dans un milieu à forte alcalinité. Mais cette dernière pourrait selon Heller (1969) et Coppnet *et al.* (1986) contrecarrer l'absorption de l'azote, du phosphore, du magnésium et des oligo-éléments et constituer ainsi une contrainte pour l'alimentation minérale des plants de *Datura stramonium*.

Conclusion partielle

L'augmentation du calcium échangeable dans la solution du sol a provoqué une augmentation proportionnelle du pH.

2. COMPOSITION MINERALE DES PARTIES AERIENNES DES PLANTS

Nous avons observé l'effet de l'augmentation du pH du sol causé par l'apport calcique sur l'absorption minérale des plants de *Datura stramonium*. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition minérale de la partie aérienne des plants de *Datura stramonium* (30 jours après du premier apport).

Éléments minéraux (%)	Doses (de CaCO ₃)				Signification
	D0 (Témoin : 83 %)	D1 (5 %)	D2 (10 %)	D5 (50 %)	
Azote	8,35 ± 0,36 a	8,48 ± 0,47 a	6,68 ± 0,64 b	7,01 ± 0,83 b	T.H.S
Phosphore	0,7 ± 0,05 a	0,68 ± 0,02 a	0,49 ± 0,018 b	0,53 ± 0,01 b	T.H.S
Potassium	6,1 ± 0,51 -	6,12 ± 0,23 -	6,05 ± 1,38 -	6,3 ± 0,7 -	N.S
Calcium	4,6 ± 0,32 -	4,5 ± 0,66 -	5,01 ± 0,71 -	4,68 ± 0,41 -	N.S
Magnésium	0,44 ± 0,06 -	0,46 ± 0,11 -	0,5 ± 0,1 -	0,42 ± 0,08 -	N.S

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre les différentes doses et la composition minérale des plants en ce qui concerne l'azote et le phosphore. Il en ressort deux groupes homogènes statistiquement différents :

Azote

a : 8,35 et 8,48 % (D0, D1)

b : 6,68 et 7,01 % (D2, D5)

Phosphore

a : 0,7 et 0,68 % (D0, D1)

b : 0,49 et 0,53 % (D2, D5)

Discussion

Seul le taux de l'azote et du phosphore sont affecté par les effets d'une forte alcalinité induite par les doses D2 (10 % de CaCO_3) et D5 (50 % de CaCO_3). Selon Heller (1969), une carence azotée inhibe la croissance végétative et provoque un jaunissement des feuilles ; Une carence en phosphore inhibe aussi la croissance et conduit au rougissement de la tige, du pétiole et des nervures. Cependant, aucun des ces symptômes n'a été observé sur les plants au cours de l'expérimentation. Cette diminution n'a pas atteint un seuil pour provoquer une carence chez les plants

Conclusion partielle

La forte alcalinité du sol induite par l'apport calcique provoque une diminution de l'azote et du phosphore. Ces derniers seraient des éléments très sensibles à la variation du pH que les autres éléments dosés.

3. EFFET DES APPORTS CALCIQUES SUR LA PHYTOMASSE ET LES ALCALOÏDES TROPANIQUES TOTAUX DES PLANTS DE *Datura stramonium*.

Le premier apport calcique a été apporté 10 jours après la mise en place des plantules. 30 jours après cet apport nous avons effectué la première récolte.

Le deuxième apport a été effectué après 30 jours du premier. Ce traitement a concerné la moitié des plants du dispositif expérimental, 15 jours après ce traitement nous avons effectué la deuxième récolte.

3.1. LA PHYTOMASSE

Les résultats obtenus de l'effet des apports calciques sur la phytomasse sont représentés par la figure 13. Pour les différents traitements, la production de la phytomasse des plants de *Datura stramonium* varie de $15,09 \pm 9,27$ g/plant à $24,17 \pm 15,74$ g/plants (plants récoltés 15 jours après le deuxième apport).

Nous observons qu'il n'y a pas évolution de la phytomasse en fonction des doses apportées et durant les deux périodes de traitements.

Discussion

Hodson et Sangster (1988) Rapportent que le calcium augmente la croissance des plantes et par conséquent la phytomasse. Ceci n'a pas été observé durant notre expérimentation ou les résultats traités statistiquement et que l'analyse de la variance ne montre pas de différence significative sur la production de la phytomasse des plants de *Datura stramonium*.

conclusion partielle

Ce travail montre que l'apport calcique n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur la production de la phytomasse des plants récoltés après 30 jours du premier apport, et les plants récoltés 15 jours

□ premier apport calcique - plants récoltés après 30 jours
 ▨ premier apport calcique - plants récoltés après 45 jours
 ▩ deuxième apport calcique - plants récoltés après 15 jours

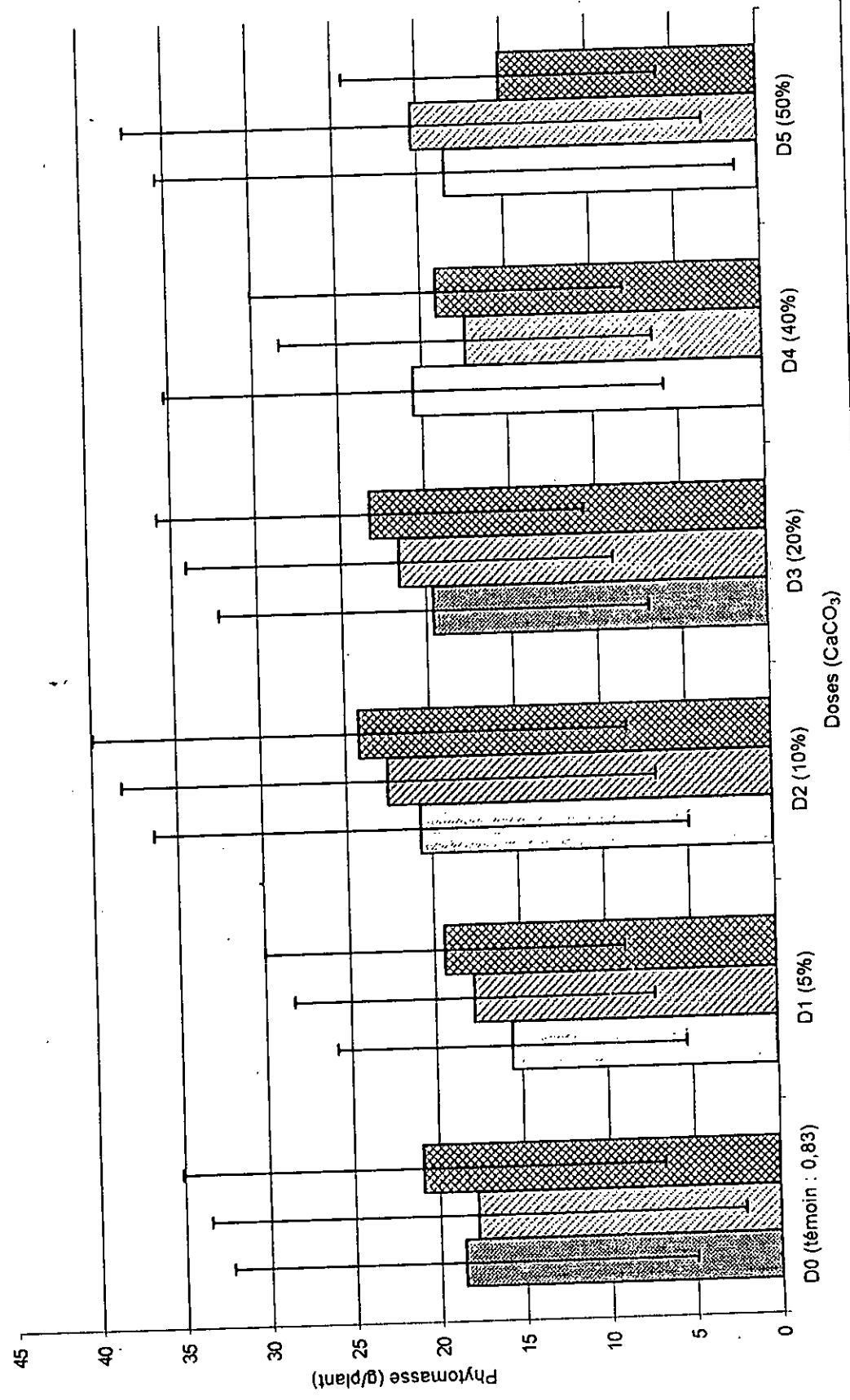


Figure 13. Production de la phytomasse aérienne des plants de *Datura stramonium* en fonction des différents traitements calciques.

3.2. LES ALCALOÏDES TROPANIQUES TOTAUX

L'analyse de la variance des moyennes de plants de *Datura stramonium* récoltés 30 et 45 jours après le premier apport (figure 14) et 15 jours après le deuxième apport (figure 15), révèle qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes doses. Il en ressort trois groupes homogènes statistiquement différents :

Premier apport (plants récoltés 30 jours après)

a : de 1,28 à 1,34 mg / g MS (D2,D3, D4, D5)

b = 0,81 mg / g MS (D1)

c = 0,46 mg / g MS (D0 : Témoin)

Premier apport (plants récoltés 45 jours après)

a = 1,26 à 1,32 mg /g MS (D2, D3, D4,D5).

b= 0,79 mg /g MS (D1).

c = 0,48 mg /g MS (D0 : Témoin).

Deuxième apport (plants récoltés 15 jours après)

a = 1,24 à 1,35 mg /g MS (D2, D3, D4,D5),

b= 0,80 mg /g MS (D1)

c = 0,48 mg /g MS) (D0 : Témoin).

Les résultats statistiques de comparaison des moyennes, montrent qu'il n'y aucune différence significative entre les plants récoltés 30 et 45 jours après le premier apport calcique. De même, ces résultats statistiques montrent qu'il n'y a aucune différence significative entre le premier et le deuxième apport (plants récoltés 15 jours après le deuxième apport).

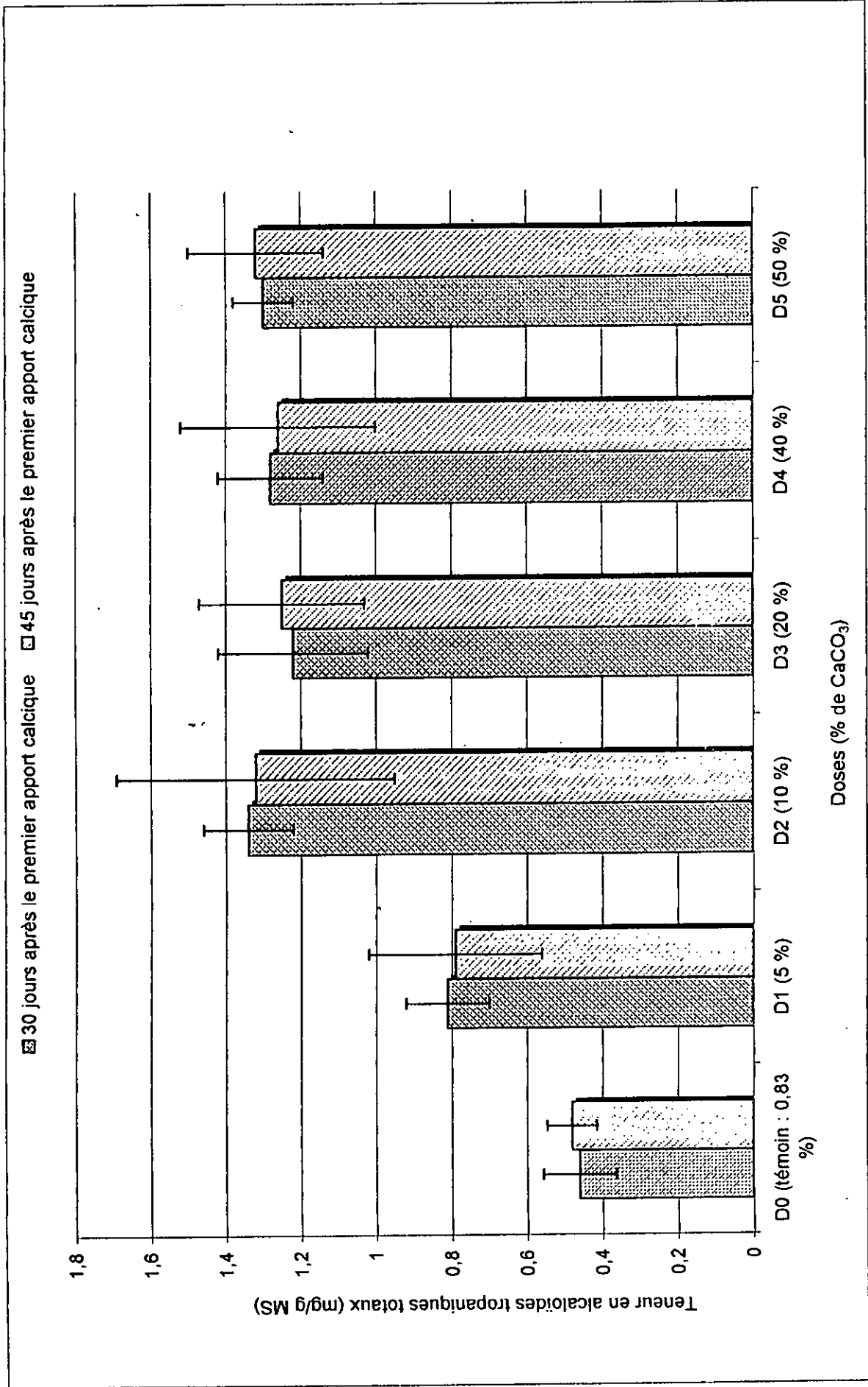


Figure 14. Production alcaloïdique (g/g MS) des parties aériennes de *Datura stramonium* (30 et 45 jours après le premier apport calcique)

Discussion

La figure 14 montre que la teneur en alcaloïdes totaux, des plants traités par le premier apport, augmente proportionnellement à la dose administrée pour les plants récoltés après 30 et 45 jours. Pour ces deux récoltes, les plants traités avec 5% de CaCO_3 (D1) présentent des teneurs deux fois plus supérieures que la teneur du témoin, alors que ceux traités avec 10 % de CaCO_3 (D2) montrent des teneurs trois fois plus élevées que celle du témoin. Les plants traités avec D3 (20 % de CaCO_3) à D5 (50 % de CaCO_3) présentent des teneurs alcaloïdiques comparables à celles des plants traités avec D2.

La figure 15 montre une évolution semblable à la figure 14. Les teneurs alcaloïdiques des plants traités avec un deuxième apport augmentent proportionnellement avec la dose administrée. Les calculs statistiques révèlent trois groupes homogènes : Le témoin avec des teneurs les plus faibles. Les plants traités montrent des teneurs deux fois plus supérieures pour la dose D1 (5% de CaCO_3) et trois fois plus importantes avec des doses plus élevées en CaCO_3 à partir de D2 (10%).

Ces résultats montrent que l'évolution des teneurs en fonction des doses se stabilise plus ou moins au niveau de la dose D2 ; Nous observons que l'évolution du calcium échangeable dans le sol, montre une augmentation dans le même sens (cf. figure 12), à partir de la dose D2 (10 % de CaCO_3) la solution du sol montrerait une saturation en calcium échangeable.

Les 15 jours supplémentaires qui séparent les plants récoltés 30 et 45 jours (traités une seule fois) semblent insuffisants pour apporter une différence significative. De même, les plants traités par un deuxième apport présentent des teneurs semblables à celles des plants qui ont été traités une seule fois.

□ premier apport (plants récoltés 45 jours après)
▨ deuxième apport (plants récoltés 15 jours après)

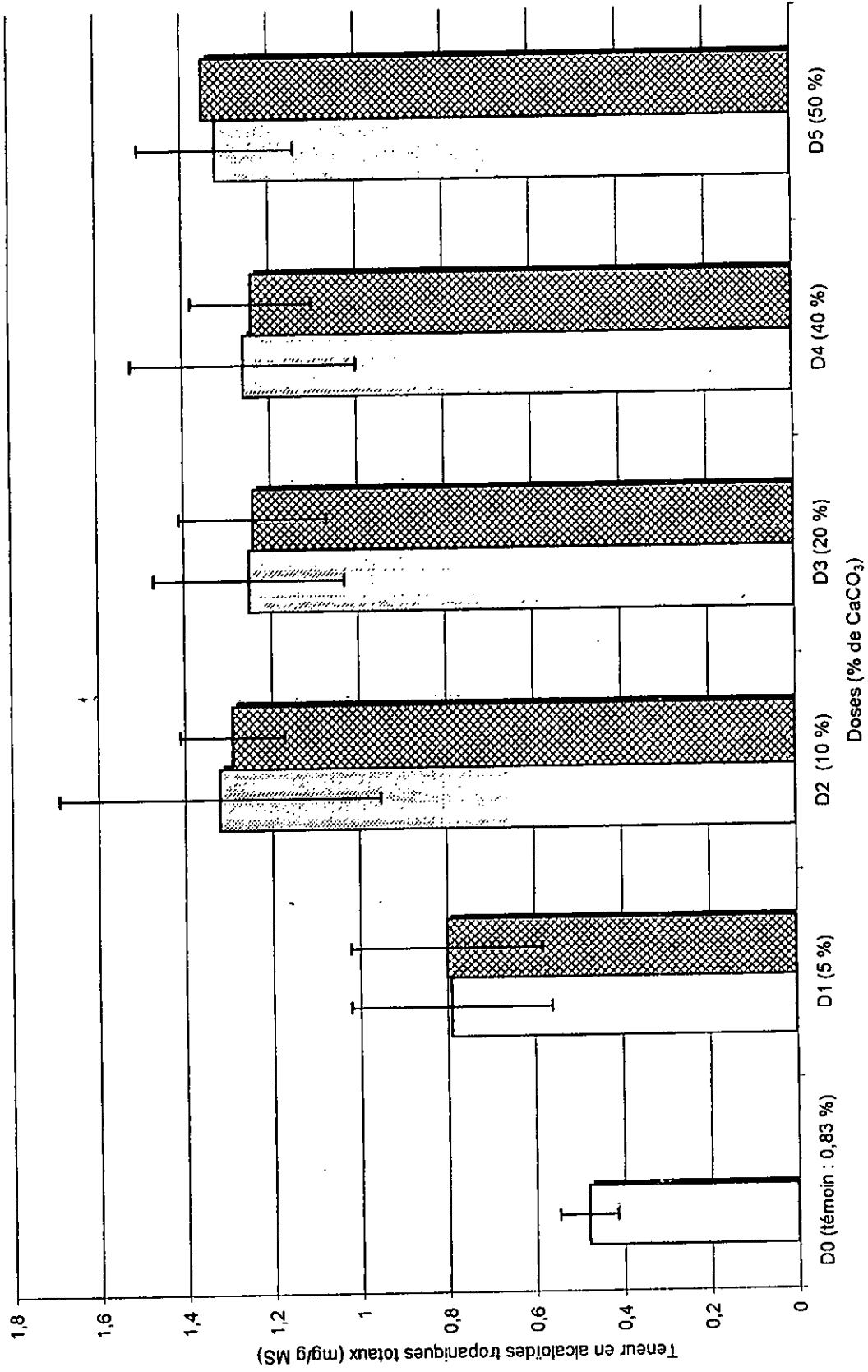


Figure 15. Production alcaloïdique (g/g MS) des parties aériennes de *Datura stramonium* (premier et deuxième apport).