

EFFETS DU SULFOSULFURON SUR LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DES PLANTULES DE SOJA (*Glycine max L*)

KHELIFA N., ABROUS O. et AÏD F.

TPMV, Laboratoire Biologie et Physiologie des Organismes (LBPO), Faculté des Sciences Biologiques, USTHB. BP 32 EL Alia. 16111. Alger.

Tél : 021 24 79 50 ou 64. Fax : 021 24 72 17.

RESUME

Le sulfosulfuron (1-(4,6-diméthoxypyrimidine-2-yl)-3-[(2-éthanesulfonyl-imidazo-[1,2-a]) pyridine] sulfonyleurée) est un herbicide de la classe des sulfonyleurées. Il est utilisé en pré et post-émergence. C'est un herbicide qui n'affecte pas la germination des graines de soja mais plutôt la croissance des plantules (longueur et poids de la matière végétale sèche) en fonction de la dose administrée. Il exerce une action aussi bien sur la morphologie que sur la physiologie des plantules de soja. Il affecte les pigments chlorophylliens et la quantité des sucres des feuilles.

Mots clés : sulfosulfuron, soja, germination, croissance, pigments chlorophylliens, sucres.

ABSTRACT

The sulfosulfuron (1-(4,6-dimethoxypyrimidine-2-yl)-3-[(2-ethane sulfonyl-imidazo-[1,2-a]) pyridine] sulfonyleurea) is an herbicide of the class of sulfonyleurea. It is used in pre and post-emergence.

The sulfosulfuron doesn't act upon the germination of soybean's seeds but upon the growth of seedlings (length and dry weights) in terms of the herbicide dose. It has an action upon the morphology and the physiology of soybean's seedlings. It affects the leaves photosynthetic pigments and the quantity of sugars).

Key words : sulfosulfuron, soybean, germination, growth, photosynthetic pigments, sugars.

1. INTRODUCTION

Durant le développement des plantes cultivées, des adventices apparaissent et entrent en concurrence pour l'eau, la lumière, les éléments minéraux, le dioxyde de carbone et l'espace. Pour éliminer ces adventices, les agriculteurs ont eu recours tout d'abord au désherbage manuel, puis grâce au progrès scientifique et technologique, le désherbage chimique a pris le relais, d'abord par l'emploi d'herbicides minéraux puis celui d'herbicides organiques à partir de la deuxième guerre mondiale (SCALLA, 1991). L'utilisation de ces herbicides a permis des gains considérables de temps et de productivité.

Les herbicides sont toxiques pour toutes les plantes ; seule la dose peut déterminer la sélectivité. Le choix de la dose adéquate est très important, car à forte dose cette sélectivité disparaît. Un herbicide est efficace lorsqu'il détruit spécifiquement ou sélectivement les adventices sans affecter la plante cultivée.

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressées aux sulfonylurées qui sont des herbicides non nocifs pour l'environnement, non polluant le sol, car ils sont non rémanents et biodégradables (Battaglin et al., 2000). Ils ont pour cible principale l'acétohydroxyacide synthétase appelée aussi acétolactate synthétase, première enzyme des étapes parallèles de la voie de biosynthèse des acides aminés à chaîne ramifiée (valine, leucine et isoleucine), qui sont parmi les dix acides aminés essentiels non synthétisés par la cellule animale. Dans ce travail, nous avons étudié les effets du sulfosulfuron utilisé en pré-émergence (la germination) et en post-émergence (le début de croissance des plantules de soja), en recherchant la dose qui serait la moins nocive pour le soja, tout en affectant les adventices.

2. MATERIELS ET METHODES

Les graines de soja *Glycine max L*, variété Sponsor, ont été fournies par Rustica-semences Mondonville-France.

Le sulfosulfuron est un herbicide de la société Monsanto, commercialisé sous le nom d'Apyros. Il se présente sous forme de granulés à disperser dans l'eau et contenant 76.53% de matière active. Il est utilisé en le désherbage du soja (Index phytosanitaire, 1999).

Nous avons choisi des concentrations supérieures ($10^{-3}M$) et inférieures (10^{-5} et $10^{-6}M$) à celle utilisée par les agriculteurs au champ ($10^{-4}M$).

Dans un premier temps, nous avons testé les effets du sulfosulfuron utilisé en pré-émergence sur la germination et la croissance. Les graines de soja sont désinfectées dans de l'eau de Javel, abondamment rincées puis imbibées pendant 3 heures dans de l'eau distillée. Par la suite les graines mises à germer sont arrosées le premier jour avec les solutions du sulfosulfuron à différentes concentrations (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} et $10^{-6}M$), puis avec de l'eau distillée.

La germination est mesurée en comptant le nombre de graines germées pour les différentes concentrations. Les longueurs des racines et des parties aériennes ont été mesurées et sont exprimées en millimètres. Chaque donnée représente la moyenne de vingt individus.

Dans un deuxième temps, nous avons testé les effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur la croissance. Pour cela, des graines imbibées dans de l'eau distillée, sont mises à germer et arrosées avec de l'eau distillée. Dès la sortie de la radicule, les plantules sont transférées dans des pots. Au stade premières feuilles (plantules âgées de 12 jours), les différentes doses du sulfosulfuron sont pulvérisées (10 ml).

A ce stade, la longueur des plantules entières est déterminée à partir d'un calcul de la moyenne de six individus différents.

La matière sèche des plantules entières est obtenue après dessiccation totale des plantules pendant 48 heures dans une étuve réglée à $60^{\circ}C$. Le résultat est la moyenne de six individus.

2.1. Extraction et dosage des pigments foliaires

L'extraction des pigments chlorophylliens est réalisée dans de l'acétone à 80%. La teneur en chlorophylles et en caroténoïdes est déterminée selon les équations de LICHTENTHALER (1987) et exprimée en $mg.g^{-1}$ de MVF. Pour chaque essai trois extractions ont été réalisées.

2.2. Extraction et dosage des sucres solubles et d'amidon

Les sucres solubles et l'amidon sont extraits dans de l'éthanol ; ils sont dosés à l'anthrone selon la méthode de Mc READY (1950). Le résultat est la moyenne de six individus.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Effet du sulfosulfuron utilisé en pré-émergence

Nos résultats ont montré que le sulfosulfuron ne semble pas agir de manière très importante sur la germination des graines de soja. En effet, le 9^e jour de traitement, nous notons que la dose 10^{-6} M n'affecte pas la germination des graines, les doses 10^{-5} , 10^{-4} et 10^{-3} M provoquent respectivement des réductions des pourcentages de germination de l'ordre de 4%, 7% et 9%.

D'une manière générale, peu d'herbicides agissent sur la germination. Les plus connus qui agissent sur la germination sont les carbamates, les amides ou encore les chlorocétamides (SCALLA, 1991).

Même si le sulfosulfuron n'agit pas sur la germination des graines de soja, la croissance future des plantules est affectée. En effet, la figure 1A montrant la croissance en longueur des racines des plantules témoins en fonction du temps montre que les racines apparaissent après un temps de latence de 24 heures. Sous l'effet du sulfosulfuron, les courbes de croissance des racines présentent une cinétique similaire à celle du témoin, mais, elle diminue en fonction de la dose administrée. Nous notons des réductions de l'ordre de 14%, 49% et 62% le 9^e jour du traitement en fonction des doses respectives 10^{-6} , 10^{-4} et 10^{-3} M.

La courbe de l'évolution de la longueur des parties aériennes en fonction du temps des plantules témoins (fig.1B) est de type sigmoïde et présente trois phases : la première phase de latence qui dure deux jours (le 3^e jour correspond au début du soulèvement de l'hypocotyle), la croissance

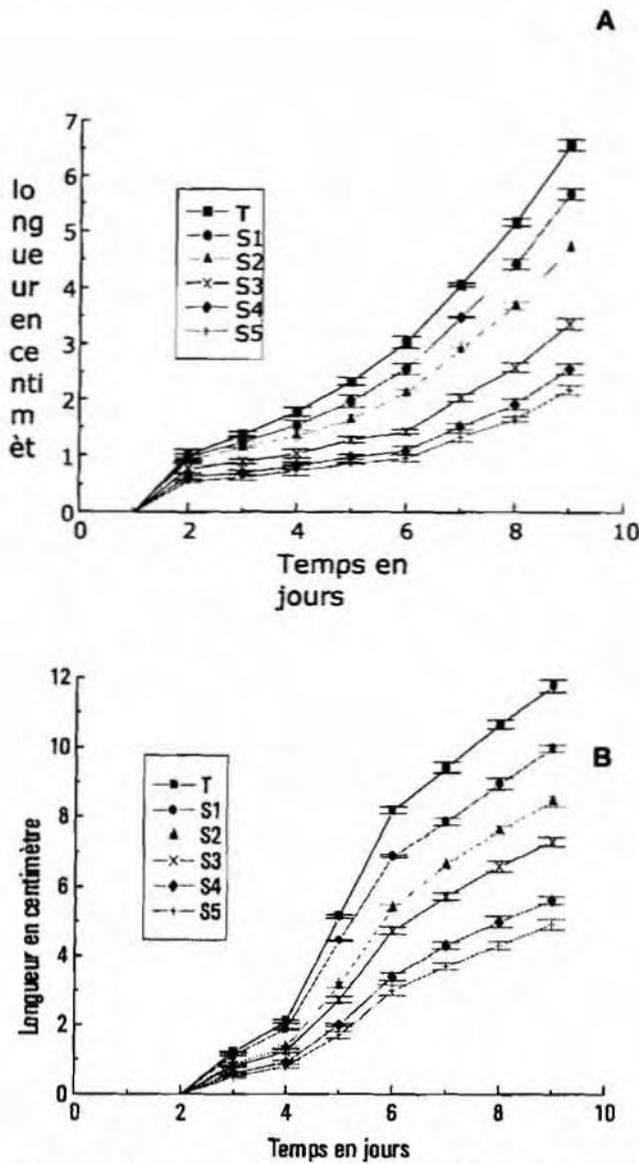


Figure 1 : Effets du sulfosulfuron utilisé en pré-émergence sur la croissance en longueur des racines (A) et des parties aériennes (B) des plantules de soja. T=témoin, S1=10⁻⁶M, S2=10⁻⁵M, S3=10⁻⁴M, S4=10⁻³M, S5=graines imbibées dans la solution 10⁻³M. (Chaque point correspond à la moyenne 20 individus différents).

en longueur se manifeste lentement. En effet, au 4^e jour de croissance, nous notons 9 mm d'augmentation. Sous l'effet du sulfosulfuron, la croissance présente une cinétique similaire à celle du témoin, avec des réductions de croissance qui sont d'autant plus prononcées que la dose en herbicide est élevée. En effet, les taux de réduction de 15%, 38% et 52% le 9^e jour du traitement respectivement pour les doses 10^{-6} , 10^{-4} et 10^{-3} M de sulfosulfuron.

3.2. Effet du sulfosulfuron utilisé en post-émergence

Après pulvérisation du sulfosulfuron à différentes doses, la taille des plantules stressées au stade premières feuilles diminue en fonction de la dose de l'herbicide (photo.1). La dose 10^{-3} M a été éliminée car elle a provoqué la mort des plantules.

Les plantules témoins croissent régulièrement en fonction du temps ; nous enregistrons une augmentation régulière de la croissance au niveau des racines et des tiges (fig.2). Les plantules traitées au sulfosulfuron suivent la même cinétique. La dose 10^{-6} M ne semble pas affecter la croissance en longueur des racines et des tiges. La dose 10^{-4} M provoque une légère réduction de la croissance des racines principales par rapport au témoin, cette réduction est de 6% le 5^e jour. Les tiges présentent des réductions plus importantes de la longueur au long des cinq jours. Le 5^e jour, la réduction est de 35% (fig.2).

Les courbes d'évolution du poids de la matière végétale sèche des racines et des tiges des plantules témoins sont de types sigmoïdes (fig.3). La faible dose en sulfosulfuron 10^{-6} M, ne présente pas d'effet significatif sur l'évolution de la matière végétale sèche. Les doses plus importantes 10^{-5} et 10^{-4} M provoquent un retard dans la croissance. Nous notons des réductions de la matière végétale sèche de l'ordre de 9 et 12% au niveau des racines et de l'ordre de 25 et 36% au niveau des tiges le 5^e jour du traitement, sous l'effet des doses respectives 10^{-5} et 10^{-4} M (fig.3).

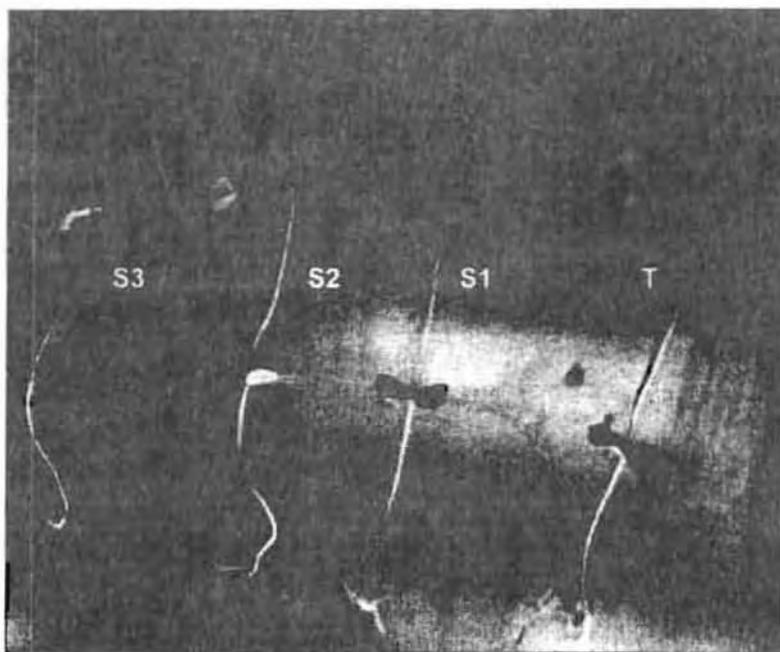


Photo 1 : Effet du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur les plantules de soja, 12 jours après pulvérisation.
T= témoin, S1= 10^{-6} M, S2= 10^{-5} M, S3= 10^{-4} M.

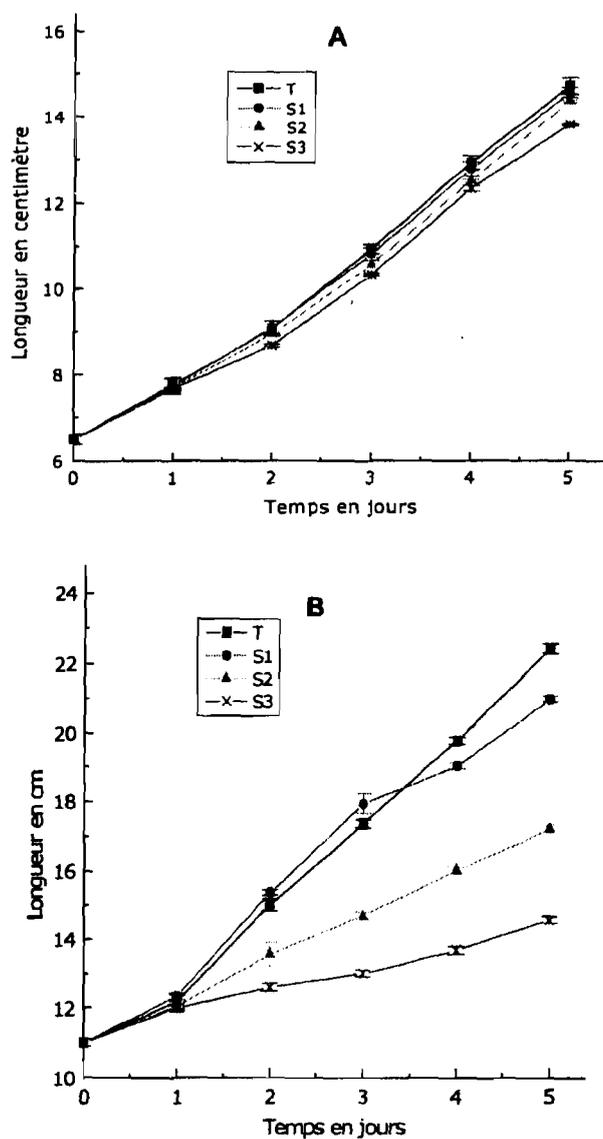


Figure 2 : Effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur la croissance en longueur des racines (A) et des tiges (B) des plantules de soja. T=témoin, S1=10⁻⁶M, S2=10⁻⁵M, S3=10⁻⁴M. (Chaque point correspond à la moyenne 3 individus différents).

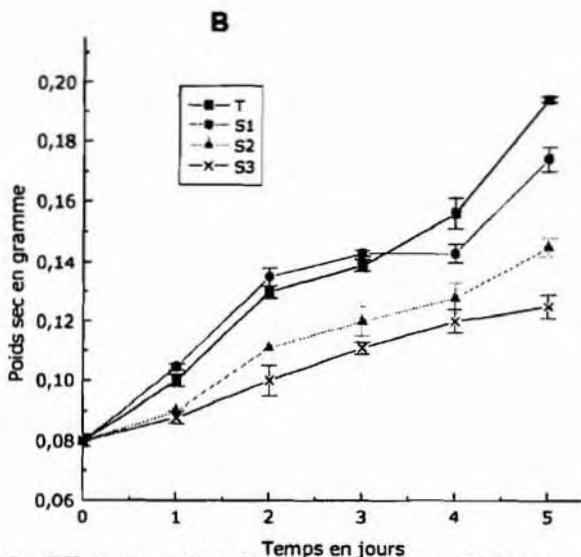
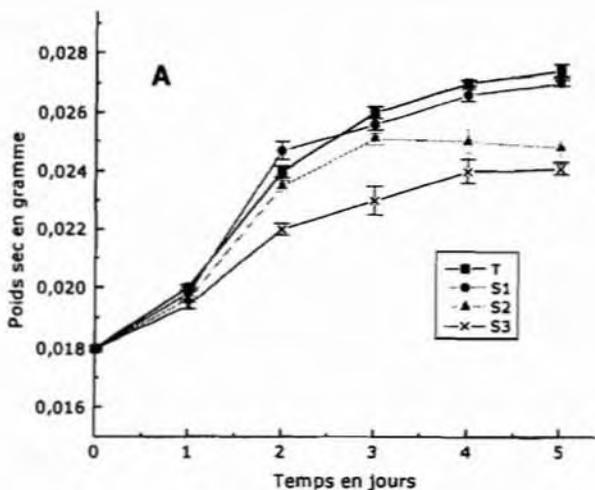


Figure 3 : Effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur le poids sec des racines (A) et des tiges (B) des plantules de soja. T=témoin, S1=10⁻⁶M, S2=10⁻⁵M, S3=10⁻⁴M. (Chaque point correspond à la moyenne 3 individus différents).

3.2.1. Effet du sulfosulfuron sur la morphologie des feuilles

Les feuilles des plantules témoins sont vertes, les premières sont unifoliées (photo.2A), les feuilles suivantes sont trifoliées et se répartissent sur de nombreuses ramifications.

Les premières feuilles des plantules traitées à la dose 10^{-6} M sont identiques à celles des plantules témoins du point de vue couleur et taille. Chez les plantules traitées à une dose plus importante 10^{-4} M l'herbicide a occasionné au bout de 24 heures une dépigmentation des feuilles ainsi que des nécroses (photo.2). Celles ci seraient le résultat de l'effet de contact de l'herbicide sur les feuilles.

Les feuilles formées après l'application de l'herbicide sont de taille plus petite ; cette diminution de taille est d'autant plus importante que la dose en herbicide est élevée (photo 3). En effet, pour la faible dose 10^{-6} M la réduction de la surface foliaire est de 15%, ce pourcentage d'inhibition s'élève avec les doses les plus fortes pour atteindre la valeur de 36 et 57% pour les doses 10^{-5} et 10^{-4} M.

Les feuilles néoformées présentent une dépigmentation et donc des chloroses pour toutes les concentrations en herbicides utilisées (photo.3).

Le sulfosulfuron a un effet négatif sur la croissance des tiges des plantules de soja. En effet, les plantules traitées à l'herbicide présentent une baisse de croissance (longueur, poids sec) par rapport aux plantules témoins ; cette baisse est d'autant plus prononcée que la dose en herbicide est importante. Le sulfosulfuron a provoqué également des nécroses au niveau des premières feuilles, ainsi que des réductions de la taille et des chloroses au niveau des deuxième feuilles des plantules de soja.

D'après nos résultats, les racines sont moins touchées que les tiges, ceci peut avoir une relation avec la mobilité des sulfonilurées à travers le phloème. BEYER et al. (1988), ont montré que 1 à 20% des sulfonilurées appliqués au niveau des feuilles, sont transportés vers les tiges et seulement 0.1 à 5% sont transportés vers les racines.

La réduction de la croissance résulte de l'inhibition de l'AHAS qui provoque l'accumulation du 2-aminobutyrate (produit de transamination du 2-cétobutyrate), inhibiteur de la division cellulaire en phases G1 et/ou G2 et de l'incorporation de la thymidine dans l'ADN (ROST, 1984; REYNOLDS, 1986).

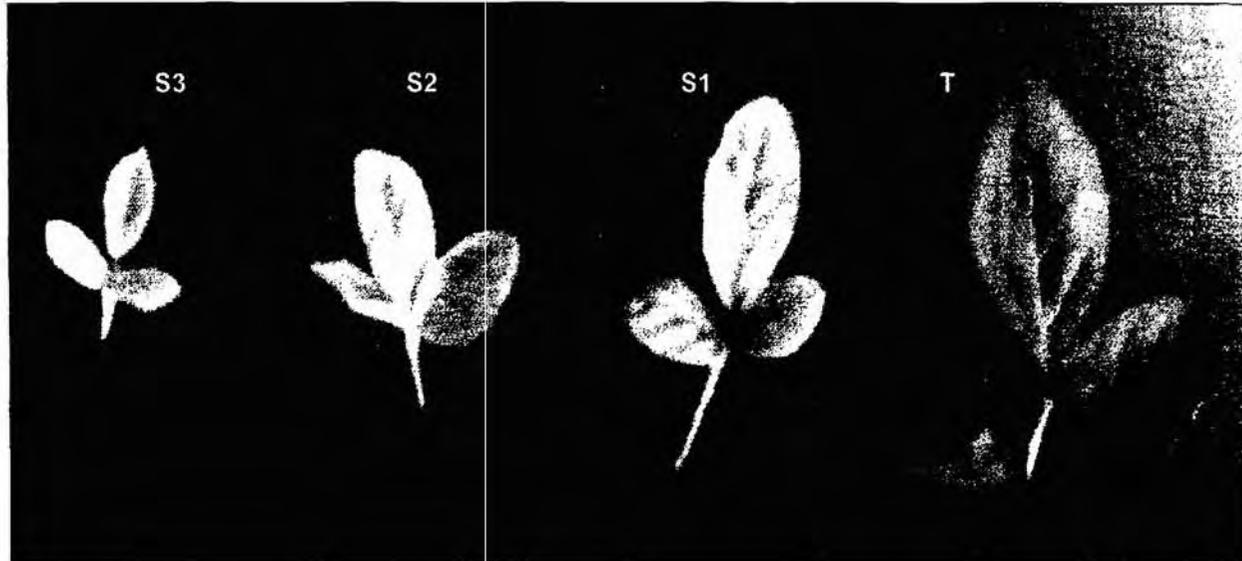


Photo 3 : Effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur les feuilles formées après pulvérisation des plantules de soja. T= témoin, S1= 10^{-6} M, S2= 10^{-5} M, S3= 10^{-4} M.

La réduction de la croissance sous l'effet des sulfonylurées est également observée au niveau des micro-organismes provoquée par l'accumulation du 2-cétoobutyrate qui interfère avec la synthèse de la méthionine en inhibant la formation du succinyl CoA (LA ROSSA et SCHLOSS 1984 ; LA ROSSA *et al.* 1987).

L'inhibition de l'AHAS entraîne également la diminution du pool des acides aminés à chaîne ramifiée: valine, leucine et isoleucine (ROST et REYNOLDS, 1985 ; SHANER et REIDER, 1986 ; ROST *et al.* 1990 ; SHANER et SINGH 1997). Ces auteurs, ont montré que l'inhibition des mitoses et de la synthèse d'ADN, peuvent être reversées par l'addition de ces acides aminés, mais la base de cette interaction n'est pas bien comprise.

3.2.2. Effet du sulfosulfuron sur le métabolisme cellulaire

A - Effet du sulfosulfuron sur la teneur en pigments chlorophylliens

La figure 4 montre que la quantité des pigments chlorophylliens dans les feuilles témoins augmente jusqu'au 3^e jour, puis elle diminue régulièrement. En effet, la quantité des chlorophylles totales et des caroténoïdes est respectivement de 1.8 et de 0.23 mg/g de MVF le 1^{er} jour, elle passe à 2.3 et 0.26 mg/g de MVF le 3^e jour, pour atteindre les valeurs respectives de 1.9 et 0.22 mg/g de MVF le 5^e jour.

La quantité de chlorophylles totales et des caroténoïdes des feuilles des plantules traitées à la dose 10^{-6} M et 10^{-5} M suit la même évolution que celle des feuilles des plantules témoin; les feuilles demeurent vertes même après cinq jours de traitement, et le dosage n'a montré que de légères diminutions par rapport au témoin.

La forte dose 10^{-4} M entraîne une diminution régulière de la teneur en pigments en fonction du temps. La réduction par rapport au témoin des chlorophylles et des caroténoïdes est de 46 et 29% le 5^e jour du traitement (fig.4).

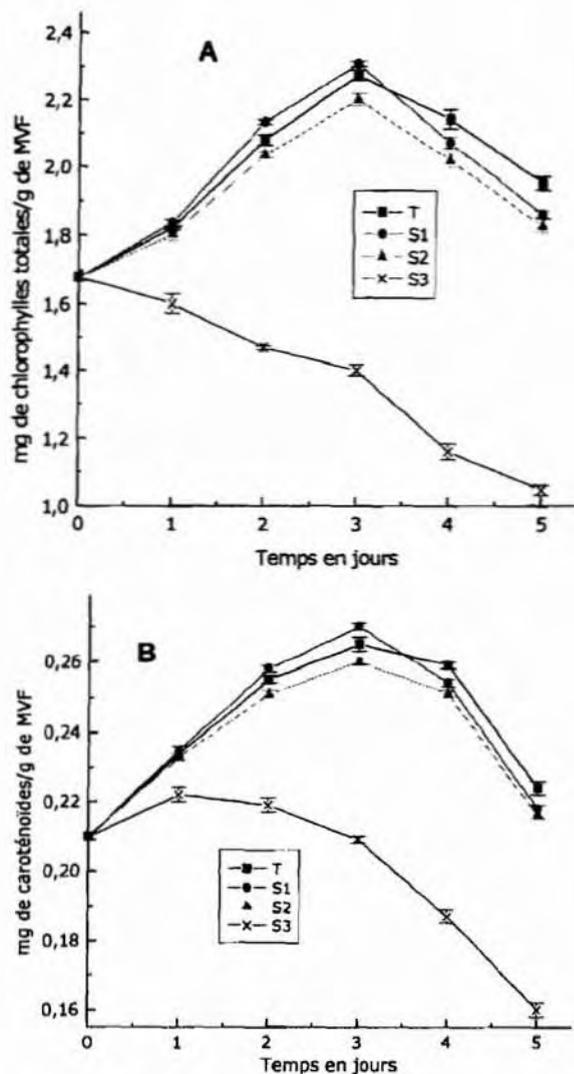


Figure 4 : Effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur la teneur en pigments chlorophylliens, chlorophylles totales (A) et caroténoïdes (B) des premières feuilles des plantules de soja. T=témoin, S1= 10^{-6} M, S2= 10^{-5} M, S3= 10^{-4} M. (Chaque point correspond à la moyenne 3 individus différents).

Le sulfosulfuron altère peu la pigmentation des organes verts existants avant le traitement, les feuilles ressemblent à celles des témoins du point de vue couleur et taille. Les nécroses observées sous l'effet de la dose 10^{-4} M seraient le résultat de l'effet de contact de l'herbicide à des fortes concentrations avec les cellules foliaires, ce qui traduirait une dégradation plus importante de la quantité des pigments chlorophylliens.

Le faible effet du sulfosulfuron sur les chlorophylles totales (a+b) et les caroténoïdes, nous amène à penser que la photosynthèse est peu affectée. En effet, RAY (1982 ; 1984) a constaté que le chlorsulfuron n'a pas d'effet significatif sur les réactions claires de la photosynthèse.

B - Effet du sulfosulfuron sur les glucides

L'effet du sulfosulfuron sur le métabolisme glucidique peut être étudié par une analyse de l'évolution des sucres solubles en relation étroite avec l'évolution de l'amidon, forme de réserve énergétique dans la cellule végétale.

Les feuilles des plantules traitées, présentent une accumulation des sucres solubles proportionnelle à la dose. En effet, au 5^e jour du traitement la quantité des sucres solubles de 0.4 mg/g de MVF sous l'effet de la dose 10^{-4} M à 0.9 et 1.4 mg/g de MVF sous l'effet des doses respectives 10^{-5} et 10^{-4} M (fig.5A).

Ce résultat a été observé par SHANER et REIDER (1986), en effet une accumulation des sucres neutres dans les feuilles traitées de *Zea mays* a été observée juste après l'application des sulfonilurées. L'augmentation des sucres des feuilles a été également observée sous l'effet d'imazapyr qui est un herbicide appartenant à la classe des imidazolinones (SHANER et SINGH, 1997).

Par contre, la teneur en amidon des feuilles des plantules témoins diminue graduellement pendant les cinq jours d'expérimentation, ce qui correspondrait à une réduction de la synthèse d'amidon.

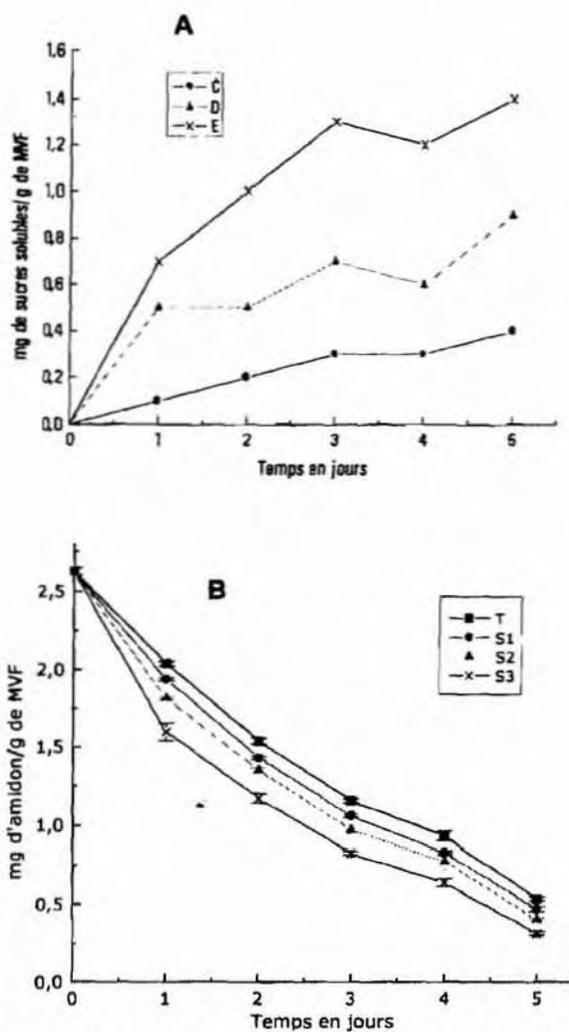


Figure 5 : Effets du sulfosulfuron utilisé en post-émergence sur l'accumulation des sucres solubles (A) et sur la quantité d'amidon (B) des premières feuilles des plantules de soja. C=T-S1, D=T-S2, E=T-S3 (erreur de 5%), T=témoin, S1= 10^{-6} M, S2= 10^{-5} M, S3= 10^{-4} M. (Chaque point correspond à la moyenne 3 individus différents).

Chez les feuilles traitées avec différentes concentrations du sulfosulfuron, nous notons une cinétique similaire à celle des feuilles témoins avec des valeurs inférieures et des réductions en fonction des doses administrées. Nous notons une réduction 42% le 5^e jour du traitement avec la dose 10^{-4} M.

L'augmentation de la quantité des sucres est due à une augmentation (147%) de la teneur en saccharose au niveau des feuilles de *Thlaspi arvense* L. Cette augmentation des sucres, particulièrement du saccharose dans les feuilles traitées indiquerait que le chlorsulfuron n'affecte pas la synthèse des sucres, mais plutôt le transport à travers le phloème (KIM et VANDEN BORN, 1996).

BESTMAN et al. (1990), ont montré chez les feuilles de *Thlaspi arvense* L. que la translocation des photosynthétats en dehors des feuilles est inhibée de 70% 12 heures après l'application du chlorsulfuron. Ils ont aussi noté que les feuilles traitées contiennent 50% plus de sucres et 70% d'acides aminés que les feuilles témoins 30 heures après le traitement.

Cette réduction du transport serait le résultat de l'inhibition des protéines impliquées dans le transport du saccharose dans le phloème. Le retard de translocation des photosynthétats n'est toujours pas clair. Il est aussi possible que la réduction de la croissance des tiges réduit la demande de ces dernières en photosynthétats. Cette réduction peut résulter d'une faible accumulation des photosynthétats dans le phloème, ce qui inhiberait leur transport en dehors des feuilles.

Cette inhibition de translocation pourrait être due aussi à une interférence avec l'accumulation du saccharose, et elle peut être levée en ajoutant des acides aminés à chaîne ramifiée aux plantes, ce qui explique que l'inhibition du transport des photosynthétats est liée donc à l'inhibition de la synthèse des protéines et donc de la synthèse des transporteurs des sucres (saccharose)..

La réduction de la teneur en amidon est le résultat partiel de l'augmentation des sucres. La synthèse d'amidon diminue au profit de celle du saccharose (BESTMAN et al., 1990).

L'augmentation des sucres solubles après le traitement est probablement le résultat de deux phénomènes. Les sulfonylurées n'affectent peu ou pas la photosynthèse (RAY, 1982; SHANER et REIDER, 1986), la quantité de nouveaux photosynthétats n'est donc pas affectée par le traitement. Les sulfonylurées inhiberaient le transport des photosynthétats

des feuilles vers les organes puits de la plante à travers le phloème (VANDEN BORN et *al.*, 1988; DEVINE, 1989; HALL et DEVINE, 1990 ; SINGH et SHANER, 1995 ; SINGH, 1999).

4. CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous avons montré que le sulfosulfuron est un herbicide qui n'agit pas sur la germination des graines de soja mais plutôt sur la croissance; il exerce une action aussi bien sur la morphologie que sur la physiologie des plantules de soja.

Le sulfosulfuron entraîne des chloroses et des diminutions de la taille au niveau des feuilles néoformées; les feuilles préexistantes ne sont affectées que par la forte dose 10^{-4} M, qui provoque une dépigmentation et des nécroses qui seraient le résultat de l'effet de contact de l'herbicide avec les cellules foliaires.

Ainsi, nos résultats montrent une réduction de la croissance en fonction de la dose administrée. La quantité des pigments photosynthétiques est affectée par la dose 10^{-4} M du sulfosulfuron, qui serait le résultat de l'effet de contact.

Ces symptômes morphologiques sont le résultat de multiples modifications des mécanismes physiologiques. La cible principale du sulfosulfuron est l'acétohydroxyacide synthétase (acétolactate synthétase) enzyme impliquée dans la voie de biosynthèse des acides aminés à chaîne ramifiée : valine, leucine et isoleucine.

Une autre conséquence de l'inhibition de la synthèse des acides aminés à chaîne ramifiée est l'accumulation des photosynthétats (glucides), qui serait due à l'inhibition de la synthèse des protéines responsables du transport des glucides des feuilles aux organes puits à travers le phloème.

Ces résultats montrent que la voie de biosynthèse des acides aminés à chaîne ramifiée est importante non seulement dans la synthèse des protéines, mais aussi dans d'autres processus du métabolisme cellulaire de la plante, tel que le métabolisme glucidique.

La dose 10^{-4} M utilisé en champ est la dose qui a les effets les plus négatifs sur la plante de soja, ce qui va affecter la productivité.

Un herbicide sélectif détruit les adventices à des doses n'affectant pas la plante cultivée ni du point de vue morphologique ni physiologique. Pour le soja la faible dose 10^{-5} M est intéressante, il reste à savoir si elle détruit les adventices. La dose 10^{-4} M utilisée par les agriculteurs au champs, est nocive pour le soja.

Ce qui nous amène bien souvent à raisonner en termes de compromis sur des doses permettant une efficacité maximale à l'égard des adventices, tout en entraînant pas d'effet toxique sur la culture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BATTAGLIN W.A., FURLONG E.T., BURKHARDT M.R. et PETER C.J., 2000.** – Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. *Sci. Tot. Envr.*, 248 : 123 – 133.
- BESTMAN H.D., DEVINE M.D. et VANDEN BORN W.H., 1990.** – Herbicide chlorsulfuron decreases assimilate transport out of treated leaves to field pennycress (*Thlaspi arvense L*) seedlings. *Plant Physiol.*, 93 : 1441 – 1448.
- BEYER E.M., DUFFY M.J., HAY J.V. et SCHLUTER D.D., 1988.** – Sulfonylurea herbicides. In Kearney P.C., Kaufman D.D. (eds) *Herbicides : chemistry, degradation and mode of action*, vol.3, p 125.
- DEVINE M.D., 1989.** – Phloem translocation of herbicides. *Rev. Weed Sci.*, pp 4 – 191.
- HALL L.M. ET DEVINE M.D., 1990.** – Cross resistance of a chlorsulfuron resistant biotype of *Stellaria media* to a triazolpyrimidine herbicide. *Plant Physiol.*, 93 : 962 – 966.
- INDEX PHYTOSANITAIRE 1999.** - INPV. Alger.
- KIM S. et VANDEN BORN W.H., 1996.** – Chlorsulfuron decreases both assimilate export by source leaves and import by sink leaves in canola (*Brassica napus L*) seedlings. *Pestic Biochem Physiol.*, 56 : 141 – 148.
- KOTOWSKI F., 1926.** – Temperature relations to germination of vegetable seeds. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 23 : 176 – 184.
- LA ROSSA R.A. et SCHLOSS J.V., 1984.** – The sulfonylurea herbicide sulfometuron methyl is an extremely potent and selective inhibitor of acetolactate synthase in *Salmonella typhimurium*. *J. Biol. Chem.*, 259 : 8753 – 8757.

- LA ROSSA R.A. et VAN DYK T.K., 1987.** – Metabolic mayhem caused by 2 – ketoacid imbalances. *Bioessays*, 7 : 125 – 130.
- LICHTENTHALER H.K., 1987.** – Chlorophyll and carotenoid pigments of photosynthetic biomembranes : methods in enzymology, vol.148, p 350.
- MC READY R.M., GUGGOZ J.J., SIVERIA V. et OWENSH S., 1950** – Determination of starch and amylase in vegetables. *Anal. Chem.*, 22 : 1156 – 1160.
- RAY T.B., 1982.** – The mode of action chlorsulfuron : The lack of direct inhibition of plants. DNA synthesis. *Pest. Biochem. Physiol.*, 18 : 162 – 226.
- RAY T.B., 1984.** – Site of action of chlorsulfuron : inhibition of valine and leucine biosynthesis in plants. *Plant Physiol.*, 75 : 827 - 831.
- REYNOLDS T., 1986.** – Effects of chlorsulfuron, valine and isoleucine on division and tracheary element differentiation cell suspension cultures of *solanum carolinense* L. *J. Plant Physiol.*, 125 : 179 – 184.
- ROST T.L., 1984.** – The comparative cell cycle and metabolic effects of chemical treatments on root tip meristems. III. Chlorsulfuron. *J. Plant Growth Regul.*, 3 : 51 – 63.
- ROST T.L. et REYNOLDS T., 1985.** – Reversal of chlorsulfuron – induced inhibition of mitotic entry by isoleucine and valine. *Plant Physiol.*, 77 : 481 – 482.
- ROST T.L., GLADISH D., STEFFEN J. et ROBBINS J., 1990.** – Is there a relationship between branched chain amino acid pool size and cell cycle inhibition in roots treated with imidazolinone herbicides. *J. Plant Growth Regul.*, pp 9, 227.
- SCALLA R., 1991.** – Les herbicides : mode d'action et principes d'utilisation. Chap.IV. Mécanisme d'action phytotoxique des autres familles d'herbicides. INRA (Paris).
- SHANER D.L. et REIDER M.L., 1986.** – Physiological responses of corn (*Zea mays*) to AC 243, 997 in combination with valine, leucine and isoleucine. *Pesti. Biochem. Physiol.*, 25 : 248 – 257.

- SHANER D.L. et SINGH B.K., 1997.** – Acetohydroxyacid synthase inhibitors. *Herbicide Activity : Toxicology, Biochem. Mol. Biol.* Roe R.M. et al.(eds). IOS Press., pp 69 – 110.
- SINGH B.K. et SHANER D.L., 1995.** – Biosynthesis of branched chain amino acids : from test tube to field. *Plant Cell.*, 7 : 935 – 944.
- SINGH B.K., 1999.** – Plant amino acids. *Biochem Biotech.* American Cyanamid Company Princeton, New Jersey., pp 227 – 247.
- VANDEN BORN W.H., BESTMAN H.D. et DEVINE M.D., 1988.** – The inhibition of assimilate translocation by chlorsulfuron as a component of its mechanism of action. *Proceedings of the EWRS Symposium, Factors affecting herbicide activity and selectivity.*, pp 69 – 74.