

Elaboration d'un dispositif d'arrosage automatique type goutte à goutte pour comparer deux solutions nutritives

Raphaël Ségura¹, Anne Françoise Ameline¹

Résumé : Depuis longtemps les besoins des plantes en éléments minéraux font l'objet d'études (E. Epstein, 1972). Aujourd'hui, l'UMR Ecophysiologie végétale, agronomie et nutrition (EVA) s'intéresse aux métabolismes N et S et à leurs interactions chez plusieurs espèces végétales (ray-grass, trèfle blanc et colza). L'unité a donc développé un outil à la fois fiable et souple pour répondre aux contraintes expérimentales liées à l'alimentation minérale des plantes ; nous avons mis au point un système d'arrosage automatique léger et mobile pour appliquer des traitements de fertilisation azotée et soufrée sur un même lot de plantes.

Mots clés : arrosage automatique, alimentation hydrique et minérale, privation, carence.

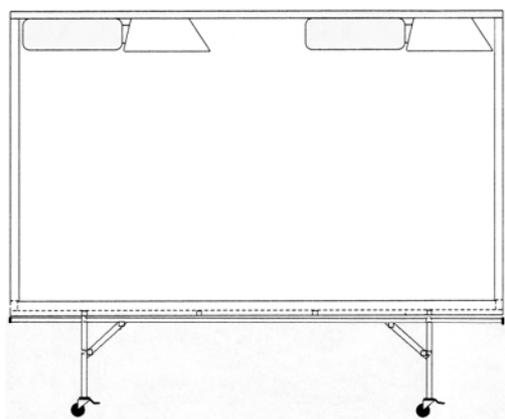


Figure 1 : portique roulant équipé de 2 projecteurs HS 2000 hortilux



Figure 2 : vue générale d'un module photo © R. Ségura/Inra

Introduction

En culture expérimentale, deux stratégies peuvent être mises en place pour l'alimentation minérale des plantes. La première maintient constantes, ou dans une gamme prédéfinie, les concentrations des différents éléments minéraux en injectant des doses correctives régulières ; ce système informatisé équipe en général de grosses structures de recherche. Les équipes de l'UMR INRA EVA ont opté pour une seconde stratégie qui maîtrise la quantité d'éléments minéraux apportés à chaque plante en fonction de la concentration, du volume et de la durée d'arrosage. Dans ce cas, les concentrations ne sont pas ajustées en temps réel car les expérimentations mettent en œuvre des privations partielles ou totales d'un élément (azote ou soufre pour les thématiques du laboratoire) pour étudier les voies métaboliques qui y sont associées.

Par ailleurs, pour limiter le coût de l'ouvrage et pour des contraintes expérimentales, notre unité de recherche a choisi pour accueillir les cultures, d'équiper la serre de portiques roulants offrant une grande modularité (**figures 1 et 2**). Pour répondre aux impératifs expérimentaux et

¹ UMR 950 - Ecophysiologie végétale, agronomie et nutriments EVA INRA-Univ. Caen – F-14032 Caen

☎ 02 31 56 56 65 ✉ raphael.segura@unicen.fr

matériels, il restait donc à mettre au point un système d'arrosage automatique type « goutte à goutte » léger et mobile.

1. Descriptif expérimental

1.1 Contexte expérimental

Depuis longtemps le laboratoire a développé son expertise dans le domaine du métabolisme azoté. Aujourd'hui, des équipes de l'UMR Ecophysiologie végétale, agronomie et nutrition orientent d'avantage leurs efforts sur les interactions entre les métabolismes N et S et il fallait donc reconsidérer la composition de la solution nutritive de base employée jusqu'alors afin de répondre aux nouveaux impératifs expérimentaux. En effet, pour éviter tout phénomène d'accumulation et de mise en réserve, il est indispensable de ne pas « suralimenter » les plantes en azote et en soufre. L'objectif est d'obtenir des effets rapides et marqués lors de la privation de ces éléments dans la composition de la solution nutritive. Une culture expérimentale a donc été mise en place sur colza afin de valider le choix de la composition de notre nouvelle solution nutritive. Nous avons donc décidé de comparer l'ancienne solution utilisée au laboratoire dite « EVA » avec une solution dite de « Hoagland ¼ modifiée » (Hoagland et Arnon, 1950).

1.2 Description du matériel

Le système d'arrosage automatique « portable » repose sur la base du « kit d'arrosage pour terrasse et balcon » commercialisé par Gardena (**figure 3**).



Composition

- 1 transformateur avec minuterie incorporée
- 1 pompe basse tension 14 Volts avec filtre intégré
- 9 m de tuyau 4 mm
- 3 répartiteurs à 12 sorties (15-30-60mL/min)
- 30 m de tuyau 2 mm
- 36 pics et 20 bouchons.

Prix : 79,90 €

Figure 3 : *kit d'arrosage automatique pour terrasse et balcon*

Nous avons sélectionné certains accessoires de ce kit auxquels nous avons ajouté d'autres pièces détachées du service SAV Gardena et de fournisseurs locaux. Nous listons dans le **tableau 1** les accessoires du dispositif (**figure 4**) et leur coût.

N° pièces	Dénomination	Fabricant/distributeur	Conditionnement	Référence	Prix unitaire HT
1	Bac PVC 400x300x320mm	Alibert	1		20,57 €
2	Transformateur avec programmeur intégré	Gardena	1	1407-00.610.00	85,58 €
3	Pompe 14 volts	Gardena	1	1275-00.710.00	27,28 €
4	Bouchon d'obturation	Gardena	1	1275-00.600.73	0,37 €
5	Ecrou raccord	Gardena	1	1275-00.600.60	0,27 €
6	Tuyau microdrip 4.6mm	Gardena	50 mètres		12,50 €
7 + 10	Goutteur en ligne (2 ou 4 L/h) + bouchon	Gardena	10 + 1		7,35 €
8	Tuyau souple 4mm aquaflo	Jardiland	15 mètres		4,95 €
9	Pic pour tuyau microdrip	Gardena	50		13,20 €

Tableau 1 : liste des accessoires du système d'arrosage automatique type « goutte à goutte »

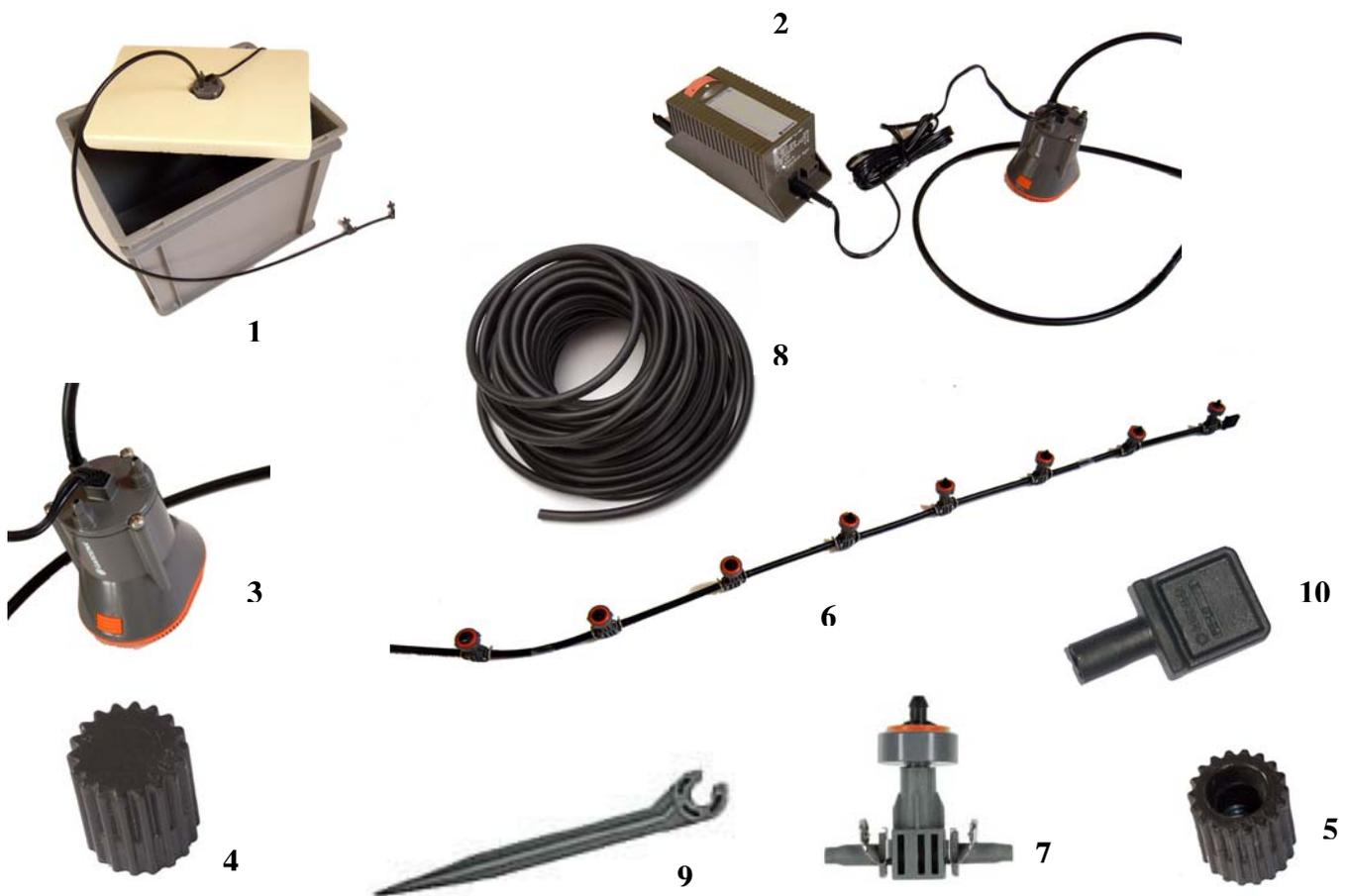


Figure 4 : vue éclatée du dispositif d'arrosage automatique

La pompe 14 volts reliée au transformateur est immergée dans le bac PVC et elle est maintenue à la surface par son extrémité supérieure à l'aide d'un morceau de polystyrène hydrofuge qui, en obstruant la lumière, empêche le développement d'algues. La pompe

alimente alors le nombre de rampes d'arrosage voulu (1, 2 ou 3) grâce au tuyau souple aquaflow de 4 mm de diamètre interne, maintenu sur la pompe par un écrou raccord. Les sorties non utilisées sont alors bouchées par les bouchons d'obturation. Les goutteurs en ligne, régulièrement espacés, sont assemblés à l'aide du tuyau rigide microdrip de 4,6 mm de diamètre interne. La rampe est obturée à son extrémité par le bouchon vendu avec le lot de 10 goutteurs. Les pots sont alimentés en reliant les goutteurs à l'aide de tuyau souple aquaflow opaque afin d'éviter la prolifération d'algues (**figure 5**).

1.3 Mesure du débit maximum

La pompe 14 Volts possède un débit maximal de 180 litres/heure à répartir entre les trois sorties disponibles. Selon le nombre de sorties utilisées, il faut donc définir la quantité maximale de goutteurs que l'on peut brancher en série pour que le fonctionnement soit optimal, c'est-à-dire sans perte de pression. **Le tableau 2** donne les valeurs théoriques du nombre de goutteurs en fonction du nombre de sorties utilisées et du débit du goutteur. Dans notre cas expérimental, nous avons observé une marge de sécurité quant au nombre de goutteurs puisque nous avons configuré les pompes avec deux rampes d'arrosage comptant 20 goutteurs chacune.

Nombre de rampes d'arrosage	Type de goutteurs	Nombre de goutteurs maximum
1	2 litres/heure	90
	4 litres/heure	45
2	2 litres/heure	45
	4 litres/heure	22
3	2 litres/heure	30
	4 litres/heure	15

Tableau 2 : *nombre maximum de goutteurs par rampe d'arrosage selon le débit du goutteur et le nombre de sorties utilisées*



Figure 5 : *vue générale du système de goutte à goutte installé sur une culture de colza*

photo © R. Ségura/Inra

1.4 Mise en place de la culture

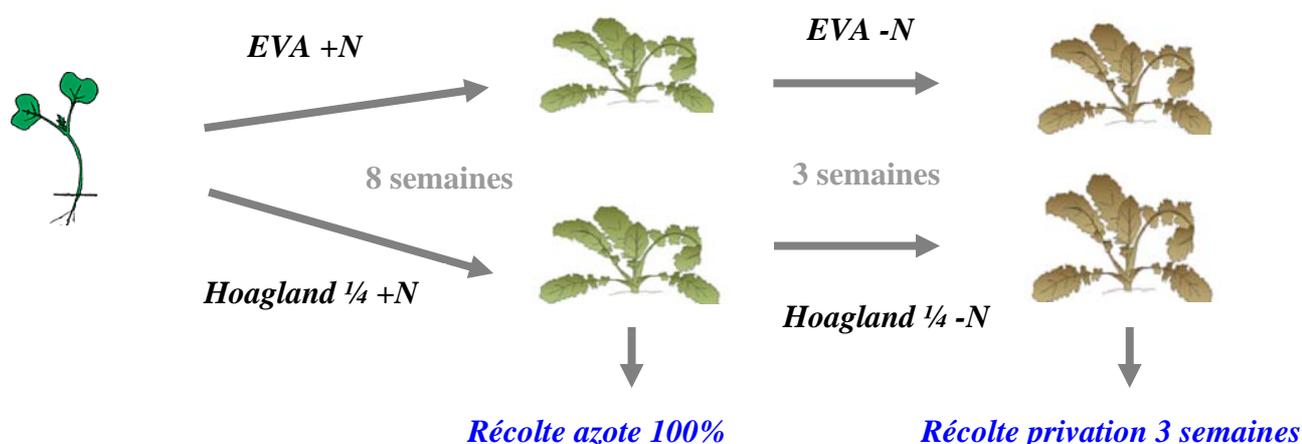


Figure 6 : schéma explicatif du dispositif expérimental

Nous avons divisé un semis de colza, variété capitoll, en deux sous lots à partir du stade d'apparition de la 1^{ère} feuille vraie. Le 1^{er} lot a alors reçu la solution dite EVA +N pendant 8 semaines tandis que le second a reçu la solution dite de Hoagland 1/4 modifiée (**figure 6**). Nous indiquons les concentrations en macroéléments de ces solutions dans le **tableau 3**. A la fin des 8 semaines, la récolte azote 100% a permis de prélever 5 réplicats de chaque lot. Nous avons mesuré la teneur en chlorophylle (Minolta SPAD-502), la surface foliaire (Planimètre Li-COR Li-3100), et nous avons pesé la masse fraîche des parties aériennes. Nous avons mis à l'étuve à 65° pour séchage jusqu'à masse constante une feuille mature (rang foliaire n°5) de chaque réplicat. Après broyage, nous avons analysé les poudres végétales au spectromètre de masse (EA3000, Eurovector couplé à l'Isoprime de chez GV Instruments) pour obtenir les teneurs totales en azote et en soufre. Après ces 8 semaines de traitements dits de « confort », nous avons appliqué un stress minéral en privant les plantes d'azote pendant 3 semaines. La seconde récolte s'est alors déroulée dans les mêmes conditions que la 1^{ère} et nous avons conduit les mêmes analyses sur le rang foliaire n°5.

	EVA + N	Hoagland 1/4 + N	EVA - N	Hoagland 1/4 -N
K_2SO_4	1	-	1	-
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	3	-	3	1,25
KH_2PO_4	0,4	0,25	0,4	0,25
K_2HPO_4	0,15	-	0,15	-
KNO_3	4	1,25	-	-
KCl	-	-	4	1,25
$MgSO_4$	0,5	0,5	0,5	0,5
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	-	1,25	-	-

Les apports de fer et d'oligoéléments sont les mêmes pour les 4 solutions décrites plus haut (EDTA 2 NaFe 200 μ M ; MnSO₄ 5 μ M ; CoCl₂ 0,1 μ M ; H₃B₃ 14 μ M ; CuSO₄ 0,7 μ M ; ZnSO₄ 3 μ M ; (NH₄)₆ MoO₂₄ 0,7 μ M)

Tableau 3 : concentrations des différents macroéléments en mM

2. Résultats

2.1 Biomasse aérienne, surface foliaire et teneur en chlorophylle

Après 8 semaines de culture en condition dite de confort, on constate que le lot alimenté avec la solution EVA a produit plus de biomasse aérienne avec des surfaces foliaires plus grandes (**figure 7A et 7B**). Cette observation était toutefois attendue étant donné la plus grande quantité d'éléments nutritifs (N, P, K, S) contenue dans cette solution. Néanmoins, la solution Hoagland ¼ modifiée, ne semble pas montrer de signe de limitation trop grande en terme d'éléments nutritifs si l'on regarde le taux de chlorophylle contenu dans les feuilles des 2 lots de plantes, sensiblement identique tant sur la plante entière (figure 8A) que sur le rang foliaire n°5 (**figure 8B**). On constate que ce rang foliaire mature à 8 semaines (spad \approx 57) est entré en sénescence au bout des 11 semaines et de la privation en azote (spad \approx 40).

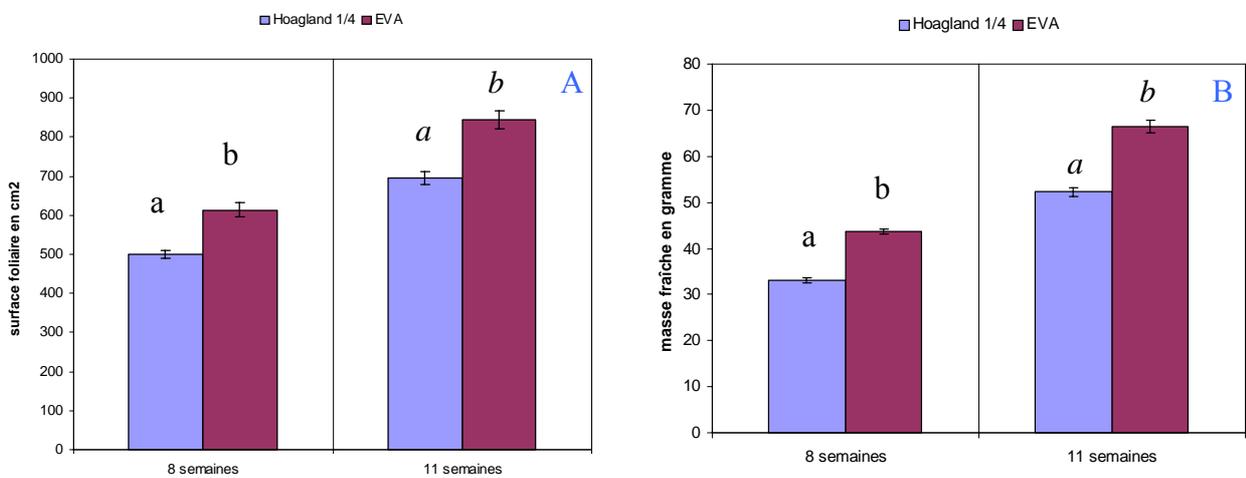
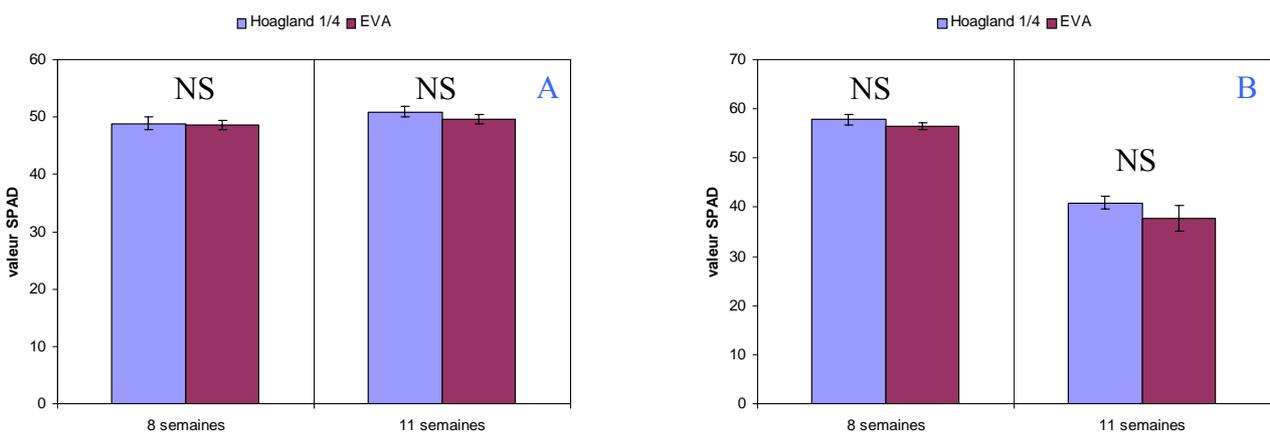


Figure 7 : surface foliaire totale mesurée en cm² (A) et masse fraîche en g (B) après 8 et 11 semaines de culture. L'effet solution nutritive a été confirmé pour les deux séries de données par un test de la médiane de Mood à $p < 0,05$.



Figures 8 : mesure d'absorbance dans le rouge et le proche infrarouge respectivement pour l'ensemble des rangs foliaires (A) et le rang 5 (B) donnant une valeur SPAD proportionnelle à la quantité de chlorophylle présente dans la plante.

Le test de Kruskal-Wallis n'a pas permis de révéler d'effet significatif dû à la solution nutritive.

2.2 Teneur en azote et soufre de la feuille n°5

Après la période de « confort », la teneur en azote de la feuille n°5 est sensiblement identique pour les 2 lots, avec une teneur légèrement supérieure pour le lot alimenté avec la solution « EVA ». Après 3 semaines de privation en azote, les 2 lots ont réagi de façon identique (**figure 9A**). On pouvait attendre des différences plus marquées entre les 2 lots en raison de la concentration plus faible en sulfate de la solution « Hoagland ¼ modifiée » qui aurait pu affecter l'absorption du nitrate (travaux en cours au laboratoire)

Après 8 semaines de « confort », on ne constate pas d'effet traitement au niveau de la teneur en soufre de la feuille n°5 (voir test de la médiane de Mood à $p < 0,05$ réalisé à l'aide du logiciel Minitab version 13.20). Avec une concentration 3 fois supérieure en sulfate, la solution « EVA » ne permet pas d'augmenter significativement la teneur en soufre des feuilles (**figure 9B**). Une concentration en sulfate de 0,5 mM semble être suffisante au développement des plantes. La privation d'azote pendant 3 semaines entraîne une diminution des teneurs en soufre de la feuille n°5. Cette diminution est plus prononcée sur les plantes alimentées avec la solution « Hoagland ¼ modifiée » ne contenant que 0,5mM de sulfate, on constate donc un effet traitement confirmé par le test de la médiane de Mood à $p < 0,05$. Ce résultat confirme bien l'interaction forte entre le métabolisme de l'azote et celui du soufre, problématique centrale d'une partie des travaux de recherche de l'UMR.

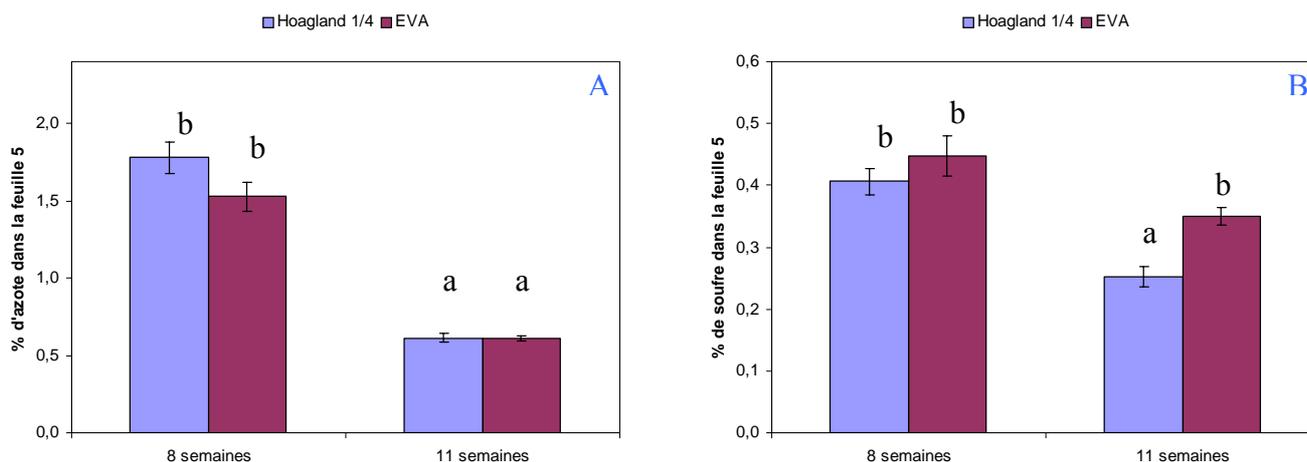


Figure 9 : pourcentage d'azote total (A) et de soufre total (B) présent dans la feuille n°5.

Mesure réalisée sur poudre végétale au spectromètre de masse isotopique.

Un test de la médiane de Mood a été réalisé à $p < 0,05$; il révèle un effet privation d'azote sur la teneur en soufre de la feuille 5 du lot alimenté par la solution « Hoagland ¼ ».

Conclusion

Cette expérimentation montre que notre décision de modifier la composition de notre solution nutritive semble opportune. D'une part, la diminution de la concentration en sulfate ne modifie pas la teneur en soufre des parties aériennes. D'autre part, la privation en azote donne des résultats plus marqués quant à la diminution de teneur à la fois en azote et en soufre lorsque la concentration en sulfate est limitée à 0,5 mM.

Le système d'arrosage automatique léger et mobile de type goutte à goutte, a parfaitement répondu aux attentes expérimentales. Nous avons constaté peu de variations entre les répétitions biologiques de chaque lot, synonyme d'une bonne fiabilité des débits des goutteurs en ligne. Nous avons également pu mener ces 2 lots à un même emplacement géographique tout en faisant varier l'alimentation minérale de chaque lot d'où un gain de temps et de productivité pour les serristes.

Ce système fait aujourd'hui l'unanimité au laboratoire et il est employé par toutes les équipes travaillant sur des cultures en pots sur terre ou substrat inerte avec un apport maîtrisé de nutriments.

Remerciements : Je tiens à remercier Servane Lavenant ainsi qu'Annette Bertrand de leurs conseils avisés lors des relectures et Servane de son expertise en analyse statistique.

Bibliographie

Epstein E. (1972) Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. by John Wiley & sons, Inc.

Hoagland D.R. and Arnon D.I. (1950) The water-culture method for growing plants without soil. Circ. 347. Univ. of Calif. Agric. Exp. Station, Berkley.