

PÉRIODICITÉ JOURNALIÈRE DU FLUX DE SÈVE  
ET TRANSPORT ASCENDANT DU POTASSIUM  
(*HELIANTUS ANNUUS L.*  
ET *LYCOPERSICUM RACEMIGERUM LANGE*)

Jean-François MONARD\*, Josette COUDERCHET\*\*,  
Danielle SCHEIDECKER\* et René HELLER\*\*

\*Laboratoire du Phytotron, CNRS, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France)

\*\*Laboratoire de Physiologie végétale (Nutrition minérale),  
Université Paris VII ; 2, Place Jussieu, 75221 - Paris (France)

RESUME

En vue de l'étude des relations entre le flux de sève et le transport du potassium, des expériences comparatives ont été pratiquées, sous différents régimes photopériodiques, d'une part sur des racines excisées au niveau du collet (*Helianthus*), d'autre part sur de jeunes plants décapités au-dessus de la seconde feuille (*Lycopersicum*).

Le flux de sève émise par les racines suit un rythme d'une période de 24 heures, alors que celle du flux de sève au-dessus de la seconde feuille est d'environ 12 heures. Le caractère métabolique de la poussée racinaire est confirmé (disparition de l'exsudation caulinaire à l'obscurité continue, influence de la concentration extérieure du  $K^+$ ). Le parallélisme est étroit entre le flux de potassium et le flux d'eau, quelle que soit la période, mais la non-proportionnalité des amplitudes amène à distinguer en partie les deux transports et à faire notamment intervenir les prélèvements opérés par la racine.

SUMMARY

Diurnal Periodicity of Sap-flow and the Transport of Potassium.

Comparative experiments have been carried out, under different conditions of photoperiod, aimed at studying the relationship between sap-flow and potassium transport in roots excised as the base (*Helianthus*) and young plants decapitated above the second leaf (*Lycopersicum*).

Flow of sap from roots follows a 24 hour rhythm, while that from above the second leaf shows a period of 12 hours. The metabolic aspect of root growth has been confirmed from the disappearance of stem exudation in continuous darkness and from the influence of external potassium concentration. There is a close parallel between the flow of potassium and water for whatever photoperiod. However, the respective amplitudes of each are not proportional; the two transports can thus be distinguished from each other, and the disproportionality can also indicate withdrawal by roots.

Le transport à longue distance des substances minérales dans la plante entière dépend en grande partie, mais non exclusivement, du flux de sève. Dans la recherche délicate des relations entre les deux fonctions, l'étude des rythmes peut fournir une approche nouvelle.

O. R. S. T. O. M. 28 NOV. 1978

Collection de Référence

9421 BBU.

En effet, en ce qui concerne les mouvements de l'eau, on sait qu'ils sont commandés d'une part, au niveau des parties aériennes, par la transpiration, d'autre part, au niveau de la racine, par la poussée racinaire. Ils obéissent à un rythme dont la périodicité est de 24 heures [9, 10]. Le fait que celui-ci se retrouve chez les racines isolées [13] suggère l'intervention de rythmes métaboliques, sans doute plus complexes que ceux qui régissent la transpiration ; mais on ignore encore le mécanisme de la poussée racinaire, on ne sait même pas dans quelle mesure elle dépend des mouvements d'ions.

Quant au transport ascendant des substances minérales, il présente un rythme comparable à celui de la sève brute [2, 8, 10], mais le seul fait que les éléments ne se déplacent pas à la même vitesse que l'eau indique qu'il ne s'agit pas d'un simple entraînement.

Pour étudier le rythme du transport ascendant des éléments dans ses relations avec le flux de sève, il était intéressant de conjuguer des observations faites les unes sur des racines isolées, les autres sur des plantes entières, de manière à mieux distinguer la part des racines et celle des parties aériennes dans son déterminisme.

Le présent article a pour objet de faire une synthèse de ce qui a été acquis dans deux laboratoires différents. L'un a une longue expérience de l'emploi des racines excisées, l'autre dispose de la rigueur du contrôle de l'environnement qu'assure le Phytotron de Gif-sur-Yvette, contrôle indispensable pour des plantes entières. En dépit des réserves que comporte l'interprétation de résultats obtenus sur deux plantes différentes, leur comparaison peut fournir des données intéressantes.

L'étude porte sur le flux d'un cation particulièrement mobile, le potassium. Ses variations au cours du cycle de 24 heures ont été comparées à celles du flux hydrique chez les racines isolées de Tournesol (*Helianthus annuus* L.) et les plantes entières de Tomate "Groseille rouge" (*Lycopersicon racemigerum* Lange).

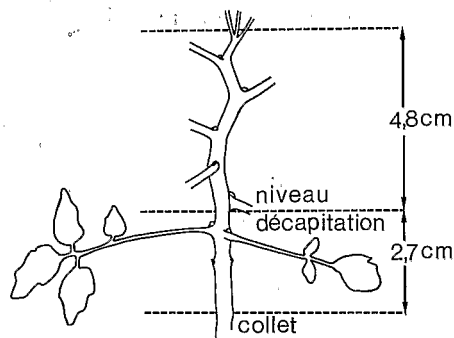


Figure 1. — Schéma d'un plant de Tomate avant décapitation au-dessus de la 2e feuille (seules les deux premières feuilles sont représentées).

## PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

La sève a été recueillie au collet chez le Tournesol, au-dessus de la deuxième feuille chez la Tomate, niveau le plus élevé compatible avec une récolte d'exsudat suffisante en quantité (Fig. 1).

Chez les racines de Tournesol, l'écoulement est suffisamment prolongé pour qu'on puisse effectuer les prélèvements sur un même organe pendant les 24 heures du cycle. Pour les plants de Tomate, une telle méthode est interdite par la brièveté de l'écoulement ; elle aurait de plus présenté l'inconvénient de soustraire trop longtemps la plante à l'influence de ses parties aériennes. Les plants de Tomate ont donc été successivement décapités au cours des 24 heures

### A) Racines de Tournesol

Les graines d'*Helianthus annuus* L. sont mises à germer et maintenues quatre jours à 22-25°C, à l'obscurité, sur eau de ville aérée. Puis les plantules en germination, qui restent à l'obscurité, sont transférées pour 4 jours sur un milieu aéré composé de  $Mg SO_4$  : 0,1 mM ;  $KH_2PO_4$  : 0,1 mM et  $Ca (NO_3)_2$  : 0,1 mM. A ce stade, les plantes, hautes d'environ 25 cm, n'ont pas encore de feuilles. Les racines ramifiées, mesurant une quinzaine de cm, sont excisées au niveau du collet. La section est alors introduite dans un tube de verre où s'écoulera la sève (Fig. 2), leur base plongée dans le milieu d'absorption (50 ml d'eau distillée ou de solution de KCl pour trois racines). La quantité d'oxygène

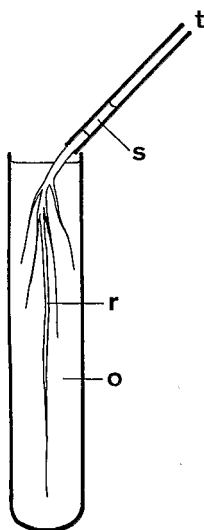


Figure 2. — Dispositif utilisé pour recueillir la sève d'*H. annuus* L.

Les racines (r) plongées dans le milieu (o) émettent la sève (s) qui s'écoule dans le tube (t).

dissous s'étant révélée suffisante pour ne pas être un facteur limitant de l'exsudation, aucune aération n'est fournie. La température est maintenue à 20-22°C. Les expériences relatées ici ont été effectuées dans les conditions d'éclairément du laboratoire, mais des expériences réalisées à l'obscurité continue ont montré que la lumière n'a pas d'influence appréciable sur l'exsudation des racines.

L'étude porte sur au moins 18 racines par condition, avec au moins deux répétitions.

A intervalles aussi réguliers que possible, la sève est prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur, pesée et analysée.

## B) Plants de Tomate

La plante est cultivée, jusqu'au 26e jour après le semis, sur une solution nutritive complète, équilibrée et aérée (capacité des pots : un litre ; une plante par pot), dans des conditions contrôlées (température : 24°C ; humidité relative : 50 % ; photopériode : 16 heures ; éclairément : 16 000 lux). La teneur en oxygène de la solution nutritive a été maintenue, pendant toute la durée de la culture, à un niveau suffisamment élevé, constant et identique pour tous les pots, grâce à un dispositif d'aération particulier : il se compose d'un bulleur d'aquarium qui comprime l'air dans une chambre tubulaire d'où partent vingt canalicules qui le conduisent jusqu'à la solution.

Le schéma expérimental impose de décapiter des plantes nouvelles toutes les deux heures ; la salle d'expérience ne pouvant contenir que 60 plantes au maximum, chaque lot correspondant à un point expérimental comprend au plus trois plantes, dont l'exsudat est recueilli, pesé et analysé individuellement.

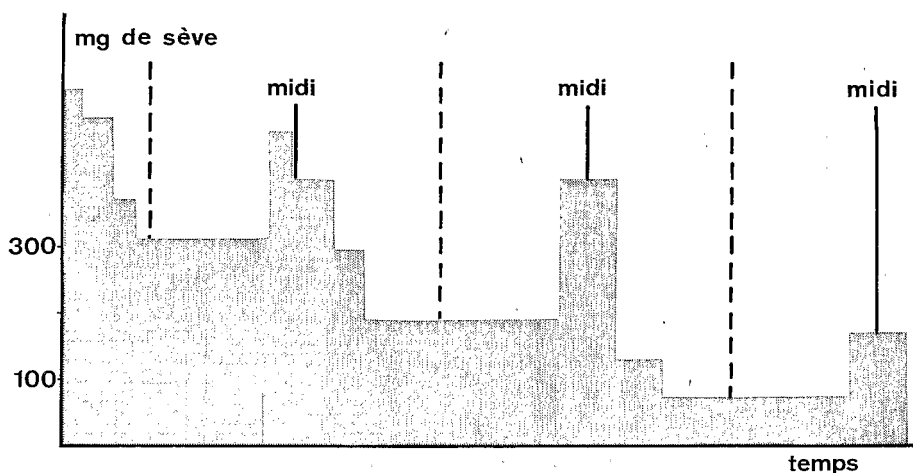


Figure 3. — Variations de l'exsudation au cours du temps.

La surface grisée représente la masse totale de sève exsudée par 21 racines en une heure.

## RESULTATS

## A) Racines de Tournesol

## 1) Débit de sève

Le débit de sève varie au cours de la journée.

La figure 3 et le tableau 1 montrent l'existence d'un rythme avec un maximum vers midi et un minimum dans la nuit, minimum que des études plus précises situent vers minuit. Ce rythme se maintient pendant trois jours au moins, bien que la quantité de sève exsudée diminue au cours du temps.

Tableau I

Débit moyen et concentration du  $K^+$  de la sève émise pendant deux jours.  
( $[K]_0 = 12,8 \text{ mEq.l}^{-1}$ )

Temps d'exsudation	14 h 30	15 h 30	18 h 30	9 h 30	11 h 30	15 h	17 h 30	9 h 30	13 h 30
	à 15 h 30	à 18 h 30	à 9 h 30	à 11 h 30	à 15 h	à 17 h 30	à 9 h 30	à 13 h 30	à 18 h 30
débit horaire de la sève (mg par racine)	32,1	38,2	18,9	45,5	33,3	14,5	5,1	11	2,3
$[K], \text{ mEq.l}^{-1}$	33,5	28,6	24,6	21,0	19,2	19,9	15,9	16,4	17,6

## 2) Potassium

Si, comme dans le cas du débit, nous suivons sur un seul lot de racines l'évolution de la concentration du potassium dans la sève, nous constatons (tab. I) que ce taux diminue au cours du temps sans rythme visible. Une différence entre la sève de jour et la sève de nuit peut néanmoins se retrouver pour la concentration du K, si on réduit les effets traumatisants d'une expérience prolongée : la comparaison portera sur deux lots de racines, les unes excisées à 15 h et exsudant de 16 à 10 h, les autres excisées à 9 h et exsudant de 10 à 16 h.

Nous constatons (tab. II) que la sève de jour est plus abondante et plus concentrée en potassium que celle de nuit (le même fait se présente aussi pour Ca et Mg) [1].

En fait le potassium absorbé ne migre pas intégralement dans la sève, une partie peut être mise en réserve dans la racine. Pour préciser ce point, nous avons utilisé le radioélément  $^{42}\text{K}$ . La radioactivité de la sève ne devenant constante qu'après 4 h, nous estimerons la teneur de la sève en K marqué issu du milieu, soit  $^*[K]_{0s}$ , à partir de la valeur d'équilibre.

Tableau II

Débit, concentration et quantité de potassium de la sève émise par deux lots de racines plongées dans l'eau distillée et exsudant les unes de jour, les autres de nuit (débits en  $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$  par racine ; concentrations en  $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$  ; quantités en  $\mu \text{Eq} \cdot \text{h}^{-1}$  par racine).

	Temps d'exsudation	débit horaire	$K_s$	$Q_s$
sève de nuit	de 16 h à 10 h (soit 18 h)	7,12	0,46	0,003
sève de jour	de 10 h à 16 h (soit 6 h)	9,58	1,07	0,010

Nous noterons  $Q_a$  et  $Q_s$  les masses de K respectivement absorbées et exsudées dans la sève (par racine et par heure). Les indices o, r, s désignant respectivement le milieu extérieur, la racine et la sève ;  $Q_{or}$  sera la masse de K transportée du milieu à la racine,  $Q_{os}$  du milieu à la sève,  $Q_{rs}$  de la racine à la sève. Le signe \* indiquera le K marqué. Les mêmes notations seront utilisées pour les concentrations [K].

Dans le cas d'un milieu externe radioactif, tout le potassium marqué absorbé se trouve dans la racine et dans la sève ; on a donc :

$$*Q_a = *Q_{os} + *Q_{or}$$

La masse de K exsudée a deux origines : le milieu et la racine. Elle est donc la somme de celle, marquée venue directement du milieu et de celle, non marquée, venue des réserves racinaires, soit :

$$Q_s = *Q_{os} + Q_{rs}$$

Pour la sève émise la nuit par des racines absorbant dans  $[*K]_o = 12,8 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ , les dosages chimiques donnent  $[K]_s = 24,2 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ , les dosages radioactifs  $[*K]_{os} = 20,2 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$  ; soit  $Q_s = 0,45 \mu \text{Eq} \cdot \text{h}^{-1}$  et  $*Q_{os} = 0,37 \mu \text{Eq} \cdot \text{h}^{-1}$ , par racine. Ainsi 17 % du K exsudé dans ces conditions provient des réserves racinaires.

La quantité de sève émise dépend de la composition du milieu. Ainsi, lorsque  $[K]_o$  augmente (tab. III), la quantité de sève augmente, passe par un maximum pour  $[K]_o = 12,8 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ , puis diminue et s'annule au-delà de  $76,7 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ . La masse de \*K absorbée,  $*Q_a$  augmente ainsi que  $[*K]_{os}$  ; par contre  $*Q_{os}$  est maximale pour  $[K]_o = 12,8 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$  ; le rapport  $*Q_{os}/*Q_a$  est alors maximal.

## B) Plants de Tomate

### 1) Débit de sève

En lumière alternante (L.O : 16.8), le débit de l'exsudation varie au cours des 24 heures selon un rythme dont la période est de l'ordre de 12 heures ;

les amplitudes sont à peu près égales ; les minimums se situent à la 10<sup>e</sup> heure de lumière et en fin d'obscurité, les maximums au début des périodes de lumière et d'obscurité.

Tableau III

Effet de la concentration externe du  $K^+$  sur l'exsudation suivie pendant 24 h (de 16 h à 16 h) après un prétraitement de 4 h sur  $[K]_o = 12,8 \text{ mEq.l}^{-1}$  (débits en  $\text{mg.h}^{-1}$  par racine ; concentrations en  $\text{mEq.l}^{-1}$  ; quantités en  $\mu\text{Eq.h}^{-1}$  par racine).

$[K]_o$	0,05	0,31	1,07	4,86	12,8	25,6	51,2	76,7
débit	9,6	11,5	14,4	17,6	19,9	12,3	4,5	2,4
$[*K]_{os}$ 22 h - 9 h	0,66	2,81	5,4	11	17,6	28,1	41,9	53,1
* $Q_{os}$	0,005	0,047	0,12	0,31	0,32	0,32	0,17	0,10
* $Q_a$	0,023	0,14	0,34	0,68	0,67	0,83	0,80	0,96
* $Q_{os}/*Q_a$ en %	24	34	36	46	48	38	21	10

En lumière continue (L.L), les variations du débit restent, pendant les premières 24 heures, comparables à celles du régime d'alternance (L.O : 16.8) auquel la plante a été soumise jusqu'au moment de l'expérience. Au cours

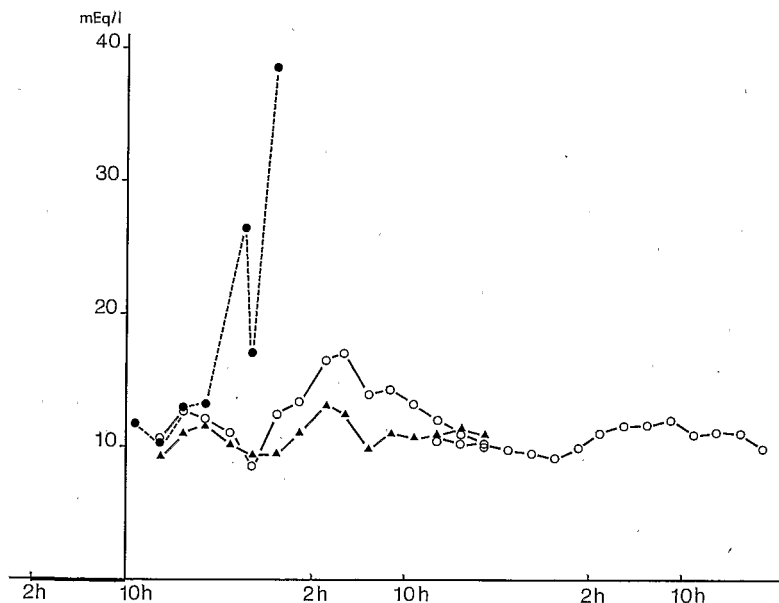


Figure 4. — Concentration en  $K^+$  de l'exsudat au cours du cycle de 24 h, dans trois régimes photopériodiques :

- : obscurité continue (O . O)
- : lumière continue (L . L)
- ▲—▲ : alternance lumière-obscurité (L . O : 16.8).

des 24 heures suivantes, les variations rythmiques se maintiennent, mais leur amplitude diminue et leur période augmente, ce que d'autres auteurs avaient déjà signalé [3, 10].

En obscurité continue, le débit, après avoir marqué une tendance à l'augmentation à l'issue de la période d'obscurité de 8 heures, ne cesse de diminuer pour s'annuler après 18 à 20 heures consécutives d'obscurité.

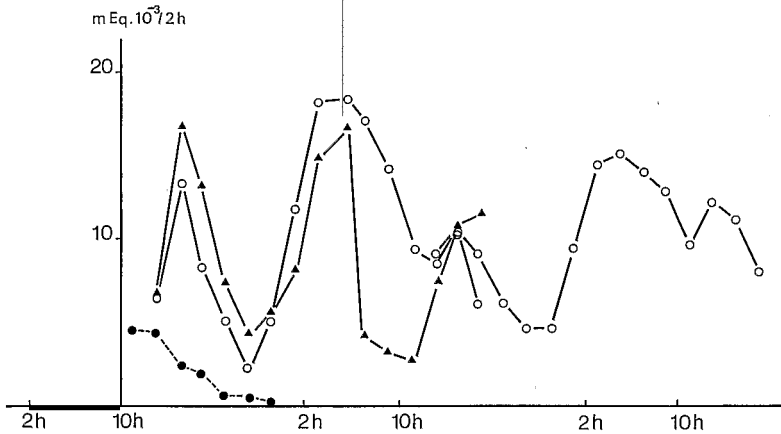


Figure 5. — Quantité de  $K^+$  transportée au cours du cycle de 24 h, dans trois régimes photopériodiques :

- : obscurité continue (O . O)
- : lumière continue (L . L)
- ▲—▲ : alternance lumière-obscurité (L . O : 16.8)

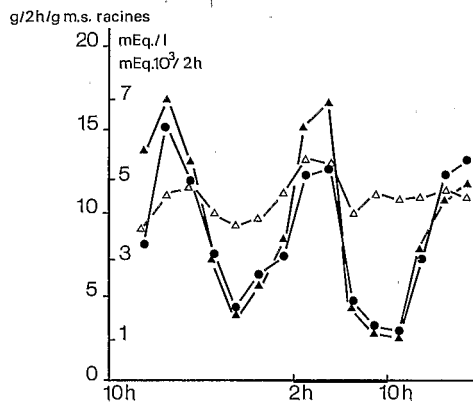


Figure 6. — Débit de l'exsudation (▲) ( $g/2h/g$  de matière sèche de racine), concentration en  $K^+$  de l'exsudat (Δ) (mEq/l) et quantité de  $K^+$  transportée (●) (mEq  $10^{-3}/2h$ ) au cours d'un cycle de 24 heures (L : O : 16.8).



## 2) Potassium

La concentration varie dans le même sens, mais de manière plus atténuée, que le débit, sauf en obscurité continue (Fig. 4). Une comparaison précise des mouvements de l'eau et du potassium ne peut porter que sur les flux, c'est-à-dire les débits d'eau et les quantités de potassium transportées (Fig. 5), celles-ci obtenues à partir des débits et des concentrations.

Aussi bien en lumière alternante (L.O : 16.8) qu'en lumière continue, les quantités de K transportées varient dans le même sens que le débit et on retrouve deux pics par 24 heures (Fig. 5 et 6).

En obscurité continue, le débit diminuant considérablement [7, 12], les quantités transportées diminuent également en dépit d'une augmentation très forte de la concentration de l'exsudat (Fig. 4 et 5).

## DISCUSSION

La comparaison des résultats acquis sur les racines et sur les plantes décapitées appelle divers commentaires, que ces résultats s'opposent, se confirment ou s'éclairent mutuellement.

### 1) Périodicité du débit

L'opposition est si nette qu'elle ne peut être attribuée à une différence d'espèce : périodicité de 24 heures pour les racines, de 12 heures pour les plantes décapitées.

On a souvent décrit des fluctuations rythmiques du débit de sève dont la période était de 24 heures aussi bien chez des plantes décapitées au collet [9, 10] que chez des racines excisées [13]. Nous retrouvons bien ici sur les racines de Tournesol des variations journalières du débit dont la période est de 24 heures, avec un maximum vers midi et un minimum vers minuit.

Les variations du débit de l'exsudation caulinaire, en régime d'alternance L.O : 16.8, sont plus complexes puisqu'au lieu d'un pic unique par 24 heures, on en observe deux. Si les études portant sur la poussée racinaire ont volontairement fait abstraction de l'influence des parties aériennes, tel n'est pas le cas des expériences sur la Tomate, où nous avons maintenu, jusqu'au moment de la décapitation, l'intégrité de la plante et conservé la plus grande partie possible de l'appareil aérien pendant l'exsudation.

Pour ce deuxième type d'expériences, la transpiration intervient donc. Il est malaisé de rendre compte d'un rythme de 12 heures, mais on peut imaginer qu'il résulte en réalité de la superposition de deux rythmes de 24 heures, dont l'un seul s'exprime sur des racines excisées. L'autre serait consécutif à la transpiration. Cependant, lors de la collecte de la sève chez

les plantes décapitées, seules restent en place deux feuilles en dessous du niveau de décapitation. Il est peu probable que leur influence soit telle que le rythme de l'exsudation en soit modifié et il est plus vraisemblable que la transpiration agisse par son effet dépressif sur la poussée racinaire.

Ainsi s'expliquerait le minimum du débit, toujours marqué, de la 10<sup>e</sup> heure de jour : à ce moment, l'effet dépressif de la transpiration sur la poussée racinaire est maximum. Il diminue ensuite jusqu'au début de la nuit. On observe alors, au moment où la transpiration est presque nulle, une augmentation du débit qui se prolonge jusqu'en milieu de nuit. Les résultats d'une expérience faite en régime d'alternance L.O. : 12.12 (période d'obscurité avancée et allongée de 4 heures par rapport aux conditions dans lesquelles les plantes avaient été cultivées) ont confirmé l'existence de cette interaction transpiration-poussée racinaire : le maximum de débit du début de nuit est avancé d'autant [7].

## 2) Caractère métabolique de la poussée racinaire

Deux séries de faits viennent confirmer le caractère métabolique de la poussée racinaire déjà largement admis par les auteurs [11].

a) Le débit de l'exsudation caulinaire s'épuise à l'obscurité après une vingtaine d'heures, ce qui laisse prévoir l'épuisement d'un facteur énergétique, vraisemblablement des glucides [4, 12]. En effet, la teneur en glucides solubles totaux passe de 0,42 mg.g<sup>-1</sup> de matière fraîche à 0,10 mg.g<sup>-1</sup> après 24 heures d'obscurité et de 0,69 à 1,45 mg.g<sup>-1</sup> après 24 heures de lumière.

Le fait est moins apparent chez les racines de Tournesol, peut être simplement parce que, la section ayant eu lieu plus bas, la perte de charge est moins forte.

b) L'effet de l'augmentation de la concentration externe du potassium sur le débit de sève des racines de Tournesol, avec un optimum pour  $[K]_0 = 12,8$  mEq.l<sup>-1</sup>, ne peut s'expliquer par un simple effet osmotique.

## 3) Flux de sève et flux de potassium

Les relations entre les flux de sève et les flux de potassium sont très nettes sur les exsudats de Tomate, mais complexes. Elles s'interprètent plus aisément en faisant appel aux données acquises sur les racines excisées [1, 5, 6].

Dans le cas de la Tomate, en portant en coordonnées sur un même graphique les flux de potassium et de sève, on obtient sensiblement une droite (Fig. 7). La relation entre les deux est donc affine. Toutefois, la droite ne passe pas par l'origine. Il n'y a donc pas proportionnalité entre flux de sève et flux de potassium. L'ordonnée à l'origine n'est jamais nulle ; dans la plupart des cas, elle est négative (lumière alternante et continue) ; elle n'est positive qu'en obscurité continue.

La réalité de la différence de signe de l'ordonnée à l'origine, peut-être mal démontrée par les relations des flux, devient au contraire indéniable si on considère les relations entre les débits de sève et les concentrations

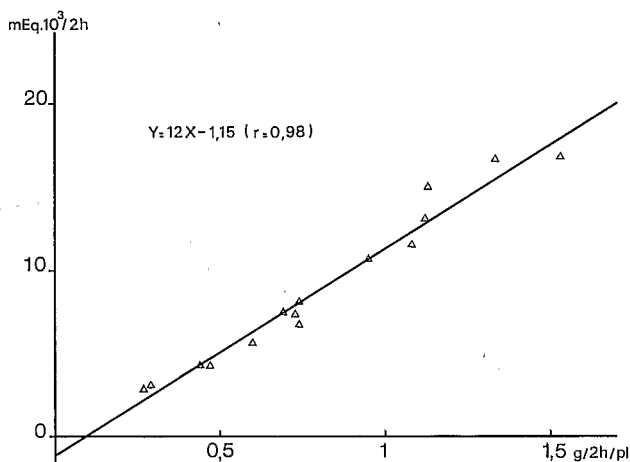


Figure 7. — Quantité de  $K^+$  transportée ( $mEq 10^{-3}/2h$ ) en fonction du débit de l'exsudation ( $g/2h/pl$ ) au cours d'un cycle de 24 heures (L. O : 16,8).

en potassium (Fig. 8) qui sont les données brutes : une ordonnée à l'origine négative pour la droite flux de  $K$ /débit implique une branche d'hyperbole ascendante pour la courbe concentration/débit, ce qui est bien le cas des résultats donnés par les essais avec lumière (Fig. 8a), alors qu'une ordonnée positive implique une branche descendante, ce qui est le cas à l'obscurité continue (Fig. 8b).

Or, nous avons vu chez les racines de Tournesol l'intervention sur le transport vers les parties aériennes des réserves de potassium, qui se constituent temporairement dans les racines. La proportion de potassium qui passe directement dans la sève est maximum pour une concentration externe de  $12,8 mEq.l^{-1}$ . On peut admettre qu'aux plus faibles concentrations, les besoins de base de la racine sont à satisfaire en priorité, alors qu'aux plus élevées, il y a un excédent qui se stocke dans les racines.

Dans les conditions physiologiques normales, interviendrait donc continuellement dans les racines un compartiment de réserve opérant un prélèvement au cours du passage du potassium vers la sève. La courbe se trouverait ainsi décalée vers le bas par rapport à la courbe de proportionnalité entre quantité transportée et débit.

Dans des conditions très particulières comme un traitement à l'obscurité, l'activité des racines diminue et la pénétration du potassium s'en trouve abaissée. D'où une intervention positive des réserves des racines qui se sont constituées avant la mise à l'obscurité.

Une confirmation de cette hypothèse se trouve dans le fait que le tracé de la courbe flux de  $K$ /flux de sève dans le cas des racines de Tournesol, convenablement alimentées en potassium, donne lui aussi une droite, avec ordonnée à l'origine négative.

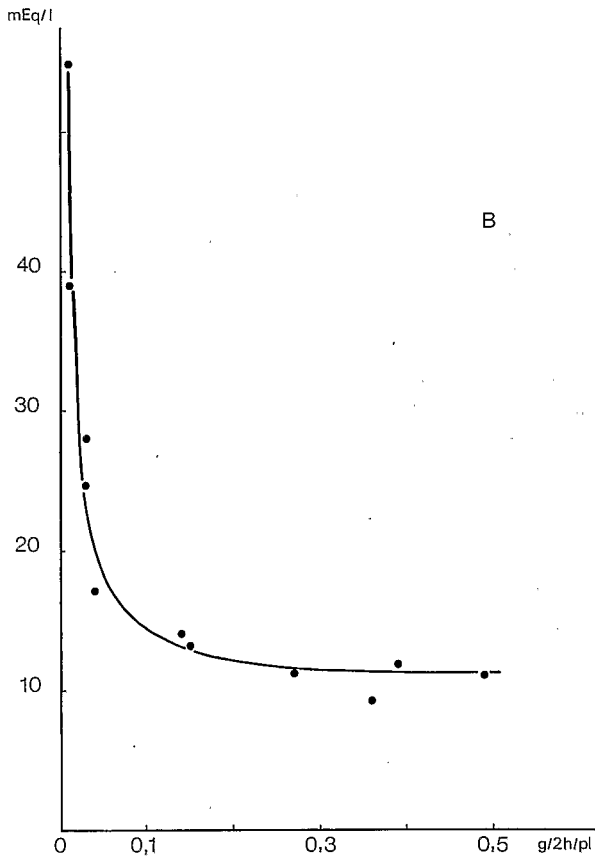
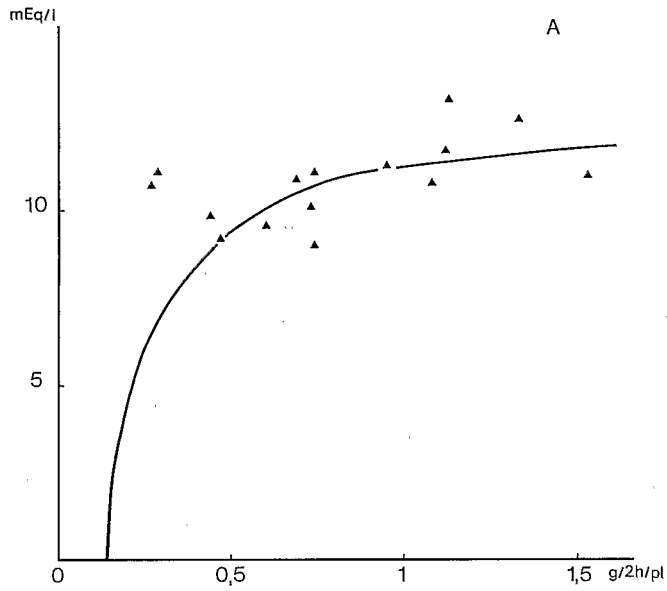


Figure 8. — Concentration en  $K^+$  de l'exsudat en fonction du débit :  
 A) L.O : 16.8.  
 B) O.O.

## CONCLUSION

En conclusion, nous avons retrouvé pour l'exsudation le rythme habituel d'une période de 24 heures lorsqu'on maintient, autant que possible, l'influence de l'appareil aérien. Il est probable que ce fait provient de la superposition au rythme fondamental de 24 heures, d'un deuxième rythme dû à l'effet dépressif de la transpiration sur la poussée racinaire.

De nouvelles preuves ont été apportées du caractère métabolique de cette poussée.

Les relations entre flux de sève et flux de potassium ont mis en évidence une corrélation très étroite entre eux, mais différent nettement d'une simple proportionnalité. L'écart, dans un sens ou dans l'autre, s'explique aisément par l'intervention des réserves temporaires de la racine qui, selon les conditions, se constituent ou s'épuisent.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Couderchet J. et Girard P. (1976). — Débit et teneur en potassium de la sève émise par des racines excisées d'*Helianthus annuus* L. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 282, 173-176.
- [2] Hanson J.B. et Biddulph O. (1953). — The diurnal variation in the translocation of minerals across bean roots. *Plant Physiol.*, 28, 356-370.
- [3] Mayer W. et Sadleder D. (1972). — Different light intensity dependance of the free running periods as the cause of internal desynchronisation of circadian rhythm in *Phaseolus coccineus*. *Planta*, 108, 173-178.
- [4] Mengel K. (1962). — Die K und Ca Aufnahme der Pflanze in Abhängigkeit von Kohlenhydrat Gehalt ihrer Wurzel. *Z. Pflanzen Dung. Bodenk.*, 98, 44-54.
- [5] Minchin F.R. et Baker D.A. (1969). — Water dependant and water independant fluxes of potassium in exuding root systems of *Ricinus communis*. *Planta*, 89, 212-223.
- [6] Minchin F.R. et Baker D.A. (1970). — A mathematical analysis of water and solute transport across the root of *Ricinus communis*. *Planta*, 94, 16-26.
- [7] Monard J.F. (1976). — Périodicité journalière du débit de l'exsudation caulinaire chez le *Lycopersicum racemigerum* (Lange) *C.R. Acad. Sc*, Paris, 282, 71-64.
- [8] Scheidecker D. et Andreopoulos-Renaud U. (1971). — Effet de la lumière sur l'absorption et la migration du potassium et du calcium chez le *Lycopersicum racemigerum* (Lange). *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 273, 576-579, 576-579.

- [9] Sobey D.G., MacLeod L.B. et Fensom D.S. (1970). — The time-course of ion and water transport across decapitated sunflowers for 32 h after detopping. *Can J. Bot.*, 48, 1625-1631.
- [10] Vaadia Y. (1960). — Autonomic diurnal fluctuations in rate of exudation and root pressure of decapitated sunflower plants. *Physiol. Plant*, 13, 701-717.
- [11] Van Andel O.M. (1953). — The influence of salts on the exudation of tomato plants. *Acta Bot. Neerl.*, 2, 446-521.
- [12] Went F.M. (1944). — Plant growth under controlled conditions : correlations between various physiological processes and growth in the tomato plant. *Amer. J. of Bot.*, 31, 597-617.
- [13] White P.R. (1938). — "Root pressure" — an unappreciated force in sap movement. *Amer. J. of Bot.*, 25, 223-227.