

CEA 2317 - GAGNAIRE J. (avec la collaboration technique de GERARD J.M.)

ABSORPTION DE QUELQUES SELS PAR L'APPAREIL RADICULAIRE DE DIFFERENTES ESPECES LIGNEUSES ET ACCUMULATION AU COURS D'UN CYCLE VEGETATIF COMPLET (1963)

Sommaire.- Le pouvoir de concentration de tissus végétaux, et particulièrement la vitesse de transport des sels minéraux varient beaucoup selon le sel minéral absorbé, l'espèce végétale, le tissu considéré ainsi que la période du cycle végétatif. A Grenoble, pour les épicéas "la dormance véritable" est courte (mi-novembre, fin décembre). Elle est encadrée par des périodes de pré-dormance (octobre, mi-novembre) et de post-dormance (janvier, février, mars).

Pendant la période végétative, le pouvoir de concentration de sels minéraux des aiguilles d'épicéas est plus faible que celui des feuilles d'érables (coefficient 2 pour le calcium - coefficient 3 pour les phosphates) ou que celui des feuilles de peupliers (coefficient 3 pour le calcium - coefficient 5 pour les phosphates).

CEA 2317 - GAGNAIRE J. (with technical assistance of GERARD J.M.)

ABSORPTION OF SOME MINERAL SALTS BY ROOT SYSTEM OF DIFFERENT WOODY SPECIES AND ACCUMULATION OVER A WHOLE VEGETATIVE CYCLE (1963)

Summary.- The concentration power of plant tissues and the translocation speed of mineral salts are considerably varying with the absorbed salt, the botanical species, the considered tissue and the part of the vegetative cycle. In Grenoble, with Picea excelsa, the "true dormance" is short (half-november, end of december). It is accompanied by a pre-dormance period (october, half-november) and a post dormance period (january, february, march).

In vegetative period, Picea excelsa leaves are less concentrating mineral salt than Acer campestre leaves (coefficient 2 for calcium - 3 for phosphates) and Populus nigra leaves (coefficient 3 for calcium, coefficient 5 for phosphates).

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**ABSORPTION DE QUELQUES SELS
PAR L'APPAREIL RADICULAIRE
DE DIFFERENTES ESPECES LIGNEUSES
ET ACCUMULATION AU COURS
D'UN CYCLE VEGETATIF COMPLET**

par

J. GAGNAIRE

Rapport C.E.A. n° 2317

1963

**CENTRE D'ETUDES
NUCLEAIRES DE GRENOBLE**

- Rapport C.E.A. n° 2317 -

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE GRENOBLE

Laboratoire de Biologie Végétale

**ABSORPTION DE QUELQUES SELS PAR L'APPAREIL RADICULAIRE
DE DIFFERENTES ESPECES LIGNEUSES
ET ACCUMULATION AU COURS D'UN CYCLE VEGETATIF COMPLET**

par

J. GAGNAIRE

Avec la collaboration technique de J.M. GERARD

- 1963 -

ABSORPTION DE QUELQUES SELS PAR L'APPAREIL RADICULAIRE DE DIFFERENTES ESPECES LIGNEUSES ET ACCUMULATION AU COURS D'UN CYCLE VEGETATIF COMPLET

Ce rapport expose la suite de nos recherches pour la mise au point d'un test biologique de pollution radioactive qui permette de surveiller l'ensemble d'un sol et en particulier la couche arable, pendant toute l'année (cf. rapports C.E.A. n° 1854 et n° 2131). Nous nous proposons de comparer ici systématiquement, au cours d'un cycle végétatif complet, le pouvoir de concentration des éléments minéraux ainsi que les taux d'humidité et la teneur en cendres, de différents tissus prélevés sur quelques espèces ligneuses soit au cours d'un cycle végétatif normal, soit au cours d'un cycle modifié artificiellement, en choisissant comme référence les phénomènes observés dans les jeunes épicéas cultivés sur milieu nutritif marqué avec ^{32}P .

Dans une première partie, nous étudions dans cette espèce l'absorption de phosphates minéraux marqués et leur transport au cours d'une année entière. Nous avons observé la dynamique de la nutrition minérale et la redistribution des composés marqués, absorbés par l'appareil racinaire à une période déterminée, en expérimentant aussi bien pendant la période végétative d'avril à la fin octobre que pendant la période de dormance apparente de la fin octobre jusqu'en fin mars. Nous nous sommes attachés tout particulièrement à préciser l'influence des facteurs climatiques sur l'arrêt de la dormance ainsi que le temps de latence de la réponse de l'arbrisseau aux variations des facteurs climatiques.

Dans une deuxième partie, nous cherchons à étendre nos résultats, en faisant varier soit la nature chimique des composés absorbés ^{45}Ca , ^{140}Ba , ^{140}La , l'espèce végétale restant la même, soit la nature de l'espèce végétale utilisée (peuplier-érable), le traceur restant identique (^{32}P , ^{45}Ca).



MATERIEL ET METHODES UTILISEES

1. Végétaux utilisés

Nous expérimentons sur de jeunes épicéas (picea excelsa) de 4 à 5 ans, ainsi que sur des peupliers (populus nigra) et des érables (acer campestris) de 5 à 6 ans).

2. Conditions de culture

a) Nous avons mis au point une technique satisfaisante et facilement utilisable toute l'année :

Avant la mise en expérience, de janvier à la fin avril, les arbres sont cultivés en pots de 3500 cm³ sur terre arable et laissés sur le terrain de culture. Quatre à cinq jours avant la mise en culture sur milieu nutritif marqué le plan est déterré, les racines sont lavées avec soin par des bassinages répétés. Les arbrisseaux sont ensuite mis en aquiculture sur un milieu nutritif inactif identique à celui qui sera marqué et utilisé pendant l'expérience.

A partir du mois d'avril tous les arbres qui seront utilisés au cours de la période végétative ont été cultivés sur des graviers irrigués en permanence par du milieu nutritif inactif. Par cette technique nous cherchons à limiter au maximum les blessures de l'appareil racinaire et à ne pas modifier notablement les conditions physiologiques normales par une transplantation brutale.

Pendant la phase de contamination les arbres sont cultivés dans des bacs cylindriques en lucoflex, rendus absolument opaques par un revêtement de matière plastique noire et contenant 10 l de milieu nutritif. Le milieu est aéré continuellement par un dispositif analogue à celui des aquariums d'appartement. Les arbres sont maintenus en position verticale (voir photographie n° 1)

b) Composition des milieux nutritifs

Macroéléments par litre de milieu

	Nitrate de calcium 6H ² O	1,172 g
	Nitrate de potassium	0,505 g
	Phosphate monopotassique	0,136 g
<u>Milieu A</u>	Sulfate de magnésium 7H ² O	0,246 g
<u>Milieu B</u>	Nitrate de magnésium 6H ² O	0,256 g

Oligoéléments par litre de milieu

	Sulfate ferreux (7H ² O)	5 mg
	Acide tartrique	4 mg
	Acide borique	2,86 mg
	Chlorure de manganèse	1,81 mg
	Sulfate de zinc (7H ² O)	0,222 mg
	Sulfate de cuivre	0,079 mg

Oxyde molybdique	0,150 mg
Nitrate de cobalt 6H ² O	49,4 µg
Sulfate de nickel 6H ² O	44,7 µg
Sulfate de titane	37,1 µg
Sulfate de chrome et de potassium	36 µg
Vanadate d'ammonium	22,9 µg
Tungstate de sodium	17,9 µg

Les milieux A, utilisé pour l'étude de l'absorption des phosphates marqués par ³²P, et B, utilisé pour celle de l'absorption du ¹⁴⁰Ba et ⁴⁵Ca, ne diffèrent que par leur teneur en sulfates, qui pour le milieu B est inférieure à la limite de solubilité des sulfates de calcium et de baryum. Leur concentration en autres macroéléments ou en oligoéléments est identique.

c) Conditions d'éclairage

Pendant toute la durée des expériences nous avons réalisé une alternance de 14 heures de jour et 10 heures d'obscurité. Les premières séries d'essais ont été faites avec une intensité lumineuse de 3 000 lux environ. Nous avons ultérieurement amélioré nos conditions expérimentales et obtenu des intensités de 5 000 à 5 500 lux.

d) Humidité et température

Le taux d'humidité varie entre 25 et 35 pour cent, la température entre 18 et 25°. Nous n'avons pas de différence sensible de température entre les périodes de lumière et d'obscurité.

3. Prélèvements d'échantillons et méthodes de mesures

A la fin des premières séries d'essais, nous avons analysé les aiguilles anciennes, ou nouvellement formées, prélevées au sommet ou à la base de l'arbre. Sur chaque lot ainsi constitué nous prélevons un échantillon moyen aussi représentatif que possible, pour doser les taux d'humidité, les taux de cendres et l'activité des tissus. Le taux d'humidité est exprimé par rapport au poids sec de l'échantillon en fin de dessiccation.

Les échantillons de tissus fraîchement prélevés, d'un poids compris entre 1,5 g et 2 g sont coupés en fragments aussi comparables que possible et desséchés à l'étuve sous vide en présence de déshydratant pendant 48 h, puis calcinés au four à moufle 30 minutes à 600°. L'activité est mesurée sur 1 cg de cendres solubilisées dans 100 parties d'acide azotique dilué au dixième. Par évaporation à sec à 40°, en coupelles d'aluminium de 20 mm de diamètre, en présence d'une goutte de teepol dilué au centième, nous obtenons un film mince homogène et une géométrie très comparable.

Pour doser ³²P et ⁴⁵Ca nous utilisons un ensemble de comptage à faible mouvement propre (2 chocs/minute) muni d'un détecteur à circulation gazeuse et d'un passeur d'échantillons automatique avec enregistreur. Pour chaque mesure les

comptages sont faits en nombre de coups précomptés, sur double échantillon. L'activité en ^{140}Ba est dosée à l'aide d'un scintillateur à cristal d'iodure de sodium.

Le tableau 1 résume nos conditions expérimentales au cours d'un cycle végétatif complet où :

- H = taux d'humidité
- T = température ambiante
- L-O = { durée de la période de lumière et d'obscurité
 (intensité d'éclairement
- M = { milieu nutritif
 (agent de contamination

TABLEAU 1

Conditions Générales
1962

L - 0	H - 0	M
14 h 10 h 2500 lux	25 - 35 % 18 - 22°	Milieu A 32p

Conditions Spéciales

I - PERIODE DE POST-DORMANCE

Série I - 5/1 - 1/3
36 arbres
Ces arbres seront réutilisés pendant la période végétative

6h-9h } 16h-20h } 1000lux 9h-16h lumière du jour	70 % 20-24°	Milieu A inactif
<u>5 500 lux</u>		

Série II - 5/1 - 26/2
12 arbres

Série X - 26/2 - 23/4
8 arbres

Série III - 26/2 - 23/4
12 arbres

II - PERIODE VEGETATIVE

Série IV - 6/4 - 15/5
12 arbres

		Milieu B 140 _{Ba}
		Milieu B 45 _{Ca}

Série V - 25/5 - 10/7
6 arbres (lot a)

Série VI - 26/7 - 23/8
6 arbres (lot a)

Série VII - 16/9 - 25/10
6 arbres

III - PERIODE DE PREDORMANCE ET DORMANCE VERITABLE

Série VIII - 1/10 - 21/11
8 arbres (lot a)

Plein air Conditions naturelles	Terre arable
5 500 lux	

Série IX - 15/11 - 26/12
8 arbres (lot a)

ETUDE ET DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS

PREMIERE PARTIE - EXPERIMENTATION SUR EPICEAS AVEC 32p

Le cycle végétatif normal des jeunes épicéas comporte la formation au mois d'avril (à Grenoble) des nouvelles pousses et des jeunes aiguilles, après une période de dormance apparente qui dure depuis l'automne. Ce cycle peut être modifié, en agissant expérimentalement sur les facteurs climatiques : dès le mois de janvier une succession de jours longs (14h de lumière - 10 h d'obscurité) associée à une augmentation de la température ambiante (18 à 22°) et à un taux d'humidité de 25 à 35 pour cent, suffit à rompre leur dormance et à provoquer la formation complète des jeunes aiguilles en quelques semaines. Nous considérons cette durée comme le temps "de latence" de la réponse physiologique des arbres à des variations climatiques. Au cours d'une année entière, de janvier à décembre, et dans les conditions expérimentales précédemment définies, nous avons porté notre attention sur différents phénomènes.

1. L'observation de modifications visibles extérieurement par exemple les modifications de taille, la date d'ouverture des bourgeons ainsi que la date d'apparition de jeunes aiguilles et leur croissance.

2. Les variations des taux d'humidité et des taux de cendres dans les aiguilles ou les différents tissus de l'arbre.

3. L'absorption, le transport, l'accumulation de composés phosphatés avec 32p.

TABLEAU 2

Taux d'humidité

	1962	Série II 12 arbres			1963	Série X 8 arbres			1962	Série III - 12	
		A	a	B		A	a	B		A	B
0 S	5/1				5/1				26/2		
1 S	12/1	119 [±] 3		109 [±] 2,5	13/1	107 [±] 7		99 [±] 4	7/3	120 [±] 5	113 [±] 2,5
2 S	19/1				21/1	100 [±] 3		84 [±] 2			
4 S	2/2	115 [±] 6,4		107 [±] 5,6					23/3	118 [±] 7	113 [±] 6,5
5 S	9/2		372 [±] 8		11/2	109 [±] 3	334 [±] 8	106 [±] 8			
6 S	16/2								30/3	118 [±] 8	108 [±] 3
	19/2			123 [±] 5,6						16/4	109 [±] 7
7 S	26/2		428 [±] 60	118 [±] 2							

TABLEAU 3

Taux de cendres

	1962	Série II 12 arbres			1963	Série X 8 arbres			1962	Série III 12	
		A	a	B		A	a	B		A	B
0 S	5/1				5/1				26/2		
1 S	12/1	4,5 [±] 0,4		7,2 [±] 0,5	13/1				7/3	6,8 [±] 0,5	7,2 [±] 0,5
2 S	19/1				21/1	6,0 [±] 0,6		7,7 [±] 0,6			
3 S	26/1	6,2 [±] 0,3		6,8 [±] 0,5					23/3	8,0 [±] 0,8	8,0 [±] 0,6
4 S	2/2	4,6 [±] 0,5		4,5 [±] 0,3							
5 S	9/2	5,4 [±] 0,4	3,3 [±] 0,7	6,1 [±] 0,5	11/2	7,1 [±] 0,4	4,3 [±] 0,2	9,0 [±] 0,6	30/3	7,0 [±] 0,6	8,1 [±] 0,8
6 S	16/2										
	19/2										
7 S	26/2	8,6 [±] 0,6	5,4 [±] 0,7	5,9 [±] 0,9							

-Tous les tableaux indiquent la valeur moyenne des résultats obtenus, suivie de \pm , calculé pour une probabilité de 95 pour cent -

I - JANVIER - FEVRIER - MARS (Période dite de post-dormance)

1. Observations des modifications visibles extérieurement

Dans les séries d'essais I, II, III effectuées en janvier, février, mars 1962, nous avons constaté que pour l'ensemble des arbres, à dater du jour où ils sont enlevés du terrain,

- au bout de deux semaines les bourgeons grissent
- au cours de la troisième semaine les aiguilles apparaissent
- à la fin de la quatrième semaine les aiguilles sont entièrement formées et ont approximativement terminé leur croissance. Dans un même lot les variations observées entre les sujets les plus précoces et les sujets les plus tardifs pour les dates d'ouvertures des bourgeons ou de formation des aiguilles sont de l'ordre de quatre à cinq jours.

(Cette expérience a été répétée du 4/1/63 au 11/2/63 sur un lot de même origine que ceux traités en 1962 (série X). Ils ont été soumis aux mêmes conditions expérimentales. Cependant nous avons augmenté l'intensité d'éclairage continu de 2 500 lux en 1962 à 5 500 lux en 1963. Les résultats de l'observation des modifications visibles extérieurement ont été tout-à-fait comparables).

- en janvier et début février, les modifications importantes du taux d'humidité ambiante 70 pour cent au lieu de 25 pour cent ; ou de l'intensité lumineuse 1 000 lux à 5 500 au cours de la période de jour (série I ou série X) ne provoquent pas de variations significatives de la durée du temps de latence de la réponse physiologique des arbres lorsque la durée d'éclairage reste de 14 heures sur 24 heures.

Les facteurs déterminants dans ce phénomène semblent être de nature photopériodique.

2. Variations des taux d'humidité et de cendres dans les aiguilles

Les tableaux 2 et 3 résument nos résultats.

- A = aiguilles anciennes du sommet de l'arbre
- B = aiguilles anciennes de la base de l'arbre
- a = aiguilles jeunes du sommet de l'arbre

Les taux d'humidité et de cendres sont exprimés par rapport au poids sec.

La variation des taux d'humidité n'est pas significative, par contre la teneur en matières minérales varie nettement.

A) En début janvier, le taux de cendres est nettement plus faible au sommet de l'arbre qu'à la base.

- 60 pour cent dans la série II après une semaine de culture conditionnée avec intensité lumineuse moyenne (2 500 lux)

- 85 pour cent dans la série X après deux semaines de culture avec intensité lumineuse intense (5 500 lux).

Si nous comparons les séries II et X, nous pouvons remarquer qu'après cinq semaines de culture avec 2 500 lux, le taux de matières minérales augmente au sommet de l'arbre. Cette augmentation se continue au cours des semaines suivantes. Pendant la même période, si l'éclairement est de 5 500 lux, l'accumulation des sels minéraux est nettement plus importante (25 pour cent d'augmentation au sommet) et elle se produit aussi bien à la base des arbres qu'au sommet. Ainsi l'augmentation de l'intensité lumineuse au cours de la période d'éclairement paraît être un facteur déterminant de l'absorption radiculaire et du transport des sels minéraux.

B) En mars, après une seule semaine de culture à 2 500 lux, le taux de matières minérales diffère peu dans les aiguilles du sommet ou de la base de l'arbre; même dans ces conditions d'éclairement, les matières minérales s'accumulent en quatre semaines dans toutes les aiguilles aussi bien au sommet qu'à la base.

L'absorption radiculaire des sels minéraux et leur transport vers les parties hautes s'accélèrent.

C) Lorsque les arbres sont laissés sur le terrain dans les conditions naturelles, en janvier et février les matières minérales s'accumulent dans les aiguilles. En quelque sorte il se constitue dans ces tissus une réserve de sels minéraux.

3. Absorption, transport et accumulation des phosphates minéraux marqués avec ^{32}P .

Nous avons cherché à doser dans les aiguilles jeunes ou anciennes les phosphates minéraux accumulés à partir d'un milieu nutritif de composition chimique connue où les racines des arbres plongent pendant une période limitée. La durée des essais est réduite (de un à deux mois), le poids des jeunes arbres est faible (200 à 300 g), le volume de milieu nutritif utilisé pour chaque arbre est important (10 litres). Nous avons pu observer, que dans ces conditions la concentration du milieu nutritif en éléments minéraux varie peu au cours de l'expérience. Connaissant avec précision l'activité des solutions nutritives marquées, en début d'expérience ainsi que leur composition chimique, nous pouvons en mesurant l'activité des aiguilles, à un instant donné, et en tenant compte de la décroissance de ^{32}P , en déduire la quantité d'ions $(\text{Po}^4)^{+++}$ accumulés depuis le début de l'expérience. Au cours de ces essais, nous avons évalué P, le taux de phosphate dans les aiguilles. Il correspond à la quantité totale de phosphates libres et combinés

$$P = \frac{\text{Po}^4\text{HK}^2 \text{ en mg}}{100 \text{ g de tissu sec}}$$

Le tableau 4 résume les conditions expérimentales et les résultats obtenus.

Nos essais comprennent toujours deux phases. Au cours de l'une les arbres sont cultivés en milieu marqué, pendant la seconde ils sont cultivés en milieu inactif.

TABLEAU 4

$$P = \frac{PO_4^{HK^2} (mg)}{100 \text{ g de tissu sec}}$$

	Série II (12 arbres)				Série III (12 arbres)				
	Date	α	A	a	B	Date		A	B
0 S	1962	6 arbres				1962			
1 S	12/1				2,6 \pm 1	4/3 7/3		75 \pm 17	100 \pm 32
2 S	19/1	32 _P	12 \pm 1,5		6,6 \pm 1	32 _P			
3 S	26/1		31 \pm 6		45 \pm 20				
4 S	2/2		58 \pm 6		103 \pm 10		23/9		149 \pm 25
5 S	9/2			87 \pm 30	101 \pm 15	30/3		96 \pm 48	107 \pm 24
6 S	16/2 19/2	β		7 \pm 1	6 \pm 1				
7 S	26/2	6 arbres		21 \pm 3	7 \pm 2	16/4		150 \pm 28	177 \pm 39
8 S		32 _P				23/4		104 \pm 28	120 \pm 24

Dans la série II un groupe d'arbres α , a été mis en culture sur milieu nutritif marqué du 5/1/62 au 16/2/62, un groupe β a été mis en culture sur milieu inactif pendant la même période, puis placé en milieu marqué à partir du 16/2/62.

Comme précédemment :

- A = aiguilles anciennes du sommet de l'arbre
- B = aiguilles anciennes de la base de l'arbre
- a = aiguilles jeunes des extrémités des rameaux

A) Ces résultats montrent que même avec une intensité lumineuse moyenne, 2 500 lux, l'absorption radiculaire des phosphates minéraux, leur transport et leur accumulation est plus intense, et plus rapide en mars qu'en janvier.

Ainsi en mars, après trois semaines de culture, la concentration des feuilles anciennes du sommet est plus de trois fois supérieure à celle qui est obtenue en janvier :

$$\left. \begin{array}{l} \text{(du 5/1 au 26/1} \\ \text{(du 26/2 au 23/3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P = 31 \pm 6 \\ P = 149 \pm 25 \end{array}$$

elle est de l'ordre du double dans les feuilles anciennes de la base :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{du 5/1 au 26/1} & P = 45 \pm 20 \\ \text{du 26/2 au 23/3} & P = 109 \pm 24 \end{array} \right\} \quad B$$

Au bout de 10 jours la concentration mesurée dans les aiguilles du sommet est déjà supérieure à celle qui est obtenue après quatre semaines en janvier /

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{du 26/2 au 7/3} & P = 73 \pm 17 \\ \text{du 5/1 au 2/2} & P = 58 \pm 6 \end{array} \right\} \quad A$$

elle est du même ordre dans les aiguilles de la base :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{du 26/2 au 7/3} & P = 100 \pm 32 \\ \text{du 5/1 au 2/2} & P = 103 \pm 10 \end{array} \right\} \quad B$$

TABLEAU 5
(voir page 13)

$P = \frac{PO^4_{HK^2} \text{ en mg}}{100 \text{ g de tissu sec}}$		
Echantillon	Série X 5/1 - 11/2/1963 5 500 lux 8 arbres	Série II 5/1 - 9/2/1962 2 500 lux 12 arbres
Tb	82 ± 23	
Tm	57 ± 30	
Ts	76 ± 7	
rb	91 ± 42	
ra	90 ± 36	
B	76 ± 32	101 ± 15
b	120 ± 15	
A	68 ± 20	
a	100 ± 28	87 ± 30

En mars, après l'arrêt de la culture sur milieu marqué avec ^{32}P , la concentration maximum en ^{32}P est observée au bout de trois semaines dans les aiguilles prélevées aussi bien au sommet qu'à la base de l'arbre. Cet intervalle de trois semaines représente le temps nécessaire au transport et à l'accumulation dans les aiguilles des phosphates minéraux absorbés par les racines.

B) Nous avons cherché également à apprécier l'influence de l'intensité lumineuse, pendant la période d'éclairement sur l'accumulation des composés phosphatés en janvier.

Le tableau 5 résume nos résultats obtenus par les différents tissus, bois ou aiguilles, prélevés sur les arbres. (voir page 12)

- Tb = base du tronc
- Tm = partie moyenne du tronc
- Ts = sommet du tronc
- rb = bois des rameaux de la base
- ra = bois des rameaux du sommet
- B = aiguilles anciennes de la base
- b = aiguilles jeunes de la base
- A = aiguilles anciennes du sommet
- a = aiguilles jeunes du sommet

Les résultats obtenus ont une dispersion importante. Il n'est pas possible de mettre en évidence à cette période de l'année une différence significative dans le taux d'accumulation des composés phosphatés suivant l'intensité lumineuse au cours de la période d'éclairement.

Il semble qu'en janvier, février, mars se situe une période au cours de laquelle l'activité métabolique des jeunes épicéas s'intensifie sous l'influence des variations des facteurs climatiques; l'absorption radiculaire des composés minéraux, leur vitesse de transport, leur taux d'accumulation vers les parties hautes de l'arbre s'accélèrent jusqu'au sommet de la reprise de la vie végétative.

C'est ce que nous appelons période de post-dormance qui succède à la période de dormance véritable et précède la période végétative.

II - PERIODE VEGETATIVE - d'avril à octobre

Nous avons réalisé pendant cette période quatre séries d'essais. Le tableau 6 résume nos conditions expérimentales. Les arbres mis en expérience à partir de mai avaient été enlevés du terrain et cultivés sur graviers irrigués par du milieu nutritif A jusqu'à leur mise en expérience.

TABLEAU 6

Durée	Conditions	Série IV	Série V	Série VI	Série VII
	Nombres d'arbres	12	6	6	6
S	Début d'expérience	6/4/62	25/5/62	26/7/62	19/9/62
1 S	Milieu nutritif	B	A	B	A
2 S					
3 S	Radioélément	140 _{Ba}	32 _P	45 _{Ca}	32 _P
4 S					
5 S					
6 S					
		15/5/62	10/7/62	23/8/62	25/10/62

1. Observations des modifications visibles extérieurement

Au début avril, les arbres réagissent beaucoup plus vite qu'en janvier, février, mars.

Au bout de 10 jours, les bourgeons sont prêts à s'ouvrir et après 15 à 20 jours, toutes les aiguilles sont complètement formées dans l'ensemble du lot ; les variations observées entre les sujets précoces et les plus tardifs n'excèdent pas trois jours. Ainsi, il apparaît beaucoup que la sensibilité des arbres aux stimulus dus aux facteurs climatiques est nettement plus grande en avril où la formation des aiguilles est complète en moins de trois semaines qu'en janvier, février ou mars où elle demande environ quatre semaines soit un tiers en plus, dans les mêmes conditions expérimentales (jour de 14 h, éclairage de 2 500 lux, température de 18 à 24°).

2. Variations des taux d'humidité et de cendres dans les tissus

Les tableaux 7 et 8 résument les résultats obtenus avec une probabilité de 95 pour cent. Les taux de cendres ne diffèrent pas de façon significative.

Par contre l'abaissement des taux d'hydratation dans les parties hautes de l'arbre paraît plus marqué entre août et octobre, surtout dans les aiguilles.

Dans les aiguilles anciennes du sommet :

139 ± 8 en août au lieu de 108,7 ± 5 soit au moins 15 pour cent

Dans les aiguilles jeunes :

205 ± 25 en août au lieu de 129,4 ± 5,4 soit au moins 30 pour cent.

Il semble également qu'on puisse constater un léger abaissement des taux d'hydratation dans le bois au sommet de l'arbre :

- au sommet du tronc 124 ± 6 en août au lieu de 103,8 ± 6

- dans les rameaux du haut 105 ± 4 en août au lieu de 88,9 ± 6

TABLEAU 7 (voir page 14)
Taux d'humidité en pour cent

Durée	Echantillon	Date 1962	Série IV 12 arbres	Date	Série VI 6 arbres	Date	Série VII 6 arbres
0 S		6/4		26/7		19/9	
1 S	Tb		79 ± 5		92 ± 10		90,3 ± 2,6
2 S	Tm		82 ± 4		116 ± 15		90,1 ± 7,7
3 S	Ts		101 ± 5,5		124 ± 6		103,8 ± 6,0
4 S	rb	140 _{Ba}	rb+ra : 91 ± 5	45 _{Ca}	81 ± 5	32 _P	77,3 ± 5,4
5 S	ra				105 ± 4		88,9 ± 2,4
6 S	B		B+A : 113 ± 7		119 ± 6		95,3 ± 5,4
7 S	b		b+a 160 ± 14		169 ± 14		120,8 ± 7,0
8 S	A				139 ± 8		108,7 ± 5,0
	a	15/5		23/8	205 ± 25	25/10	129,4 ± 5,4
			5 semaines		4 semaines		5 semaines

TABLEAU 8
Taux de cendres

Durée	Echantillons	Date	Série IV 12 arbres	Date	Série VI 6 arbres	Date	Série VII 6 arbres
0 S		6/4		26/7		19/9	
1 S	Tb		3,4 ± 0,5		2,75 ± 0,05		2,6 ± 0,75
2 S	Tm		2,4 ± 0,5		3,40 ± 0,5		2,4 ± 0,5
3 S	Ts		4,7 ± 0,3		4,4 ± 1,3		3,7 ± 0,8
4 S	rb	140 _{Ba}	rb+ra 4,75 ± 0,15	45 _{Ca}	7,1 ± 1,1	32 _P	5,6 ± 0,65
5 S	ra				4,6 ± 0,75		4,6 ± 0,4
6 S	B		B+A 8,95 ± 0,35		9,6 ± 0,65		9,6 ± 0,8
7 S	b				8,9 ± 1,2		7,1 ± 0,75
	A				8,75 ± 0,4		8,8 ± 0,50
	a		b+a 7,85 ± 0,45		6,3 ± 0,75		5,8 ± 0,75
		15/2		23/8		25/20	

3. Etude du transport et de l'accumulation des composés phosphatés

Le Tableau 9 résume les résultats obtenus pour les valeurs de P

$$P = \frac{PO_4^{4-} \text{ en mg}}{100g \text{ de tissu sec}}$$

Durée	Echantillons	Série V		Série VII	
0 S		25/5	6 arbres	16/9	6 arbres
1	Tb	$\begin{array}{c} \uparrow \\ 32p \\ \downarrow \\ 46 J \\ 10/7 \end{array}$	34 ± 2,5	$\begin{array}{c} \uparrow \\ 40 J \\ \downarrow \\ 24/10 \end{array}$	68 ± 25
2	Tm		20 ± 1,8		36 ± 3
3	Ts		45 ± 17		37 ± 17
4	rb		56 ± 7		89 ± 9
5	ra		71 ± 2,5		51 ± 19
6	B		68 ± 17		64 ± 12
7	b		80 ± 10		59 ± 11
8	A		70 ± 22		57 ± 16
	a		83 ± 4		47 ± 7
		10/7		24/10	

Bien que la durée des deux série d'essais ne soit pas absolument identique, la translocation semble nettement moins rapide en septembre-octobre qu'en mai-Juin. Au sommet de l'arbre, la concentration dans les jeunes aiguilles formées depuis le printemps est abaissée de plus de 30 pour cent: 83±4 en août, 47±7 en octobre. Elle est appréciable également dans les aiguilles anciennes et dans le bois du sommet du tronc ou des rameaux supérieurs :

aiguilles anciennes	70 ± 22 en août	59 ± 11 en octobre
sommet du tronc	45 ± 17 " "	37 ± 17 " "
rameaux	71 ± 2,5 " "	51 ± 19 " "

En Octobre par contre, la concentration dans les parties basses du tronc est élevée :

à la base du tronc	34 ± 2,5 en août	68 ± 25 en octobre
dans les rameaux inférieurs	56 ± 7 " "	89 ± 9 " "

TABLEAU 10 (voir page 18)

Durée	Conditions de culture	Série VIII (8arbres)		Conditions de culture	Série IX (8arbres)		
		Humidité	Cendres		Humidité	Cendres	
OS	1/10/62				15/11/62		
1S	↑ Plein air Terre arable très contaminée 32p ↓ 25mc/m3 51 jours	Tb	79 ± 4	4,2 ± 0,9	Tb	82 ± 2	2,7 ± 0,6
2		Tm	79 ± 3	3,1 ± 0,8	Tm	84 ± 6	3,1 ± 0,5
3		Ts	77 ± 6	3,4 ± 0,5	Ts	94 ± 14	4,1 ± 0,8
4		rb	64 ± 6	6,3 ± 0,25	rb	73 ± 7	6,3 ± 0,6
5		ra	69 ± 3	3,7 ± 0,4	ra	71 ± 13	5,1 ± 0,7
6		B	84 ± 4	8,7 ± 0,6	B	95 ± 5,5	10,2 ± 0,6
7		b	95 ± 6	7,5 ± 1,2	b	100 ± 13	8,1 ± 0,6
8		A	82 ± 4	7,6 ± 0,9	A	26/12/62	91 ± 5
	a	92 ± 7	6,4 ± 0,25	a	40 jours	104 ± 4	7,3 ± 0,4

TABLEAU 11

TABLEAU 12

Durée	Conditions de culture	Série VII		Conditions de culture	Série X			
		Humidité	Cendres		Humidité	Cendres		
OS	16/9/62				5/1/63			
1	↑ 32p 2500 lux 40 J ↓ 25/10/62	Tb	90 ± 2,6	2,6 ± 0,75	Tb	85 ± 5	2,5 ± 0,4	
1		Tm	90 ± 7,7	2,4 ± 0,5	Tm	97 ± 6	3,3 ± 0,35	
2		Ts	104 ± 6,0	3,7 ± 0,8	Ts	108 ± 6	3,8 ± 1	
3		rb	77 ± 5,4	5,6 ± 0,65	rb	88 ± 5,5	4,7 ± 0,7	
4		ra	89 ± 2,4	4,6 ± 0,4	ra	5 500 lux	97 ± 8	4,4 ± 0,65
5		B	95 ± 5,4	9,6 ± 0,8	B		98 ± 8	9,0 ± 0,6
6		b	121 ± 7,0	7,1 ± 0,75	b		348 ± 48	5,2 ± 0,25
7		A	109 ± 5,0	8,8 ± 0,50	A		109 ± 7	7,2 ± 0,6
8	a	129 ± 5,4	5,8 ± 0,75	a	11/2/63 37 jours	321 ± 28	4,3 ± 0,30	

Résultats obtenus en fin de période végétative ou au début de la période de post-dormance.
(voir page 18)

Il semblerait donc qu'à cette période l'absorption radicaire des composés phosphatés continue, mais le transport est nettement moins rapide qu'en mai-juin.

III - PERIODE DE PRE-DORMANCE ET DE DORMANCE VERITABLE -

Entre octobre et décembre 1962, nous avons réalisé deux séries d'essais dans des conditions de culture très différentes.

L'une (série VIII) a été effectuée en plein air du 1/10/62 au 21/11/62 dans les conditions naturelles du terrain de culture, les arbres étaient cultivés en pot sur terre arable très fortement contaminée avec ^{32}P (25 mc par m³).

L'autre (série IX) a été faite au laboratoire. Les arbres sont cultivés sur milieu nutritif A marqué avec ^{32}P et soumis pendant six semaines du 15/11/62 au 26/12/62 à un cycle ininterrompu de jours longs (14h de lumière) avec forte intensité lumineuse 5 500 lux.

1. Observation des modifications visibles extérieurement

En fin novembre, un cycle ininterrompu pendant sept semaines de jours longs, même d'une durée de 14 heures avec forte intensité lumineuse (5 500 lux) ne parvient pas à lever la dormance des jeunes épicéas et à provoquer la formation de jeunes aiguilles.

2. Variations des taux d'humidité et des taux de cendres

Le tableau 10 résume nos conditions expérimentales et les résultats obtenus d'octobre à décembre. (voir page 17)

Les tableaux 11 et 12 permettent de faire une comparaison avec les résultats obtenus en fin de période végétative (septembre-octobre) et en début de période de post-dormance (janvier). (voir page 17)

En comparant les valeurs mesurées dans les séries VIII et VII l'abaissement général des taux d'hydratation dans les tissus apparaît nettement. De même on peut observer une augmentation des taux de matières minérales dans les parties basses de l'arbre. (bois de la base du tronc et des rameaux bas).

en septembre-octobre à la base du tronc $2,6 \pm 0,75$ - en octobre-novembre $4,2 \pm 0,9$

en septembre-octobre dans les rameaux bas $5,6 \pm 0,65$ - en octobre-novembre $6,3 \pm 0,25$

alors que ces taux s'abaissent dans les parties hautes.

en septembre-octobre dans les rameaux supérieurs $4,6 \pm 0,4$, en octobre-novembre $3,7 \pm 0,4$

en septembre-octobre dans les aiguilles anciennes du sommet $8,8 \pm 0,5$, en octobre-novembre $7,6 \pm 0,9$

ou même dans les aiguilles de la base $9,6 \pm 0,8$, en octobre-novembre $8,7 \pm 0,6$

Les variations des taux de cendres dans les jeunes aiguilles ne sont pas si-

gnificatives. Ainsi même dans les conditions naturelles il se constitue des réserves de sels minéraux dans les tissus des parties basses.

Si nous comparons les séries IX et X, nous constatons qu'en janvier les taux d'hydratation de l'ensemble des tissus s'élève à nouveau. Ce phénomène est particulièrement net dans les parties hautes.

	fin décembre	début février
dans le bois du sommet du tronc	94 ± 14	108 ± 6
le bois des rameaux supérieurs	71 ± 13	97 ± 8
dans les aiguilles anciennes du sommet	91 ± 5	109 ± 7
les jeunes aiguilles sont très riches en eau : 348 ± 48 pour cent à la base et 321 ± 21 au sommet des arbres.		

Les taux de cendres ne varient pas de façon significatives dans le bois du tronc; cependant les rameaux et les aiguilles anciennement formées, les taux de cendres sont nettement plus faibles en février qu'en décembre.

	décembre	février
dans les rameaux de la base	6,3 ± 0,6	4,7 ± 0,7
dans les rameaux du sommet	5,1 ± 0,7	4,4 ± 0,65
dans les aiguilles anciennes du sommet	8,3 ± 0,5	7,2 ± 0,6
dans les aiguilles anciennes de la base	10,2 ± 0,6	9,0 ± 0,6

cet abaissement est peut-être dû à une mobilisation et à une accumulation dans les jeunes aiguilles formées en quelques semaines, et dans lesquelles les taux de matière minérales sont importants :

- 5,2 ± 0,25 dans les jeunes aiguilles de la base
- 4,3 ± 0,30 dans les jeunes aiguilles du sommet

3. Etude de l'absorption et du transport des composés phosphatés

On peut mettre en évidence une faible radioactivité des tissus des jeunes épicéas cultivés en plein air dans les conditions naturelles sur un sol fortement contaminé avec ^{32}P , pendant le mois d'octobre et le début novembre.

Nous avons calculé l'activité corrigée (tenant compte de la décroissance de ^{32}P depuis le début de l'expérience) et nous l'avons exprimée en ($10^{-4}\mu\text{c}$) par 100 g de tissu sec. Le tableau 13 résume les résultats obtenus. (voir page 20)

A cette période l'absorption et le transport des composés phosphatés sont très faibles mais existent encore. Dans le bois, l'accumulation se fait surtout dans les parties basses du tronc.

Nous avons également comparé l'absorption et le transport des composés phosphatés dans les séries IX et X.

Le tableau 14 donne les valeurs des taux de phosphates dans les différents tissus

$$P = \frac{\text{PO}^4_{\text{HK}} \text{ mg}}{100\text{g de tissu sec}} \quad (\text{voir page 20})$$

La dispersion des résultats est importante. Cependant il est net que dès le 15 novembre un cycle de 7 semaines de jours longs avec forte intensité lumineuse, incapable de déclencher la formation des jeunes aiguilles, provoque cependant une absorption radiculaire et une accumulation importante des composés phosphatés,

TABLEAU 13
(voir page 19)

Durée			Activité ($10^{-4} \mu\text{c}/100\text{g}$)	
1/10	↑	0	Tb	140 ± 8
		1	Tm	92 ± 12
		2	Ts	84 ± 14
32 _P	↑	3	rb	132 ± 13
		4	ra	125 ± 11
25mc/m ³	↑	5	B	147 ± 9
		6	b	169 ± 10
51 _J	↓	7	A	160 ± 20
		8	a	164 ± 20
21/11				
8 arbres				

TABLEAU 14
(voir page 19)

Série IX 8 arbres			Série X 8 arbres				
Durée			Durée				
15/11	↑	Tb	380 ± 93	5/1	↑	Tb	82 ± 23
		Tm	110 ± 49			Tm	57 ± 30
		Ts	108 ± 53			Ts	76 ± 7
32 _P	↑	rb	298 ± 44	5500 lux	↑	rb	91 ± 42
		ra	247 ± 106			ra	90 ± 36
5500 lux	↑	B	175 ± 75	11/2	↓	B	76 ± 32
		b	241 ± 82			b	120 ± 15
42 _J	↓	A	196 ± 95	37 _J	↓	A	68 ± 20
		a	302 ± 99			a	100 ± 28
27/12							

spécialement dans le bois des parties basses du tronc et des rameaux inférieurs, ainsi que dans les aiguilles formées en début d'année.

En février, après cinq semaines des mêmes conditions, le transport est beaucoup plus rapide. La répartition des composés phosphatés est assez homogène dans le bois et dans les aiguilles formées les années précédentes; l'accumulation se fait dans les aiguilles nouvellement formées.

Ainsi, au cours d'un cycle végétatif complet, chez les épicéas, il semble que la vitesse de translocation soit le facteur le plus variable, parmi les différents processus qui conditionnent la concentration dans un tissu particulier, de composés formés à partir d'un sel minéral déterminé, puisé par les racines en un temps limité. C'est vraisemblablement ces inégalités dans le transport qui font que le pouvoir de concentration d'un tissu, défini comme étant le rapport entre la teneur en un élément minéral accumulé en un temps déterminé, dans 100g de cendres de tissu considéré, et la teneur en ce même élément dans 100g de milieu nutritif, varie suivant le tissu considéré et la période du cycle végétatif:

a) Au cours d'une année entière le taux d'hydratation des aiguilles anciennement formées passent par un maximum entre avril et juin, puis s'abaisse ensuite pendant la fin de la période végétative, et la période de dormance. A la fin de cette période de dormance une variation des facteurs climatiques insuffisante pour provoquer la formation de jeunes pousses et "lever la dormance vraie" suffit à provoquer une rehydratation des tissus.

b) Si l'on veut utiliser le pouvoir de concentration pour déduire des indications sur la contamination d'un sol, puisque la vitesse de translocation semble être le facteur le plus variable parmi les processus qui conditionnent la concentration en composés phosphatés dans un tissu particulier, il paraît préférable de prendre comme référence, les tissus prélevés dans les parties inférieures de l'arbre (aiguilles ou rameaux insérés à la base du tronc). En effet pour un temps d'absorption des composés phosphatés de 6 semaines approximativement, les variations des taux de concentration, au cours d'un cycle végétatif complet y sont nettement moindres.

c) Il ne faut cependant pas sous-estimer ces variations dont la connaissance précise dans un nombre suffisant de cas sera très utile :

"Le pouvoir de concentration" des composés phosphatés des aiguilles d'épicéas qu'elles soient anciennement ou nouvellement formées, prélevées à la base des arbres est maximum en fin mars début avril, au moment de la formation des jeunes aiguilles. Il s'abaisse ensuite pendant la période végétative pour devenir très faible, sans s'annuler cependant dans la période de pré-dormance (en octobre et novembre). Il s'élève à nouveau pendant la période de post-dormance en janvier, février, mars.

DEUXIEME PARTIE

Nous cherchons à étendre nos résultats, en faisant varier soit la nature chimique des composés absorbés (^{45}Ca , ^{140}Ba , ^{140}La) l'espèce végétale restant la même, soit la nature de l'espèce végétale utilisée (peuplier, érable), le traceur restant identique ^{32}P , ^{45}Ca .

I - EXPERIMENTATION AVEC EPICEA ET D'AUTRES RADIOELEMENTS

Nous avons utilisé des sels alcalino-terreux : ^{45}Ca , élément important au point de vue nutritif, et ^{140}Ba produit de fission dont le métabolisme est assez comparable, du moins en première approximation à ceux du ^{90}Sr et ^{89}Sr qui sont de redoutables agents de pollution radioactive.

A) Début de la période végétative (avril-mai) - ^{140}Ba

Le tableau 15 résume les conditions expérimentales et les résultats obtenus. Les activités corrigées sont exprimées en chocs par 100 secondes par centigramme de cendres. Dans cette série de 12 arbres, nous avons étudié la répartition du Baryum dans les différents tissus au bout de 5 semaines et demie de culture, en faisant varier la durée de contamination; le lot α a été contaminé pendant 3 semaines, les mesures sont faites deux semaines et demie après l'arrêt de la contamination; lot β a été contaminé pendant 5 semaines et demie, les mesures sont faites immédiatement après l'arrêt de la contamination; le lot γ est cultivé pendant 3 semaines sur milieu inactif puis il est cultivé sur milieu contaminé pendant deux semaines et demie. Les mesures sont faites aussitôt après l'arrêt de la contamination.

Bien que les résultats obtenus soient assez dispersés, nous constatons que :

- l'activité est plus importante dans les aiguilles anciennes (A + B) insérés sur les parties des rameaux voisines du tronc que dans les aiguilles nouvellement formées.

- lot α (A+B) = 2050 ± 350 alors que (a+b) = 1800 ± 325

- " β (A+B) = 2650 ± 200 " " (a+b) = 2000 ± 175

- " γ (A+B) = 700 ± 75 " " (a+b) = 450 ± 100

le phénomène est surtout net lorsque la contamination est plus courte (2 semaines et demie) et que les mesures sont faites aussitôt après l'arrêt de la contamination (lot γ)

- le Baryum s'accumule dans le bois à la base du tronc

. lot α 2650 ± 75 à la base du tronc et 1950 ± 300 au milieu

. lot β 4500 ± 275 " " " " " " 1500 ± 100 " "

. lot γ 2725 ± 475 " " " " " " 1125 ± 75 " "

- lorsque le début de la contamination date de plus de 5 semaines (lot α et β) l'accumulation est plus importante dans les aiguilles anciennes ou nouvellement formées que dans le bois des rameaux où elles sont insérées :

TABLEAU 15 (voir page 22)

Série IV - Activité corrigée en choc/100 sec. par centigramme de cendres									
Durée	lot α			lot β			lot γ		
	0	6/4	Tb	2650 \pm 75	6/4	Tb	4500 \pm 275	6/4	Tb
1	140 Ba	Tm	1950 \pm 300		Tm	1500 \pm 100		Tm	1125 \pm 75
2		Ts	1600 \pm 350		Ts	1150 \pm 50		Ts	1050 \pm 100
3	27/4	Rb+ra	1350 \pm 400	140 Ba	rb+ra	1700 \pm 125	27/4	rb+ra	1700 \pm 350
4		A+B	2050 \pm 350		A+B	2650 \pm 200		140 Ba	A+B
5	15/5	a+b	1800 \pm 325	15/5	a+b	2000 \pm 175	15/5	a+b	450 \pm 100

TABLEAU 16 (voir page 24)

Série VI			
$C = \frac{\text{Ca (en mg)}}{100\text{g tissu sec}}$			6 arbres
Durée			
0	\uparrow 24/7 \uparrow 45Ca \downarrow 24/8 \downarrow	Tb	277 \pm 31
1		Tm	230 \pm 44
2		Ts	176 \pm 38
3		rb	228 \pm 39
4		ra	154 \pm 35
		B	141 \pm 7
		b	176 \pm 42
		A	109 \pm 42
		a	187 \pm 74

. lot α 1350 ± 400 dans le bois des rameaux au lieu de 1800 ± 325 dans les jeunes aiguilles et 2050 ± 350 dans les anciennes

. lot β 1700 ± 125 dans le bois des rameaux au lieu de 2000 ± 175 dans les jeunes aiguilles et 2650 ± 200 dans les aiguilles anciennes.

- lorsque la contamination est arrêtée depuis deux semaines et demie (lot α) l'activité des aiguilles est importante (de l'ordre de 80 pour cent) de l'activité des aiguilles prélevées sur des arbres cultivés en milieu contaminé, pendant une durée presque double (série β)

. lot α {contamination 3 semaines
(arrêtée depuis 2 semaines et demie)}

aiguilles jeunes 1800 ± 325

aiguilles anciennes 2050 ± 350

. lot β contamination 5 semaines et demie

aiguilles jeunes 2000 ± 175

aiguilles anciennes 2650 ± 200

Au contraire l'activité dans les aiguilles prélevées sur des arbres cultivés en milieu contaminé depuis deux semaines et demie (lot γ) est faible (de l'ordre de 25 à 30 pour cent) par rapport à l'activité des aiguilles des arbres cultivés depuis 5 semaines et demie, en milieu contaminé :

. lot α contamination de 2 semaines et demie

aiguilles jeunes 450 ± 100

aiguilles anciennes 700 ± 75

. lot β contamination de 5 semaines et demie

aiguilles jeunes 2000 ± 175

aiguilles anciennes 2650 ± 200

La plus grande partie de l'activité mesurée dans les aiguilles provient des radioéléments absorbés par les racines au cours des 5^{ème}, 4^{ème} et 3^{ème} semaines précédant le prélèvement, alors que dans le bois de la base du tronc on peut déceler une partie importante des radioéléments absorbés par les racines dans les 3 dernières semaines.

B) Période végétative - Expérimentation avec ^{45}Ca (juillet-août)

Nous avons étudié l'absorption et l'accumulation du ^{45}Ca en juillet-août. Le tableau 16 résume nos conditions expérimentales et les résultats obtenus. Dans un lot de 6 arbres nous avons évalué, dans les différents tissus, les taux de calcium exprimés en mg de calcium total pour 100 g de tissu sec.

Malgré la dispersion des résultats, nous pouvons observer que le calcium absorbé par les racines en quatre semaines s'est réparti dans l'ensemble des tissus. Cependant la concentration est maximum dans le bois à la base du tronc et dans les rameaux qui y sont insérés.

Contrairement à ce que nous avons observé en avril-mai avec le baryum, en juillet-août le pouvoir de concentration du calcium, des aiguilles formées au

TABLEAU 17 (voir page 26)

Série VIII - lot b			
^{45}Ca en 10^{-4} μc pour 100 g tissu sec			
Durée			
0	↑ 2/10 ↓ 10/12	Tb	330 ± 110
1		Tm	240 ± 40
2		Ts	170 ± 15
3		rb	250 ± 40
4		ra	180 ± 30
5		B	150 ± 40
6		b	170 ± 2,5
7		A	160 ± 30
8		a	130 ± 50
9			
10			

TABLEAU 18 (voir page 26)

Série V		$P = \frac{\text{PO HK}^2}{100\text{g tissu sec}}$ en mg					
Durée		Lot a épicéas		Lot b érables		Lot c peupliers	
0	↑ 25/5 ↓ 10/7	Tb	34 ± 2,5	Tb	130 ± 35	Tb	170 ± 120
1		Tm	20 ± 1,8	Tm	105 ± 10	Tm	140 ± 105
2		Ts	45 ± 17	Ts	315 ± 45	Ts	330 ± 165
3		rb	56 ± 7	rb	280 ± 35	rb	285 ± 130
4		ra	71 ± 2,5	ra	355 ± 50	ra	595 ± 60
5		B	68 ± 17	B	270 ± 195	B	550 ± 300
6		b	80 ± 10	b	320 ± 200	b	1050 ± 390
7		A	70 ± 22	A	315 ± 125	A	350 ± 150
8	a	83 ± 4	a	305 ± 175	a	550 ± 200	
		(a+b)	81 ± 10	(a+b)	315 ± 200	(a+b)	800 ± 390
		(A+B)	70 ± 22	(A+B)	295 ± 195	(A+B)	550 ± 300

printemps, ne diffère pas sensiblement de celui des aiguilles déjà formées l'année précédente.

C) Période de pré-dormance et dormance véritable

Expérimentation avec ^{45}Ca en octobre-novembre-décembre. Nous avons mesuré l'activité des différents tissus dans un lot de 8 arbres (série VIII, lot b) cultivés sur terre arable, fortement contaminée par ^{45}Ca (30 mc par m³) et laissés dans les conditions naturelles du 2 octobre au 10 décembre.

Le tableau 17 résume nos conditions expérimentales et nos résultats.

Malgré la dispersion des résultats il est net que même à cette période une légère activité métabolique persiste. Après 10 semaines de culture sur sol contaminé, on retrouve du calcium dans l'ensemble des tissus. Cependant comme en juillet-août la concentration est maximum dans le bois à la base du tronc.

II -

Nous avons de même essayé de comparer l'absorption et la distribution de ^{32}P et ^{45}Ca dans des arbres feuillus : Erables, peupliers, à ce qui se passe chez les épicéas.

A) ^{32}P - juin-juillet - Série V du 25/5 au 10/7

Cette série V comprend trois lots de 6 arbres :

- a) épicéas
- b) érables
- c) peupliers

Le tableau 18 résume les résultats obtenus.

Malgré la dispersion importante des résultats obtenus, il semble que la répartition du ^{32}P à l'intérieur d'un même arbre soit assez comparable pour les espèces feuillues et pour les épicéas.

Pour la période considérée, dans le bois la concentration est maximum au sommet du tronc et dans les rameaux qui y sont insérés. Le pouvoir de concentration des composés phosphatés est beaucoup plus importante dans les tissus de peupliers et d'érables que pour les épicéas. Il est particulièrement net pour les feuilles de peupliers insérées aux extrémités des rameaux.

B) ^{45}Ca - juillet-août - Série VI du 24/7 au 25/8

Nous avons en fin d'expérience évalué le Calcium dans les différents tissus après 4 semaines et demie de culture sur milieu marqué avec ^{45}Ca . Le tableau 19 résume nos conditions expérimentales et les résultats que nous avons obtenus.

Il semble par ces résultats, qu'en août, dans les feuillus (érables ou peupliers) le calcium marqué se retrouve dans l'ensemble des tissus, après un mois de culture sur milieu nutritif contenant ^{45}Ca . Cependant les sels de calcium s'accumulent spécialement dans les feuilles des extrémités des rameaux. La translocation

paraît plus rapide dans les érables que dans les peupliers. En effet dans les peupliers comme dans les épicéas la concentration dans le bois est maximum à la base du tronc et dans les rameaux du bas. On observe le phénomène inverse dans les érables. Le pouvoir de concentration des sels de calcium est approximativement deux fois plus important dans l'ensemble des feuilles d'érables que dans les aiguilles d'épicéas. Il est trois fois plus important dans les feuilles de peuplier que dans les aiguilles d'épicéas.

Nous complétons ces essais par des expériences de culture sur milieu contaminé, de longueur très différentes, 2 semaines, 4 semaines, 8 semaines à d'autres périodes du cycle végétatif.

TABLEAU 19 (voir page 26)

Série VI		$c = \frac{\text{Ca en mg}}{100\text{g tissu sec}}$		
Durée	Lot a épicéas	Lot b érables	Lot c peupliers	
0 24/7	Tb 277 ± 31	Tb 57 ± 7	Tb 206 ± 29	
1	Tm 230 ± 44	Tm 143 ± 15	Tm 167 ± 32	
2	Ts 176 ± 38	Ts 161 ± 35	Ts 143 ± 28	
3	rb 228 ± 39	rb 188 ± 54	rb 257 ± 73	
4	ra 154 ± 35	ra 290 ± 68	ra 222 ± 53	
24/8	B 141 ± 7	B 253 ± 60	B 434 ± 65	
30 J	b 176 ± 42	b 323 ± 72	b 622 ± 123	
	A 109 ± 42	A 236 ± 65	A 241 ± 49	
	a 187 ± 74	a 392 ± 85	a 648 ± 119	
	(a+b) (A+B) 153 ± 53	(a+b) (A+B) 301 ± 71	(a+b) (A+B) 486 ± 90	

CONCLUSIONS

Dans ce mémoire nous avons étudié le pouvoir de concentration de quelques sels minéraux dans différentes espèces ligneuses au cours de cycles végétatifs complets. Nous avons tout spécialement porté notre attention sur la dynamique de l'absorption et de l'accumulation des phosphates minéraux et des sels alcalino-terreux, tout en continuant à observer les états d'équilibre des différents constituants (taux d'hydratation, taux de matières minérales), comme nous l'avions fait précédemment.

I - PHOSPHATES - EPICEAS

1. a - Nous mettons en évidence que le pouvoir de concentration des composés phosphatés des aiguilles d'épicéas, anciennes ou nouvelles, prélevées sur les rameaux implantés à la base du tronc est maximum fin mars-début avril, au moment de la formation des jeunes aiguilles; il s'abaisse ensuite pendant la période végétative pour devenir très faible sans s'accumuler en octobre-novembre; il augmente à nouveau en janvier, février, mars. Ainsi, la période de dormance apparente des épicéas, qui à Grenoble s'étend d'octobre à avril, comprend en fait, trois phases, une période de dormance véritable, relativement courte, de la fin novembre au début janvier, encadrée par une période de pré-dormance (en octobre-novembre) et par une période de post-dormance (en janvier, février, mars) pendant lesquelles l'activité métabolique n'est pas négligeable. A partir de janvier, les facteurs déterminants pour déclencher l'ouverture des bourgeons et la formation des jeunes pousses semblent être de nature photo-périodique.

b - Parmi les facteurs qui déterminent le pouvoir de concentration des sels minéraux des différents tissus, c'est la vitesse de transport qui semble varier le plus au cours des saisons.

- Au début de la période végétative la vitesse de transport et d'accumulation maximum des composés phosphatés depuis les racines jusqu'aux aiguilles est très rapide (de l'ordre de trois semaines); elle diminue ensuite à partir de juin jusqu'à la fin de la période végétative.

2. a - Les taux d'hydratation des tissus, en particulier les aiguilles anciennes, suivent le même rythme de variations; ils passent par un maximum entre avril et juin, puis s'abaissent surtout dans les parties hautes des arbres à la fin de la période végétative et pendant la dormance apparente.

b - Les taux de cendres ne varient pas de façon très significative dans la plus grande partie de l'année. On peut noter cependant dès septembre une nette augmentation des taux de cendres dans les parties basses et une diminution marquée dans les parties hautes. Il semble qu'à la fin de la période végétative, ainsi qu'au cours de la pré-dormance et de la post-dormance, des réserves minérales se constituent dans les parties basses des arbres. Ces réserves paraissent mobilisées

dès la reprise de la vie végétative, pour permettre aux matières minérales de s'accumuler en moins de trois semaines dans les jeunes pousses. L'augmentation de l'intensité lumineuse ainsi que l'allongement de la période de jour semblent des facteurs déterminants de l'absorption de sels minéraux et de la vitesse de transport.

II - AUTRES SELS ET ESPECES DIFFERENTES

A) Sels minéraux différents - Epicéas

1 - La vitesse de transport des sels de Baryum et de Lanthane est très faible. Au début de la période végétative, ^{140}Ba et ^{140}La s'accumulent à la base du tronc et dans les aiguilles insérées sur les parties des rameaux proches du tronc, plus que dans les aiguilles des extrémités. Après 5 semaines de culture sur milieu contaminé avec ^{140}Ba la plus grande partie (80 pour cent) de l'activité mesurée dans les aiguilles provient des radioéléments absorbés par les racines au cours des 5ème, 4ème et 3ème semaines précédant le prélèvement des échantillons; la plus grande partie (80 pour cent) de l'activité mesurée à la base du tronc s'y est accumulée pendant les trois dernières semaines.

2 - En juillet-août, le calcium absorbé par les racines en quatre semaines est réparti dans l'ensemble des tissus. Le pouvoir de concentration des aiguilles jeunes ou anciennes, quelle que soit leur position par rapport au tronc, diffère peu. L'accumulation est maximum dans le bois, à la base du tronc. En octobre, novembre, décembre même sur le terrain, dans les conditions naturelles, on peut encore mettre en évidence une légère absorption radiculaire et un transport du calcium dans l'ensemble des tissus.

B) Espèces différentes (Érables - Peupliers)

1 - En juin et juillet, il semble que la répartition des composés phosphatés à l'intérieur d'un arbre soit assez comparable pour les feuillus (érables ou peupliers) et pour les épicéas. A cette période, dans le bois et après six semaines d'absorption radiculaire, la concentration est maximum au sommet du tronc et dans les rameaux qui y sont insérés. Le pouvoir de concentration des composés phosphatés est beaucoup plus important pour les tissus d'érables et surtout de peupliers que pour les tissus d'épicéas.

2 - De même que pour les épicéas, le calcium absorbé en quatre semaines par les racines en juillet-août, se retrouve dans l'ensemble des tissus d'érables ou de peupliers. Cependant, dans ces deux espèces on met en évidence une accumulation dans les feuilles des extrémités des rameaux. De plus, le transport paraît nettement plus rapide dans les érables que dans les peupliers. Le pouvoir de concentration des sels de calcium des feuilles est deux fois plus important dans les érables et trois fois plus important dans les peupliers que celui des aiguilles d'épicéas.

Notre étude confirme que le pouvoir de concentration de tissus végétaux varie beaucoup suivant la nature du sel minéral, l'espèce végétale, le tissu considéré ainsi que la période du cycle végétatif.

Seule une intensification de ces études biologiques peut nous permettre d'établir les lois générales indispensables pour définir des tests biologiques valables, qui sont de toute façon absolument nécessaires au contrôle de la contamination d'un site. Dans nos expériences ultérieures, nous chercherons à approfondir la dynamique de l'absorption radiculaire et de l'accumulation des phosphates et des sels alcalino-terreux tout particulièrement dans la période de pré-dormance, aussi bien dans les conifères que dans les feuillus utilisés en Dauphiné pour le boisement, afin de définir avec précision leurs rythmes de vie.

Manuscrit reçu le 12 juin 1963

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BIDDULPH O., CORY R., BIDDULPH S.
Translocation of radiophosphorus in the phloem of the cotton plant.
Am. Journ. Bot., 1959, 31, 65-70
- [2] BIDDULPH O., CORY R.
Demonstration of two translocation mechanism in studies of bidirectional movement.
Plant Physiol., 1960, 35, 689-696
- [3] BOURDEAU P.F.
Interaction of Giberellic acid and photo period on the vegetative growth of " Pinus elliotii ".
Nature, 1958, 182, 118-119
- [4] BONNER J.
Effects of Giberellic acid on the photo period controlled growth of woody plants.
Plant Physiol., 1957, 32, 492-494
- [5] BORTHWICK H.A., HENDRICKS S.B.
Photoperiodism in plants.
Science U.S.A., 1960, 132, 3435 - 1223-1228
- [6] BUKOVAC M.J., DAVIDSON H.
Gibberillin effects on photo period controlled growth of Weigela.
Nature, 1959, 183, 59-60
- [7] DEMOLON A.
La dynamique des sols.
Paris, Dunod, 1960
- [8] DEMOLON A.
Croissance des végétaux cultivés.
Paris, Dunod, 1950
- [9] KAWASE M.
Dormancy in Betula pubescens and Betula lutea.
Plant Physiol., Sept. 1961, 643-650
- [10] LONA, BORCHI R.
The sprouting of the buds of Fagus silvatica during the period of the winter dormancy in short day light conditions through the action of the Giberellic acid.
Ateneo parmense, 1959, 28, 116-118
- [11] LUNDEGARDH H.
Mechanism of absorption transport accumulation and secretion of ions.
Ann. Rev. Plant. Physiol., 1955, 6, 1-24, 80
- [12] MICHAEL C.
Die mineralische ernährung der Pflanzen.
Handbuch der Pflanzenphysiologie, 1958, 4
- [13] MIDDLETON L.J., RUSSEL R.J.
The interaction of cations in absorption by plant tissues.
Journ. Exp. Bot., 1958, 9, 115-127
- [14] MARINOS N.G.
The nature of auxin induced dormancy in potatoes.
Physiologia Plantarum (D.K), 1962, 15, 4, 663-674

- [15] NITSCH J.P.
Growth reponses of woody plants to photoperiodic stimuli.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 1957, 70, 512-525
- [16] NITSCH J.P.
Photoperiodism in woody plants.
Proc. of Amer. Soc. Hort. Sci., 1957, 526-544
- [17] RUSSEL R.S.
The relationship between metabolism and the accumulation of ions in plants.
Symp. Soc. Exp. Biolog., 1954, 8, 343-366
- [18] RUSSEL R.S., SHORROKS V.M.
The relationship between transpiration and the absorption of inorganic ions
by intact plants.
Journal Exp. Bot., 1959, 10, 301-16
- [19] SUTCLIFFE J.F.
Salt uptake in plants.
Biol. Rev., 1959, 34, 159-220
- [20] SUTCLIFFE J.F.
Mineral salts absorption in plants.
Pergamon Press, 1962
- [21] SWANSON C.P.
Translocation of organic solutes.
Plant: Physiology A treatise, Ed. F.C. STEWARD, 1959, 2, 481-551, Academic
Press N.Y. and London
- [22] ZIMMERMAN M.H.
Transport in the phloem.
Amer. Rev. Plant. Physiol., 1960, 11, 167-190

FIN