LA GERMINATION DES GRAINES DE *PINUS PINASTER*

I. — MISE EN ÉVIDENCE DU RÔLE DE LA LUMIÈRE

M. BONNET-MASIMBERT

avec la collaboration technique de Pierrette CAPELLI, Claudine MULLER et Éliane LAROPPE

*Station d'Amélioration des Arbres forestiers,
Centre national de Recherches forestières,
Champenoux, 54280 Seichamps*

RÉSUMÉ

Au cours d'une série d'essais portant sur des graines issues de plusieurs familles de *Pinus pinaster* n'ayant jamais reçu de lumière avant nos traitements nous avons pu montrer la nécessité pour la plupart des graines de recevoir une certaine quantité de radiations lumineuses pour permettre la germination.

Nous avons comparé l'efficacité de diverses qualités de lumière appliquées pendant diverses durées : lumière naturelle, lumière artificielle avec différents niveaux d'énergie, radiations rouge clair exclusivement. Ces dernières s'avèrent très efficaces, ce qui rend probable l'intervention du phytochrome dans ce processus.

D'un point de vue pratique, un simple tube fluorescent placé pendant un minimum de 24 heures à proximité des graines suffit à stimuler la germination. En outre, l'imbibition des graines joue un grand rôle, ce qui conduit à procéder à l'irradiation lumineuse en même temps qu'un trempage en eau agitée pendant 24 heures. Un tel traitement appliqué sur un lot moyen de graines de 10 familles a permis de faire passer le taux de germination au 26^e jour de 23 p. 100 (aucun traitement) à 82 p. 100 (24 heures de trempage + lumière fluorescente 7 500 lux).

Une très grande variabilité selon la famille à laquelle appartiennent les graines est apparue, tant pour la réponse au traitement lumineux que pour les risques de mortalité pour des durées de trempage supérieures à 24 heures.

I. — INTRODUCTION

A la suite de difficultés survenues pour faire germer des lots de graines de *Pinus pinaster*, provenant notamment de croisements contrôlés réalisés au Laboratoire d'Amélioration des Conifères (I. N. R. A.) de Bordeaux, BARADAT avait entrepris

d'étudier différentes causes possibles de ces difficultés, en particulier, la température d'ouverture des cônes, le mode de désailage des graines et la méthode de stratification. Aucun de ces facteurs ne s'est révélé suffisant pour expliquer les taux de germination anormalement bas (30 p. 100) observés en pépinière.

En 1972, après avoir pris connaissance du travail de HOPKINS (1971), nous avons pensé avec BARADAT que la mauvaise germination de certains lots de graines était due à une exposition à la lumière insuffisante avant semis. Or, le mode d'extraction des graines des cônes dans le cas de lots importants ou de petits lots expérimentaux différait en particulier sur le fait que les petits lots étaient extraits en étuve, donc à l'obscurité, tandis que les autres cônes étaient exposés au plein soleil. Le facteur lumière dont l'importance pratique a été montrée par HOPKINS sur la germination des graines de pin maritime semblait donc être en cause. Aussi, en liaison avec BARADAT qui nous a fourni à plusieurs reprises les graines nécessaires, nous avons réalisé de nombreux essais visant à mettre en évidence l'action de la lumière, puis à définir les modalités pouvant permettre au praticien de satisfaire les besoins des graines en lumière avant semis.

L'action de la lumière sur la germination de nombreuses graines est un domaine maintenant assez largement exploré et plusieurs espèces forestières, dont de nombreux pins, ont des graines dont la dormance est partiellement ou totalement photosensible. Sans vouloir dresser une liste exhaustive, signalons que, sur *Pinus silvestris*, NYMAN (1961 et 1963) a montré l'action réversible des radiations rouge sombre et rouge clair sur la germination. Il en est de même chez *Pinus banksiana* (ORLANDINI et BULARD, 1972). TOOLE et coll. (1962), sur *Pinus taeda* et *Pinus strobus* ont montré que les graines de ces deux espèces réagissaient à la lumière par l'intermédiaire du phytochrome, et cela d'autant mieux que les graines avaient préalablement été stratifiées au froid humide. De plus, TOBIN et BRIGGS (1969) ont montré chez *Pinus palustris* le rôle de l'eau dont l'apport dans les embryons de Pin permet une augmentation de la quantité de phytochrome mesurable. Chez cette même espèce, McLEMORE (1970) a montré que la réponse des lots de graines au traitement lumineux variait selon l'arbre sur lequel avait été effectuée la récolte. Sur *Pinus nigra*, ORLANDINI et MALCOSTE (1972) ont montré la présence de phytochrome et suivi quantitativement *in vivo* l'évolution des diverses formes de ce pigment à l'aide d'une méthode spectrophotométrique.

En ce qui concerne *Pinus pinaster*, les indications les plus complètes sont données par HOPKINS (1971) qui étudia l'influence de la plupart des facteurs de l'environnement, dont la lumière, sur la germination des graines, avec pour objectif la définition de conditions standards pour la réalisation de tests de germination sur cette espèce.

Dans le présent article, notre but a surtout été de rechercher des conditions pratiques, facilement reproductibles, devant permettre d'assurer pour tout lot un taux de germination maximum dans le moins de temps possible. Nous n'avons envisagé que l'action de la lumière et de l'imbibition, à l'exclusion notamment du froid qui est une méthode souvent utilisée (DAVID, 1962) sur *Pinus pinaster* pour lever la dormance. L'action combinée du prétraitement des graines au froid et à la lumière sera étudiée prochainement. Son importance pratique sur pourcentage et vitesse de germination sera précisée à cette occasion.

II. — MATÉRIEL ET MÉTHODE

2. 1. — *Le matériel végétal*

D'un essai à l'autre, les lots de graines ont changé mais provenaient toujours de quelques clones (4 à 11 selon les essais) et étaient obtenus par pollinisation libre. Il s'agit de clones de greffes, les cônes d'un même clone provenant parfois de plusieurs plants. Les cônes étaient expédiés avant ouverture. L'extraction des graines a été effectuée à Nancy en séparant toujours les graines provenant des différents clones. Nous verrons que l'origine clonale des graines nous a permis de mettre en évidence une certaine variabilité individuelle dans la réponse aux facteurs que nous avons étudiés.

2. 2. — *L'extraction, le désailage et le tri des graines*

L'extraction a généralement été pratiquée à 50°C en continu et dans certains cas à 70°C. Depuis, nous avons pu montrer (BONNET-MASIMBERT, 1975) que ce n'étaient pas les conditions optimales. Il semble en effet que la meilleure méthode consiste en un préséchage à 30°C pendant environ 16 heures, puis un passage à 70°C qui ne dure que 3 heures environ. L'ouverture des cônes a eu lieu soit en séchoir à graines ventilé, soit dans une étuve ventilée, mais dans les deux cas à l'obscurité totale. Toutes les heures, les graines extraites étaient retirées et placées dans des sachets opaques. La suite des manipulations sur les graines a été réalisée dans une chambre noire, en lumière verte, considérée comme étant sans action physiologique, obtenue à partir d'un tube fluorescent entouré de trois épaisseurs de Rhodoïd vert (Rhône-Poulenc n° 216). C'est sous cet éclairage qu'ont été réalisés un désailage manuel, un tri densimétrique par flottage à l'éther de pétrole (LEBRUN, 1967) et tous les comptages ou manipulations des lots avant la mise dans différentes conditions de traitement. Toutes les graines utilisées n'ont donc subi *aucune action de la lumière préalablement à nos essais*. C'est un point essentiel qui ne sera pas rappelé à chaque essai décrit.

2. 3. — *Les tests de germination*

Selon les essais, le milieu de germination a changé. Nous le préciserons donc à chaque fois. Mais dans tous les cas la température de germination était de 20°C en continu et l'humidité saturante. Cette température constitue un optimum dans le cas du pin maritime, comme l'a montré HOPKINS. Pour les germinations en lumière, il s'agissait d'un éclairage naturel complété pendant toute la période de jour par un éclairage additif fluorescent donnant un éclairage d'environ 1 200 lux au niveau des graines. Le régime photopériodique était de 16 heures de jour pour 8 heures de nuit. Les germinations à l'obscurité étaient réalisées dans des germoirs identiques aux autres, mais dont la vitre était opacifiée par un papier puis entièrement recouverte d'une toile noire pour photographes.

On a effectué des comptages de germination tous les deux ou trois jours, mais, de façon à tester une éventuelle influence du traitement sur le développement de l'ensemble de la plantule, la date de germination correspond en fait au moment où les cotylédons s'écartent et où le tégument va tomber. Ce type de notation a pour effet d'augmenter le temps de germination d'environ quatre ou cinq jours par rapport aux tests classiques (radicule égale à trois fois la plus grande longueur de la graine). La durée de chaque test de germination a varié selon les essais mais nous avons toujours pris une référence au quarante-deuxième jour, qui est la durée normale (I. S. T. A.) du test pour les graines de cette espèce n'ayant pas subi de prétraitement au froid humide.

2. 4. — *Traitement en eau agitée*

Dans un certain nombre de modalités, nous avons réalisé un trempage des graines. Celui-ci était réalisé dans des bacs de vingt litres, placés selon les cas à l'obscurité ou à la lumière, contenant une eau renouvelée tous les deux jours. Pour maintenir une quantité suffisante d'oxygène dans l'eau, nous avons disposé dans ces bacs deux diffuseurs d'air (surface utile : 50 cm²) reliés à une pompe à air pour aquarium. Les graines étaient placées dans des filets en tulle maintenus dans l'eau au-dessus des diffuseurs d'air. De cette façon, nous pensons pouvoir éviter que le trempage ne se traduise par une mise en condition d'anoxie.

III. — EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS

3. I. — Essais préliminaires

3. II. Mise en évidence d'une influence de la lumière sur la germination.

En 1972, dans une expérience préliminaire portant sur un mélange en proportions égales de graines de onze clones, nous avons comparé des graines ayant subi ou non sept jours d'éclairement naturel avant semis et mises à germer à l'obscurité ou à la lumière. Le tableau 1 donne les résultats de cet essai :

TABLEAU I

Influence d'un prétraitement lumineux et d'un éclairage après semis sur la faculté germinative de graines de pins maritimes

Influence of a lighting treatment before or after sowing on the germination rate of maritime pine seeds

Traitements			Taux de germination (%)		
N°	Prétraitement (1)	Semis	Conditions initiales		Lumière depuis le 55 ^e jour
			au 24 ^e j	au 41 ^e j	au 84 ^e j
1	7 jours lumière naturelle	lumière	66	89,5	97,5
2	7 jours lumière naturelle	obscurité	46	75,5	97,5
3	obscurité	lumière	67	88,5	95,0
4	obscurité	obscurité	10,5	36,5	93,0

(1) Nous utiliserons ce terme pour désigner le traitement appliqué avant le semis en conditions de germination.

(1) The word « pretreatment » concerns a treatment applied before sowing.

En l'absence totale de lumière (traitement n° 4), la germination s'effectue très mal. Par contre, si on fait intervenir la lumière, même après cinquante cinq jours d'obscurité, on peut provoquer à nouveau la germination de la majeure partie des graines. Par ailleurs, si on compare les traitements n° 2 et n° 4, on s'aperçoit qu'un traitement lumineux avant semis permet, sans apport de lumière après semis, d'obtenir une faculté germinative élevée. Tout ceci confirme bien les résultats de HOPKINS (1971).

Aussi, avant d'étudier le mécanisme de cette sensibilité à la lumière, avons nous tenté en 1973 et 1974 de mettre au point une méthode pratique qui permette une germination à la fois rapide et abondante des lots de graines n'ayant jamais vu la

FIG. 1. — Influence de la lumière et de l'enfouissement sur la germination de graines de *Pinus pinaster*. Variation selon les clones (les résultats sont exprimés vingt-cinq et quarante-deux jours après la mise en germination)

FIG. 1. — Influence of lighting and burying on the germination of *Pinus pinaster* seeds. Inter clone variation. (Data taken 25 and 42 days after sowing)

lumière. Signalons que les deux objectifs, rapidité et abondance, ne sont pas toujours confondus et que le rôle des prétraitements est souvent plus de permettre une germination rapide et groupée que d'augmenter réellement la faculté germinative finale. Toute notre étude a été faite en nous rapprochant le plus possible des conditions de semis direct en pépinière (graines enfouies sous une mince couche de terre).

3. 12. *Effet de l'enfouissement de la graine dans le milieu de germination.*

Dans un premier temps nous avons voulu vérifier si, comme nous le pensions, l'enfouissement de la graine nous ramenait bien au cas d'une germination à l'obscurité. Dans cet essai portant sur six clones nous avons comparé un semis en vermiculite, enfoui ou en surface, à la lumière ou à l'obscurité, avec un semis enfoui sous 5 mm de terre de bruyère, considéré comme le traitement le plus proche de celui d'un semis en pépinière. Les résultats sont donnés dans la figure 1 où l'on note une grande variabilité entre clones. Si l'on considère la moyenne des clones, on constate que :

1. Les graines étant enfouies ou non, la germination est sensiblement moins bonne à l'obscurité qu'à la lumière. On peut donc se demander si, compte tenu de la faible épaisseur sous laquelle les graines sont semées, elles ne pourraient pas percevoir une certaine proportion des radiations lumineuses qui parviennent au sol.

2. Dans le cas de semis en vermiculite avec éclaircissement, modalité (I₁), où l'on peut tester l'influence de l'enfouissement, il semble que la germination soit plus rapide lorsque les graines sont semées en surface (levées du vingt-cinquième jour), mais que le taux final de germination soit le même (levées au quarante-deuxième jour). Ce n'est pas le cas des germinations à l'obscurité qui, même au quarante-deuxième jour, restent plus faibles. Ceci confirme l'hypothèse d'une certaine perception des radiations à travers la vermiculite.

3. Il est probable que la terre de bruyère soit plus opaque que la vermiculite aux quelques radiations qui pourraient pénétrer, ce qui se traduit par une germination plus lente et moins complète. Elle est cependant meilleure que dans toutes les modalités de germination à l'obscurité.

Ces trois remarques nous conduisent à penser que, dans la suite de nos essais, toutes les germinations réalisées à l'obscurité doivent nous donner des résultats *par défaut* en comparaison de ceux que nous aurions obtenus lors d'un semis habituel. On devrait donc pouvoir attendre des méthodes mises au point des résultats encore meilleurs que ceux dont il sera fait état ici. Toutefois, dans les conditions de pépinière, des facteurs qui n'interviennent pas en germe peuvent jouer (irrégularité de l'arrosage, par exemple).

La suite des essais a eu pour but de définir et de mettre au point une méthode de prétraitement des graines qui puisse être appliquée dans la pratique forestière.

3. 2. — *Mise au point d'une méthode pratique de prétraitement lumineux*

3. 21. *Action comparée de l'eau et de la lumière sur la germination.*

Sur les mêmes clones que précédemment, nous avons testé l'influence d'un trempage des graines avec ou sans traitement lumineux. Le trempage était effectué comme indiqué au § 2. 4. Dans cet essai réalisé en mars 1973, nous avons testé deux durées d'application de la lumière naturelle (sept jours et quinze jours), avec ou sans

Coefficients de
germination
en % du
Témoin

FIG. 2. — Influence comparée de la lumière naturelle (sept jours ou quinze jours) et d'un trempage (sept jours), employés seuls ou conjointement, sur la germination de graines de Pinus pinaster. Variations selon les clones

FIG. 2. — Compared influence of natural lighting (7 or 15 days) and soaking (7 days) applied separately or together on the germination of Pinus pinaster seeds. Interclone variation

trempage pendant sept jours. L'éclairage naturel parvenait à travers une large fenêtre orientée au sud contre laquelle étaient placées les graines. La germination a eu lieu sur vermiculite, à l'obscurité. Les résultats par clone et sous forme de moyennes sont donnés dans la figure 2, à l'aide d'un coefficient de germination qui traduit une comparaison de chaque traitement avec un témoin du même clone n'ayant jamais reçu ni eau ni lumière et semé dans les mêmes conditions, sur vermiculite à l'obscurité. Il s'agit de résultats donnés au vingt-cinquième jour qui traduisent le mieux l'efficacité d'une méthode de prétraitement dont le but doit être l'obtention d'une germination à la fois rapide et groupée.

On voit qu'un simple trempage pendant sept jours est généralement inactif, voire même nocif pour certains clones. Par contre, le cumul d'un trempage avec une application de lumière donne les meilleurs résultats. Si l'on regarde la figure 3 qui regroupe l'ensemble de ces premiers essais, on s'aperçoit que ce traitement (n° 4) permet d'obtenir à l'obscurité une faculté germinative qui est même meilleure et plus rapide que par germination en surface à la lumière (n° 9). On remarque aussi à nouveau que le fait de replacer à la lumière des graines n'en ayant jamais reçu (n° 1, n° 2, n° 3) permet un nouveau départ de la germination et l'obtention d'un taux voisin de celui de graines ayant germé à la lumière.

FIG. 3. — Schéma récapitulatif de l'action de la lumière, du trempage et de l'enfouissement sur la germination de graines de *Pinus pinaster*. Moyennes sur six clones

FIG. 3. — General scheme of the action of lighting, soaking and burying on the germination of *Pinus pinaster* seeds. Mean values for 6 clones

3. 22. Détermination de la durée optimale d'un prétraitement en lumière naturelle de graines imbibées.

Sur des graines provenant de quatre clones testés séparément, nous avons comparé l'efficacité d'un traitement avant semis en lumière naturelle pendant trois, six, neuf, douze ou seize jours, avec ou sans trempage simultané. L'essai était réalisé

Lumière à sec	naturelle humide	Germination
○ — ○	● — ●	14 ^e j
○ = ○	● = ●	22 ^e j
○ — ○	● - - ●	42 ^e j

FIG. 4. — Germination des graines de *Pinus pinaster* : influence de la durée d'application de la lumière avec ou sans trempage durant toute l'irradiation. Moyennes sur quatre clones

FIG. 4. — Germination of *Pinus pinaster* seeds : influence of the length of a lighting treatment with or without soaking during irradiation. Mean values for 4 clones

en avril 1973. Les résultats sont donnés sous forme de moyenne de quatre clones dans la figure 4. Si l'on regarde d'abord les valeurs obtenues au quatorzième et au vingt-deuxième jour, qui sont les plus aptes à traduire un effet de levée de dormance rapide, on peut noter les points suivants :

— Les traitements humides sont les seuls réellement efficaces et ils permettent pratiquement d'atteindre en vingt-deux jours le taux de germination maximum.

— Lorsque les graines sont imbibées, leurs besoins en lumière sont satisfaits par trois jours d'éclairement, mais les différences entre traitements sont faibles.

— En l'absence d'eau, plus la durée d'application de la lumière est longue et meilleure est la vitesse de germination. Mais là encore, les moyennes de traitements sont peu différentes.

Si l'on considère les résultats finaux (quarante-deuxième jour), on s'aperçoit que au-delà de trois jours, tous les prétraitements humides sont moins bons que les prétraitements secs et parfois même inférieurs au témoin n'ayant subi aucun traitement. Globalement, un trempage de plus de trois jours paraît nocif pour les graines. Peut-être l'oxygénation permise par les diffuseurs d'air n'est-elle pas suffisante. Une imbibition sans immersion serait alors préférable, mais nous n'avons pas testé cette possibilité.

Si l'on s'intéresse maintenant à la variabilité entre clones pour le traitement dans l'eau en lumière naturelle, elle apparaît très importante (fig. 5). Sur la courbe

FIG. 5. — Influence sur la germination de graines de Pinus pinaster de la durée d'application d'un traitement dans l'eau en lumière naturelle. Variation selon les clones

FIG. 5. — Influence of the length of water soaking under natural light on Pinus pinaster seeds germination. Interclone variation

faite au quatorzième jour, qui est ici la plus apte à traduire l'effet du traitement sur la levée de dormance des graines, on s'aperçoit que la baisse observée sur la courbe moyenne (fig. 4) après trois jours de prétraitement est essentiellement due à l'un des clones (SA 13). Par contre AR 9 présente un maximum au neuvième jour, et, pour les deux autres clones, plus la durée est longue et meilleur est le résultat. La comparaison des courbes au quatorzième jour et au quarante-deuxième jour montre que, dans l'ensemble, tous les traitements ont permis une germination très rapide puisque seuls les témoins (O) n'avaient pas germé au quatorzième jour.

Enfin, sur le plan de la faculté germinative finale, on s'aperçoit que, à l'exclusion du clone SA 13, tous les traitements donnent des résultats au moins égaux au témoin. C'est-à-dire qu'à l'effet sur la vitesse de germination, déjà intéressant par lui-même, se surajoute souvent un effet sur le pourcentage final.

Par contre il est certain que l'existence d'une telle variabilité entre clones rend difficile le choix d'une durée pour un lot moyen pour lequel le prétraitement avant semis ne doit pas risquer de provoquer des distorsions importantes dans le taux et la vitesse de germination. Nous ne donnons pas ici les courbes par clone pour le traitement en lumière naturelle sans eau car, avec des niveaux de germination différents, elles ont toutes l'allure de la courbe moyenne de la figure n° 5. Il apparaît donc que c'est la durée du trempage qui apporte l'éventuel élément nocif du traitement, mais que, en l'absence d'un trempage, l'action de la lumière sur ces lots de graines est faible. On retrouve ici un fait signalé par de nombreux auteurs : en général la lumière n'est efficace que sur graines hydratées soit artificiellement, soit parce que leur teneur en eau est suffisante pour que les molécules de phytochrome conservent leur propriété de photoconversion (ROLLIN, 1964, 1970).

TABLEAU 2

Influence comparée de différentes durées d'éclairement appliqué à sec ou avec trempage sur la germination de graines de Pinus pinaster (Moyennes sur 10 clones)

Compared influence of different lengths of lighting treatment applied with or without soaking on the germination of Pinus pinaster seeds (Mean values for 10 clones)

Taux de germination (%)		Durée d'application du traitement						
		0	4 h	8 h	16 h	24 h	48 h	72 h
au 26 ^e j	sec	23	59	61	74	73	68	71
	humide	—	71	70,5	78	82	74,5	73
au 43 ^e j	sec	54,5	87	91	88	84	87	90
	humide	—	87,5	89,5	88	98	80	81,5

Un petit essai complémentaire réalisé en 1974, sur un lot moyen de dix clones également représentés, a permis de comparer des durées plus courtes d'éclairement (lumière fluorescente 7 500 lux) en conditions sèches ou humides. Les résultats sont donnés dans le tableau 2 et montrent que déjà au bout de 3 jours il y a un effet dépres-

sif du trempage. Il semble que la durée optimale de trempage soit de vingt-quatre heures. C'est pour cette durée que le taux de germination est le plus élevé et que la différence avec un traitement à sec est la plus marquée.

3. 23. *Comparaison de différentes sources et intensités lumineuses.*

Pour la définition d'une technique de prétraitement, la lumière naturelle présente l'inconvénient de ne pas être reproductible dans le temps. Aussi, nous avons testé la possibilité d'utiliser de simples tubes fluorescents. A l'éclairage en lumière naturelle, nous avons comparé trois modalités pour cinq durées d'application (trois, six, neuf, douze et seize jours) :

- Éclairage naturel + 1 000 lux lumière fluorescente.
- Lumière fluorescente seule : 3 500 lux.
- Lumière fluorescente seule : 7 500 lux.

Les deux traitements en lumière fluorescente seule ont été réalisés en plaçant les graines plus ou moins près de deux tubes fluorescents (type Mazdafluor lumière du jour de luxe) dans une enceinte fermée mais dont malheureusement la régulation de température était sommaire. En particulier, aucun écran thermique ne se trouvait entre les tubes et les graines. Les traitements étaient effectués à sec sur graines non préalablement réhydratées.

TABLEAU 3

*Effets comparés de la lumière naturelle et de la lumière artificielle
sur la germination de graines de Pinus pinaster*

Compared effects of natural and artificial light on the germination of Pinus pinaster seeds

Clones	Résultats au 22 ^e jour			Résultats au 42 ^e jour		
	Taux de germination témoin (%)	Coefficient d'efficacité (¹)		Taux de germination témoin (%)	Coefficient d'efficacité (¹)	
		9 j lum. fluor. 7 500 lux	9 j lum. nat.		9 j lum. fluor. 7 500 lux	9 j lum. nat.
SA 13	49	183	130	87	114	105
AR 9	52	153	100	80	125	107
000 4	7	257	228	64	137	93
000 1	46	191	69	63	158	98
Moyenne	38,5	179,2	106,5	73,5	132	102

(¹) Ce coefficient permet de comparer les clones malgré d'importantes différences de niveau de germination. Les taux de germination des témoins sont donnés en référence.

$$\text{Coefficient d'efficacité} = \frac{\text{faculté germinative traitement}}{\text{faculté germinative témoin}} \times 100.$$

(¹) The coefficient allows a comparison between clones despite of important differences for germination rate. The germination rates of untreated lots are given as a reference.

$$\text{Efficiency coefficient} = \frac{\text{germination rate of treated lot}}{\text{germination rate of untreated lot}} \times 100$$

Germination	42 ^e j
	22 ^e j
	Lumière	sans	nat	Fluor 1000 Lux + nat	Fluor 3500 Lux	Fluor 7500 Lux

Taux de germination

FIG. 6. — Comparaison de l'action de différentes sources lumineuses et de différentes durées d'application sur la germination de *Pinus pinaster*. Moyennes sur quatre clones

FIG. 6. — Compared action of different light sources and different lengths of application on the germination of *Pinus pinaster* seeds. Mean values for 4 clones

Les résultats moyens pour quatre clones sont donnés dans la figure 6, vingt-deux jours et quarante-deux jours après la mise en germination. C'est au vingt-deuxième jour que s'exprime le mieux l'effet de prétraitement. On constate que *la meilleure modalité consiste en un éclairage fluorescent de 7 500 lux pendant neuf jours*. Pour toutes les durées d'application, les performances sont au moins égales à celles obtenues en lumière naturelle et, dans le cas de neuf jours, nettement supérieures (+ 28 p. 100 au vingt-deuxième jour et + 27 p. 100 au quarante-deuxième jour). Nous donnons dans le tableau 3 un aperçu de la variabilité clonale en comparant sous forme de pourcentage du témoin non traité les résultats des prétraitements en lumière naturelle ou en lumière artificielle (7 500 lux) pendant neuf jours. L'intensité de la lumière naturelle n'a pas été mesurée régulièrement. Toutefois, au mois de mai où se situe cet essai, nous avions au niveau des graines un minimum d'environ 2 000 lux à 10 heures et 6 000 lux vers 13 heures.

3. 24. Détermination de la séquence Eau-Lumière la plus favorable.

Des essais de 1973, il ressortait essentiellement que les meilleurs résultats correspondaient aux traitements où intervenaient à la fois un trempage et un éclairage. Il était intéressant de voir quels rôles relatifs avaient ces deux facteurs et quelle pouvait en être la séquence la plus favorable.

Dans une expérience portant sur un mélange en proportions égales de graines de dix clones différents, nous avons comparé les traitements suivants avant semis :

- trois jours de trempage à l'obscurité (HO) ;
- trois jours de trempage à l'obscurité puis trois jours à la lumière fluorescente (HO + SL) ;
- trois jours à la lumière fluorescente puis trois jours de trempage à l'obscurité (SL + HO) ;
- trois jours de trempage sous lumière fluorescente (HL) ;
- trois jours à sec sous lumière fluorescente (SL) ;
- témoin (SO).

Les résultats sont donnés dans la figure 7. Au vingt-sixième jour, il n'y a pas de différence significative entre les séquences eau puis lumière (HO + SL) et lumière puis eau (SL + HO), ce qui peut paraître assez étonnant. Nous en reparlerons plus loin. Le traitement en lumière exclusivement (SL) est significativement moins bon que les deux séquences précédentes (seuil de 1 p. 100) et surtout que l'application simultanée de l'eau et de la lumière (HL) (seuil inférieur à un pour mille). Au quarante-troisième jour, seul le traitement simultané (HL) est significativement supérieur. Ici aussi, on retrouve avec les traitements (SO) et (HO) la nécessité de la lumière pour la germination. En effet, à partir du quarante-troisième jour, date normale de la fin de l'essai, toutes les graines ont été placées à la lumière. Un nouveau départ de germination s'est produit, qui a permis aux modalités n'ayant pas reçu de lumière avant semis de germer à un niveau proche de celui des autres modalités.

Enfin, les résultats satisfaisants obtenus même en l'absence d'eau, et la similitude des performances des traitements (HO + SL) et (SL + HO) pourrait s'expliquer par le fait que nous avons travaillé sur des graines n'ayant pas subi de déshydratation préalable et dont la teneur en eau était voisine de 15 p. 100. NYMAN (1963), TOBIN et BRIGGS (1969) ont obtenu des résultats similaires sur *Pinus silvestris* et

FIG. 7. — Influence sur la germination de graines de *Pinus pinaster* de l'ordre dans lequel sont appliqués un trempage et un éclaircissement

FIG. 7. — Influence on the germination of *Pinus pinaster* seeds of the sequence of soaking and lighting treatment

Pinus palustris. Il est possible qu'une telle teneur en eau soit suffisante pour que les molécules de phytochrome soient sensibles aux radiations. L'action du trempage peut aussi avoir un effet mécanique de ramollissement de la cuticule de la graine.

Un essai du même type doit être repris en 1975 sur des graines préalablement déshydratées, ce qui pourrait avoir pour effet d'inactiver le phytochrome en l'absence d'imbibition. Quoiqu'il en soit, l'efficacité maximale correspond bien à l'application simultanée de l'eau et de la lumière.

3. 3. — Réponse des graines à une irradiation rouge clair

Dans la plupart des cas où apparaissait une photosensibilité des graines, il a pu être mis en évidence l'intervention d'un pigment photorécepteur, le phytochrome. Sous l'influence de radiations d'une longueur d'onde de 656 m μ , dites « rouge clair » (RC), il est activé et provoque la germination. Par contre, sous l'influence de radiations de longueur d'onde 730 m μ , dites « rouge sombre » (RS), il est maintenu inactif ou rendu inactif s'il avait été activé préalablement. Ainsi par l'utilisation de ces deux radiations, on peut tour à tour stimuler ou inhiber la germination.

Dans un essai préliminaire réalisé en 1974, nous avons testé l'influence sur la germination de graines de pin maritime de radiations RC obtenues, à l'intérieur d'une enceinte fermée, à l'aide d'une lampe à incandescence dont la lumière était filtrée à travers un filtre interférentiel Balzers (Filtrafex B. 40, 656 m μ).

En premier lieu, sur des séries de deux répétitions de cinquante graines provenant de dix clones, nous avons essayé de déterminer la période optimale d'irradiation en lumière RC. Les résultats sont donnés dans le tableau 4, qui montre que l'optimum semble être atteint après vingt à trente minutes d'exposition.

TABLÉAU 4

*Influence de la durée d'irradiation en lumière rouge clair (RC)
sur la faculté germinative de graines de Pinus pinaster*

*The influence of the length of red light irradiation (656 m μ)
on the germination rates of Pinus pinaster seeds*

Taux de germinat. (%)	Durée d'irradiation RC (en mn)						
	0	5	10	15	20	30	60
26 ^e jour	14	38	35	58	56	64	63
44 ^e jour	42	64	67	78	82	81	83

Nous avons ensuite testé sur deux répétitions de vingt-cinq graines par clone et par traitement, l'effet sur la germination d'une exposition de trente minutes en lumière RC. Les résultats correspondant au vingt-sixième jour sont donnés dans la figure 8. On voit que le degré de réponse varie beaucoup d'un clone à l'autre. Tandis que le clone 1331 paraît insensible (ce qui est confirmé par les résultats au quarante-troisième jour non cités ici) les clones 1318 et 1314 réagissent très fortement. Un essai complémentaire nous a d'ailleurs montré que la durée optimum n'était sans doute

pas la même pour tous les clones, ce qui peut expliquer une partie des variations dans la réponse au traitement. Toutefois, malgré cette grande variabilité entre clones, toutes les réponses vont toujours dans le même sens et cette réaction à la lumière RC semble indiquer que le phytochrome pourrait effectivement être mis en cause. Nous n'avons malheureusement pas pu tester en 1974 l'effet sur ces mêmes clones de radiations RS, ni étudier le possibilité de réversion à l'aide de séquences RC-RS, mais nous envisageons ces essais pour 1975.

FIG. 8. — Effet de trente minutes d'irradiation rouge claire sur la germination de graines de *Pinus pinaster*. Variation selon les clones

FIG. 8. — Effect of a 30 minutes red light irradiation (656 mμ) on the germination of *Pinus pinaster* seeds. Interclone variation

IV. — CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de vérifier que la lumière était nécessaire à la germination des graines de *Pinus pinaster* et qu'il était probable que cette sensibilité fasse intervenir le phytochrome. Par ailleurs, nous avons pu vérifier que la germination

était stimulée par une forte humidité dans les graines. Cela nous a permis de définir les modalités pratiques d'un prétraitement avant semis permettant d'assurer une germination à la fois rapide et groupée. Le meilleur traitement semble être une irradiation des graines en lumière fluorescente à forte intensité (7 500 lux) appliquée durant un trempage en eau agitée pendant vingt-quatre heures.

Il est possible que, tout en maintenant une bonne humidité, un allongement de la durée d'irradiation permette encore d'améliorer ces résultats. Il semble par contre peu souhaitable de prolonger le trempage pendant plus de vingt-quatre heures, durée au-delà de laquelle une mortalité due au trempage affecte spécifiquement certains clones. D'autres modalités d'imbibition pourraient d'ailleurs être envisagées (capillarité, brumisation, etc...). Il faut noter toutefois que nous avons travaillé sur graines non stockées, donc non préalablement déshydratées. Il est possible que, dans le cas contraire, les durées de trempage ne soient plus les mêmes. C'est ce que nous envisageons de tester durant la prochaine campagne, de même que nous tenterons d'approfondir la mise en évidence du rôle du phytochrome.

Par ailleurs, il est souvent conseillé de stratifier au froid humide les graines de *Pinus pinaster* avant semis. Dans nos essais, nous avons toujours travaillé sur graines non stratifiées, et pourtant, les taux de germination ont pu être très élevés pour les meilleurs traitements lumineux. On peut donc se demander si l'effet de la lumière ne serait pas susceptible de remplacer dans une large mesure l'effet du froid humide. L'incidence pratique en serait grande dans la mesure où le prétraitement lumineux ne demande que peu de moyens techniques. Un avantage supplémentaire est constitué par le fait que le semis peut ne pas suivre immédiatement la fin du prétraitement lumineux si celui-ci est fait sans imbibition. Il conviendra donc d'approfondir l'étude de l'incidence relative de la lumière et de l'humidité sur la germination des graines de pin maritime. Là encore, l'essai envisagé lors de la prochaine campagne sur graines déshydratées devrait nous permettre de savoir si cette remarque a un caractère général ou si elle ne concerne que les graines non déshydratées.

Mais l'un des points essentiels de cette étude est à notre avis d'avoir montré l'existence d'une grande variabilité dans la réponse aux différents traitements lumineux, selon les clones dont sont issues les graines. Elle est particulièrement facile à mettre en évidence lorsque l'on utilise exclusivement les radiations RC. Ce point appellera peut-être un prolongement dans une étude de l'hérédité de cette sensibilité.

Reçu pour publication en février 1975.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M^{lle} MONIN, du laboratoire de Physiologie végétale de la Faculté des Sciences de la Vie de Dijon, qui, avec beaucoup de disponibilité, guide par ses conseils nos études de dormance des graines. Je remercie aussi M. BARADAT, du Laboratoire d'Amélioration des Conifères (I. N. R. A., Bordeaux), avec qui cette étude est menée en étroite collaboration. Qu'ils soient remerciés d'avoir accepté de relire le manuscrit et contribué par leurs conseils à sa mise en forme.

SUMMARY

THE GERMINATION OF *PINUS PINASTER* SEEDS.

I. — THE EVIDENCE OF THE ACTION OF LIGHT

The evidence of the action of light on the germination of *Pinus pinaster* seeds (from the region of Bordeaux, France) already demonstrated by HOPKINS (1971) has been proved again ; a practical method for a lighting treatment of seeds before sowing has been adapted.

The seeds were collected on individual wind pollinated mother trees. Each maternal seed lot was kept separately. Seeds have been extracted and handled under physiologically safe green light. During these trials some important points appeared :

— If the seeds have never received light before being sown in darkness, the germination is bad. But the only fact of exposing them to light, even after fifty five days of darkness, allows to reach a final rate of germination nearly as high as the rate of germination, under full light.

— Burying the seeds is not exactly equivalent to a sowing in darkness. It seems that a small part of the active radiations is perceived through the substrate.

— A soaking of seeds in renewed, shaken and oxygenated water increases the efficiency of the lighting treatment. But this soaking must be shorter than twenty four hours because, then, a mortality occurs selectively for certain seed lots.

— The response to the treatments, soaking as well as lighting, varies very much depending on the mother trees.

— Red radiations (656 mμ) applied alone stimulated the germination of most of the seed lots, probably due to phytochrome.

— In our case, even without moist cold stratification, it has been possible to get very good germination rates only by application of light during soaking in shaken water.

— From a practical point of view, a good treatment may be a soaking during twenty four hours applied together with a fluorescent lighting under a rather high intensity (7 500 lux). Such a treatment applied on an average lot constituted of seeds coming from ten different trees, has allowed to obtain a germination rate of 82 p. 100 in twenty six days, whereas untreated seeds have germinated only at a 23 p. 100 rate.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BONNET-MASIMBERT, 1975. Influence de la température d'extraction sur la germination et la conservation des graines de Pin maritime. *Revue Forestière Française* (sous presse).
- DAVID R., 1962. L'activation de la germination des graines de Pin maritime. *Bois et Résineux*, 1897, p. 1-8.
- HOPKINS E. R., 1971. Germination in *Pinus pinaster* Air. *Forest. Depart. Perth. Western Australia*, Bull n° 81, 42 p.
- LEBRUN C., 1967. Tri densimétrique des graines par immersion dans des liquides. *Revue Forestière Française*, n° 12, 786-791.
- McLEMORE B. F., HANSBROUGH T., 1970. Influence of light on germination of *Pinus palustris* seeds. *Physiol. Plant.*, **23**, 1-10.
- NYMAN B., 1961. Effect of red and far red irradiation on the germination process in seeds of *Pinus sylvestris*. *Nature*, **191**, (4794), 1219-1220.
- NYMAN B., 1963. Studies on the germination of seeds of Scots pine. *Studia Forest. Suecica* n° 2, 1-164.
- ORLANDINI M., BULARD C., 1972. Photosensibilité des graines de *Pinus banksiana* Lamb. *Biologia Plantarum*, **14** (4), 260-268.
- ORLANDINI M., MALCOSTE R., 1972. Étude du phytochrome des graines de *Pinus nigra* Arn. par spectrophotométrie bichromatique *in vivo*. *Planta* (Berl.) **105**, 310-316.
- ROLLIN P., 1964. Remarques concernant l'action de la lumière sur la germination. *Can. Journ. Bot.*, **42**, 463-471.

- ROLLIN P., 1970. Phytochrome, photomorphogénèse et photopériodisme. *Les Monographies de Physiologie Végétale*, n° 7, Ed. Masson et Cie. Paris 136 p.
- TOBIN E. M., BRIGGS W. R., 1969. Phytochrome in embryos of *Pinus palustris*. *Plant Physiol.*, **44**, 148-150.
- TOOLE V. K., TOOLE E. H., BORTHWICK H. A., SNOW A. G., 1962. Responses of seeds of *Pinus taeda* and *Pinus strobus* to light. *Plant Physiol.* n° 37, p. 228-233.
-