

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES**

**PAR  
JASMIN VILLENEUVE**

**B. Sc.**

**INFLUENCE DES HAUTES TEMPÉRATURES SUR LA GERMINATION DE  
GRAINES DE SIX ESPÈCES DE CONIFÈRES DU QUÉBEC**

**OCTOBRE 1991**



### Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## RÉSUMÉ

Aujourd'hui, les chercheurs reconnaissent que les perturbations, comme les feux de forêt, font partie intégrante du fonctionnement des écosystèmes forestiers boréaux. Certaines espèces de conifères apparaissent bien adaptées à se régénérer après une telle perturbation, alors que d'autres ne montrent pas cette adaptation. L'objectif de cette étude est de vérifier si les graines de conifères bien adaptés au feu résistent plus facilement à des hautes températures que les graines de conifères non adaptés. Des lots de graines de chacune des espèces suivantes, *Picea glauca*, *P. mariana*, *Pinus banksiana*, *P. strobus*, *Abies balsamea* et *Thuja occidentalis*, ont été soumis à différentes températures variant de 50°C à 150°C, pendant une heure. Par la suite, le taux de germination des graines a été évalué, ainsi que la viabilité des graines non-germées. Une évaluation qualitative de la croissance de semis provenant de graines chauffées a également été effectuée afin de déterminer si les hautes températures ont un effet sur la croissance ultérieure des semis. [Les] résultats obtenus montrent une grande résistance à la chaleur des graines de conifères. Après un simple chauffage, l'épinette noire, le pin gris et le thuya occidental ont des graines qui survivent à une heure d'exposition à 120°C, l'épinette blanche à 110°C, le pin blanc à 100°C et le sapin baumier à 90°C. Cependant, on ne peut former deux groupes distincts, l'un regroupant les espèces adaptées et résistant bien, l'autre regroupant celles non adaptées et résistant moins. L'adaptation de certains conifères au feu ne se situerait donc pas au niveau des graines, mais plutôt à un autre niveau, probablement à celui des cônes. On voit aussi que le sapin baumier se démarque, en présentant une résistance inversée par rapport à celle des autres conifères. Enfin, l'évaluation de la croissance des semis montre que les semis ne semblent pas affectés par le stress de chaleur subi préalablement par la graine.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier grandement mon directeur de recherche, le Dr. Réjean Gagnon, pour l'appui et les précieux conseils fournis généreusement lorsque nécessaire. Je veux aussi remercier Messieurs Steven Bouchard, Daniel Gagnon, Gilles Hudon, Daniel Lord, Germain Savard et Michel Thériault ainsi que Mesdames Janick Grenier et Hélène St-Pierre pour l'aide technique et certains conseils qu'ils m'ont apportés. L'apport de Monsieur Denis Henry du Ministère des Forêts de Jonquière est aussi à souligner. Enfin, le support financier de la Compagnie Alcan et du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG), sous forme de bourses d'étude, ont permis la réalisation de cette recherche.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	.ii
REMERCIEMENTS .....	.iii
TABLE DES MATIÈRES .....	.iv
LISTE DES FIGURES .....	.vi
LISTE DES TABLEAUX .....	.viii
CHAPITRE I: INTRODUCTION.....	.1
1. Mécanismes de régénération après feu des conifères.....	.2
2. Résistance des graines aux hautes températures .....	.5
CHAPITRE II: MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	.8
1. Provenance des graines.....	.8
2. Méthodologie.....	.9
3. Traitement des données .....	.12
CHAPITRE III: RÉSULTATS .....	.14
1. Taux d'humidité .....	.14
2. Nombre de graines germées, de graines aptes à germer et pourcentage de germination totale pour chacune des espèces et les trois traitements à la fin des tests de germination.....	.15
3. Tests de viabilité .....	.20
4. Tests de germination .....	.21
5. Évaluation de la croissance des semis.....	.42
CHAPITRE IV: DISCUSSION .....	.49
1. Résistance générale des six espèces à la chaleur .....	.49

2. Résistance du sapin baumier .....	51
3. Résistance au troisième traitement .....	52
4. Retard dans le début de la germination.....	53
5. Résistance versus taille des graines.....	53
6. Évaluation de la croissance des semis.....	54
CHAPITRE V: CONCLUSION .....	56
CHAPITRE VI: RÉFÉRENCES CITÉES.....	58

## LISTE DES FIGURES

Figure 1- Germination quotidienne de l'épinette noire après un simple chauffage (premier traitement).....	22
Figure 2- Germination quotidienne du pin gris après un simple chauffage (premier traitement).....	23
Figure 3- Germination quotidienne du thuya occidental après un simple chauffage (premier traitement).....	24
Figure 4- Germination quotidienne de l'épinette blanche après un simple chauffage (premier traitement).....	25
Figure 5- Germination quotidienne du pin blanc après un simple chauffage (premier traitement).....	26
Figure 6- Germination quotidienne du sapin baumier après un simple chauffage (premier traitement).....	27
Figure 7- Germination quotidienne de l'épinette noire après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	29
Figure 8- Germination quotidienne du pin gris après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	30
Figure 9- Germination quotidienne du thuya occidental après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	31
Figure 10- Germination quotidienne de l'épinette blanche après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	32
Figure 11- Germination quotidienne du pin blanc après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	33
Figure 12- Germination quotidienne du sapin baumier après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).....	34
Figure 13- Germination quotidienne du thuya occidental après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	36
Figure 14- Germination quotidienne de l'épinette noire après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	37

Figure 15- Germination quotidienne de l'épinette blanche après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	38
Figure 16- Germination quotidienne du pin blanc après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	39
Figure 17- Germination quotidienne du pin gris après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	40
Figure 18- Germination quotidienne du sapin baumier après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).....	41
Figure 19- Croissance en hauteur des semis d'épinette blanche.....	43
Figure 20- Croissance en diamètre des semis d'épinette blanche .....	43
Figure 21- Croissance en hauteur des semis d'épinette noire.....	44
Figure 22- Croissance en diamètre des semis d'épinette noire .....	44
Figure 23- Croissance en hauteur des semis de pin gris .....	45
Figure 24- Croissance en diamètre des semis de pin gris .....	45
Figure 25- Poids sec moyen des semis d'épinette blanche après 33 semaines .....	47
Figure 26- Poids sec moyen des semis d'épinette noire après 33 semaines .....	48
Figure 27- Poids sec moyen des semis de pin gris après 33 semaines.....	48

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Teneur en humidité des graines avant chauffage.....	14
Tableau 2- Résultats des tests de germination chez l'épinette blanche.....	15
Tableau 3- Résultats des tests de germination chez l'épinette noire.....	16
Tableau 4- Résultats des tests de germination chez le pin blanc.....	17
Tableau 5- Résultats des tests de germination chez le pin gris.....	18
Tableau 6- Résultats des tests de germination chez le sapin baumier.....	19
Tableau 7- Résultats des tests de germination chez le thuya occidental.....	20
Tableau 8- Taux de croissance moyens en hauteur et en diamètre pour les semis traités et témoins.....	46

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

Il est reconnu, aujourd'hui, que les feux de forêt sont des perturbations majeures, faisant partie intégrante du fonctionnement de la forêt boréale (Spurr et Barnes 1980; Cottam 1981; Heinselman 1970, 1973, 1981a et 1981b; Chandler *et al.* 1983). Cet écosystème est qualifié de dépendant des feux (Heinselman 1981a; Chandler *et al.* 1983), puisque certaines des espèces végétales qu'on y retrouve, dont des conifères, nécessitent le passage d'un feu pour se maintenir. Par exemple, le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) retient ses graines dans des cônes fermés (sérotineux), ne s'ouvrant que lorsqu'ils sont exposés à des températures relativement élevées (Beaufait 1960; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a). Cette adaptation permet donc au pin gris de se régénérer après feu, grâce à la réserve de graines qui est présente dans l'arbre. L'espèce peut ainsi se régénérer même si tous les individus sont tués. Toutefois, elle demeure dépendante des feux pour l'ouverture des cônes. Par contre, d'autres espèces ne semblent pas avoir une telle capacité de régénération après feu. C'est le cas du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), dont les cônes se désagrègent à maturité (Fowells 1965; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a; Brockman *et al.* 1982), ce qui libère les graines et empêche la constitution d'une réserve dans l'arbre. De plus, il ne semble pas former de réserve de graines dans le sol (Heinselman, 1981a). Après feu, il doit donc y avoir des survivants aptes à produire des graines, afin de régénérer l'espèce.

L'hypothèse qui sous-tend cette étude est donc la suivante: les graines de conifères bien adaptés à se régénérer à la suite d'un feu sont plus résistantes à des hautes températures que

les graines de conifères n'ayant pas cette adaptation. Le principal objectif à réaliser pour vérifier cette hypothèse est de comparer la résistance d'espèces adaptées au feu (i.e. possédant des mécanismes leur permettant de se régénérer après feu) et d'espèces non adaptées, face à des températures élevées.

Bien qu'elle ne reflète pas toutes les conditions naturelles d'un feu, cette expérimentation expose les graines à des conditions extrêmes de température. Si elles y survivent, on pourra les considérer comme étant très résistantes pour des organismes vivants. Il sera alors possible de supposer qu'elles seront aptes à survivre plus facilement aux conditions d'un feu.

Les six espèces de conifères étudiées sont l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.), le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et le thuya occidental ou cèdre (*Thuja occidentalis* L.). Ces espèces, naturelles au Québec, ont été classées en deux groupes. D'abord, l'épinette noire, le pin blanc et le pin gris, qui sont reconnus comme étant bien adaptés à se régénérer (ou à survivre) après feu, et ensuite, l'épinette blanche, le sapin baumier et le thuya occidental, qui sont classés comme n'ayant pas cette adaptation (Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a).

### **1. Mécanismes de régénération après feu des conifères**

Selon leur capacité de régénération après feu, on peut diviser les conifères en trois catégories: 1- les conifères qui se régénèrent même si tous les arbres sont tués, 2- ceux qui ont une écorce résistante, leur permettant de survivre au feu et, 3- ceux dont la présence d'individus survivants est nécessaire, n'ayant pas d'adaptation spécifique face au feu. Dans

la première catégorie, on peut classer l'épinette noire et le pin gris, dans la deuxième, le pin blanc et dans la dernière, l'épinette blanche, le sapin baumier et le thuya occidental (Fowells 1965; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a).

Le pin gris est très bien adapté au feu. En milieu naturel, il en est même dépendant pour sa reproduction. Il possède des cônes dont les écailles demeurent scellées avec un matériel résineux même lorsque les graines sont matures. Ils ne s'ouvrent que si la température devient supérieure à 45°C, température de fusion de cette résine (Beaufait 1960; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a; Thomas et Wein 1985). Comme les graines demeurent enfermées dans les cônes, il se forme, au fil des ans, une réserve ou banque de graines dans l'arbre, qui ne sera utilisée qu'après un feu. Cette adaptation se nomme la sérotinité des cônes. Chez le pin gris, les cônes sont dits sérotineux, car ils demeurent complètement fermés, ne dispersant pas de graines (Beaufait 1960; Fowells 1965; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a). Les graines n'étant pas libérées à chaque année, la formation d'une réserve dans le sol n'est pas favorisée (Heinselman 1981a).

L'épinette noire, après feu, se régénère sensiblement de la même manière que le pin gris. Cependant, ses cônes sont seulement semi-sérotineux, car ils s'ouvrent après quelques temps, dispersant une certaine quantité de graines (LeBarron 1939; Fowells 1965; Vincent 1965; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a). Toutefois, il en demeure toujours dans l'arbre pour constituer une banque de graines.

Une autre caractéristique de ces arbres augmente encore leur capacité de survivre au feu. Il leur est en effet possible de produire des graines de façon hâtive, soit à partir de 3 à 15 ans d'âge pour le pin gris (Fowells 1965; Hawey 1982) et de 10 à 15 ans pour l'épinette

noire (MacArthur et Gagnon 1959; Horton et Lees 1961; Fowells 1965; Hawey 1982). Ce caractère les rend aptes à survivre à des feux assez rapprochés dans le temps.

Bien que ne possédant pas de cônes sérotineux permettant la formation d'une banque de graines dans l'arbre, le pin blanc est reconnu comme une espèce dépendante des feux (Horton et Bedell 1960; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a; Huot 1987). En effet, en milieu naturel, les meilleures conditions de germination pour cette espèce sont habituellement retrouvées après un feu ou une perturbation locale (Maissurow 1935; Nichols 1935; Spurr 1953). Elles consistent en un ombrage partiel, une végétation clairsemée et une litière de faible épaisseur, avec une certaine exposition du sol minéral (Shirley 1933; Smith 1940; Smith 1951). De plus, le pin blanc possède une écorce épaisse et résistante au feu, ainsi qu'un tronc dégagé lorsqu'il a atteint l'âge adulte, ce qui le met relativement à l'abri d'un feu de surface (Heinselman 1981a). Ainsi, bien que nécessitant la présence de survivants afin de se perpétuer après feu, le pin blanc est tout de même adapté à cette perturbation, les individus adultes ayant la capacité d'y survivre et les semis s'installant bien après. De plus, comme l'épinette noire, il peut produire des graines dès l'âge de 10 à 15 ans (Hawey 1982).

L'épinette blanche, le sapin baumier et le thuya occidental ne sont pas reconnus comme des espèces adaptées à survivre ou à se régénérer facilement après feu. En effet, contrairement à l'épinette noire et au pin gris, leurs cônes ne demeurent pas fermés. Lorsque les graines sont mures, ils s'ouvrent ou se désagrègent, selon l'espèce, ce qui libère les graines (Marie-Victorin 1964; Fowells 1965; Stiel 1980; Heinselman 1981a; Brockman *et al.* 1982). Comme les graines sont libérées à chaque année, il n'y a pas formation de réserve dans l'arbre. Il semble également qu'il n'y ait pas de réserve dans le sol (Heinselman 1981a). De plus, des conifères comme ceux-ci ont souvent des branches inflammables près

du sol, qui agissent comme des "échelles" et propagent les flammes jusqu'à la cime (Heinselman 1981a). Ils sont donc plus souvent retrouvés dans des sites moins fréquemment brûlés (Spurr et Barnes 1980).

## 2. Résistance des graines aux hautes températures

Dans le monde des végétaux, le seuil de résistance face aux températures élevées varie beaucoup entre les plantes et aussi entre les différentes parties d'une même plante (Langridge et McWilliam 1967; Precht *et al.* 1973; Levitt 1980). Ainsi, par exemple, les espèces de milieu terrestre sont plus résistantes que celles de milieu aquatique (Levitt 1980). De plus, la température limite de résistance est généralement plus basse pour les organismes ou parties de plantes en croissance que pour ceux en repos (Levitt 1980).

Le taux d'humidité contenue dans les parties de la plante est en relation étroite avec cette résistance. En effet, il est reconnu que la résistance est en relation inverse avec le taux d'humidité de l'organe (Just 1877; Schneider-Orelli 1910; Crosier 1956; Carmichael 1958). Ainsi, les parties les plus sèches, comme les grains de pollen, les spores et les graines, seront plus résistantes face à des températures élevées.

Le seuil de résistance de ces parties peut varier de 70° à 140°C (Levitt 1980), selon les espèces, les parties et le temps d'exposition. Des graines de luzerne (*Medicago* sp) résistent à 120°C, mais pas plus de 30 minutes (Schneider-Orelli 1910), alors que des graines de trèfle rouge (*Trifolium pratense* L.) sont tuées après seulement une courte exposition à 70°C (Buchinger 1929). De plus, des grains de pollen de pin rouge japonais ne résistent pas à une température de 50°C pendant quatre heures, tandis que pour ceux du pin noir japonais, la température létale est de 70°C pendant une heure (Watanabe 1953).

Seulement quelques travaux ont été faits sur la résistance des graines de différentes espèces de conifères. Parmi ceux-ci, Beaufait (1960) a étudié l'effet des hautes températures sur les cônes et les graines de pin gris. Il a démontré que des graines exposées à 900°F (482,2°C) pendant 30 secondes, dans leurs cônes, conservent un taux de germination appréciable de 88%. Par contre, après une exposition à la même température pendant 60 secondes, il n'y a plus de graines viables. Également, des graines libres, exposées à 700°F (371,1°C) sont tuées après 10 à 15 secondes d'exposition. À 1 000°F (537,8°C), les graines sont tuées après 1 à 5 secondes seulement. De ses résultats, il retient que les graines de pin gris montrent une très grande résistance face à des températures très élevées, et que les cônes offrent une protection considérable aux graines. Il conclut que les hautes températures retrouvées dans les cimes des arbres lors d'un feu de forêt affecteront très peu la viabilité des graines, mais aideront plutôt à leur dispersion, en provoquant l'ouverture des cônes. Les cônes de pin gris offrent donc une très bonne protection aux graines de cette espèce lors des feux de forêt.

Également, quelques essais préliminaires effectués par Gagnon et Morin (1987) ont démontré que des graines de pin gris et d'épinette noire, soumises à des températures de 120°C pendant une heure, germent tout aussi bien que des graines témoins non traitées.

De son côté, Carmichael (1958) a étudié l'effet combiné de l'humidité et des hautes températures sur la résistance des graines de pin rouge, de pin gris, d'épinette blanche et d'épinette noire. Ses tests indiquent que les hautes températures sont beaucoup plus dommageables lorsque combinées avec des taux d'humidité élevés et appliquées sur une longue période. Les conditions limites d'exposition pour le pin rouge, le pin gris et l'épinette noire avec un taux d'humidité de 30%, sont de 10 heures à 180°F (82,2°C). Pour l'épinette

blanche, à un même taux d'humidité, les conditions limites sont de 50-70 heures à seulement 120°F (48,9°C).

## CHAPITRE II

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 1. Provenance des graines

Les graines utilisées dans cette étude proviennent, pour les épinettes et les pins, de la région du Saguenay-Lac St-Jean et ont été recueillies à l'automne 1989. Les graines d'épinette noire ont été récoltées dans la Réserve Faunique des Laurentides, près du Mont Apica, celles d'épinette blanche à Shipshaw, sur les rives du Saguenay, celles de pin gris à St-Honoré et celles de pin blanc, à la pépinière du Ministère des Forêts à Normandin. À noter, pour cette dernière espèce, que les cônes fraîchement cueillis ont été fournis par le Ministère des Forêts, bureau de Jonquière. Pour ce qui est des graines de sapin baumier, elles proviennent de Black Lake, dans la région de Thetford Mines, et elles ont été obtenues de M. Larry Downey, producteur d'arbres de Noël de l'Estrie. Enfin, les graines de cèdre viennent de la région des Laurentides et ont été fournies par la Pépinière du Ministère des Forêts à Berthier.

Il est à noter que pour le sapin et le cèdre, un premier essai, effectué avec des graines du Saguenay, a révélé un taux de germination très bas (moins de 1%). Il a donc fallu trouver d'autres graines afin de faire les essais. Comme la période de récolte était depuis longtemps passée, les lots ont été commandés à l'extérieur. Ces graines ont subi une conservation au froid (à environ  $-4^{\circ}\text{C}$ ), contrairement aux autres espèces. Toutefois, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux des autres conifères, les mêmes manipulations et traitements ont été appliqués à toutes les espèces.

## **2. Méthodologie**

Dans l'ensemble, l'étude peut être divisée en quatre grandes étapes: 1- la récolte et l'extraction des graines, 2- l'exposition des graines à différentes températures, 3- les tests de germination et de viabilité et, 4- l'évaluation de la croissance de semis.

### **2-1. Récolte et extraction des graines**

La première étape consiste à cueillir, sur le terrain, les cônes des différentes espèces de conifères. Une fois récoltés, les cônes sont entreposés au sec, à la température de la pièce. Puis les graines sont extraites. À ce moment, les manipulations varient un peu d'une espèce à l'autre. Ainsi, pour le sapin, les cônes se désagrègent de façon naturelle, les graines sont faciles à recueillir. Pour les épinettes, le pin blanc et le thuya, les cônes s'ouvrent d'eux-mêmes lors de l'entreposage et il est alors facile d'extraire les graines. Par contre, le pin gris pose un peu plus de difficultés. Les cônes ne s'ouvrant pas d'eux-mêmes, il faut donc les forcer dans un étau, pour ensuite les décortiquer à l'aide de pinces.

### **2-2. Exposition des graines à différentes températures**

Trois traitements de chauffage différents ont été réalisés. Le premier consiste tout simplement à soumettre les graines à la chaleur. Dans le deuxième, les graines sont chauffées, puis elles sont soumises à une période de froid sur substrat humide (à environ 4°C). Enfin, dans le dernier, on soumet les graines au froid et à l'humidité (même conditions que précédemment) avant de les chauffer. La période de froid est nécessaire à certaines espèces (comme le sapin baumier et le pin blanc) pour lever la dormance des graines (Edwards 1987). Elle est d'une durée de 48 jours (bien que 21 jours soient habituellement recommandés, certaines contraintes de temps ont obligé une durée plus longue).

Préalablement au chauffage, des lots de 100 graines sont formés. En tout, 32 lots par espèce sont constitués, ce qui fait un total de 3 200 graines, soit 19 200 graines pour l'ensemble des six espèces étudiées. Pour chaque traitement, 10 lots sont utilisés. Les deux autres servent à déterminer le taux d'humidité. Les 10 lots de chacun des traitements sont soumis à différentes températures, sauf un lot témoin, qui est maintenu à la température de la pièce. Les températures d'exposition sont de 50°, 80°, 90°, 100°, 110°, 120°, 130°, 140° et 150°C. La durée d'exposition est d'une heure. Un lot par espèce est donc soumis à chacune des températures. L'appareil utilisé est un four à convection (de marque Fisher, série 300, modèle 338F) avec une uniformité interne de plus ou moins 2,5°C.

Juste avant le chauffage des graines, le taux d'humidité est déterminé. Pour ce faire, on pèse une centaine de graines, on les fait sécher (à environ 103°C pendant 17 heures), puis on les repèse (balance Metler AE160, précise au  $1 \times 10^{-4}$ g). La différence de poids obtenue correspond à la quantité d'eau contenue dans les graines (Edwards 1987).

### **2-3. Tests de germination et de viabilité**

Lorsque les deux premières étapes sont terminées, on soumet les différents lots à un test de germination, afin de déterminer le taux de survie des graines, selon les espèces, les températures et les traitements. Les techniques de cette partie ont été adaptées à partir des méthodes standards décrites par Edwards (1987). Elles consistent à placer les graines sur deux couches de papier filtre (de marque Whatman: 150 mm de diamètre et rétention de 11  $\mu$ m), dans un plat de Pétri (150 mm de diamètre) arrosé avec de l'eau distillée au besoin (i.e. afin de maintenir le substrat humide). Les plats sont placés dans une salle à température et lumière contrôlées. Ce test est d'une durée minimale de 30 jours et les graines sont examinées à chaque jour afin de vérifier leur germination. Une graine est considérée comme

ayant germé, lorsque sa radicule a au moins 2 mm de long (Pitel *et al.* 1989). Elle est alors extraite du lot et comptabilisée.

Les conditions de température et de lumière dans la chambre de germination ont été adaptées à partir des travaux de Edwards (1987) et consistent en une alternance jour-nuit; soit un jour de huit heures de lumière avec une température de 24°-26°C et une nuit de seize heures, avec une température de 16°-18°C. L'humidité ambiante des graines dans les plats de Pétri demeurant saturée.

À la fin de la période de 30 jours, les graines qui n'ont pas germé sont soumises à un test de viabilité (Edwards 1987). D'abord, les graines sont coupées en deux afin de déterminer si elles contiennent un embryon et un endosperme complets (c'est-à-dire si elles sont aptes à germer). Puis, une moitié des graines répondant à ce critère est immergée dans une solution aqueuse de chlorure de tétrazolium 1%, pendant 24 heures à l'obscurité. Le tétrazolium, incolore, est réduit par les cellules vivantes en un composé rouge, stable et qui ne diffuse pas, le formazan (Lakon 1942; Edwards 1987). Ainsi, les parties vivantes étant colorées en rouge, on peut évaluer la viabilité de la graine en déterminant le taux de coloration de l'ensemble. Pour que la graine soit considérée viable, l'embryon et l'endosperme doivent être bien colorés en rouge.

#### **2-4. Évaluation de la croissance de semis**

Finalement, en dernière étape, un lot de 67 graines par espèce est chauffé pendant une heure, à la température la plus élevée à laquelle elles ont résisté dans les tests de germination. Elles sont ensuite semées en terre, dans des caissettes à 67 cavités (une graine par cavité), ainsi qu'un lot de 67 graines non-chauffées servant de témoin. Cette évaluation de croissance

va permettre de vérifier si la chaleur a un effet sur le développement des semis. La méthode standard de production de semis d'arbres en serres, employée par les techniciens des serres de l'Université du Québec à Chicoutimi est utilisée pour la culture des semis. On évalue ensuite la morphologie générale des semis et on mesure la hauteur de la tige et le diamètre à la base à toutes les deux semaines. Les graines d'épinette noire et de pin gris ont été chauffées à 120°C et celles d'épinette blanche à 110°C. Après 17 semaines, les semis sont placés à l'extérieur afin de les faire entrer en dormance. La durée totale du test est de 33 semaines.

À la fin de ce test de croissance, le poids sec des plants est mesuré. Les semis sont d'abord déracinés, puis les racines sont nettoyées de toute la terre qu'elles retiennent. Le plant est par la suite coupé entre la tige et les racines afin d'évaluer la biomasse de chacune de ces parties. Le séchage s'effectue dans un four à environ 75°C pendant 48 heures.

L'évaluation de la croissance n'a pas été faite avec le thuya et le sapin, car les graines chauffées n'ont pas produit de semis. De plus, bien qu'elle ait été faite avec le pin blanc, cette espèce n'a pas été retenue dans ce rapport car les graines chauffées n'ont produit qu'un seul semis.

### **3. Traitement des données**

Les résultats des tests de germination sont présentés sous formes graphiques montrant la germination quotidienne cumulée en fonction du temps. Les valeurs de la germination correspondent au pourcentage de graines germées par rapport aux graines aptes à germer. Les graines aptes à germer sont celles qui sont pleines (c'est-à-dire contenant un endosperme et un embryon complets, capables de germer et de produire un semis). Les graines faisant partie de cette catégorie sont celles qui ont germés, plus celles qui n'ont pas germés mais qui

sont trouvées pleines après ouverture, à la fin du test de germination (soit juste avant le test de viabilité). Ainsi, pour chacun des lots, les graines qui n'auraient jamais germé (c'est-à-dire les graines vides) sont éliminées. On ne considère donc que les graines qui avaient, au départ, toutes les constituantes pour germer.

## CHAPITRE III

### RÉSULTATS

#### 1. Taux d'humidité

On note (tableau 1) que les graines du troisième traitement (i.e. celles ayant subi une période de froid sur substrat humide, avant chauffage) ont un taux d'humidité plus élevé que les autres. De plus, pour tous les traitements, le thuya occidental a le taux le plus bas, alors que le sapin baumier a le plus haut.

Tableau 1- Teneur en humidité des graines avant chauffage.

TRAITEMENTS	ESPÈCES	TAUX D'HUMIDITÉ
Premier <sup>1</sup> et Deuxième <sup>2</sup>	épinette blanche épinette noire pin blanc pin gris sapin baumier thuya occidental	4,5 % 5,12 % 4,85 % 4,87 % 6,67 % 3,32 %
Troisième <sup>3</sup>	épinette blanche épinette noire pin blanc pin gris sapin baumier thuya occidental	22,31 % 26,88 % 35,83 % 24,96 % 37,85 % 21,14 %

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

## 2. Nombre de graines germées, de graines aptes à germer et pourcentage de germination totale pour chacune des espèces et les trois traitements, à la fin des tests de germination

Dans les tableaux 2 à 7, on retrouve les résultats des tests de germination. Pour chaque lot, les données présentées sont le nombre de graines germées sur 100 et le nombre de graines qui, à la fin du test de germination, ont été placées dans la solution de tétrazolium pour le test de viabilité. L'addition de ces deux valeurs donne le nombre de graines aptes à germer. La différence entre ce nombre et 100 représente les graines vides. Enfin le pourcentage de germination total représente le pourcentage des graines germées par rapport à celles aptes à germer.

**Tableau 2- Résultats des tests de germination chez l'épinette blanche.**

Température d'exposition	témoin	50°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
<b>Premier traitement<sup>1</sup></b>										
graines germées	34	33	28	34	31	39	0	0	0	0
graines, test de viabilité	3	2	2	2	7	19	45	36	49	39
graines aptes à germer	37	35	30	36	38	58	45	36	49	39
% de germination total	91,9%	94,3%	93,3%	94,4%	81,6%	67,2%	0%	0%	0%	0%
<b>Deuxième traitement<sup>2</sup></b>										
graines germées	30	32	41	37	42	4	0	0	0	0
graines, test de viabilité	0	0	0	2	7	50	33	30	46	49
graines aptes à germer	30	32	41	39	49	54	33	30	46	49
% de germination total	100%	100%	100%	94,9%	85,7%	7,4%	0%	0%	0%	0%
<b>Troisième traitement<sup>3</sup></b>										
graines germées	27	19	1	0	0	0	0	0	0	0
graines, test de viabilité	0	9	26	33	31	33	26	31	48	55
graines aptes à germer	27	28	27	33	31	33	26	31	48	55
% de germination total	100%	67,9%	3,7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

**Tableau 3- Résultats des tests de germination chez l'épinette noire.**

Température d'exposition	témoin	50°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
<b>Premier traitement<sup>1</sup></b>										
graines germées	62	39	60	62	57	58	47	0	0	0
graines, test de viabilité	0	0	0	0	0	0	2	62	43	60
graines aptes à germer	62	39	60	62	57	58	49	62	43	60
% de germination total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	95,9%	0%	0%	0%
<b>Deuxième traitement<sup>2</sup></b>										
graines germées	64	67	57	57	53	66	39	0	0	0
graines, test de viabilité	1	1	3	0	1	0	21	66	66	57
graines aptes à germer	65	68	60	57	54	66	60	66	66	57
% de germination total	98,5%	98,5%	95%	100%	98,1%	100%	65%	0%	0%	0%
<b>Troisième traitement<sup>3</sup></b>										
graines germées	59	66	5	3	2	2	0	0	0	0
graines, test de viabilité	0	0	29	57	58	72	75	59	60	56
graines aptes à germer	59	66	34	60	60	74	75	59	60	56
% de germination total	100%	100%	14,7%	5%	3,3%	2,7%	0%	0%	0%	0%

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

**Tableau 5- Résultats des tests de germination chez le pin gris.**

Température d'exposition	témoin	50°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
<b>Premier traitement<sup>1</sup></b>										
graines germées	67	65	69	63	67	54	50	0	0	0
graines, test de viabilité	10	20	22	24	17	16	40	83	76	84
graines aptes à germer	77	85	91	87	84	72	90	83	76	84
% de germination total	87%	76,5%	75,8%	72,4%	79,8%	75%	55,6%	0%	0%	0%
<b>Deuxième traitement<sup>2</sup></b>										
graines germées	54	60	54	53	38	19	3	0	0	0
graines, test de viabilité	20	13	13	26	24	57	77	86	79	86
graines aptes à germer	74	73	67	79	62	76	80	86	79	86
% de germination total	73%	82,2%	80,6%	67,1%	61,3%	25%	3,8%	0%	0%	0%
<b>Troisième traitement<sup>3</sup></b>										
graines germées	46	51	0	0	0	0	0	0	0	0
graines, test de viabilité	12	18	48	46	44	70	76	86	85	89
graines aptes à germer	58	69	48	46	44	70	76	86	85	89
% de germination total	79,3%	73,9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

**Tableau 6- Résultats des tests de germination chez le sapin baumier.**

Température d'exposition	témoin	50°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
<b>Premier traitement<sup>1</sup></b>										
graines germées	38	46	68	60	0	0	0	0	0	0
graines, test de viabilité	35	20	13	1	19	62	29	64	17	71
graines aptes à germer	73	66	81	61	19	62	29	64	17	71
% de germination total	52,1%	69,7%	83,9%	98,4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Deuxième traitement<sup>2</sup></b>										
graines germées	7	42	69	2	0	0	0	0	0	0
graines, test de viabilité	62	32	3	12	45	61	50	44	51	38
graines aptes à germer	69	74	71	14	45	61	50	44	51	38
% de germination total	10,1%	56,8%	97,2%	14,3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Troisième traitement<sup>3</sup></b>										
graines germées	42	48	0	0	0	0	0	0	0	0
graines, test de viabilité	25	19	29	41	33	38	72	68	69	54
graines aptes à germer	67	67	29	41	33	38	72	68	69	54
% de germination total	62,7%	71,6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

**Tableau 7- Résultats des tests de germination chez le thuya occidental.**

Température d'exposition	témoin	50°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
<b>Premier traitement<sup>1</sup></b>										
graines germées	66	48	48	50	47	45	2	0	0	0
graines, test de viabilité	0	0	0	1	5	22	65	46	55	51
graines aptes à germer	66	48	48	51	52	67	67	46	55	51
% de germination total	100%	100%	100%	98%	90,4%	67,2%	2,99%	0%	0%	0%
<b>Deuxième traitement<sup>2</sup></b>										
graines germées	41	63	48	33	46	11	0	0	0	0
graines, test de viabilité	1	0	1	3	12	21	53	70	67	63
graines aptes à germer	42	63	49	36	58	32	53	70	67	63
% de germination total	97,6%	100%	98%	91,7%	79,3%	34,4%	0%	0%	0%	0%
<b>Troisième traitement<sup>3</sup></b>										
graines germées	52	53	46	52	52	10	0	0	0	0
graines, test de viabilité	0	1	0	0	14	18	63	76	71	56
graines aptes à germer	52	54	46	52	66	28	63	76	71	56
% de germination total	100%	98,1%	100%	100%	78,8%	35,7%	0%	0%	0%	0%

1. simple chauffage

2. chauffage, suivi du froid

3. froid, suivi du chauffage

### 3. Tests de viabilité

La présence de quelques graines toujours viables après le test de germination est notée. C'est principalement lors du premier traitement (simple chauffage) et surtout chez le pin blanc, l'épinette blanche et le sapin baumier que l'on retrouve ces graines. Toutefois, leur nombre est très faible en regard de la quantité de graines germées.

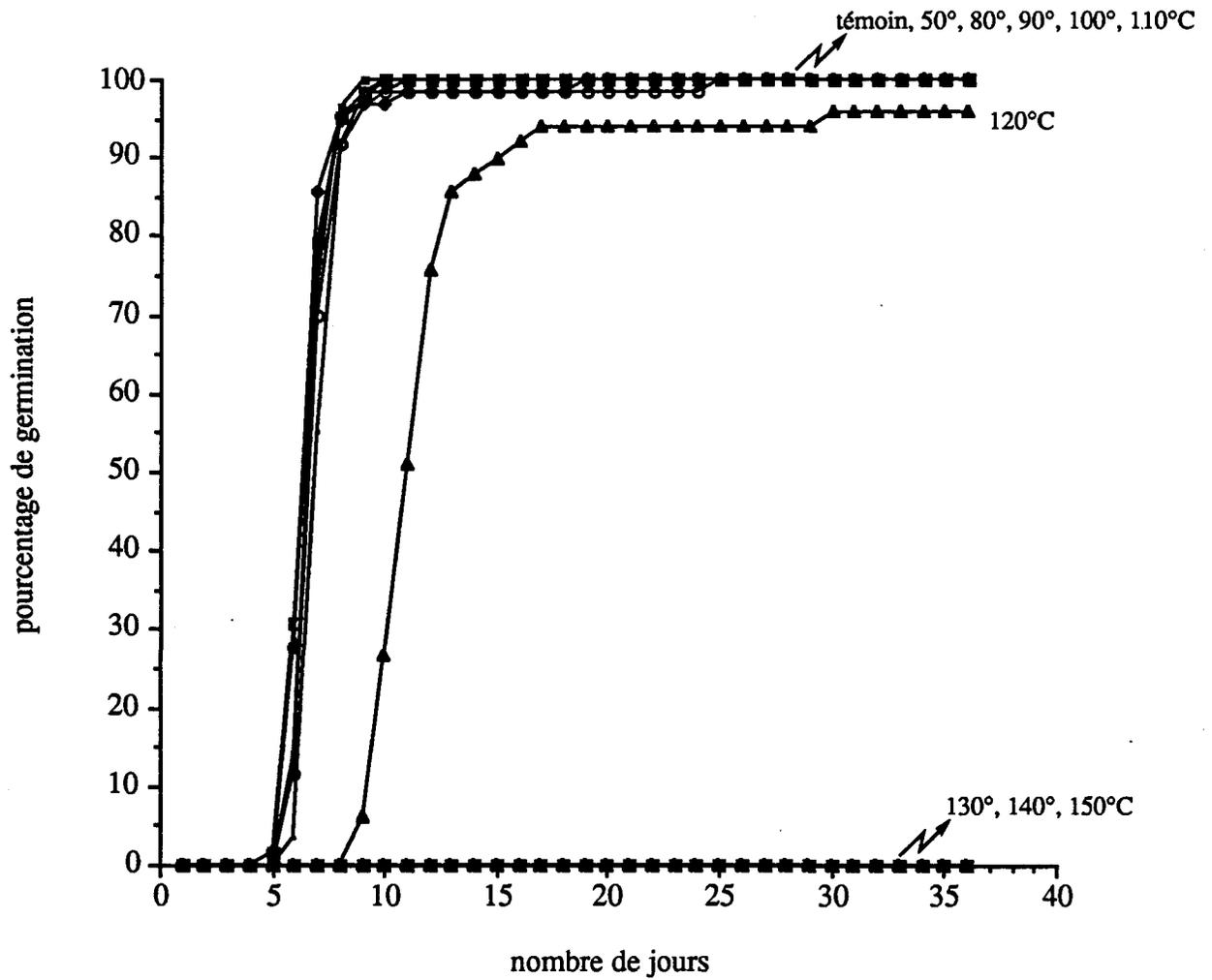
## 4. Tests de germination

### 4-1. Premier traitement

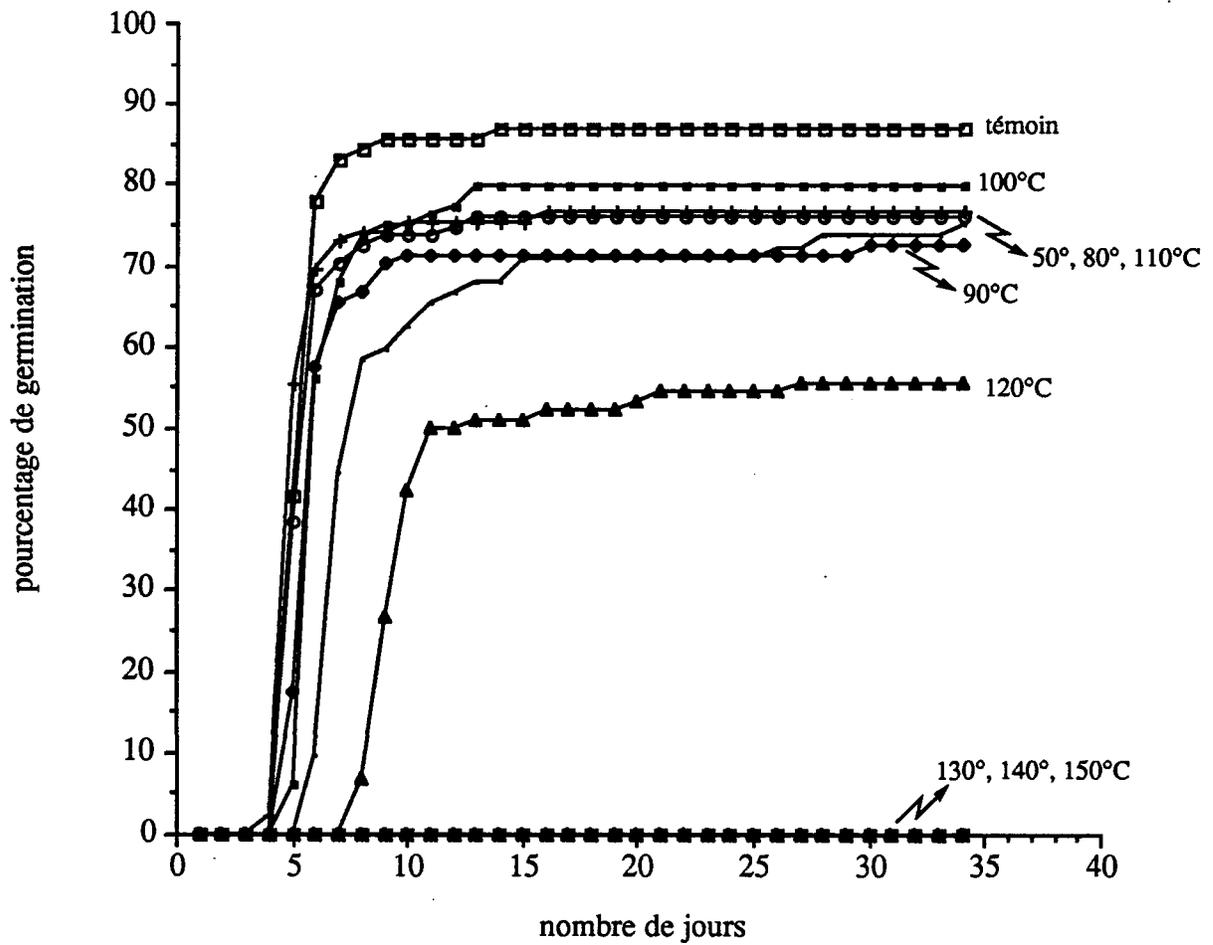
Les six figures de cette section (figures 1 à 6) présentent les résultats des tests de germination (rapport graines germées sur graines aptes à germer) du premier traitement, qui consiste en un simple chauffage des graines. Après une exposition d'une heure à 130°C et plus, aucune des six espèces n'a germé. L'épinette noire, le pin gris et le thuya occidental (figures 1 à 3) germent jusqu'à 120°C, dans une proportion de 96%, 56% et 3% respectivement. Cependant, l'épinette noire germe plus que les deux autres, la germination totale, du lot témoin jusqu'à 110°C, étant de 100%. Les courbes de l'épinette blanche (figure 4) sont similaires à celles du pin gris et du thuya occidental, sauf que cette essence ne germe que jusqu'à 110°C (67%). Les courbes de ces quatre figures forment toutes un plateau après moins de 15 jours de germination, en moyenne, sauf celles de 110°C du thuya occidental (figure 3) et de 110°C de l'épinette blanche (figure 4).

Chez le pin blanc (figure 5), les courbes ne forment à peu près pas de plateau, tandis que celles du sapin baumier (figure 6) en forment un seulement vers la fin de la période de germination. Chez le sapin, on remarque que c'est le lot témoin qui a le plus faible taux de germination, tandis que pour les cinq autres espèces, le témoin a un taux parmi les plus élevés. Le pin blanc germe jusqu'à 100°C (51%) et le sapin baumier jusqu'à 90°C (98%).

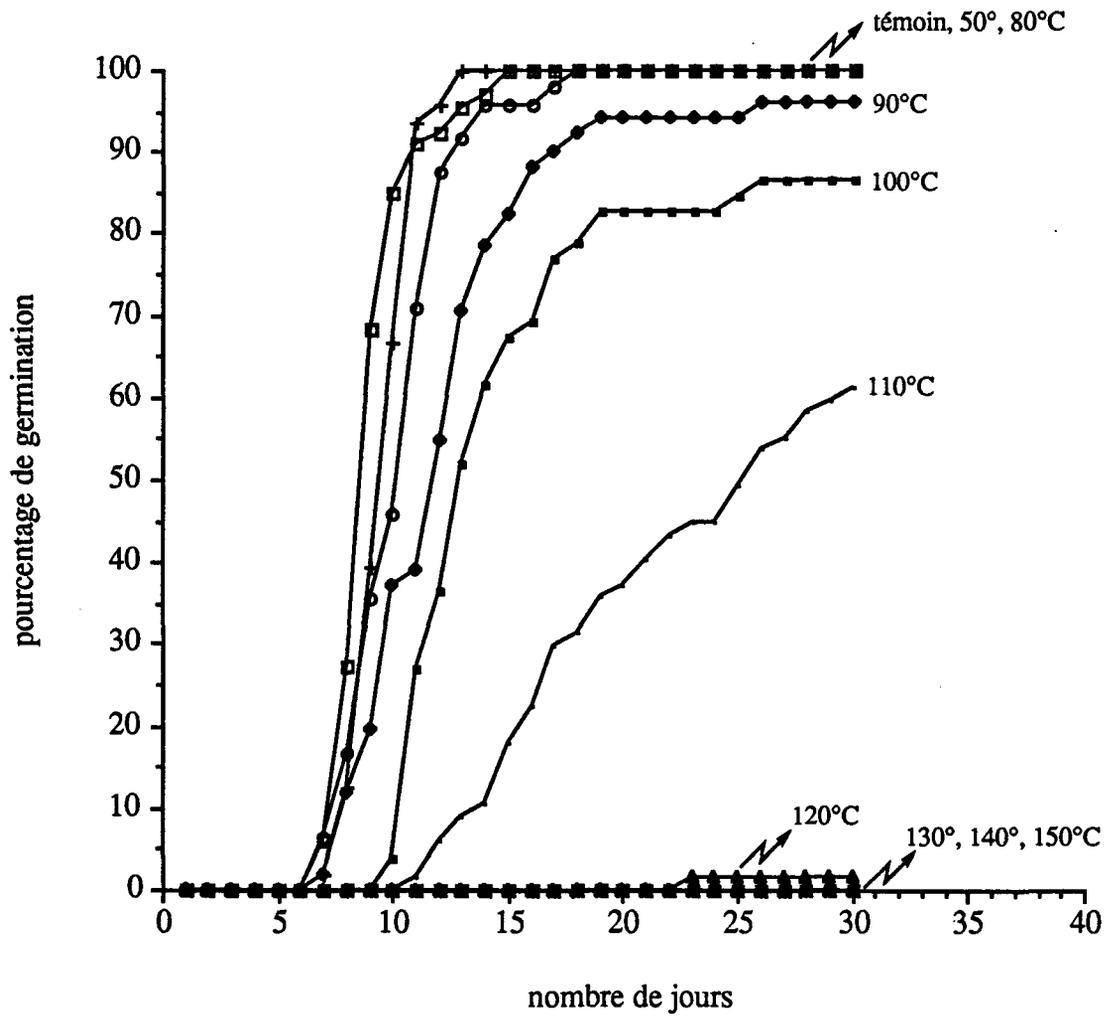
Enfin, on peut voir que pour chaque espèce, le début de la germination du lot qui germe à la température la plus élevée, est en retard de quelques jours sur les autres lots.



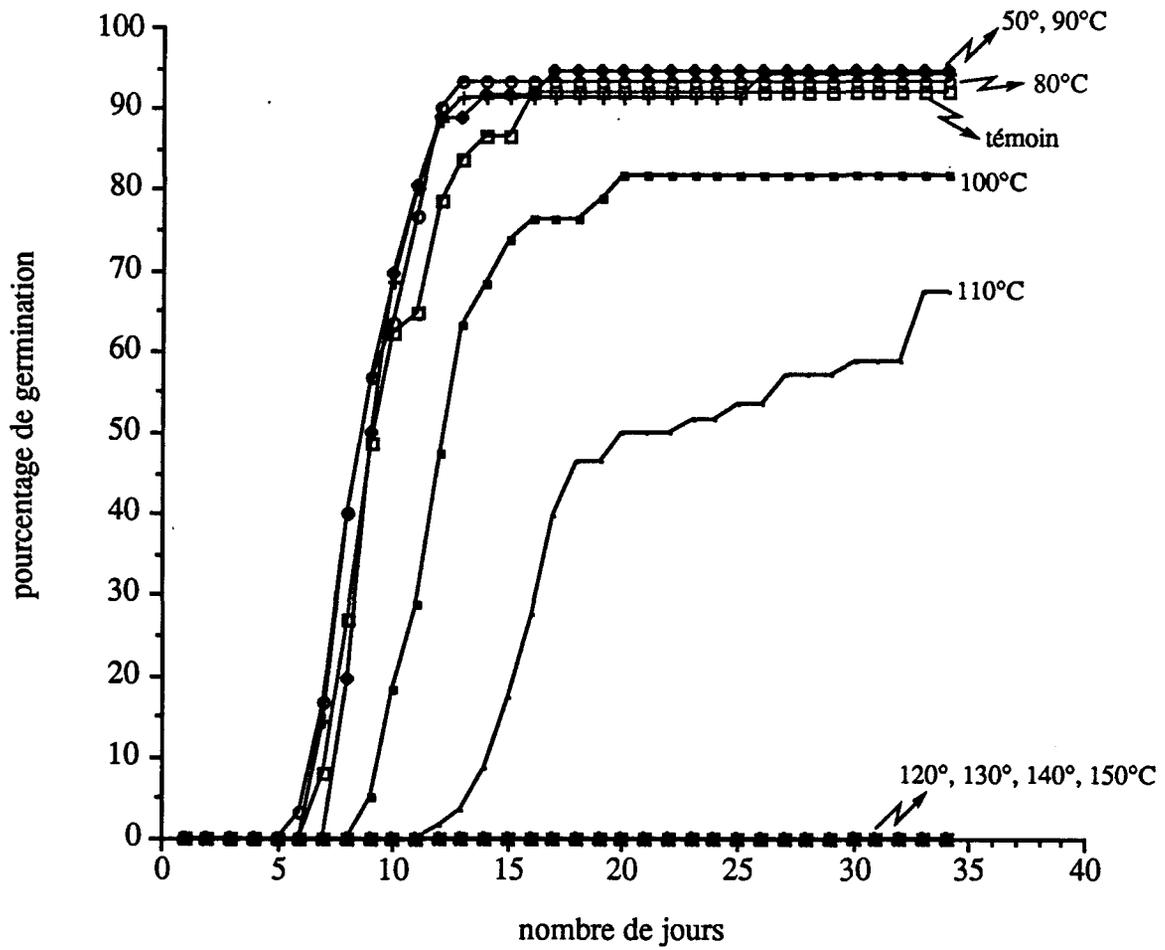
**Figure 1- Germination quotidienne de l'épinette noire après un simple chauffage (premier traitement).**



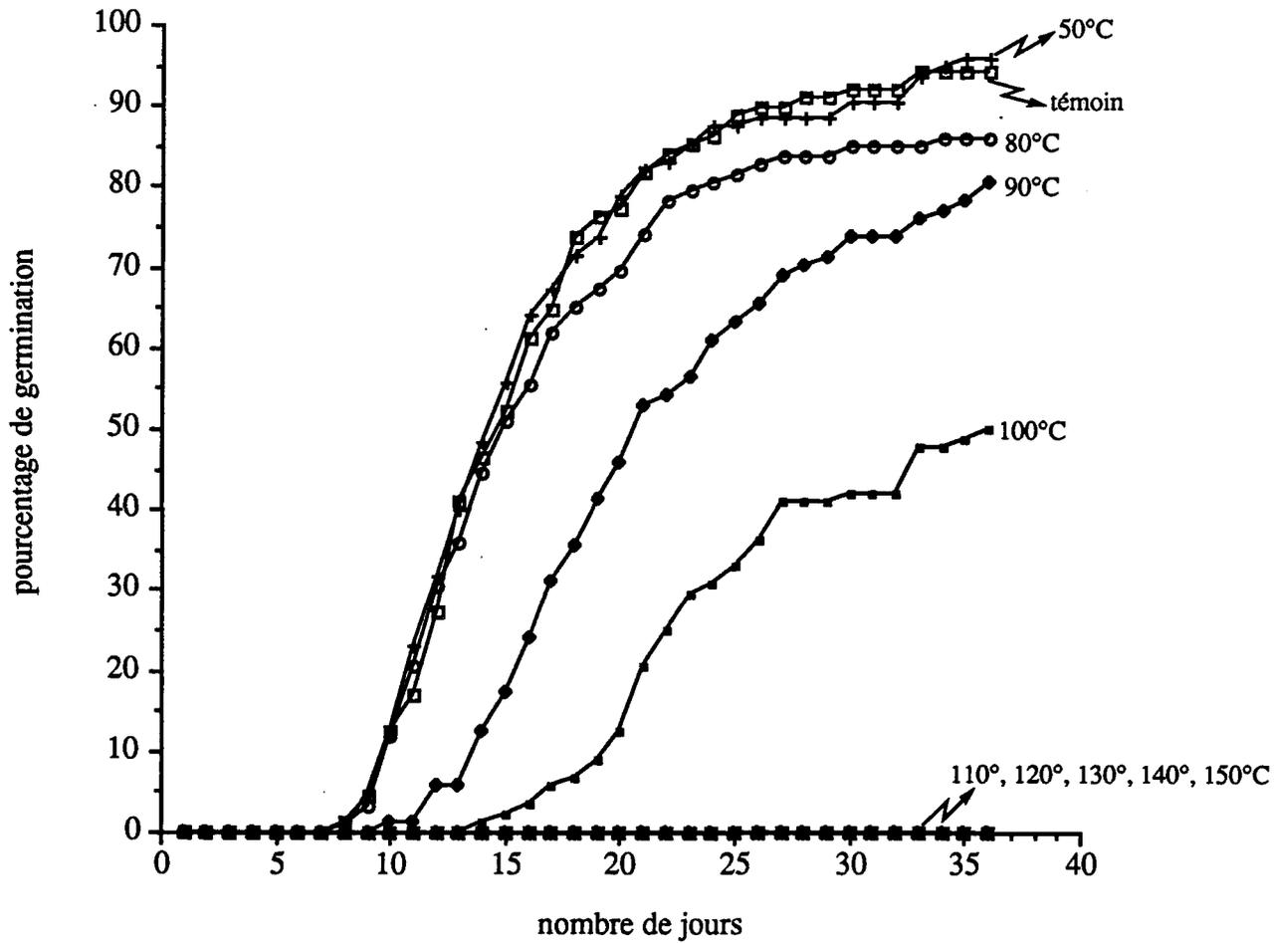
**Figure 2- Germination quotidienne du pin gris après un simple chauffage (premier traitement)**



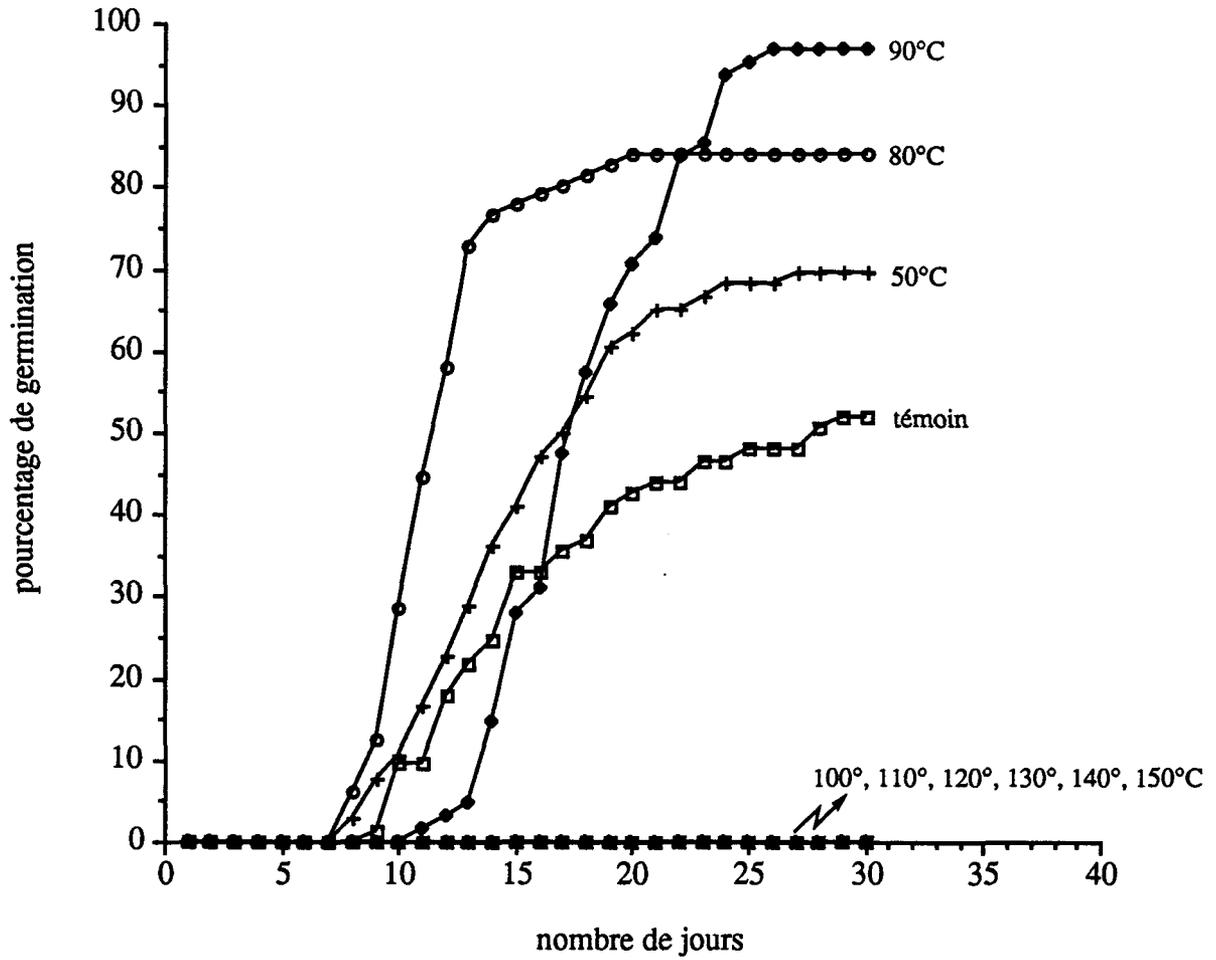
**Figure 3- Germination quotidienne du thuya occidental après un simple chauffage (premier traitement).**



**Figure 4- Germination quotidienne de l'épinette blanche après un simple chauffage (premier traitement).**



**Figure 5- Germination quotidienne du pin blanc après un simple chauffage (premier traitement).**



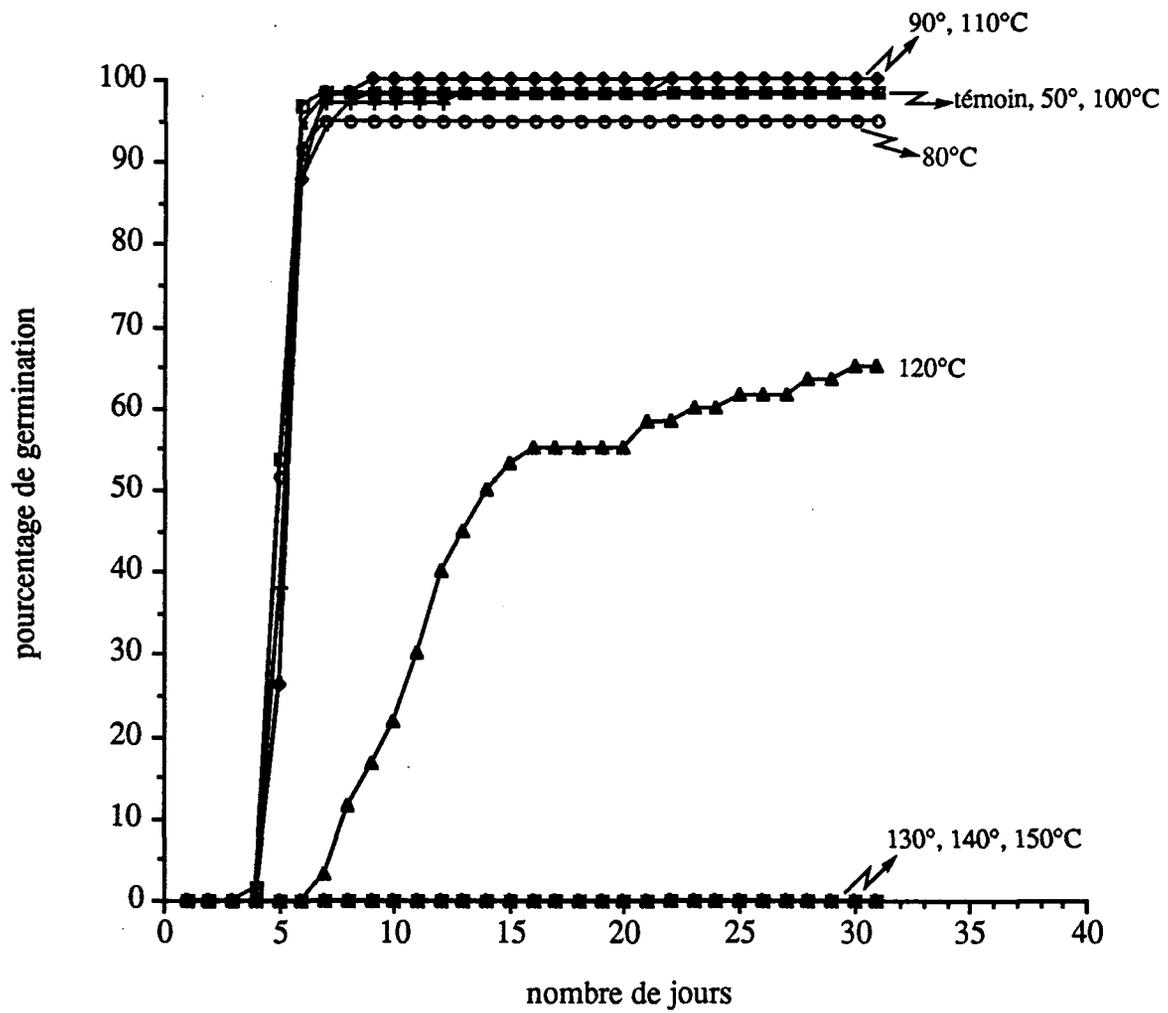
**Figure 6- Germination quotidienne du sapin baumier après un simple chauffage (premier traitement).**

#### 4-2. Deuxième traitement

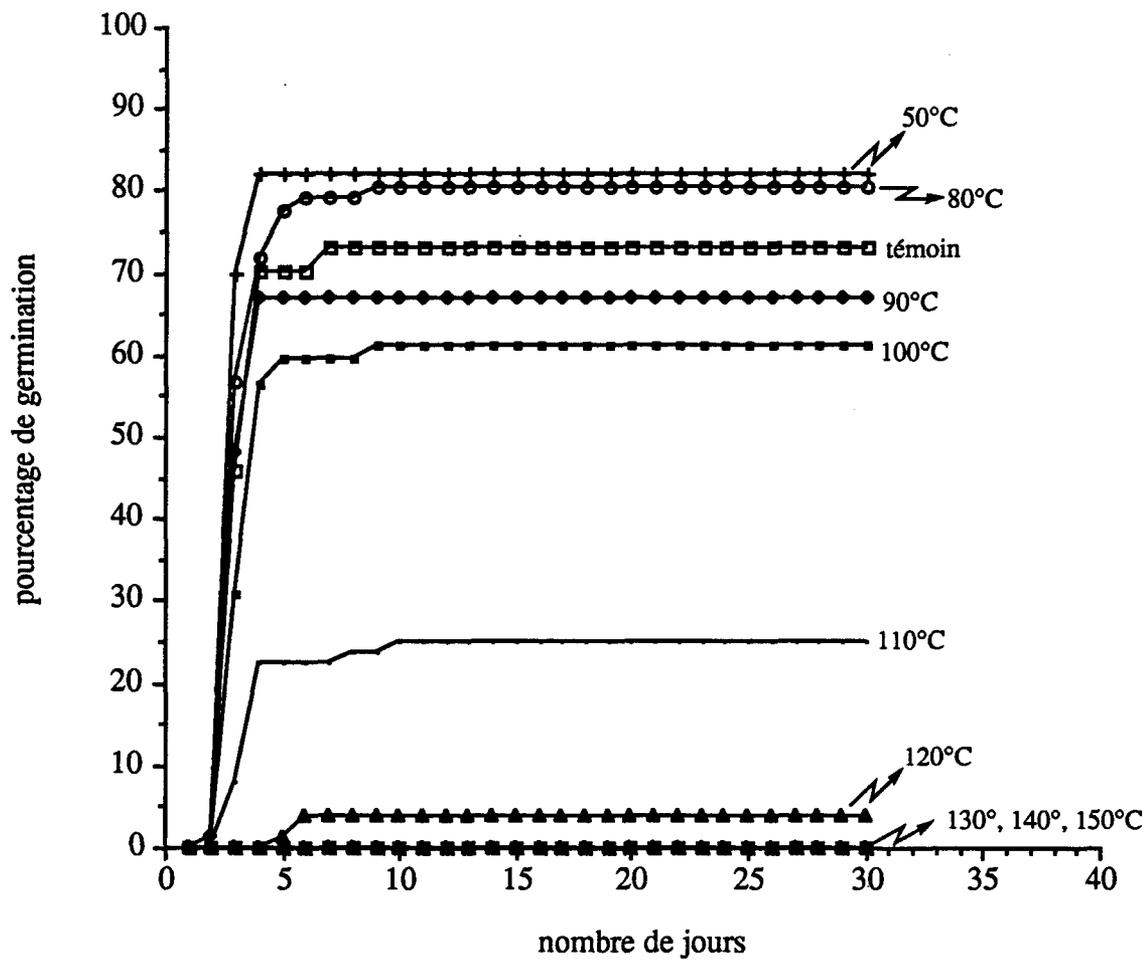
Ici, les figures 7 à 12 montrent le pourcentage de germination obtenu à la suite du traitement de chauffage suivi d'une exposition au froid, sur substrat humide. Comme précédemment, il n'y a pas de germination aux températures de 130°C et plus. Cette fois, seulement l'épinette noire et le pin gris (figures 7 et 8) germent jusqu'à 120°C (65% et 4%), mais l'épinette noire a encore un taux de germination plus élevé que celui des cinq autres. Le thuya occidental et l'épinette blanche (figures 9 et 10) germent jusqu'à 110°C (proportion de 34% et 7% respectivement) et leurs courbes ne sont pas regroupées, tout comme celles du pin gris (figure 8), alors que celles de l'épinette noire (figure 7) sont presque toutes regroupées.

Les courbes du pin blanc et du sapin baumier (figures 11 et 12), comme celles des autres espèces, forment un plateau quelques jours après le début du test. La température la plus élevée à laquelle ils germent est de 90°C. Le sapin baumier se distingue des autres, particulièrement parce que le lot témoin possède le plus bas taux de germination, alors qu'à 80°C, il est le plus élevé.

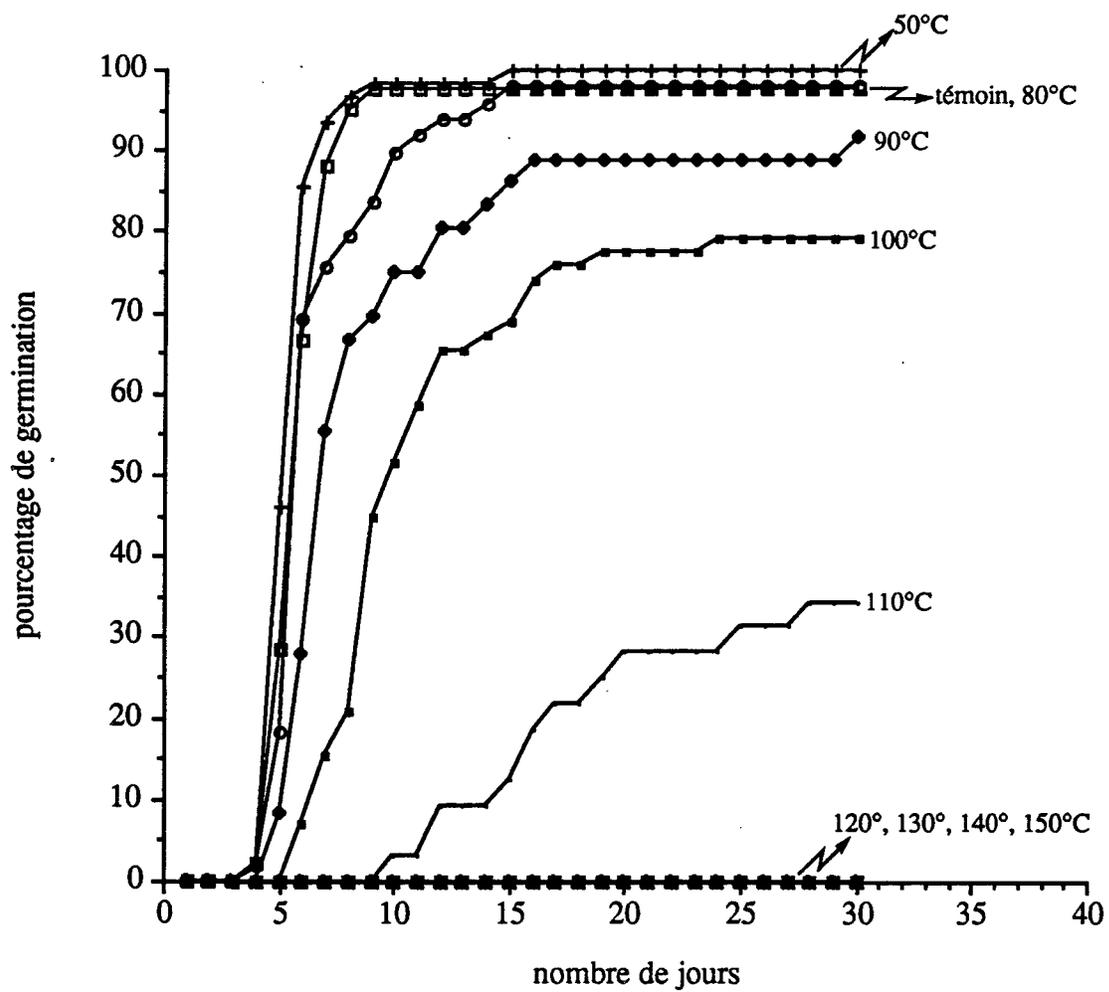
Le début de la germination des graines soumises à la température la plus élevée est encore en retard sur celles soumises aux températures plus basses.



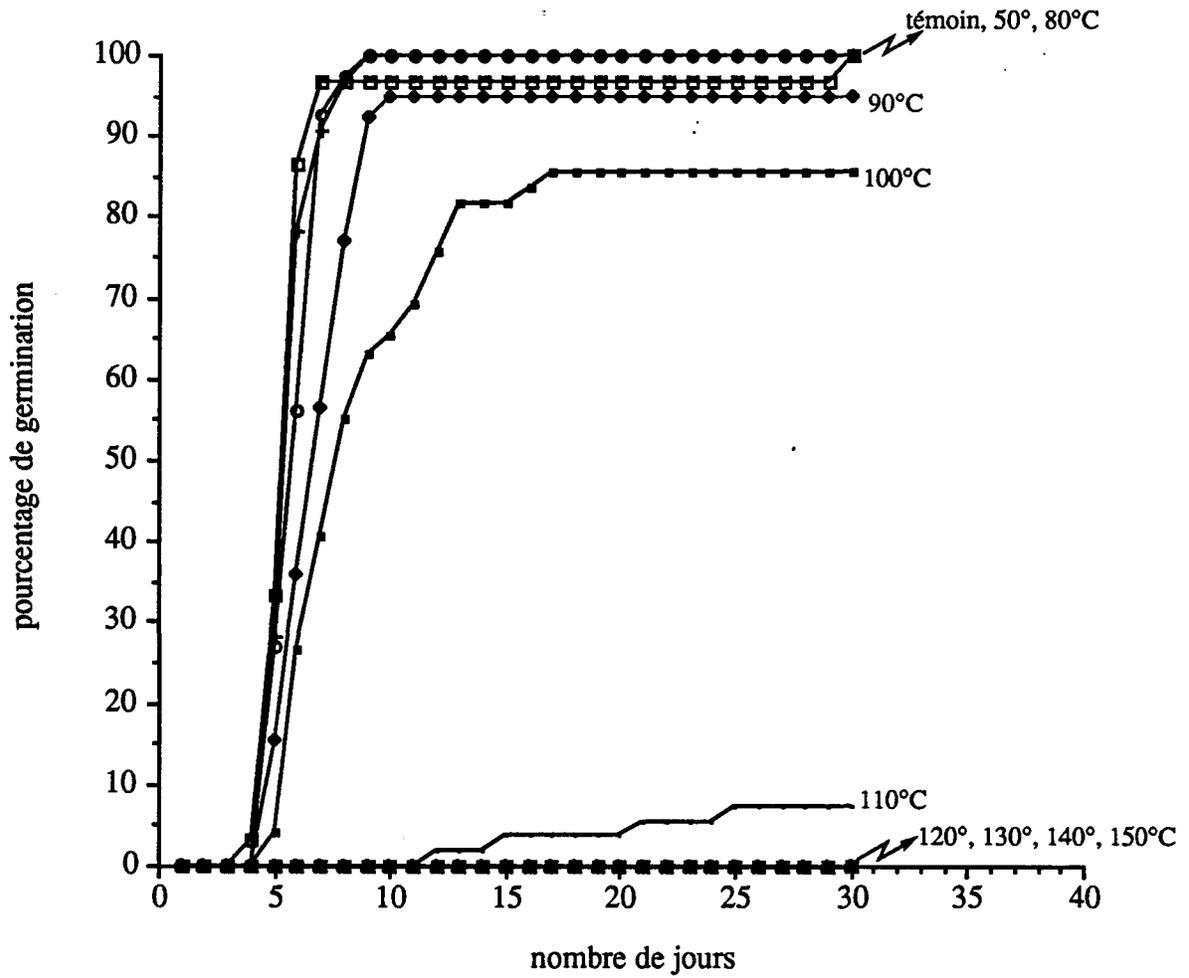
**Figure 7- Germination quotidienne de l'épinette noire après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).**



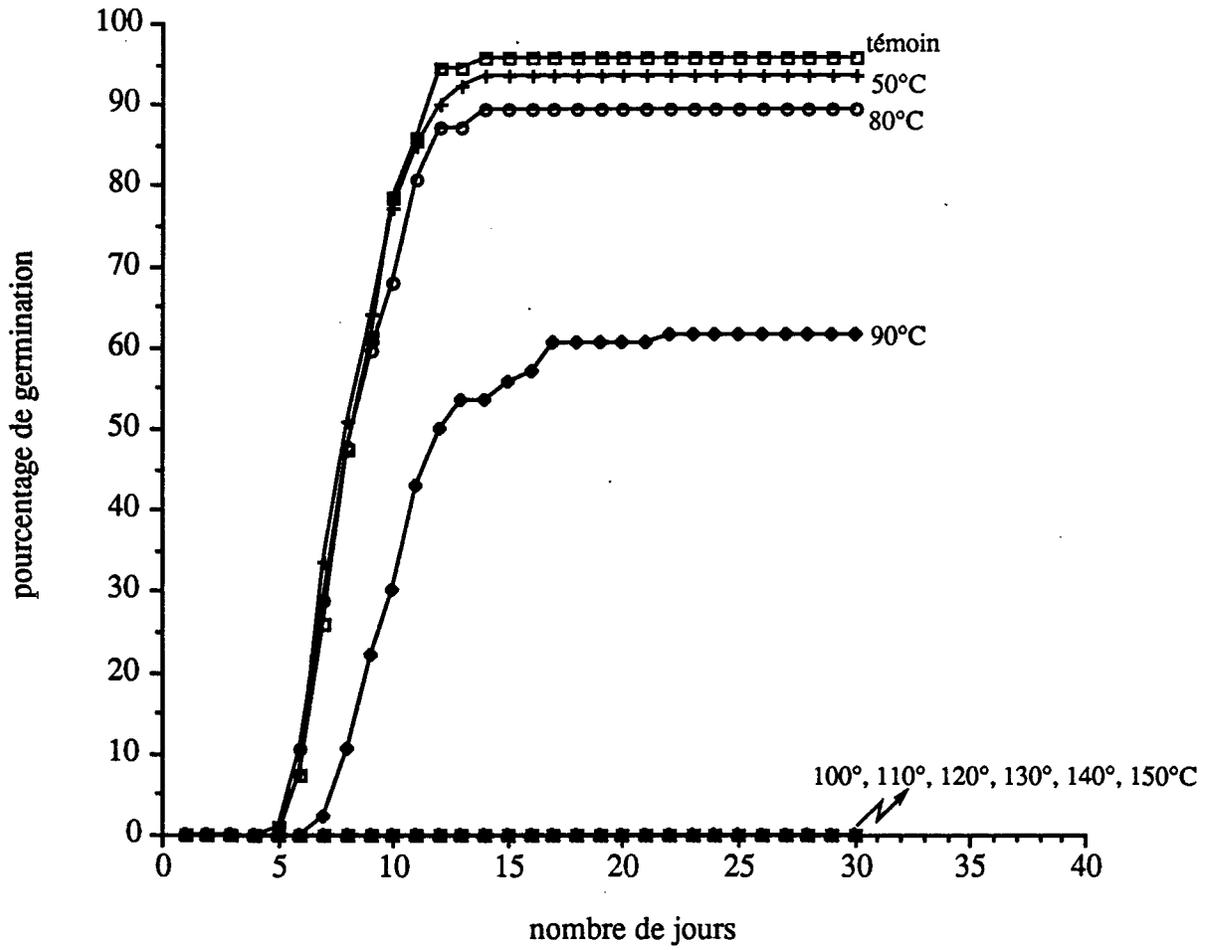
**Figure 8- Germination quotidienne du pin gris après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).**



**Figure 9- Germination quotidienne du thuya occidental après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).**



**Figure 10- Germination quotidienne de l'épinette blanche après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).**



**Figure 11- Germination quotidienne du pin blanc après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).**

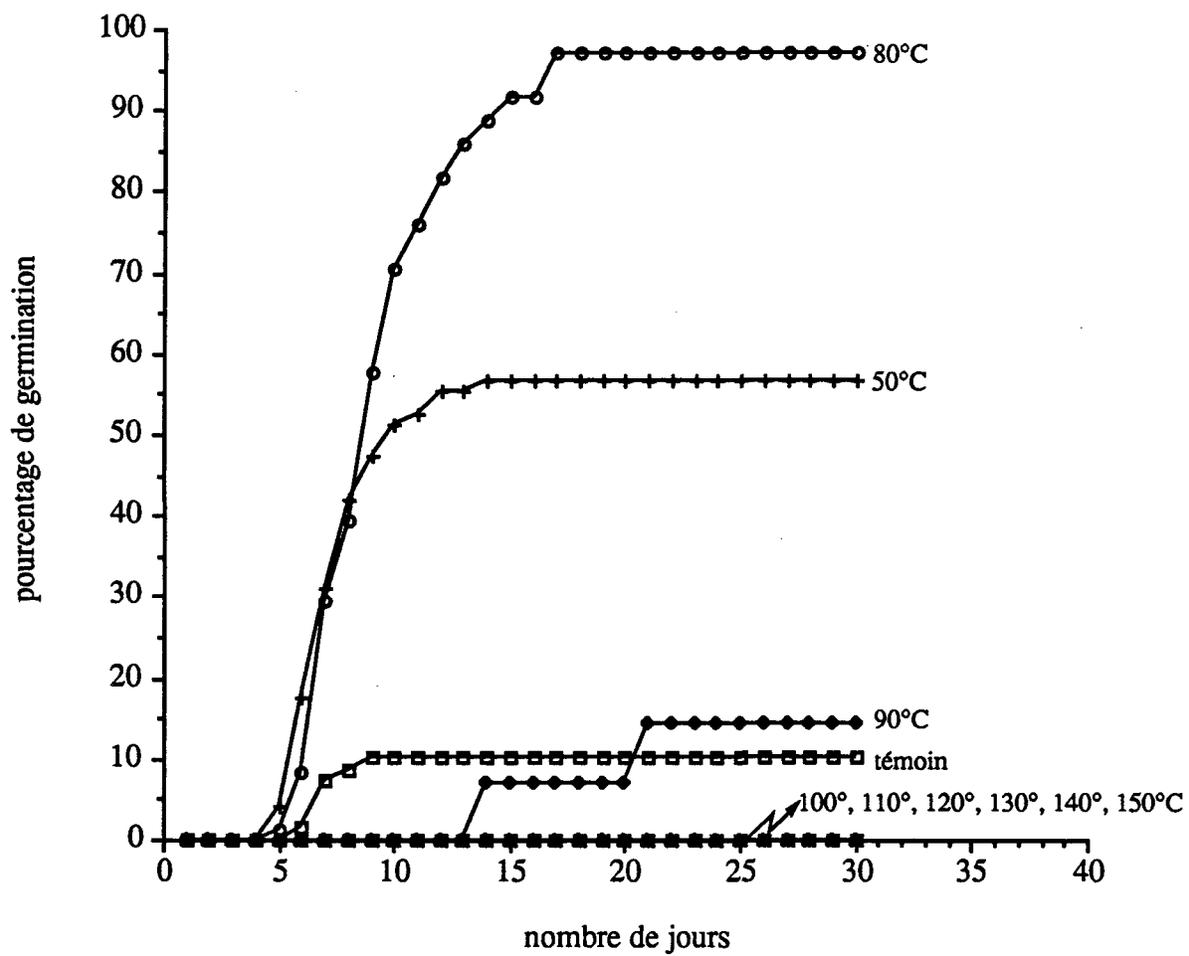
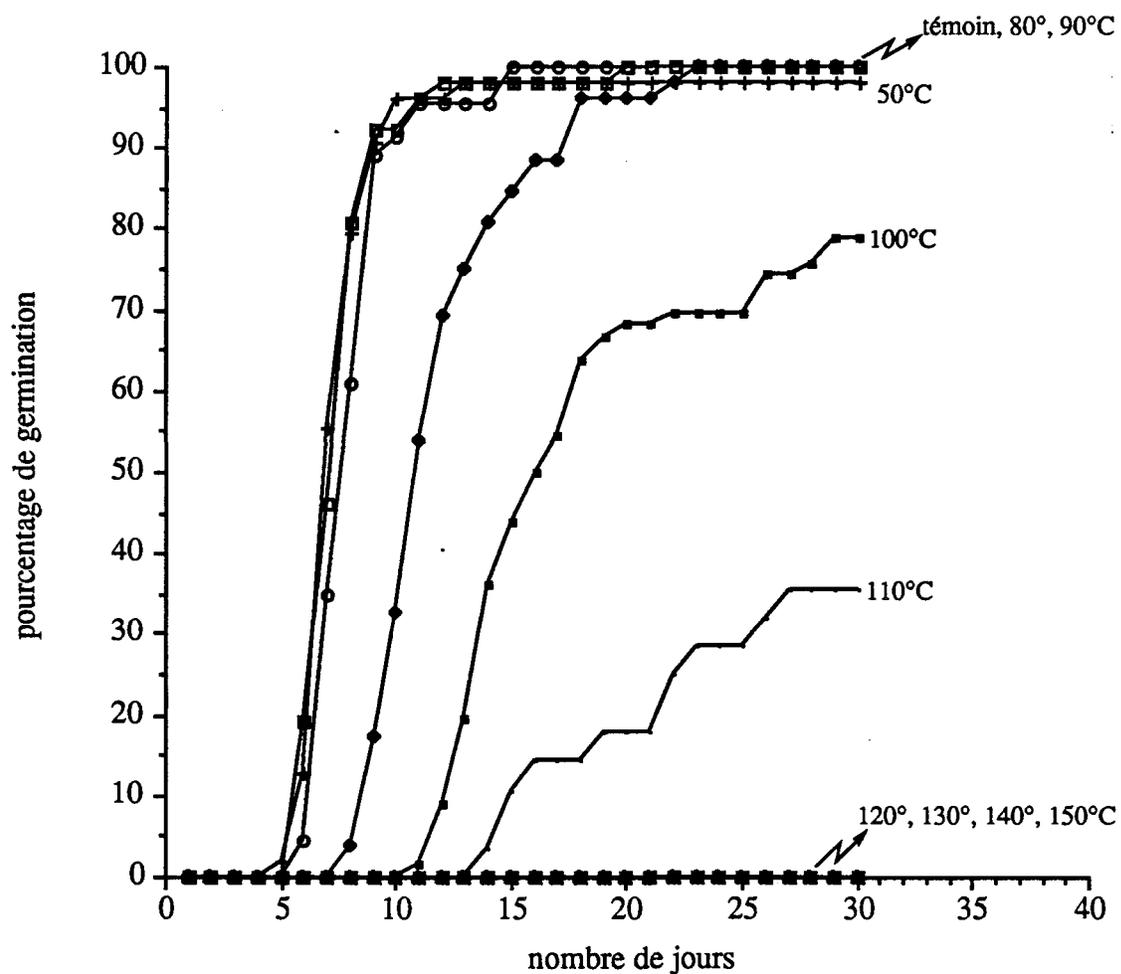


Figure 12- Germination quotidienne du sapin baumier après un chauffage, suivi d'une période de froid (deuxième traitement).

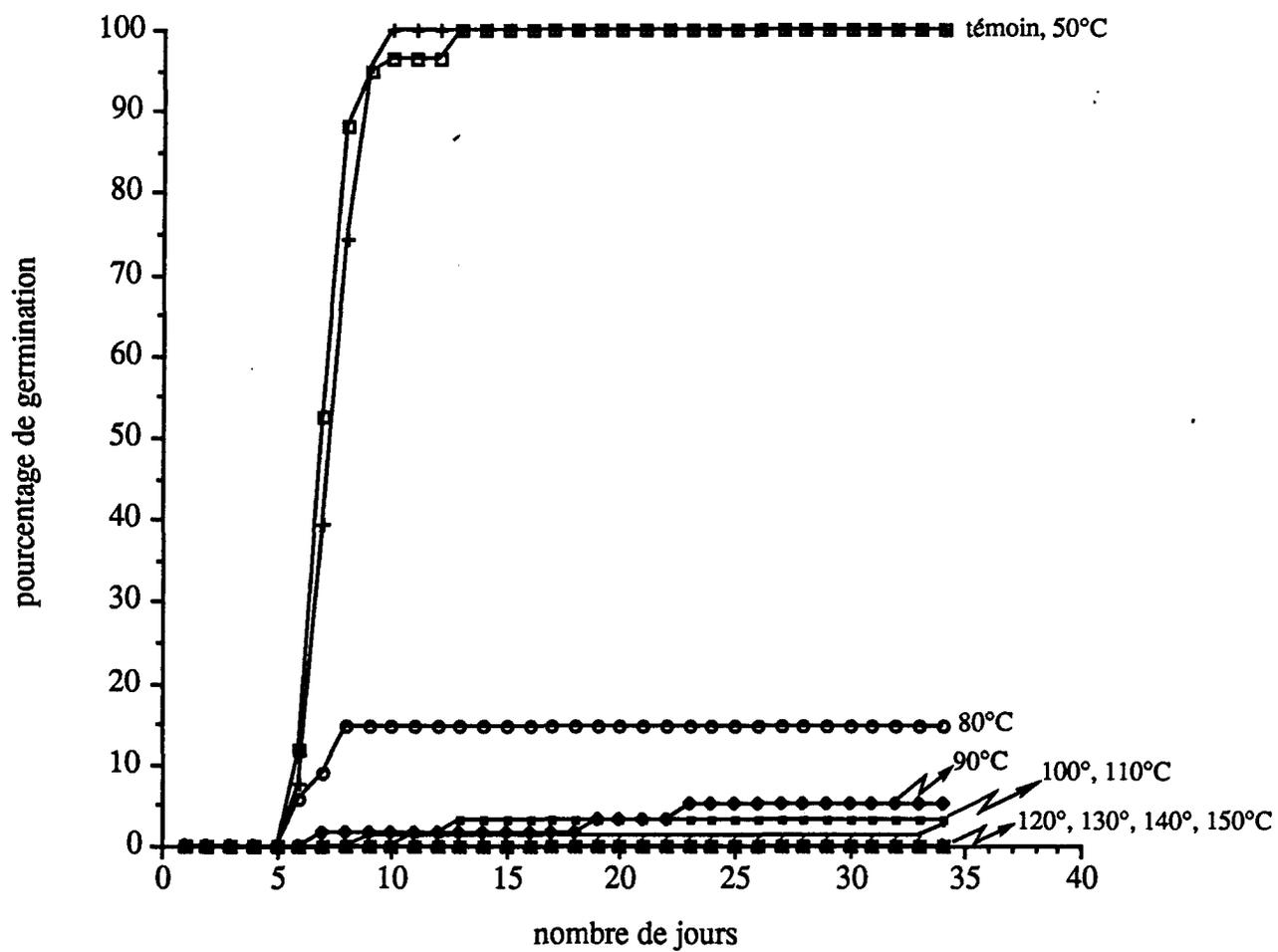
### 4-3. Troisième traitement

Dans cette section, on retrouve les résultats du test de germination du dernier traitement, comportant une période de froid sur substrat humide, avant le chauffage des graines (figures 13 à 18). Dans ce traitement, il n'y a pas de germination à 120°C et plus. D'ailleurs, en général, on note que le taux de germination est plus faible que dans les deux tests précédents. C'est le thuya occidental (figure 13) qui montre le taux le plus élevé des six espèces, en germant jusqu'à 110°C, au taux de 36%. L'épinette noire (figure 14) germe aussi jusqu'à 110°C, mais dans une proportion plus faible (3%). L'épinette blanche (figure 15) ne germe que jusqu'à 80°C, mais seulement dans une proportion de 4%. Le pin blanc, le pin gris et le sapin baumier (figures 16 à 18), quant à eux, ne germent qu'à 50°C, dans la proportion de 98%, 74% et 72%.

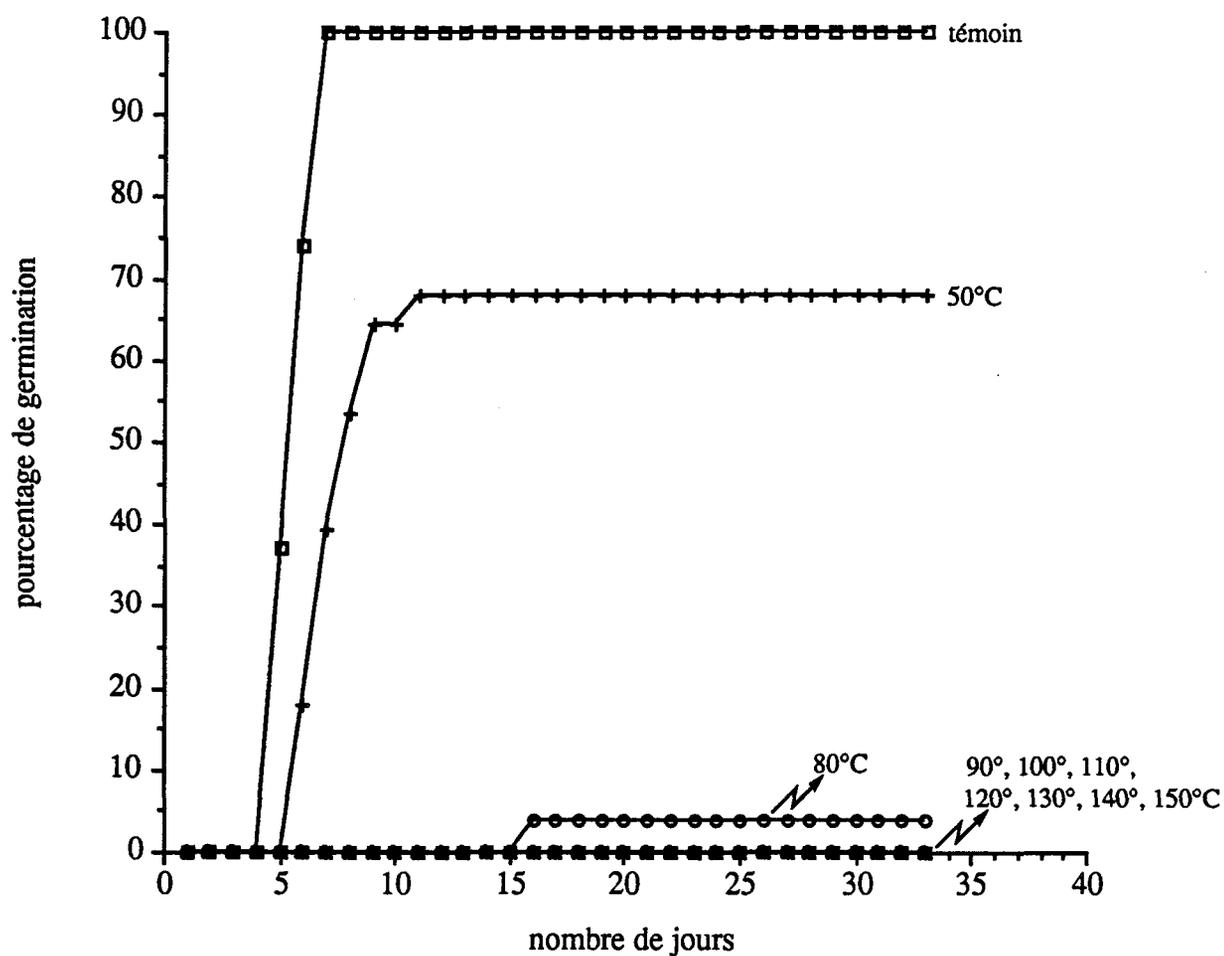
Presque toutes les courbes forment assez rapidement un plateau. Cependant, celles du thuya occidental à 100° et 110°C progressent plutôt en escalier. Enfin, on remarque aussi que, comme dans les deux premiers traitements, le début de la germination dans les lots soumis aux plus hautes températures est décalé par rapport à celui des autres lots, et ce pour toutes les espèces.



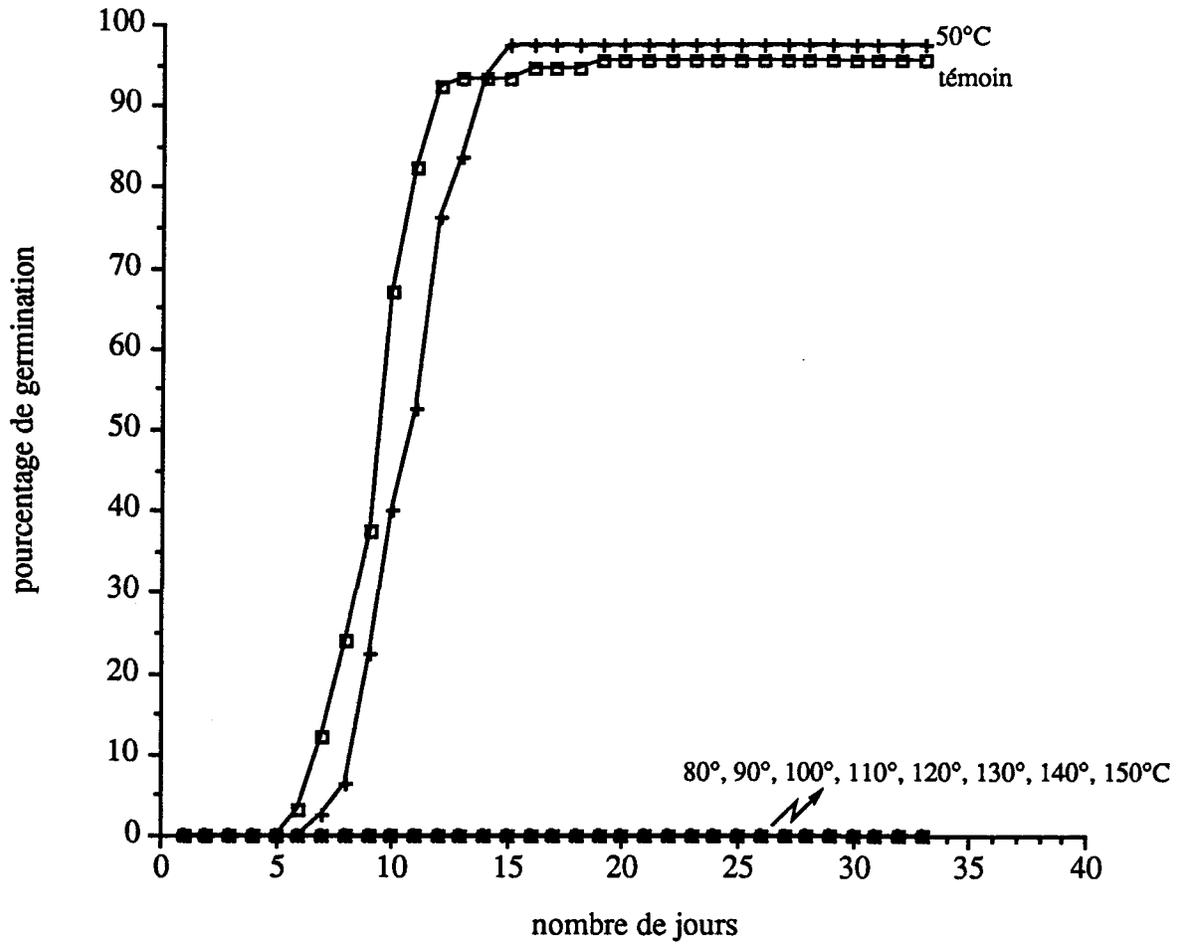
**Figure 13- Germination quotidienne du thuya occidental après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**



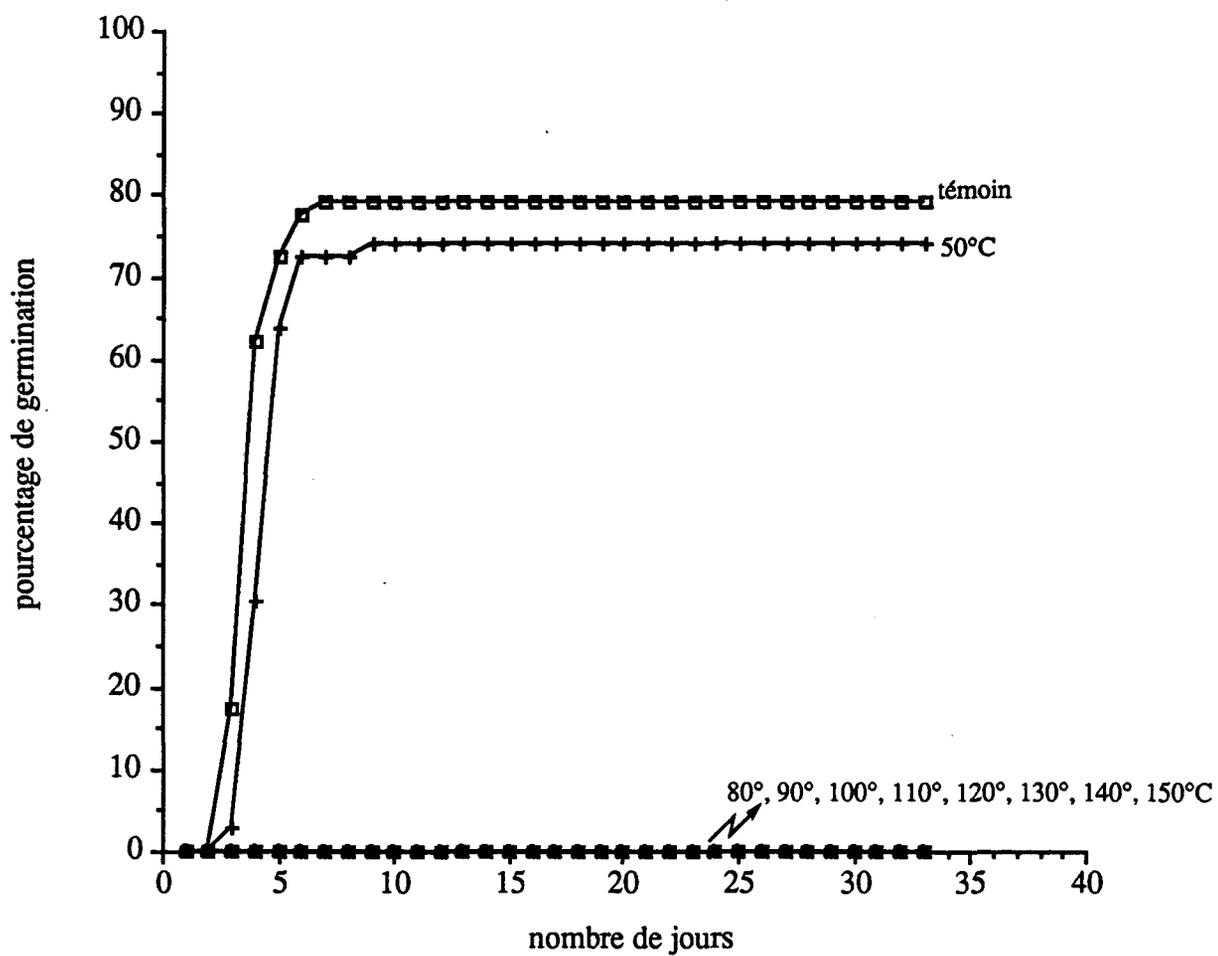
**Figure 14- Germination quotidienne de l'épinette noire après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**



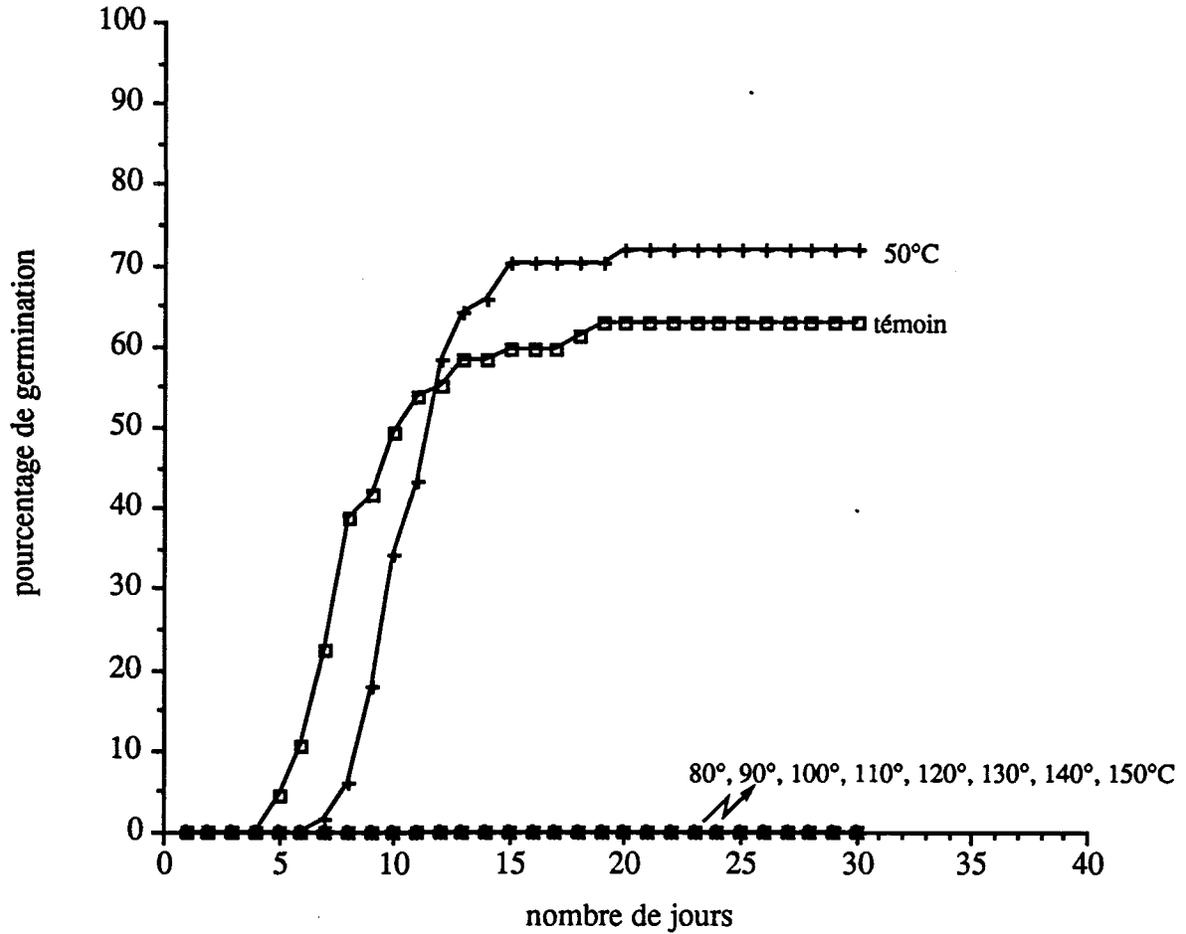
**Figure 15- Germination quotidienne de l'épinette blanche après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**



**Figure 16- Germination quotidienne du pin blanc après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**



**Figure 17- Germination quotidienne du pin gris après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**



**Figure 18- Germination quotidienne du sapin baumier après une période de froid, suivie d'un chauffage (troisième traitement).**

## **5. Évaluation de la croissance des semis**

### **5-1. Morphologie**

Au point de vue morphologique, aucune différence notable n'a été remarquée entre les semis provenant des graines chauffées et ceux issus des graines non chauffées (les témoins). Toutefois, on a pu noter que les semis traités étaient plus petits que les témoins, à part quelques exceptions. Par exemple, chez l'épinette noire, le plus grand semis obtenu se trouvait parmi les traités, ayant à la fin de l'évaluation (soit après 33 semaines), une hauteur de 127 mm, alors que la moyenne des témoins d'épinette noire, au même moment, était de 88,8 mm. De plus, aucune difformité ou malformation apparente n'a été perçue chez les semis traités, bien qu'ils aient été chauffés à des températures très élevées pendant une heure. Enfin, on a pu noter que les témoins germaient plus rapidement (de l'ordre de quelques jours) que les traités.

### **5-2. Croissance en hauteur et en diamètre**

Pour toutes les espèces, on note que les semis traités ont une hauteur et un diamètre plus faibles que ceux des témoins (figures 19 à 24). Cependant, les différences ne sont pas significatives puisque les écarts-types se chevauchent. C'est l'épinette blanche (figures 19 et 20) qui montre les plus grandes différences, autant en hauteur qu'en diamètre, tandis que c'est chez l'épinette noire (figures 21 et 22) que les différences sont les moins importantes. Par contre, la croissance des témoins se déroule de la même façon que celle des traités, car on retrouve les mêmes tendances dans les deux groupes. Par exemple, s'il y a une augmentation dans un groupe, on en retrouve aussi une dans l'autre.

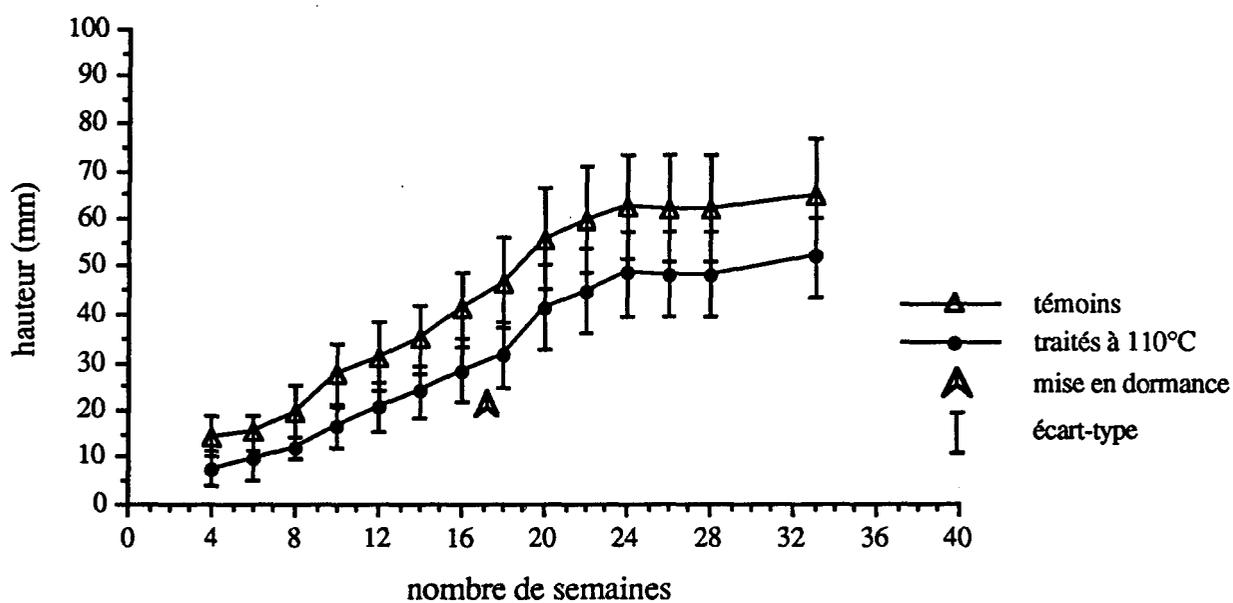


Figure 19- Croissance en hauteur des semis d'épinette blanche.

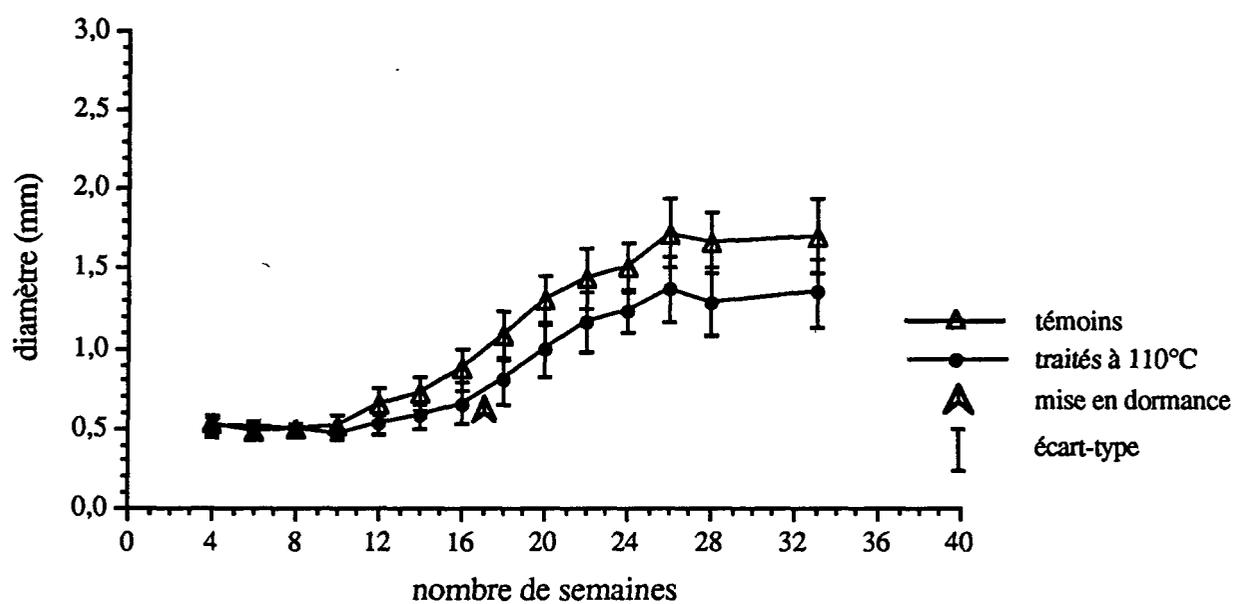


Figure 20- Croissance en diamètre des semis d'épinette blanche.

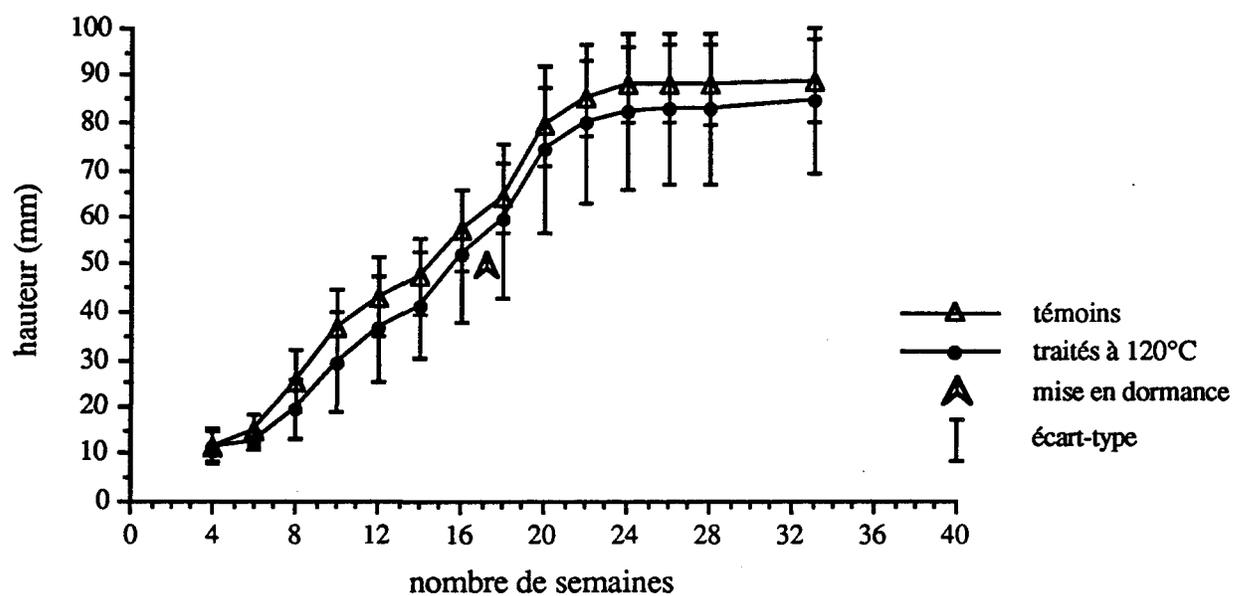
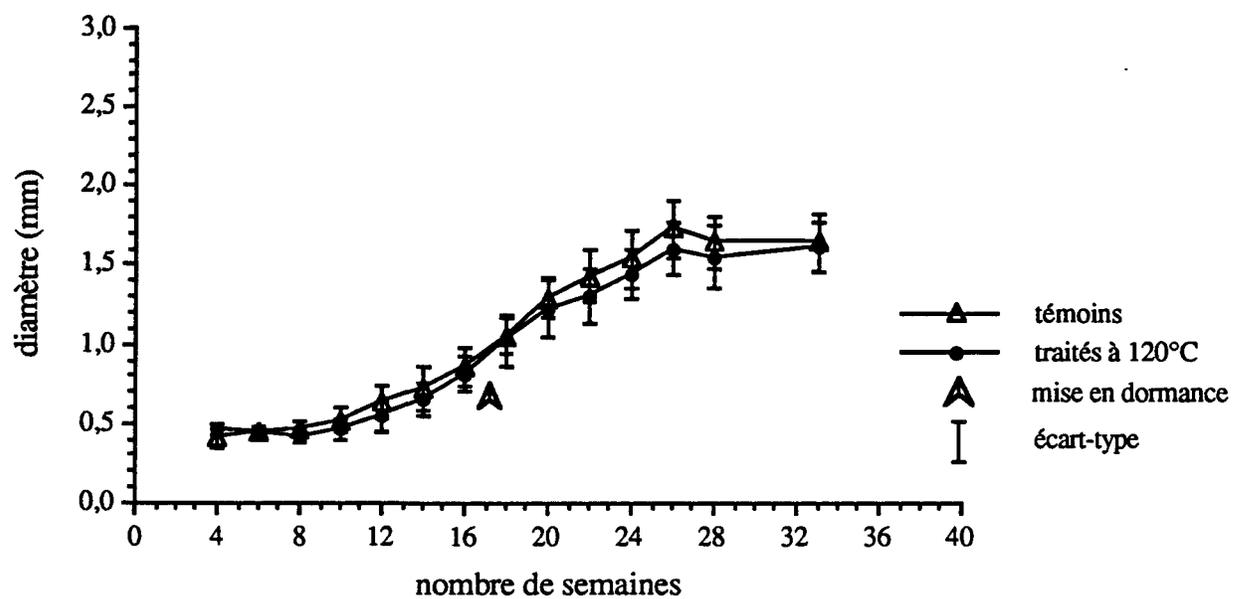


Figure 21- Croissance en hauteur des semis d'épinette noire.



Figures 22- Croissance en diamètre des semis d'épinette noire.

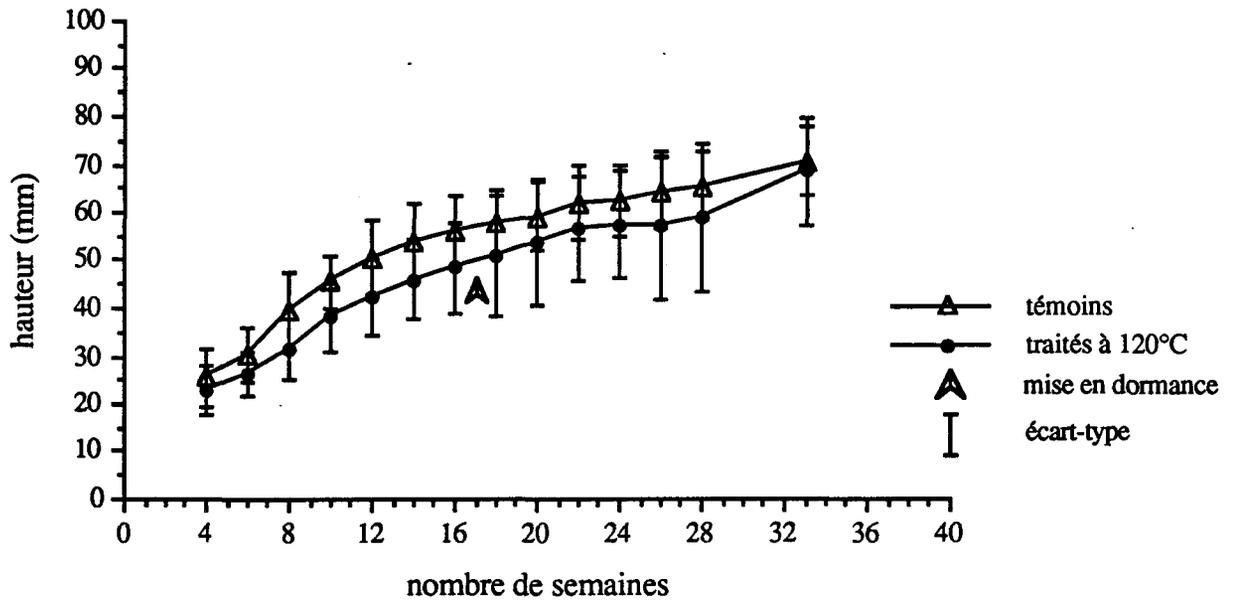


Figure 23- Croissance en hauteur des semis de pin gris.

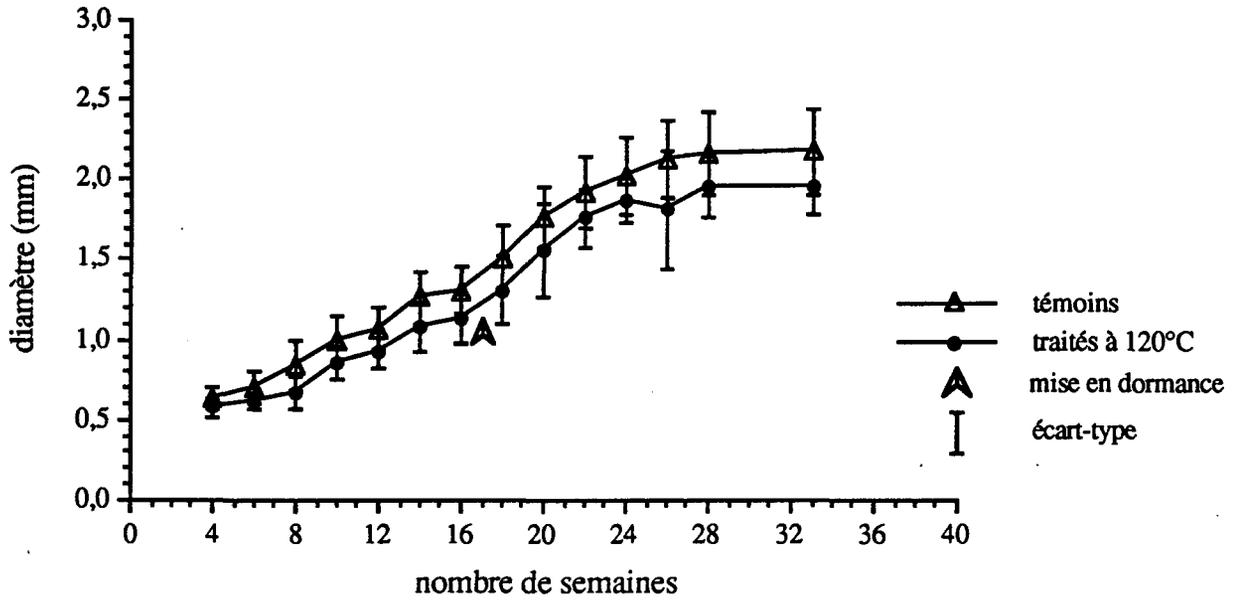


Figure 24- Croissance en diamètre des semis de pin gris.

De plus, les taux de croissance moyens ont été calculés pour toute la durée de l'évaluation, soit 33 semaines (tableau 8). Comme il a été noté précédemment d'après les courbes de croissance, c'est encore chez l'épinette blanche que les taux de croissance sont les plus différents entre eux, alors que pour l'épinette noire, ils sont presque semblables. Étant donné le faible nombre de semis obtenus, et comme cette évaluation ne constituait qu'un survol de la question, aucun test statistique n'a été effectué.

**Tableau 8- Taux de croissance moyens en hauteur et en diamètre pour les semis traités et témoins.**

Espèce	Traitement	Nombre de semis	Taux de croissance ( mm / semaines )	
			hauteur	diamètre
Épinette blanche	témoins	26	1,72	0,04
	traités à 110°C	11	1,52	0,03
Épinette noire	témoins	26	2,66	0,04
	traités à 120°C	15	2,50	0,04
Pin gris	témoins	30	1,55	0,05
	traités à 120°C	12	1,57	0,05

### 5-3. Poids secs

Comme on pouvait s'y attendre d'après les résultats précédents, le poids sec moyen des semis traités apparaît plus faible que celui des témoins, et ce pour les trois espèces du test d'évaluation de croissance, autant pour les racines que pour la tige et les feuilles (i.e. les aiguilles). Encore une fois, ce sont les semis d'épinette blanche (figure 25) qui semblent montrer la plus grande différence entre les témoins et les traités, que ce soit pour le poids sec de la tige et des feuilles, ou pour celui des racines. C'est chez l'épinette noire (figure 26) qu'il y a le moins de différence entre le poids sec des racines, alors que pour la tige et les feuilles, c'est chez le pin gris (figure 27).

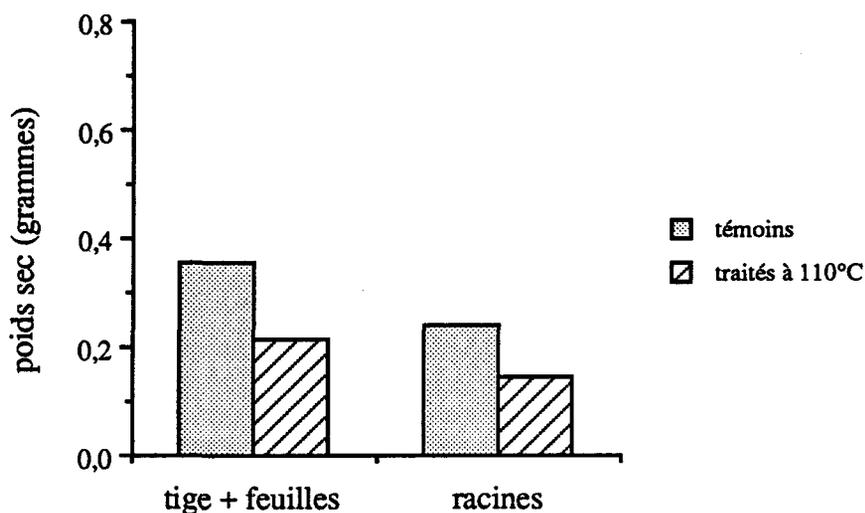


Figure 25- Poids sec moyen des semis d'épinette blanche après 33 semaines.

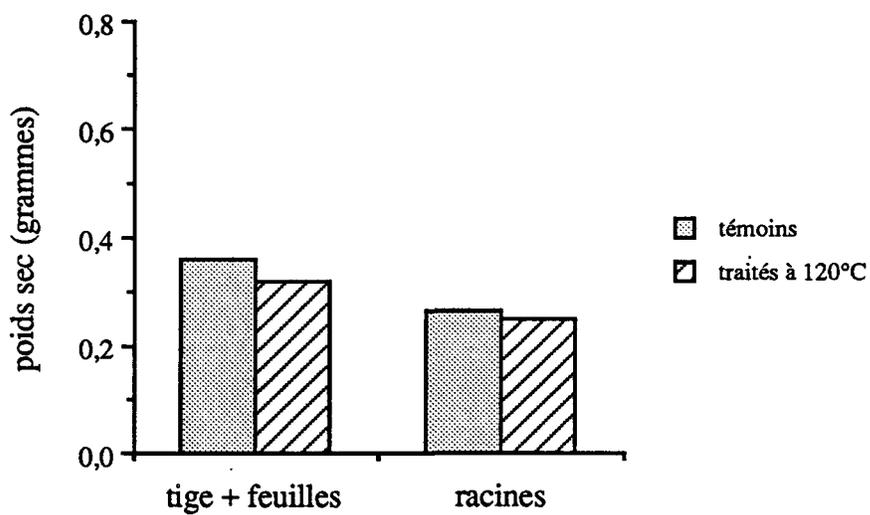


Figure 26- Poids sec moyen des semis d'épinette noire après 33 semaines.

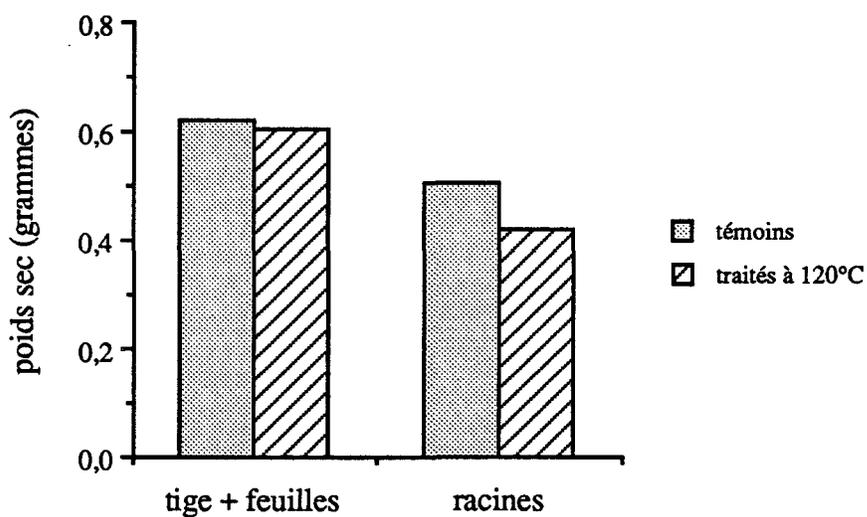


Figure 27- Poids sec moyen des semis de pin gris après 33 semaines.

## CHAPITRE IV

### DISCUSSION

#### 1. Résistance générale des six espèces à la chaleur

En premier lieu, ce qui ressort de nos résultats, c'est la très grande résistance des graines de conifères à la chaleur. En effet, on note que les graines d'épinette noire, de pin gris et même de thuya occidental résistent à une exposition d'une heure à 120°C, celles d'épinette blanche à 110°C et celles de pin blanc à 100°C. En comparaison, notons que des semis de pin et d'épinette sont tués après seulement 5 minutes à des températures aussi basses que 54° à 55°C (Münch 1914). Des graines de luzerne (*Medicago* sp) résistent à des températures de cet ordre, soit 120°C, mais elles meurent si elles y sont exposées 30 minutes et plus (Schneider-Orelli 1910). Bien sûr, les graines sont des organismes en repos, mais pour des être vivants multicellulaires, la résistance qu'elles présentent est surprenante. Sur la Terre, les organismes trouvés vivants dans les endroits où les conditions sont les plus chaudes, sont des unicellulaires, soit des algues bleues-vertes et des bactéries, semblant être à leur aise à des températures variant de 75° à 89°C (Setchell 1903). Toutefois, il ne s'agit que d'exceptions, comparativement à toutes les espèces de la biosphère.

Ainsi, les graines de conifères, en général, semblent être résistantes à des températures relativement élevées. Toutefois, un examen plus approfondi de l'ensemble des résultats des trois traitements de chauffage, nous montre qu'il y a certaines différences entre les espèces, mais ces différences ne semblent pas reliées à l'adaptation au feu des espèces. On remarque

qu'il n'est pas possible de séparer les espèces en deux groupes bien distincts, les unes bien adaptées et les autres moins bien adaptées au feu.

En effet, on note que le thuya occidental, espèce ne possédant pas de mécanismes notables lui permettant de résister ou de se régénérer après un feu (Spurr et Barnes 1980), résiste jusqu'à 120°C dans le premier traitement, comme l'épinette noire et le pin gris. L'épinette blanche, bien que ne résistant que jusqu'à 110°C, présente des courbes semblables à celles de l'épinette noire et du pin gris. De plus, le pin blanc montre une résistance moins grande que ces quatre espèces, alors qu'il est reconnu comme dépendant des feux (Horton et Bedell 1960; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a).

La résistance des graines de pin gris était prévisible d'après les résultats des travaux de Beaufait (1960). Celui-ci démontre bien que les graines de cette espèce résistent à des températures très élevées, de l'ordre de 400°C et plus, mais pendant des laps de temps relativement courts, soit durant quelques secondes.

On constate donc que, même si l'espèce ne possède pas de mécanismes lui permettant de survivre ou de se régénérer à la suite d'un feu, comme c'est le cas pour l'épinette blanche et le thuya occidental, ses graines résistent quand même de façon similaire à celles des espèces adaptées. Ainsi, ce ne serait pas nécessairement dans les graines que serait situé le "caractère" de résistance d'une essence. Il s'agirait plutôt d'une autre partie de l'arbre qui offrirait une protection aux graines chez les espèces adaptées et qui ne serait pas présente chez celles non adaptées. On peut alors supposer que, si les graines d'une espèce dite non adaptée étaient placées dans les mêmes conditions de protection que celles d'une espèce adaptée, alors elles survivraient de la même façon.

D'après les mécanismes de régénération des conifères décrits précédemment (p.2 à 4), on peut présumer que ce qui offre cette protection, ce sont les cônes sérotineux. En effet, il est reconnu que la sérotinité permet de conserver les graines dans les cônes, les protégeant et les rendant disponibles après feu (Beaufait 1960; Fowells 1965; Spurr et Barnes 1980; Heinselman 1981a). Ainsi, les espèces ne possédant pas de cônes sérotineux, voient leurs graines détruites par les flammes, car elles ne sont pas protégées.

De plus, les résultats des tests de viabilité indiquent que la chaleur ne semble pas induire de dormance chez les graines, car celles non germées sont généralement non viables.

## **2. Résistance du sapin baumier**

La réaction des graines de sapin baumier aux traitements à la chaleur est particulière. Chez les autres, plus le stress de chaleur est important, moins la résistance apparaît grande. Ainsi, par exemple, le lot témoin a habituellement un pourcentage de germination plus élevé que celui à 100°C. Mais, chez le sapin, c'est le contraire que l'on observe. Pour expliquer ce phénomène, on ne peut qu'avancer des hypothèses. Il est probable que la chaleur à laquelle les graines sont exposées favorise leur mécanisme de germination, les rendant plus aptes à germer, mais seulement jusqu'à une certaine température au-delà de laquelle la germination décroît. Cette température se situerait aux alentours de 90 °C. On peut penser alors que, en nature, lorsque les graines sont dispersées, celles qui tombent dans une éclaircie et qui sont donc susceptibles d'être réchauffées par le soleil, seraient favorisées par rapport à celles qui tombent à l'ombre. Cependant, d'après Fowells (1965), la germination et l'établissement du sapin baumier seraient meilleurs sous couvert forestier, avec un minimum d'ensoleillement. Le sapin baumier apparaissant donc comme une espèce à part des autres, il serait intéressant d'effectuer d'autres recherches à son sujet.

### 3. Résistance au troisième traitement

Lors de ce traitement (qui consistait en une période de froid et d'humidité avant le chauffage), on voit que l'humidité contenue dans les graines est plus élevée que celle retrouvée aux premier et deuxième traitements (tableau 1). Cette augmentation peut être aisément expliquée. Lors de la période de froid, les graines étaient placées sur substrat humide (i.e papier buvard imbibé d'eau). Il est donc normal que, après plusieurs jours, les graines absorbent de l'eau, augmentant ainsi leur taux d'humidité interne. On remarque en plus que les graines de ce traitement montrent une résistance beaucoup moins grande que dans les deux autres traitements. En effet, la plupart des espèces ne résistent bien que jusqu'à une exposition de 50°C, alors qu'aux températures supérieures, la résistance devient très faible ou nulle.

Le haut taux d'humidité des graines est responsable de cette baisse de résistance. Il est reconnu, en effet, que plus l'humidité contenue dans la graine est grande, moins elle résiste à des températures élevées (Carmichael 1958; Levitt 1980). Cependant, le thuya occidental ne présente pas de diminution apparente de sa résistance par rapport aux deux premiers traitements, bien que les graines contiennent sept fois plus d'eau. Ce résultat est étonnant, surtout si l'on considère que le thuya est une espèce s'établissant principalement dans des endroits moins fréquemment brûlés (Spurr et Barnes 1980) et qu'il est reconnu comme n'étant pas apte à se régénérer ou à survivre au feu.

Il est difficile d'expliquer ce résultat. Pour ce faire, il faudrait connaître en profondeur ce qui se passe dans la graine lors du chauffage. On peut penser que la graine de cèdre a une physiologie différente des autres espèces, ce qui lui permettrait d'avoir une résistance plus grande. D'ailleurs, on constate que la forme de la graine est différente de celle des cinq autres

espèces. De plus, peut-être que pour le thuya, cette augmentation de la quantité d'eau dans la graine n'est pas suffisante pour diminuer sa résistance.

#### **4. Retard dans le début de la germination**

Pour tous les traitements et toutes les essences, on note que plus la température d'exposition est élevée, plus le début de la germination semble être retardé (lorsqu'il y a germination). Il est possible que la chaleur amène une modification dans la constitution de la graine, ralentissant le déroulement du processus de germination. La cause est peut-être un durcissement des téguments de la graine, retardant l'émergence de l'embryon, ou elle se situe peut-être au niveau des protéines de la graine, qui seraient influencées par la chaleur, mais sans être détruites. Ce retard est peut-être avantageux, en retardant de quelques jours la germination des graines après un feu.

#### **5. Résistance versus taille des graines**

Les six espèces utilisées dans ce travail peuvent être classifiées d'après la grosseur de leurs graines, des plus petites aux plus grosses. Cette classification s'établit ainsi: thuya occidental, épinette noire, épinette blanche, pin gris, sapin baumier et pin blanc. Il est à noter que les graines de thuya et d'épinette noire sont de grosseur comparable, mais qu'elles n'ont pas la même forme. Celles de sapin et de pin blanc, quant à elles, sont relativement plus grosses que celles des quatre autres.

En regardant de près nos résultats, on note que les espèces qui semblent le moins résister à la chaleur, soit le sapin et le pin blanc, sont celles qui ont les plus grosses graines.

On peut se demander si la résistance à la chaleur est reliée à la taille des graines. Selon Spurr et Barnes (1980), il semblerait que la taille soit plus étroitement reliée aux conditions d'humidité du sol qu'au feu, les espèces vivants sur des sites secs ayant des graines plus grosses que celles des espèces adaptées à des sites mésiques ou mésiques-humides. Si les graines sont plus grosses, c'est probablement parce qu'elles contiennent une plus grande quantité des éléments nécessaires à la germination, afin de pouvoir germer une fois dispersées sur le sol. Parmi ces éléments, il y a sûrement de l'eau. Or, si les grosses graines contiennent plus d'eau, il serait normal qu'elles résistent moins à la chaleur que les petites graines, puisqu'il est prouvé, de façon générale, que plus une graine contient de l'eau, moins elle résiste à la chaleur (Carmichael 1958; Levitt 1980).

En regardant les taux d'humidité (tableau 1), on constate que, effectivement, le sapin baumier a le plus haut taux dans chacun des traitements. Le pin blanc arrive en second lors du troisième traitement, mais seulement en quatrième lors des deux premiers traitements. Encore une fois, il s'agit d'un point qui serait intéressant d'approfondir.

## **6. Évaluation de la croissance des semis**

Pour ce qui est de l'évaluation de la croissance des semis, on peut d'abord souligner que les semis témoins présentent des valeurs supérieures aux semis provenant de graines chauffées, que ce soit pour la hauteur, le diamètre ou le poids sec. Cependant, sur les courbes de croissance (figures 19 à 24), on constate que les variations de croissance semblent être les mêmes pour les témoins et pour les traités, c'est-à-dire que s'il y a une augmentation chez les témoins, on en observe aussi une chez les traités. Il y a également chevauchement des écarts-types. D'ailleurs, au tableau 8, on remarque que les taux de croissance sont similaires. Ainsi, bien que les semis traités soient plus petits, ils croissent au même rythme

que les témoins. La différence de taille entre les deux s'expliquant par le fait que, en moyenne, les traités ont germé plus tard. Ils ont donc accumulé moins de jours de croissance.

Il semblerait donc que, lorsqu'une graine survit à l'exposition à la chaleur, le semis qu'elle produit ne paraisse pas affecté par ce stress. D'ailleurs, l'évaluation visuelle de la morphologie confirme qu'il n'y a pas de différence notable entre les témoins et les traités. Toutefois, cette évaluation de croissance ne constituant qu'un survol du problème, il faudrait d'autres études afin de prouver hors de tout doute qu'il n'y a effectivement aucune différence.

## CHAPITRE V

### CONCLUSION

D'après les résultats obtenus, on constate que les graines des conifères étudiés ont, en général, une très bonne résistance face à des températures élevées. L'adaptation au feu de certaines espèces semblant se situer non pas au niveau des graines, mais plutôt à un autre niveau. On suppose que ce sont les cônes sérotineux qui offrent une protection aux graines chez l'épinette noire et le pin gris. Cela vient donc renforcer l'idée voulant que la sérotinité soit un facteur important dans la régénération après feu de ces deux conifères de la forêt boréale.

On remarque également que le sapin baumier ne réagit pas comme les autres, le chauffage semblant augmenter son pourcentage de germination. L'explication de ce phénomène n'est cependant pas connue. De plus, l'évaluation de croissance des semis a montré que le chauffage des graines ne paraît pas affecter les semis produits. Il n'y a donc pas à craindre l'apparition de malformations qui remettraient en cause la survie d'une espèce après feu.

Même si l'exposition des graines à des températures élevées pendant une heure n'est pas une situation retrouvée en nature, l'étude permet de montrer que les graines des conifères de la forêt boréale sont des organismes vivants capables de résister à des stress importants. Certains conifères sont donc bien adaptés à leur milieu et aux perturbations qui peuvent y survenir.

En terminant, on peut souligner que les deux espèces qui se démarquent dans les traitements de chauffage, soit le sapin baumier et le thuya occidental, sont également les deux espèces qui n'ont pas été récoltées en même temps que les autres, et qui, par conséquent, ont subi quelques traitements de plus. Il serait peut-être bon de déterminer s'il s'agit d'une coïncidence ou non.

## CHAPITRE VI

### RÉFÉRENCES CITÉES

- Beaufait, W.R. 1960.** Some effects of high temperature on the cones and seeds of Jack pine. *Forest Science*, 6:194-199.
- Brockman, F.C., H.S. Zim et R. Merrilees. 1982.** Guide des Arbres de l'Amérique du Nord. Éditions Marcel Broquet, Québec. 294p.
- Buchinger, A. 1929.** Der Einfluss hoher Anfangstemperaturen auf die keimung, dargestellt an *Trifolium pratense*. *Jahrb. Wiss. Bot.*, 71:149-153. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.
- Carmichael, A.J. 1958.** Determination of the maximum air temperature tolerated by red pine, jack pine, white spruce and black spruce seeds at low relative humidities. *Forestry Chronicle*, 34(4):387-392.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud et D. Williams. 1983.** Fire in Forestry, vol.1. John Wiley and Sons, Inc. USA. 450p.
- Cottam, G. 1981.** Patterns of Succession in Different Forest Ecosystems. *in* West, D.C., H.H. Shugart et D.B. Botkin (eds). 1981. Forest Succession. Springer-Verlag, New York. p.178-184.
- Crosier, W. 1956.** Longevity of seeds exposed to dry heat. *Proc. Assoc. Off. Seed. Anal.*, 46:72-74. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.

- Edwards, D.G.W.** 1987. Méthode de contrôle des semences forestières au Canada (Rapport technique de foresterie 36). Centre de foresterie du Pacifique (Victoria), Service Canadien des forêts, Ottawa. 34p.
- Fowells, H.A.** 1965. Silvics of forest trees of the United States. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. Agriculture Handbook no.271.
- Gagnon, R. et H. Morin.** 1987. Germination de graines de *Picea mariana* et de *Pinus banksiana* soumises à des températures de 120°C pendant 1 heure. Bulletin de l'Association botanique du Canada, 20 (3):13.
- Hawey, R.** 1982. Petit manuel des semences forestières résineuses au Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. 39p.
- Heinselman, M.L.** 1970. The natural role of fire in northern conifer forests. *in* Symposium on The role of fire in the Intermountain West, Intermountain Fire Research Council, Minnesota, Montana. 1970. Reprinted in *Naturalist*, 21(4): 14-23.
- Heinselman, M.L.** 1973. Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quat. Res.* 3:329-382.
- Heinselman, M.L.** 1981a. Fire and succession in the conifer forests of Northern North America. *in* West, D.C., H.H. Shugart et D.B. Botkin (eds). 1981. *Forest Succession*. Springer-Verlag, New-York. p. 374-405.
- Heinselman, M.L.** 1981b. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. *in* Mooney, H.A., T.M. Bonnicksen, N.L. Christensen et W.A. Reiners (eds). 1981. *Fire regime and ecosystem properties*. U.S. For. Serv. Gen.Tech. Rep. WO-26. Washington. 594p.

- Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960.** White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Horton, K.W. et J.C. Lees. 1961.** Black spruce in the foothills of Alberta. Can. Dept. Forestry, For. Res. BR. Tech. Note no.110. *in* Vincent, A.B. 1965. Black spruce: a review of its silvics, ecology and silviculture. Minister of Forestry, Ottawa, Canada. 79p.
- Huot, M. 1987.** Régénération naturelle du pin blanc après coupe à diamètre-limite dans le sud-ouest du Québec. Mémoire de Maîtrise (Sc. Forestières). Université Laval.
- Just, L. 1877.** Ueber die Einwirkung hoher Temperaturen auf die Erhaltung der Keimfähigkeit der Samen. Beitr. Biol. Pflanz., 2:311-348. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.
- Lakon, G. 1942.** Topographischer Nachweis der Keimfähigkeit der Getreidefrüchte durch Tetrazoliumsälze. Ber. Deutsch. Bot. Ges., 60:299-305. *in* Lakon, G. 1949. The topographical tetrazolium method for determining the germinating capacity of seeds. Plant Physiology, Lancaster, 24:389-394.
- Langdrige, J. et J.R. McWilliam. 1967.** Heat Responses of Higher Plants. p.231-292. *in* Rose, A.H. 1967. Thermobiology. Academic Press Inc. (London) Ltd. 653p.
- Le Baron, R.K. 1939.** The role of forest fires in the reproduction of black spruce. The Minnesota Academy of Science, Proceedings, 7:10-14.
- Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.

- MacArthur, J.D. et D. Gagnon. 1959.** Some observations of forest conditions after fire in the Gaspé Peninsula. Can. Dept. Nth. Aff. & Nat. Res., For. Br., For. Res. Div. Mimeo 59-14. *in* Vincent, A.B. 1965. Black spruce: a review of its silvics, ecology and silviculture. Minister of Forestry, Ottawa, Canada. 79p.
- Maissurow, D.K. 1935.** Fire as a necessary factor in the perpetuation of white pine. J. For., 33:373-378. *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Marie-Victorin. 1964.** Flore Laurentienne. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec. 925p.
- Münch, E. 1914.** Nochmals Hitzeschaden an Waldpflanzen. Naturwiss. Z. Forst.-Landwirtsch 12:169-188. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.
- Nichols, G.E. 1935.** The hemlock-white pine-northern hardwood region of Eastern North America. Ecol., 16:403-422. *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Pitel, J.A., W.M. Cheliak et B.S.P. Wang. 1989.** Some biochemical changes associated with stratification and germination of basswood seeds. Seed Science and Technology, 17:57-71.
- Precht, H., J. Christophersen, H. Hensel et W. Larcher. 1973.** Temperature and life. Springer-Verlag, Berlin. 779p.

- Schneider-Orelli, O. 1910.** Versuche über die Widerstandsfähigkeit gewisser Medicago-Samen (Wollkletten) gegen hohe Temperaturen. *Flora (fena)*, 100:305-311. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.
- Setchell, W.A. 1903.** *Science*, 17:934. *in* Brock, T.D. 1967. Life at high temperatures. *Science*, 158:1012-1019.
- Shirley, H.L. 1933.** Improving seedbed conditions in a Norway pine forest. *J. For.*, 31:322-328. *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Smith, D.M. 1951.** The influence of seedbed conditions on the regeneration of eastern white pine. *The Connecticut Agr. Exp. Sta. New Haven, Bull.* 545. *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Smith, L.F. 1940.** Factors controlling the early survival of eastern white pine in Central New England. *Ecol. Monog.*, 10: 273-420. *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Spurr, S.H. 1953.** Forest fire history of Itasca State Park. *Univ. Minn. Sch. For. Minn. For. Notes no.18:2p.* *in* Horton, K.W. et G.H.D. Bedell. 1960. White and red pine: ecology, silviculture and management. Minister of Northern Affairs and National Resources, Ottawa. 185p.
- Spurr, S.H. et B.V. Barnes. 1980.** Forest Ecology, third edition. John Wiley and Sons, Inc. USA. 687p.

- Stiell, W.M. 1980.** L'Épinette blanche: régénération artificielle au Canada. Ministère de l'Environnement, Service canadien des forêts, Ottawa. 322p.
- Thomas, P.A. et R.W. Wein. 1985.** Delayed emergence of four conifers species on postfire seedbeds in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* 15: 727-729.
- Vincent, A.B. 1965.** Black spruce: a review of its silvics, ecology and silviculture. Minister of Forestry, Ottawa, Canada. 79p.
- Watanabe, M. 1953.** Effect of heat application upon the pollen viability of Japanese black pine and Japanese red pine. *J. Jpn. For. Soc.*, 35:248-251. *in* Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, vol.1 (second edition). Academic Press, Inc. New-York. 479p.