

M É M O I R E

présenté

A L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

pour l'obtention du

DIPLOME D'ÉTUDES APPROFONDIES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

(Option : Physiologie végétale appliquée)

par

Dominique ROUSSEL

**RECHERCHE SUR L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DE LA GERMINATION
DES SEMENCES DU PETIT MIL (*PENNISETUM AMERICANUM* (L.) K. SCHUM.).**

Soutenu le 2 octobre 1978, devant la Commission d'Examen :

| | |
|-----------------------------|-------------------|
| Monsieur D. CÔME | Président |
| Monsieur R. CHAUSSAT | Examineurs |
| Madame Y. BAILLY | |

O. R. S. T. O. M.

P A R I S

1 9 7 8

Ce travail a été réalisé dans le Laboratoire d'Amélioration des Plantes du Centre O.R.S.T.O.M. de Bondy.

Monsieur le Professeur D. CÔME, en m'acceptant comme étudiant de 1ère année de 3ème cycle, m'a permis de découvrir la recherche dans des conditions riches d'enseignements en me faisant bénéficier de ses réflexions au cours de discussions fructueuses. Son amabilité, sa gentillesse à mon égard m'ont toujours été d'un très grand secours tout au long de cette étude. Je le prie de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Madame Y. BAILLY a inspiré et guidé ce travail. Je tiens à lui exprimer ma sincère et profonde reconnaissance pour toute l'aide morale et intellectuelle qu'elle n'a pas cessé de me prodiguer au cours de la réalisation et de la rédaction de ce travail.

Je remercie Monsieur R. CHAUSSAT qui a bien voulu examiner ce mémoire et participer au jury.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la collaboration technique efficace de Madame J. LECOMTE. Son aide constante, sa gentillesse naturelle nous ont été d'un secours non mesurable et je l'en remercie chaleureusement.

Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres de l'équipe du B.A.P.U., et en particulier à Monsieur L. MARCHAIS, pour les conseils et la sympathie qu'ils m'ont donnés depuis mon entrée au laboratoire, ainsi qu'à Madame F. LEUILLER qui a eu la gentillesse de dactylographier ce mémoire.

S O M M A I R E

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION | 7 |
| CHAPITRE I - MATERIEL ET METHODES | 11 |
| 1 - MATERIEL VEGETAL | 11 |
| 2 - PRODUCTION DE SEMENCES | 13 |
| 2.1. Semis | 14 |
| 2.2. Conditions de culture | 14 |
| 2.3. Réalisation de la pollinisation | 15 |
| 3 - PRELEVEMENT ET CONSERVATION DES SEMENCES | 15 |
| 4 - REALISATION DES ESSAIS DE GERMINATION | 16 |
| 5 - EXPRESSION DES RESULTATS | 17 |
| CHAPITRE II - COMPORTEMENT GERMINATIF D'UN MELANGE DE SEMENCES ISSUES DE PLUSIEURS CHANDELLES | 19 |
| 1 - SEMENCES FRAICHEMENT RECOLTEES | 20 |
| 2 - INFLUENCE DE LA CONSERVATION DES SEMENCES SUR LEUR COMPORTEMENT GERMINATIF | 21 |
| 2.1. Semences conservées à sec à 30° C | 21 |
| 2.2. Semences conservées à sec à diverses températures | 22 |
| 2.2.1. Germination des semences conservées pendant 8 semaines | 22 |
| 2.2.2. Comparaison de l'évolution de la germination des semences conservées à diverses températures | 23 |
| 3 - CONCLUSION | 24 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE III - APTITUDE A LA GERMINATION DES SEMENCES DE DIFFERENTES PLANTES | 25 |
| 1 - GERMINATION DES SEMENCES RECOLTEES A MATURETE | 26 |
| 1.1. Chandelles principales | 26 |
| 1.1.1. Aptitude à la germination des semences des grandes chandelles | 26 |
| 1.1.2. Aptitude à la germination des semences des petites chandelles | 28 |
| 1.1.3. Recherche de facteurs responsables de l'hétérogénéité | 28 |
| - Influence de la date de récolte | 28 |
| - Influence du poids des semences | 29 |
| - Influence de la teneur en eau | 30 |
| 1.2. Chandelles secondaires | 30 |
| 1.3. Conclusion | 31 |
| 2 - GERMINATION DES SEMENCES CONSERVEES A SEC | 32 |
| 2.1. Evolution de la germination des semences de chandelles principales et secondaires conservées sèches à 30° C | 32 |
| 2.2. Comparaison de l'évolution de la germination des semences de chandelles principales conservées à 5 et 30° C | 34 |
| 2.3. Conclusion | 34 |
| 3 - CONCLUSION | 35 |
| CHAPITRE IV - APTITUDE A LA GERMINATION DES SEMENCES D'UNE MEME CHANDELLE | 37 |
| 1 - GERMINATION DES SEMENCES DES CHANDELLES PRINCIPALES A DIFFERENTS STADES DE MATURETE | 37 |
| 2 - GERMINATION DES SEMENCES PRODUITES A DIFFERENTS NIVEAUX D'UNE MEME CHANDELLE PRINCIPALE | 42 |
| 2.1. Germination des semences à la récolte | 42 |
| 2.2. Germination des semences conservées à 30° C | 43 |
| 3 - CONCLUSION | 44 |
| CONCLUSION GENERALE | 47 |
| BIBLIOGRAPHIE | 53 |

INTRODUCTION

On considère généralement que le génotype d'une espèce donnée détermine entièrement les caractéristiques de la germination des semences qu'elle produit. De nombreux travaux conduits en conditions naturelles et en conditions artificielles contrôlées ont montré qu'il n'en est pas toujours ainsi et que de multiples facteurs sont susceptibles d'en moduler l'expression.

Avant d'exposer brièvement une partie de ces travaux, il nous paraît nécessaire de présenter quelques généralités sur le phénomène de la germination des semences. Pour la plupart des physiologistes, la perforation des enveloppes par la radicule constitue la phase finale de la germination (EVENARI, 1957 ; CÔME, 1970, 1975 ; ROLLIN, 1975) ; la germination commence avec l'imbibition de la semence et se termine avec le début de la croissance de la radicule (EVENARI, 1957 ; CÔME, 1970 ; TISSAOUI & CÔME, 1975 ; ROLLIN, 1975 ; PERINO et CÔME, 1977). Placées dans des conditions favorables à la germination, certaines semences morphologiquement mûres sont incapables de germer ; elles n'ont pas atteint leur maturité physiologique et sont dites dormantes. Cette absence de germination peut être due à l'embryon et l'on parle de dormance embryonnaire, ou aux enveloppes séminales, et l'on parle alors d'inhibition tégumentaire, ou aux deux à la fois (CÔME, 1970, 1975). La dormance peut être levée par un

prétraitement convenable qui permet la maturation physiologique de la semence, ou post maturation. La germination peut alors se réaliser dans la mesure où certaines conditions favorables sont réunies (eau, température, lumière...).

Les facteurs du milieu dans lequel la plante se développe, peuvent jouer un rôle prépondérant sur le comportement germinatif des semences produites. L'influence de l'altitude sur la germination des semences a été étudiée par DORNE (1968, 1973 a et b) avec *Silene inflata*, *Alysoïdes utriculatum* et *Chenopodium bonus-henricus* : Il a observé chez ces trois espèces que le pourcentage de germination des semences est d'autant plus faible que l'altitude du lieu de récolte est élevée. DORNE et CÔME (1976) ont montré chez *Chenopodium bonus henricus* que la réduction de la germination est directement liée aux propriétés des téguments.

L'utilisation des chambres de croissance a permis de préciser l'effet de certains facteurs de l'environnement sur la germination des semences produites. En 1966, EVENARI, KOLLER et GUTTERMAN ont montré que les conditions photopériodiques modifient le comportement germinatif d'*Ononis sicula*. Les plantes cultivées en jours courts produisent des semences qui germent mieux que celles des plantes cultivées en jours longs. Des résultats comparables ont été obtenus par JACQUES (1968), avec *Chenopodium polyspermum*, qui constate des modifications dans l'épaisseur des téguments selon les conditions de lumière.

Les conditions thermiques auxquelles sont soumises les plantes influencent la germination des semences produites. Les semences de *Syringa reflexa* (JUNTILLA, 1971) issues de plantes soumises à des températures assez élevées (18-24°C) sont plus dormantes que celles des plantes cultivées à une température plus basse (15°C). Par contre, dans le cas des semences d'*Aegilops ovata*, c'est le phénomène inverse qui se produit (DATTA et coll., 1972).

Dans des conditions d'environnement identiques, les semences de différentes plantes d'une espèce donnée ou d'une même plante n'ont pas forcément les mêmes potentialités germinatives. C'est le cas chez *Rumex crispus* (CAVERS et HARPER, 1966) où il a été mis en évidence des différences entre les besoins germinatifs des semences issues de différents pieds d'un même habitat. D'autre part, il a été montré que la variabilité des propriétés germinatives pouvait être liée à la localisation des akènes sur la plante ; les akènes les plus gros et les plus lourds, situés à la base de la hampe florale et de chaque ramification, germent moins bien que les plus petits disposés au sommet de la hampe florale et des ramifications (SALISBURY, 1942 ; MAUN et CAVERS, 1971 a et b). De même, chez *Avena fatua* (JOHNSON, 1935), les semences du bas germent moins bien que celles localisées en haut de la panicule et de chaque ramification. Des effets de la localisation des semences d'une même plante sur le comportement germinatif existe aussi chez l'*Aegilops evata* où le caryopse de la base de l'épillet, moins lourd que celui situé en position terminale, germe le moins vite (DATTA et coll., 1972). CHAUSSAT (1977) a montré que ce comportement "acrotone" se manifeste également chez le Blé *Triticum aestivum*. Les deux graines du fruit de *Xanthium pennsylvanicum* ont un comportement différent (ARTHUR, 1895 ; CROCKER, 1906) : la graine inférieure germe la première année qui suit la récolte alors que la seconde germe l'année suivante. A l'inverse, lorsque les fruits d'*Arachis hypogea* renferment deux graines, la plus basale est la plus dormante (TOOLE V.K., BAILEY et TOOLE E.M., 1964).

D'autres travaux ont permis de mettre en relation le comportement germinatif des semences avec leur morphologie. C'est le cas chez *Hyptis suaveolens* où les graines les plus lourdes germent mieux que les plus légères (WULF, 1973). Le phénomène inverse a été montré pour les akènes de l'*Anthemis arvensis* (ELLIS et ILNICKI, 1968). Chez *Chenopodium album* (WILLIAMS et HARPER, 1965), l'aptitude à germer des quatre types de graines, différentes par la couleur et la forme de l'enveloppe séminale, n'est pas identique.

Des études récentes ont montré, par ailleurs, que l'intensité de la dormance des graines d'une petite rubiacée tropicale, l'*Oldenlandia corymbosa*, pouvait varier avec l'âge physiologique de la plante mère et les conditions de culture (ATTIMS, 1972 ; DO CAO, 1976 et 1978; CORBINEAU, 1977 ; ATTIMS et CÔME, 1978). De même, chez le *Panicum maximum* (SOUCIET, 1978), les conditions culturales (époque de montaison, multiplication par semences ou éclats de souche) et l'état physiologique des plantes de certains clones ont une incidence importante sur la germination des semences produites.

C'est dans le cadre général de l'hétérogénéité physiologique des semences que se situe notre travail qui concerne une céréale tropicale, le mil (*Pennisetum americanum*). Après avoir précisé certains aspects du comportement germinatif des semences d'une variété de mil cultivée en conditions contrôlées, nous avons étudié la variabilité des potentialités germinatives des semences de différentes plantes et des semences d'une même inflorescence, en essayant dans chaque cas de rechercher les causes de l'hétérogénéité de la germination.

CHAPITRE I

MATERIEL ET METHODES

1 - MATERIEL VEGETAL

Le petit mil, *Pennisetum americanum* (L.) K. SCHUM., est une graminée de la tribue des Panicées; d'origine probablement africaine, elle est largement distribuée dans les zones tropicales et subtropicales. Son aptitude à croître sur des sols relativement pauvres et bien drainés, une certaine exigence en températures élevées font de cette céréale une plante particulièrement adaptée aux zones semi-désertiques où certaines formes cultivées constituent la matière première de base pour l'alimentation des populations.

Une description de la plante a été faite par de nombreux auteurs (HUTCHINSON & DALZIEL, 1962 ; JACQUES-FELIX, 1962 ; COBLEY, 1956 ; FERRARIS, 1973 ; BRUNKEN, 1977). Généralement, elle est décrite comme une herbe annuelle érigée en touffe, pouvant atteindre 2 à 4 m de haut (Fig.1). Les chaumes, simples ou ramifiés, présentent des noeuds proéminents, glabres ou pubescents, au-dessus desquels un bourgeon axillaire s'insère en un sillon peu profond. Les noeuds de la base, légèrement renflés, portent un anneau de racines adventives. Les tiges issues des bourgeons axillaires des noeuds de la base sont en nombre variable et apparaissent entre la seconde et la cinquième

semaines après la levée. Le développement des tiges secondaires issues des bourgeons axillaires des noeuds supérieurs commence peu après la floraison de la tige principale ; elle se fait dans le sens basipète et chaque rameau est susceptible de produire une inflorescence terminale. D'une façon générale, des ramifications latérales sont émises après l'émergence de l'inflorescence de la tige principale ou des rameaux primaires, secondaires ou tertiaires dont elles sont issues.

Les feuilles sont linéaires ou lancéolées, rubanées ou enroulées. La ligule, rarement membraneuse, est généralement réduite à une ligne de cils. Les gaines peuvent être longues ou plus courtes que les entre-noeuds, ouvertes en haut et recouvrantes à leur base.

L'inflorescence est terminale, dense, cylindrique, linéaire ou linéaire-lancéolée, plus rarement elliptique, oblongue ou subglobulaire, de taille variable selon les cultivars (5-150 cm).

Cette "panicule spiciforme glomérulée" (JACQUES-FELIX, 1962), couramment appelée "chandelle", est constituée par un rachis cylindrique grêle ou robuste, strié, glabre ou pubescent, sur lequel viennent s'implanter, par l'intermédiaire de pédoncules (ramifications primaires du rachis), les involucre sétacés qui entourent les épillets pédonculés (Fig. 2 A et B). Chez la plupart des formes sauvages, l'involucre entier se détache de l'axe principal en entraînant un ou plusieurs épillets, alors qu'il est persistant chez les formes cultivées. Les soies sont libres et peuvent être scabres, ciliées ou plumeuses, simples ou rarement divisées. Elles sont généralement de taille inégale, plus courtes vers l'extérieur.

Sur une chandelle, le nombre d'épillets est variable ; il dépend de sa longueur et de sa densité. Ils peuvent être solitaires et plus souvent par groupes de deux à cinq. Les glomérules à épillet unique se situent fréquemment dans la partie apicale du faux épi.

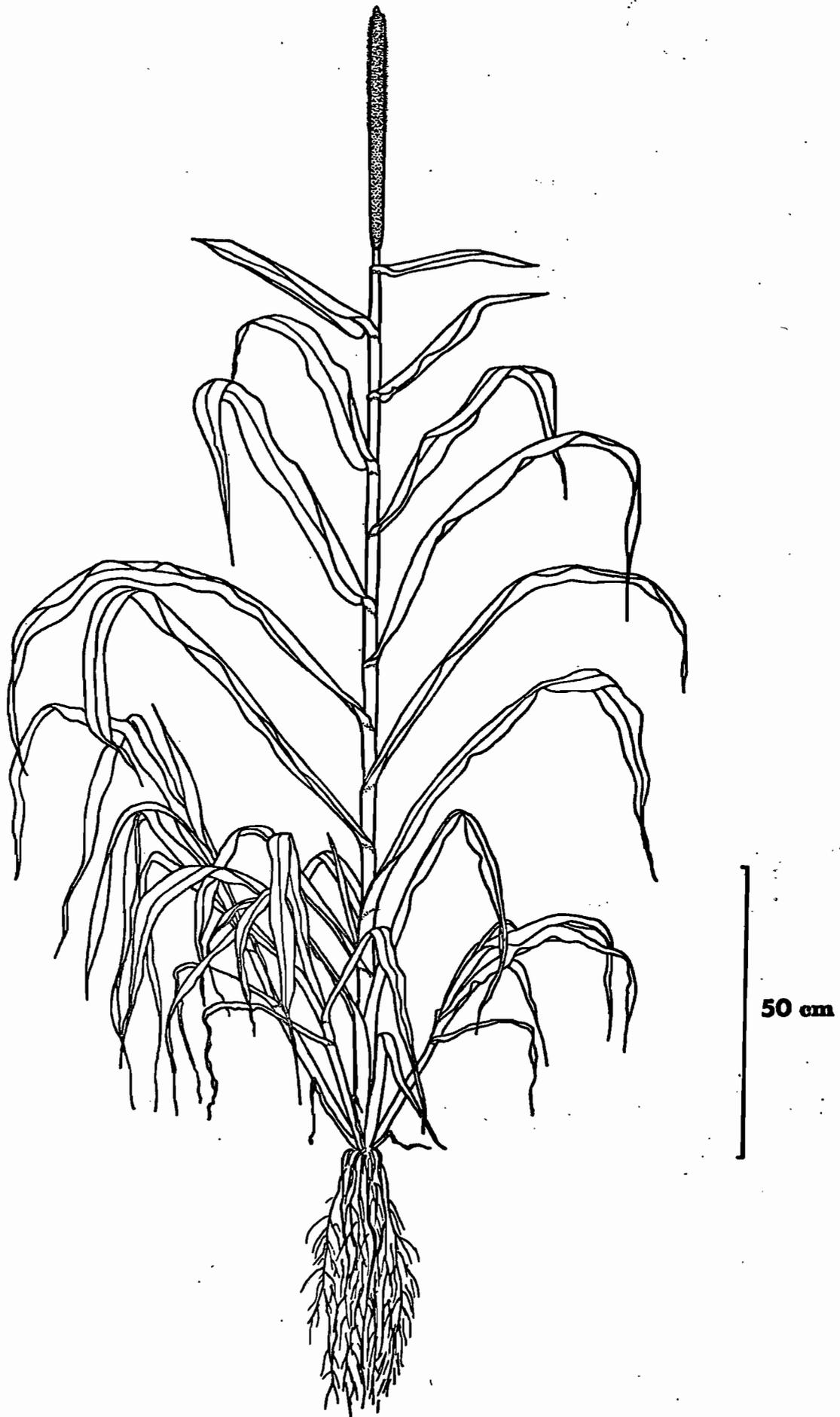


Fig. 1 : *Pennisetum americanum* variété "Souna" (dessin original)
Morphologie d'une plante au début de la floraison
(émergence des stigmates)

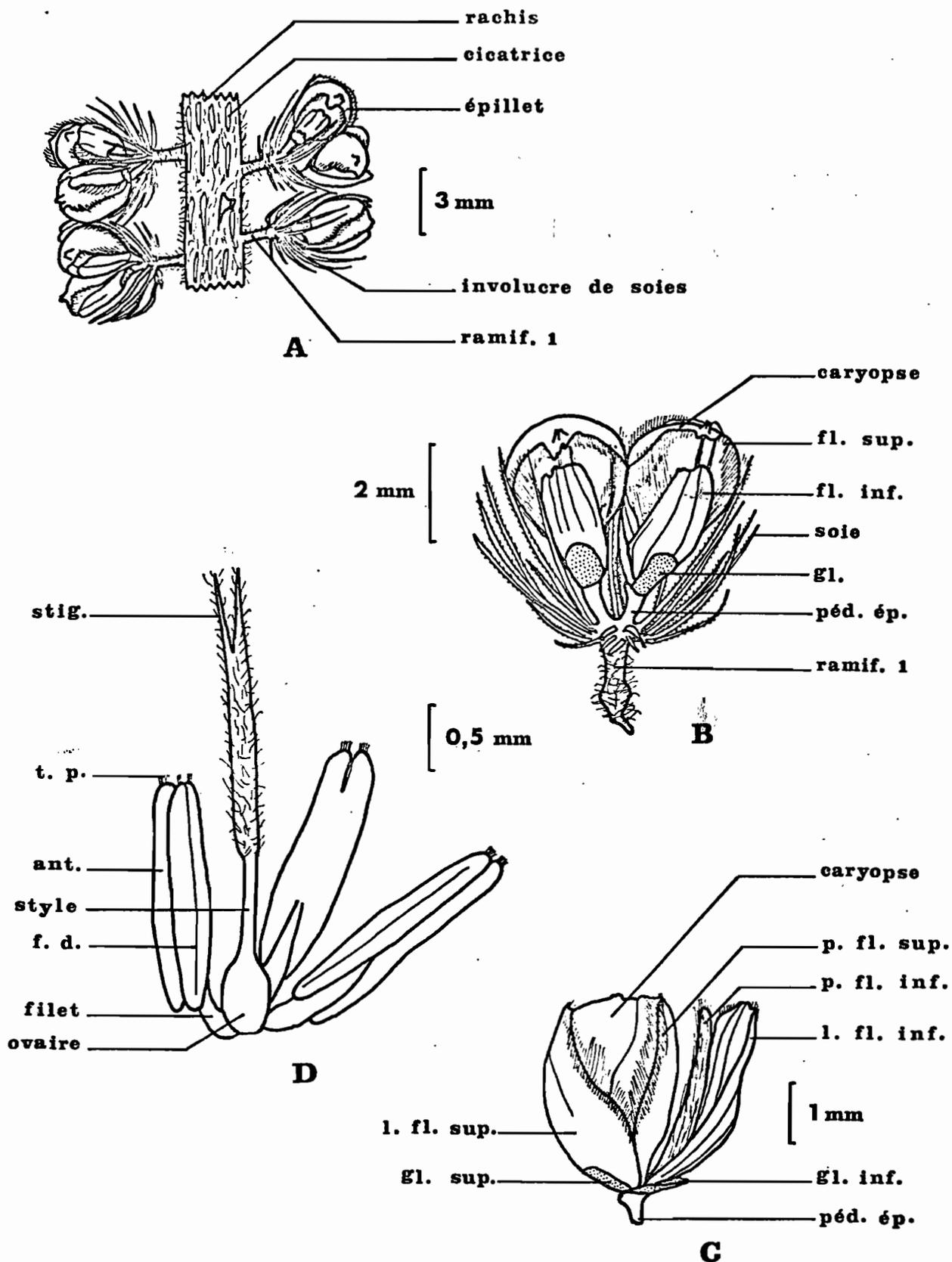


Fig. 2 : Détails de l'inflorescence (dessins originaux)

A : organisation générale ; B : glomérule ; C : épillet ;
 D : Fleur débarrassée de ses glumelles (stade femelle).

ramif.1 = ramification primaire ; fl.sup. = fleur supérieure ;
 fl.inf. = fleur inférieure ; gl. = glume ; péd.ép. = pédoncule
 de l'épillet ; p. = palea ; l. = lemma ; stig. = stigmate ;
 t.p. = touffe de poils ; ant. = anthère ; f.d. = fente de
 déhiscence.

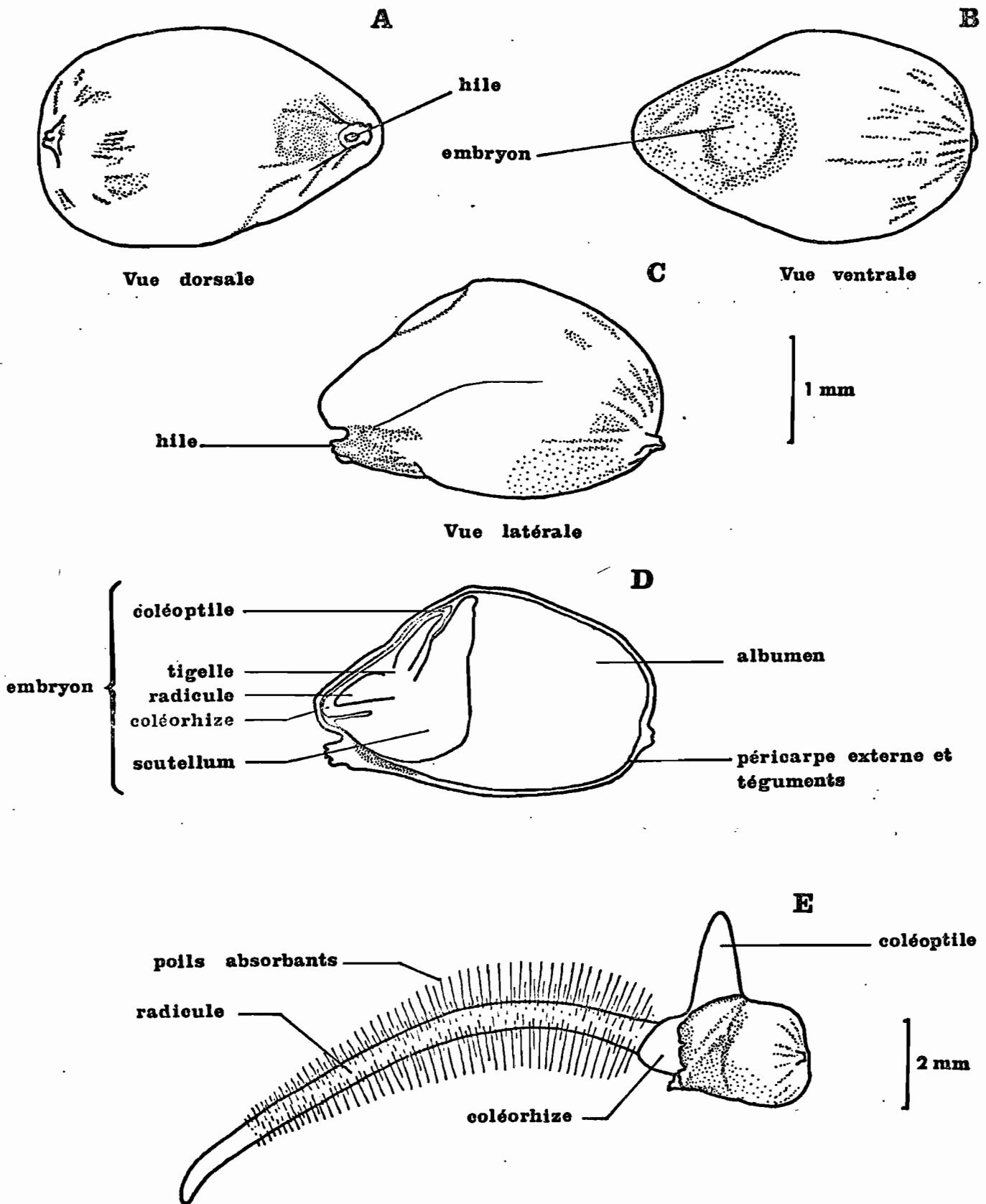


Fig. 3 : Dessins de caryopses (originaux)

A,B,C : morphologie externe

D : coupe longitudinale

E : caryopse germé

Les épillets possèdent deux fleurs et sont partiellement enclos par des glumes hyalines ou membraneuses, souvent inégales ; la glume inférieure très petite est parfois absente ; la glume supérieure peut être petite ou aussi longue que l'épillet (Fig. 2 C). La fleur inférieure stérile, staminée ou neutre, est soit complète de ses deux glumelles, soit sans palea. La fleur supérieure fertile possède une lemma aussi longue que l'épillet, largement lancéolée à elliptique oblongue, aiguë ou obtuse, souvent mucronée, nervillée, glabre ou pubescente près des marges. La palea, ovale, presque aussi longue que la lemma, possède une texture fine.

Les étamines sont au nombre de trois. Les anthères sont linéaires ou oblongues, avec ou sans touffe de poils au sommet. L'ovaire monocarpellé est surmonté de deux styles connés à leur base (Fig. 2 D). Les fleurs sont protogynes ; les anthères émergent souvent plusieurs jours après l'apparition des stigmates, la pollinisation croisée (allogamie) est une règle générale chez les *Pennisetum americanum*.

Le caryopse est petit (taille : 2 à 5 mm, poids : 2 à 10 mg), de forme et de couleur variables (caractéristiques variétales), dépassant en taille les glumelles chez les formes cultivées. L'embryon est elliptique, ventral, de longueur sensiblement égale à la moitié de celle de la semence. Le hile est punctiforme (Fig. 3).

2 - PRODUCTION DE SEMENCES

Les plantes utilisées pour nos plantations sont issues d'un cultivar précoce (type souna) du Sénégal dont les semences ont été fournies par l'O.R.S.T.O.M. Il s'agit d'une plante peu sensible à la longueur du jour, à cycle de développement très bref (60 à 90 jours), qui a été choisie en raison de la taille relativement grande de ses chandelles et de son aptitude à bien taller.

2.1. Semis

Le semis est effectué en serre le 28 octobre 1977.

Une cinquantaine de godets en tourbe (Jiffy-pots) contenant un mélange de terreau, de sable et de terre de bruyère dans les proportions 2/5 - 2/5 - 1/5 en volume, ont chacun été ensemencés par trois à quatre caryopses enfouis à 1 cm de profondeur, puis déposés sur un support chauffant (30°C) ; la lumière naturelle est renforcée par un système d'éclairage d'appoint fonctionnant 12h/24h et fournissant un éclairage de 8000 Lux au niveau du sol (lampes Philips HLRG 400 w).

Au stade 6-8 feuilles et après démarrage, l'ensemble godet-plantule est placé dans un pot Riviera à section carrée de 25 cm de côté contenant le même mélange que précédemment.

2.2. Conditions de culture

Les plantes ont poussé dans une serre où la température, l'hygrométrie et la longueur du jour sont contrôlées.

La température enregistrée le jour est en moyenne de 25°C, la nuit de 22°C. L'humidité relative de l'air est en moyenne de 70% et a été maintenue à 90% par un humidificateur pendant les premiers stades du développement végétatif de la plante. La longueur du jour de 11h30 est obtenue par un système d'éclairage d'appoint produisant un éclairage de 7000 Lux à 1 m des lampes (lampes Philips HLRG 400w). L'intensité lumineuse n'est pas contrôlée et dépend de l'ensoleillement naturel à Bondy. Les plantes sont arrosées tous les jours avec de l'eau de ville et toutes les deux semaines par une même quantité de solution nutritive (Engrais soluble PLANTORA - G. GHYS ; N, P, K respectivement 14, 10, 14%).

2.3. Réalisation de la pollinisation

La chandelle du mll présente un gradient de floraison orienté de haut en bas. Les premiers stigmates apparaissent dans le tiers supérieur de l'inflorescence puis de proche en proche jusqu'au bas de celle-ci. Dans nos conditions de culture, la floraison des premiers épis intervient environ 75 jours après la date du semis, puis s'étale sur 25 jours ; il peut s'écouler de 2 à 6 jours entre l'apparition des premiers et des derniers stigmates. Les étamines n'émergent que 2 à 3 jours après, selon un gradient analogue.

Au moment de l'épiaison, avant que les stigmates n'aient commencé à sortir, on ensache l'inflorescence afin d'éviter toute fécondation avec du pollen étranger. Les autofécondations étant généralement peu fertiles, nous avons réalisé des croisements intrapopulation dans le but d'obtenir des semences en grand nombre.

La pollinisation de chaque inflorescence est effectuée par apport journalier de pollen produit par des plantes du même cultivar, dès l'épanouissement des premiers stigmates et jusqu'à ce que ceux de la base présentent la perte caractéristique de turgescence consécutive aux processus de la fécondation.

3 - PRELEVEMENT ET CONSERVATION DES SEMENCES

Les semences sont récoltées chandelle par chandelle, soit en les prélevant directement sur les inflorescences sur pied, soit en récoltant la chandelle intégralement. Dans ce dernier cas, des lots de semences sont constitués soit par la totalité ou des portions de la chandelle, soit par plusieurs chandelles entières.

Dès leur récolte, les caryopses sont débarrassés de leurs enveloppes florales par un battage modéré, et des échantillons de chaque lot sont soumis à un essai de germination. Les semences résiduelles sont conservées sèches à l'obscurité, en étuve non ventilée

à hygrométrie non contrôlable à 20, 30 ou 45 ± 2° C, ou en chambre froide ventilée à 4 ± 1° C et 30% d'humidité relative de l'air.

Pour chaque essai de germination, la teneur en eau (par rapport au poids sec) ainsi que le poids sec des lots de semences sont déterminés par pesées d'échantillons de 50 ou 100 semences, avant et après un séjour de 24h en étuve à 130° C.

4 - REALISATION DES ESSAIS DE GERMINATION

Pour des raisons de matériel et de temps, nous nous sommes limités à l'étude de la germination des caryopses entiers placés à l'obscurité et à températures constantes, en essayant de réaliser l'ensemble de nos essais dans des conditions aussi identiques que possible.

Avant le semis, les semences sont désinfectées par trempage dans une solution de 1g/litre de chlorure mercurique pendant 10 minutes, puis rincées trois fois à l'eau déminéralisée (stérilisée). Des lots de 50 ou 100 caryopses sont ensuite mis à germer en boîtes de Pétri, sur un support de coton et papier filtre imbibé par 30 ml d'eau permutée stérile, dans des étuves sans ventilation et sans hygrométrie réglable, aux températures de 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45 ± 2° C, à l'obscurité.

Les semences germées sont dénombrées et retirées des germoirs quotidiennement pendant 90 jours : nous considérons qu'une semence est germée lorsque sa radicule, qui a percé les téguments, commence à croître. Les relevés de germination sont effectués à la lumière naturelle et aux températures du laboratoire (22° C environ) pour les semences placées à 30, 35, 40 et 45° C, sous éclairage électrique et à la température de 10-15° C pour les semences placées à 15, 20 et 25° C. Les germoirs sont réhydratés avec 10 ml d'eau déminéralisée stérile, chaque semaine pour ceux exposés aux températures de 30 à 45° C et tous les quinze jours pour les autres.

5 - EXPRESSION DES RESULTATS

Les dénombrements quotidiens des semences germées permettent de tracer des courbes de germination qui représentent les taux de germination cumulés en fonction du temps. L'analyse des courbes permet de définir, selon CÔME (1970), les notions suivantes :

- le POUVOIR GERMINATIF qui est le pourcentage de semences capables de germer dans les conditions les plus favorables ;
- la CAPACITE DE GERMINATION qui correspond au pourcentage de semences qui germent dans des conditions données ;
- la VITESSE DE GERMINATION que l'on peut exprimer de plusieurs façons :
 - a) par le taux de germination au bout d'un certain temps après l'ensemencement ;
 - b) par le temps nécessaire pour atteindre 50% de la capacité de germination ;
 - c) par le temps moyen (T_m) nécessaire à la germination des semences étudiées qui représente l'Inverse $\times 100$ du "coefficient de vélocité" de KOTOWSKI (1926) :

$$T_m = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$
 où N_1 est le nombre de semences germées au temps T_1 , N_2 le nombre de semences qui ont germé entre le temps T_1 et T_2 , etc... ;
 - d) par le temps de latence qui est le temps nécessaire à la manifestation des premières germinations, et que nous assimilerons, pour l'ensemble des résultats présentés ultérieurement, au temps nécessaire pour atteindre 4% de germination ;
 - e) par la pente de la portion linéaire de la courbe sigmoïdale de germination ; cette valeur a été calculée par régression linéaire à partir des taux de germination dont la valeur cumulée est comprise entre 20 et 80% du taux maximal de germination ;
 - f) par l'indice de germination d'ABBOTT (1955) :

Indice de germination =

$$N_1 \times 1 + (N_2 - N_1) \times 1/2 + (N_3 - N_2) \times 1/3 + \dots + (N_n - N_{n-1}) \times 1/n$$
 où $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ sont respectivement les nombres de semences qui ont germé les premier, deuxième, troisième, ..., Nième jours.

La meilleure façon de donner une image représentative du processus de la germination est de produire les courbes de germination elles-mêmes. Cependant, ce mode de représentation devient difficilement utilisable lorsqu'il s'agit de comparer entre eux un grand nombre d'échantillons. Aussi, dans un certain nombre de cas, nous utilisons une représentation graphique simplifiée des courbes de germination en exprimant les taux de germination cumulés, relevés à 4, 7, 15, 30 et 60 jours, en fonction des températures de germination.

CHAPITRE II

COMPORTEMENT GERMINATIF D'UN MELANGE DE SEMENCES ISSUES DE PLUSIEURS CHANDELLES

Tout expérimentateur qui se propose d'étudier la germination des semences d'une espèce doit avoir à sa disposition un nombre assez élevé de semences, étant donné que les méthodes d'investigation détruisent le matériel. Le nombre de semences d'une chandelle (environ 800 à 2500) étant assez limité, la constitution d'un lot à partir des semences de plusieurs chandelles devrait nous permettre de bien connaître le comportement germinatif des semences de la variété de mil "souna" produites par les plantes que nous avons cultivées en serre.

Une dizaine de chandelles mûres, sensiblement du même âge, dont les caryopses présentent une teneur en eau de 12 à 14%, sont récoltées le même jour, 5 à 6 semaines après la date de fin de pollinisation. Les semences débarrassées de leurs enveloppes florales sont mélangées. Une partie d'entre elles est soumise à un essai de germination le jour de la récolte ; le complément du lot est fractionné en quatre parts d'égale importance et placé à l'obscurité aux températures de 5, 20, 30 et 45° C. Les semis sont effectués toutes les deux semaines pendant près de 2 mois, avec des échantillons de 100 semences, dans une gamme de températures comprises entre 15 et 45° C.

Nous avons ainsi tenté de déterminer les caractéristiques de la germination d'un mélange de semences mûres issues de plusieurs chandelles principales, à la récolte et au cours d'une conservation contrôlée à différentes températures.

1 - SEMENCES FRAICHEMENT RECOLTEES

L'examen des courbes de germination de la figure 4 montre que les semences germent à des températures comprises entre 15 et 40° C. A 45° C, la germination est inexistante. Elle est très faible et très lente à 15 et 20° C.

Les taux de germination des caryopses augmentent avec la température jusqu'à 40° C qui semble être la température optimale ; dans cette condition, presque toutes les semences germent en 14 jours et celles qui ne germent pas sont rapidement contaminées par des champignons et pourrissent.

Les différentes caractéristiques des courbes de germination ont été calculées et sont données dans le tableau 1. Nous pouvons voir que, dans tous les cas, la capacité et l'indice de germination augmentent avec les températures de germination jusqu'à 40° C et que le temps de latence diminue avec celles-ci. Par contre, les vitesses de germination (exprimées par le temps pour atteindre 50% de la capacité de germination, le temps moyen de germination et la pente des portions de courbes comprises entre 20 et 80%), qui augmentent en général avec les températures, donnent des résultats contradictoires à 25, 30 et 35° C.

Aux températures de 30 et 35° C, nous constatons que les germinations s'étalent sur une durée très longue (plus de 2 mois) : placées en condition constante, les semences ont un comportement hétérogène qui semble indiquer une grande variabilité de leur état physiologique.

A 40° C, cette réponse est plus homogène.

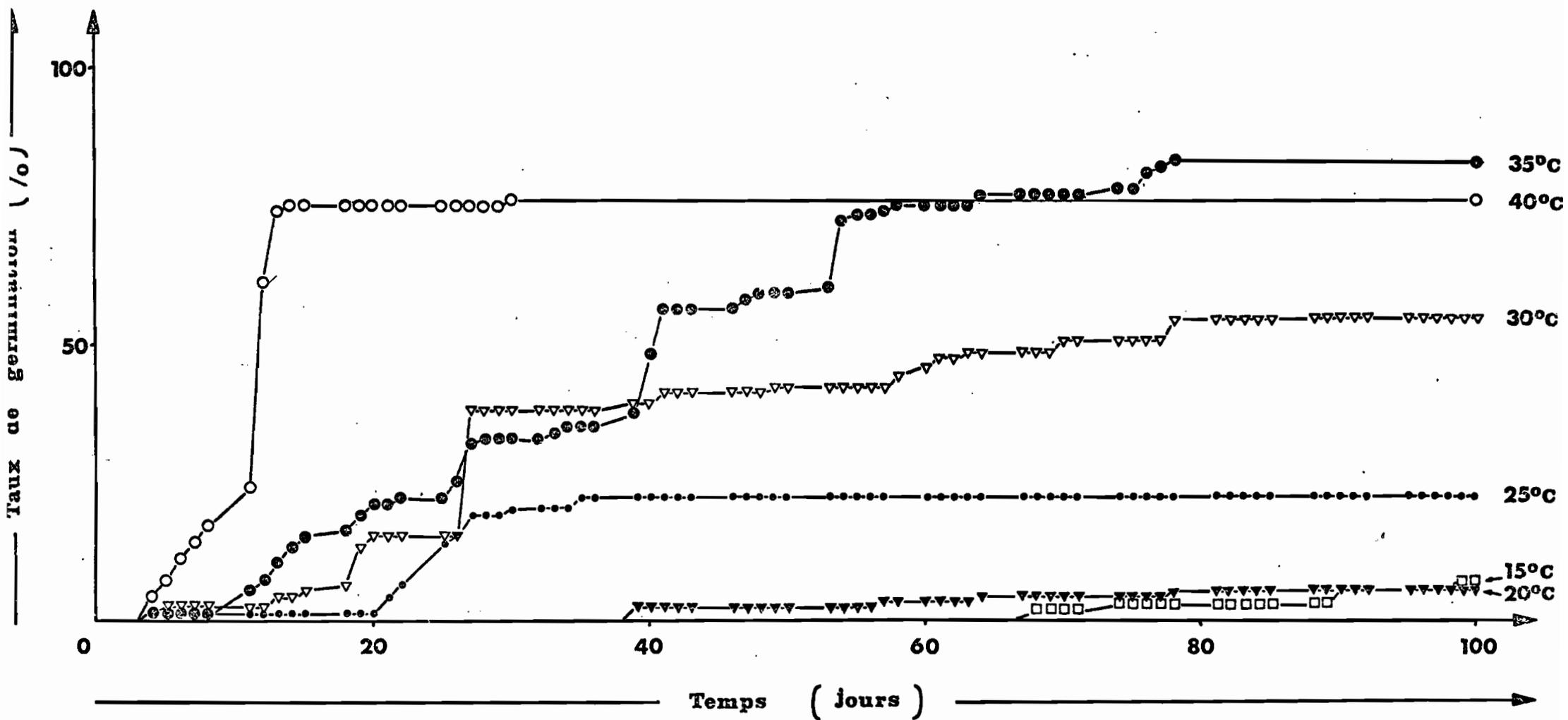


Fig. 4 : Courbes de germination à 15,20,25,30,35,40 et 45°C, à l'obscurité, de semences fraîchement récoltées (mélange de caryopses issus de 10 chandelles "mûres").

| | | TEMPERATURES DE GERMINATION | | | | | | |
|---|----------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° |
| Capacité de germination (90 jours) en % | | 4 | 5 | 22 | 54 | 83 | 76 | 0 |
| Taux de germination en % | 4 jours | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 |
| | 7 jours | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 14 | 0 |
| | 15 jours | 0 | 0 | 1 | 5 | 15 | 75 | 0 |
| | 30 jours | 0 | 0 | 20 | 38 | 34 | 76 | 0 |
| | 60 jours | 0 | 3 | 22 | 45 | 75 | 76 | 0 |
| Temps de latence ** (jours) | | 78 | 64 | 21 | 13 | 10 | 4 | >90 |
| Temps pour atteindre 50% de la capacité de germination (jours) | | 74 | 57 | 24 | 27 | 40 | 12 | >90 |
| Temps moyen de germination ** (jours) | | 67,0 | 55,4 | 30,7 | 34,2 | 37,2 | 10,9 | - |
| Indice de germination ** | | 0,04 | 0,1 | 1,1 | 2,3 | 3,2 | 7,9 | 0,00 |
| Pente ** (calculée entre 20 et 80% de la capacité de germination) | | 0,29 | 0,08 | 2,15 | 0,89 | 1,39 | 9,96 | - |

Tableau I : Caractéristiques principales de la germination, à l'obscurité, d'un mélange de semences récoltées à maturité, à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C.

** Ces notions ont été définies pages 19 et 20.

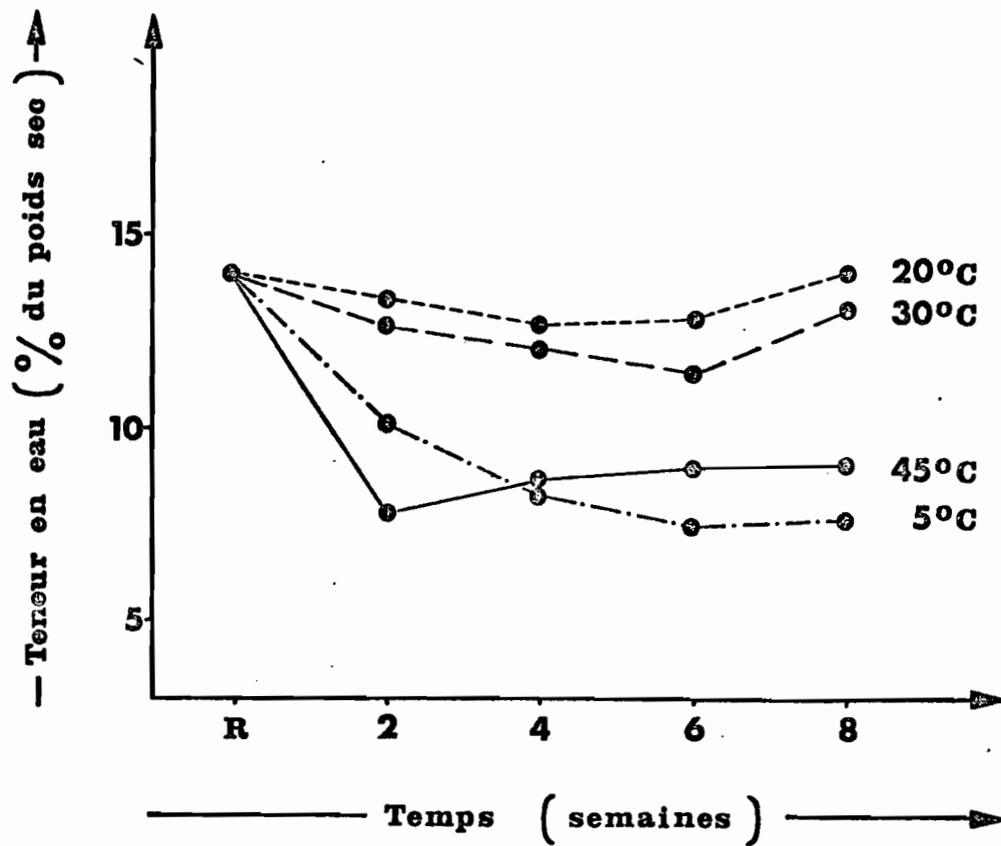


Fig. 5 : Evolution de la teneur en eau (% du poids sec de 50 semences) d'un mélange de semences récoltées à maturité (R = récolte) et conservées à 5, 20, 30 et 45° C pendant 8 semaines.

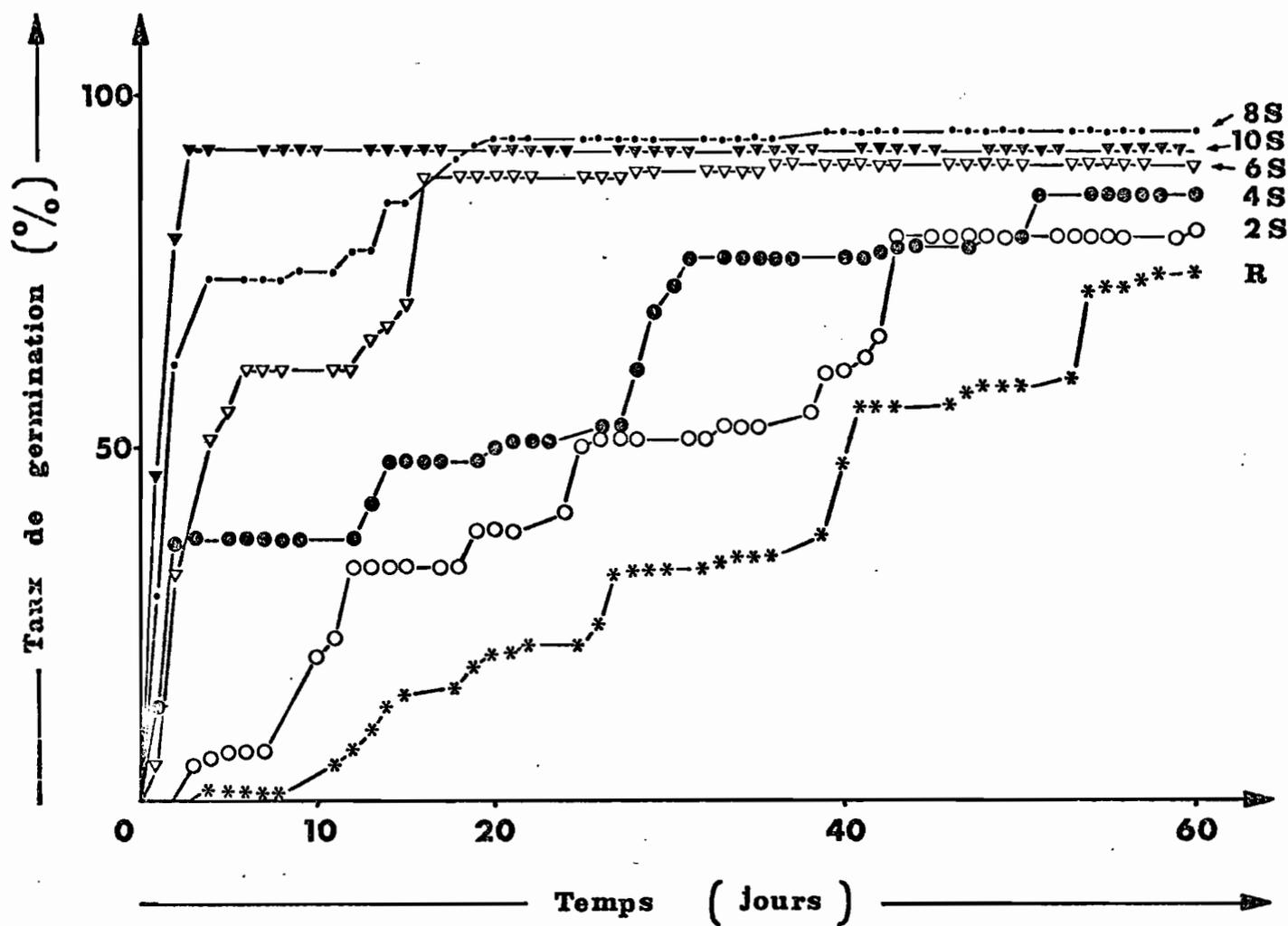


Fig. 6 : Evolution de la germination, à 35° C, du mélange de semences conservées à sec à 30° C pendant 2, 4, 6, 8 et 10 semaines (R : germination du lot le jour de la récolte).

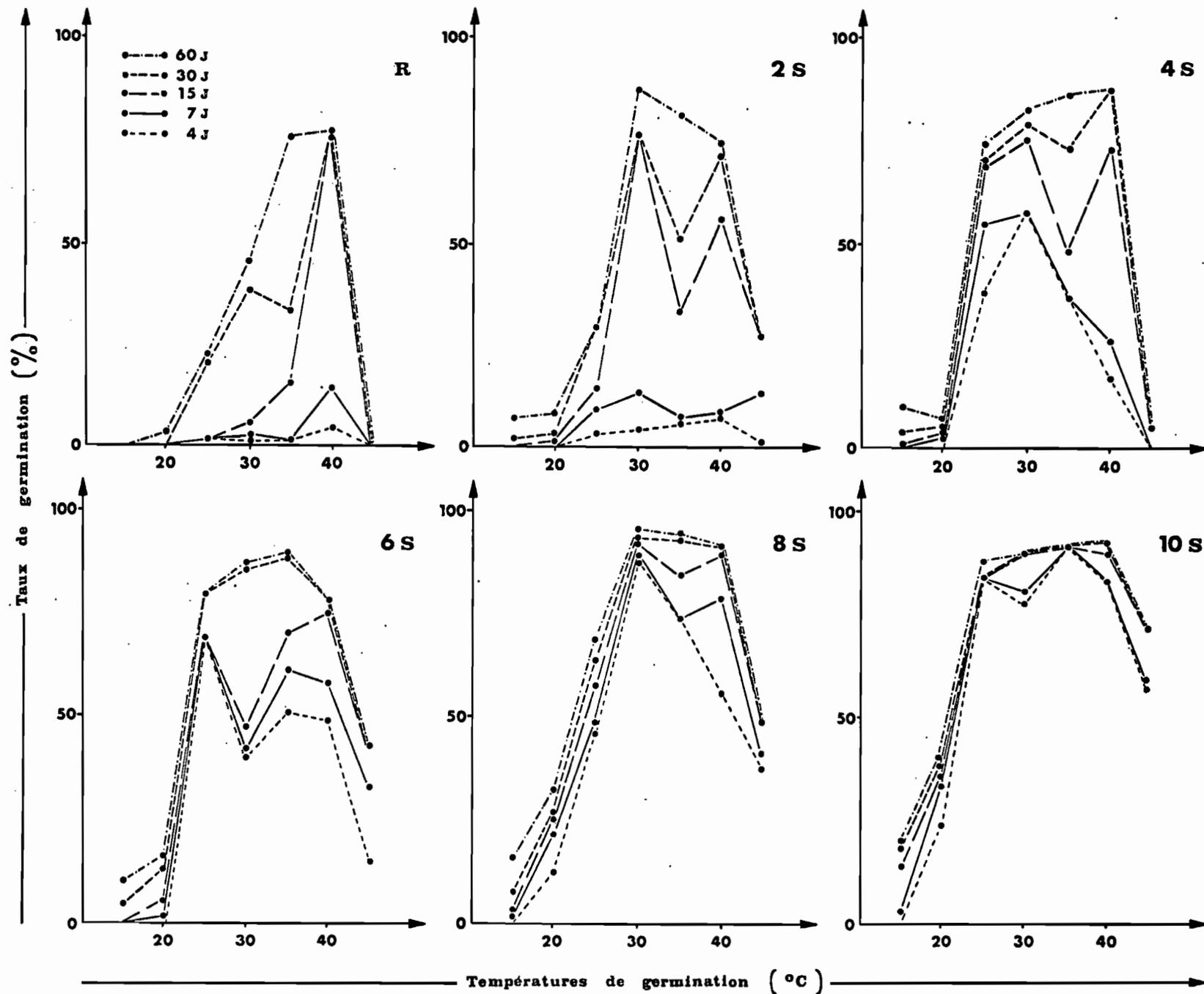


Fig. 7 : Germination des semences, à diverses températures, à la récolte (R) après 2,4,6,8 et 10 semaines de conservation à sec, à 30° C. Les taux de germination sont représentés à 4,7,15,30 et 60 jours.

2 - INFLUENCE DE LA CONSERVATION DES SEMENCES SUR LEUR COMPORTEMENT GERMINATIF

L'aptitude à la germination des semences est étudiée en relation avec deux facteurs essentiels de la conservation :

- la durée de conservation (à température constante),
- la température de conservation.

2.1. Semences conservées à sec à 30° C

Au cours de leur conservation en étuve, les semences subissent une légère déshydratation (fig. 5) : la teneur en eau passe de 13,8% à la récolte à des valeurs comprises entre 11 et 12% après un mois de stockage. La figure 6 montre la germination à 35° C des semences fraîchement récoltées et conservées 2, 4, 6, 8 et 10 semaines à 30° C.

Nous voyons que la capacité et la vitesse de germination des semences augmentent régulièrement avec la durée de conservation.

L'évolution du comportement germinatif des semences, pour l'ensemble des températures de germination, est résumé sur la figure 7.

Nous constatons :

- une augmentation de la capacité et de la vitesse de germination des semences au cours de leur conservation, qui se manifeste pour toutes les températures de germination ;
- un élargissement progressif de la gamme de températures permettant la germination des semences ainsi que des températures optimales de germination.

Après 10 semaines de conservation, les semences germent aux températures comprises entre 15 et 45° C, avec des vitesses et des capacités de germination comparables à 25, 30, 35 et 40° C (températures optimales). Cette germination est rapide : plus de 75% des semences germent en 4 jours aux températures optimales.

2.2. Semences conservées à sec à diverses températures

Les semences se dessèchent de façon différente dans les 4 milieux de conservation utilisés (fig. 5) : la déshydratation est faible dans les étuves à 20 et 30° C (teneur en eau des semences supérieure à 11%), très importante dans l'étuve à 45° C et dans la chambre froide (teneur en eau d'environ 7,5 et 9% après un mois de conservation) où la faible humidité relative de l'air (30%) favorise une déshydratation plus intense des semences.

2.2.1. Germination des semences conservées pendant 8 semaines

La figure 8 donne une représentation simplifiée des courbes de germination des semences conservées à sec à 5, 20, 30 et 45° C pendant 8 semaines. Nous remarquons que lorsque la température de stockage s'élève :

- les capacités et les vitesses de germination des semences augmentent pour toutes les températures de germination ;
- la gamme des températures permettant la germination des semences et celle des températures optimales s'élargissent vers les basses températures.

Nous pouvons aussi noter que, très souvent, les semences germent mieux à 30 qu'à 35° C ; les taux de germination à 60 jours sont presque toujours comparables mais à 30° C, les vitesses de germination sont plus grandes.

La meilleure germination est obtenue pour les semences conservées à 45° C : elles germent rapidement, avec des taux supérieurs à 50% aux températures comprises entre 15 et 45° C et à plus de 80% aux températures de 20, 25, 30, 35 et 40° C.

La germination des semences conservées à basse température (5° C) est assez semblable à la germination du lot témoin semé le jour de la récolte (fig. 4) : on note cependant une faible augmentation des

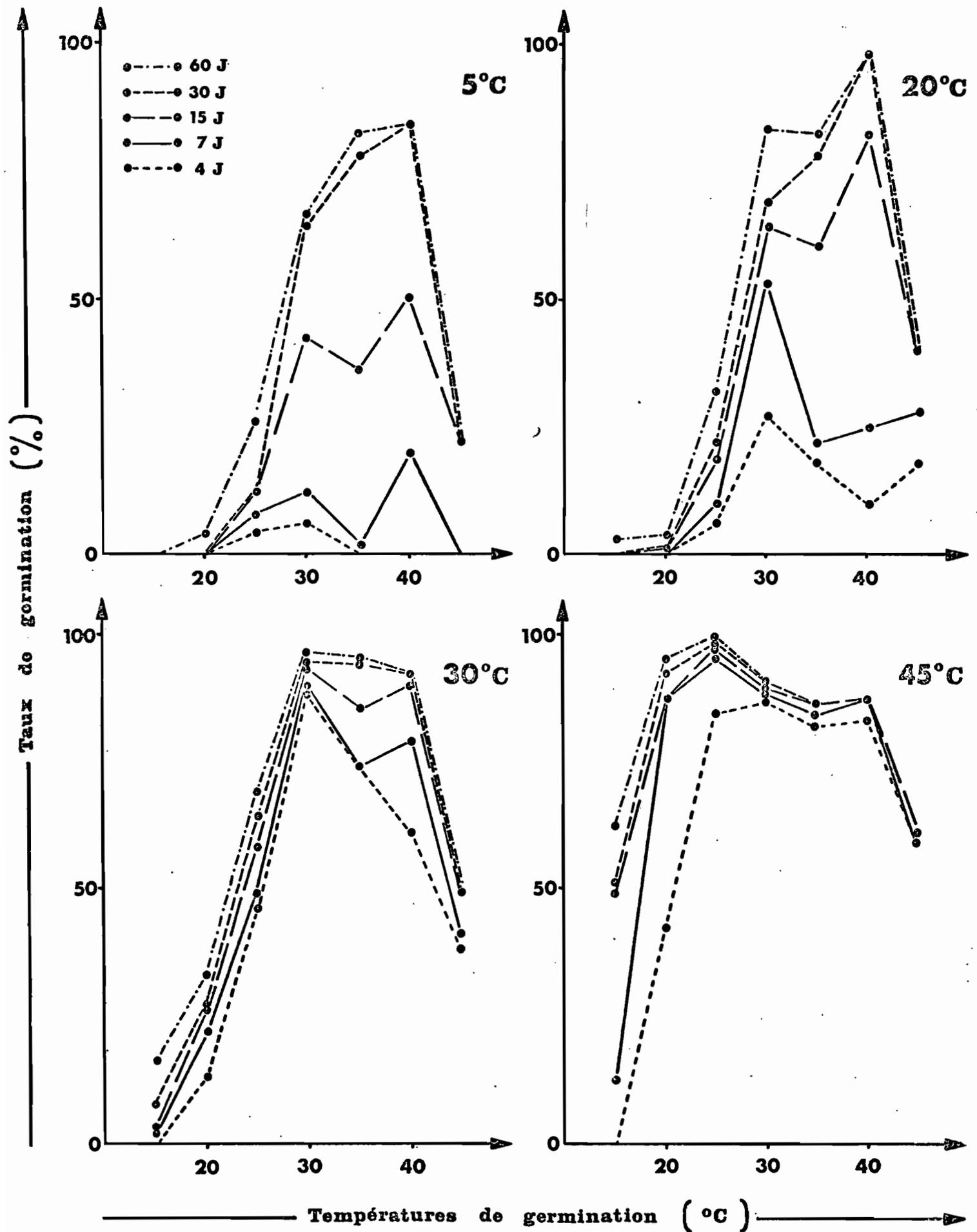


Fig. 8 : Germination, à diverses températures, de semences conservées à sec pendant 8 semaines à 5, 20, 30 et 45° C. Les taux de germination sont représentés à 4, 7, 15, 30 et 60 jours.

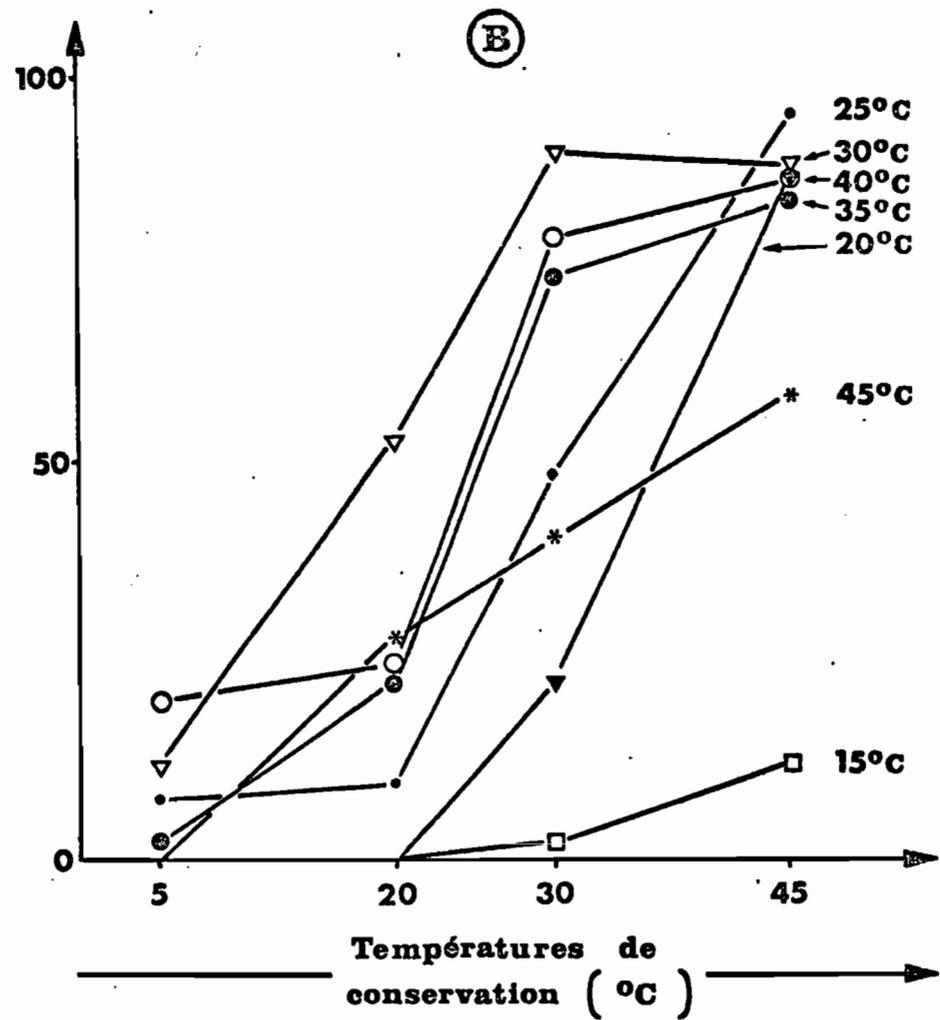
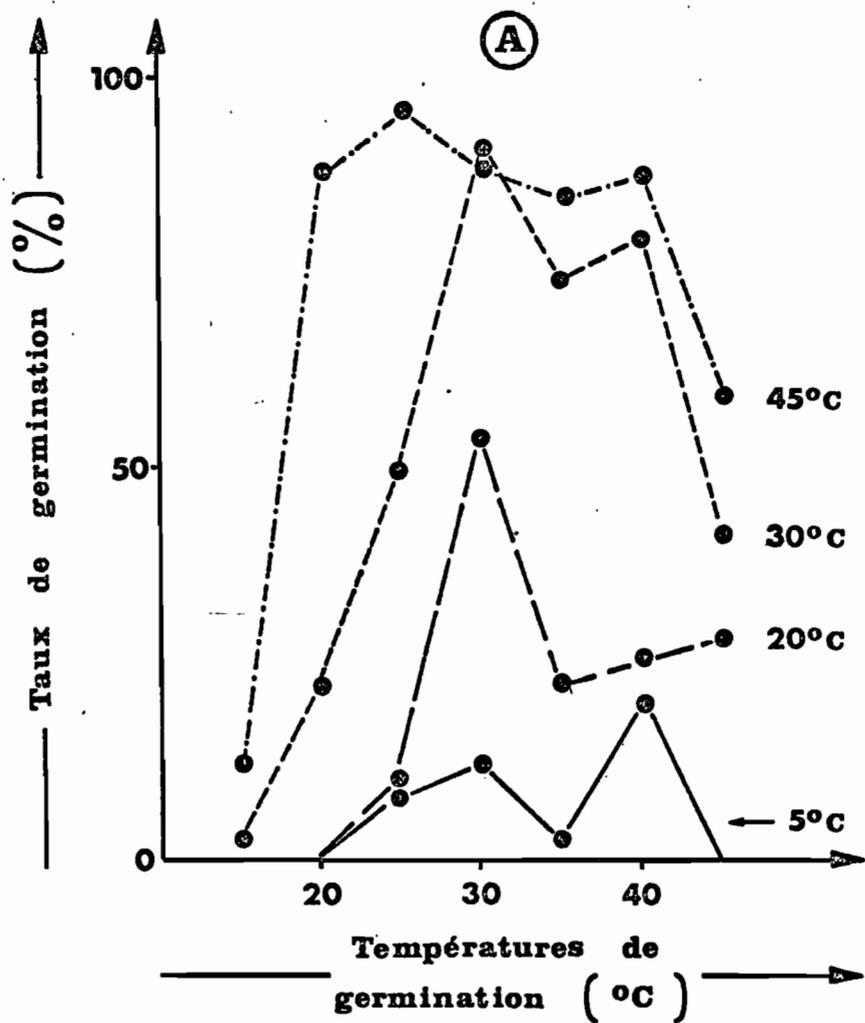


Fig. 9 : Influence des températures de conservation sur la germination d'un lot de semences, 8 semaines après la récolte.

A : Evolution des taux de germination, relevés à 7 jours, aux températures comprises entre 15 et 45° C (conservation à 5, 20, 30 et 45° C).

B : Evolution des taux de germination à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, relevés à 7 jours, en fonction des températures de conservation.

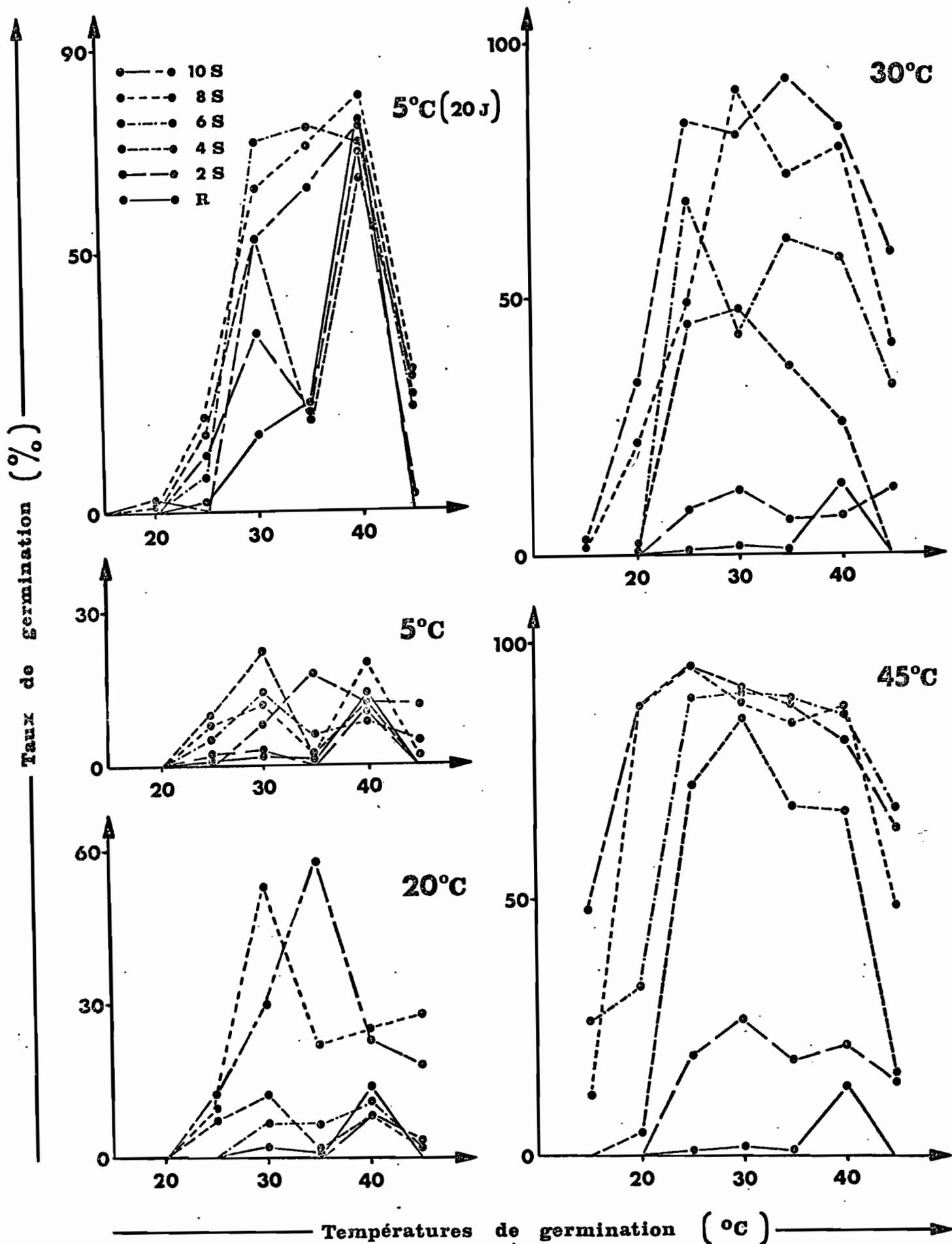


Fig. 10 : Influence de la température de conservation des semences sur l'évolution des taux de germination, relevés à 7 jours (et à 20 jours pour la conservation à 5° C), aux différentes températures de germination. Les semis sont effectués à la récolte (R) et après 2, 4, 6, 8 et 10 semaines de stockage.

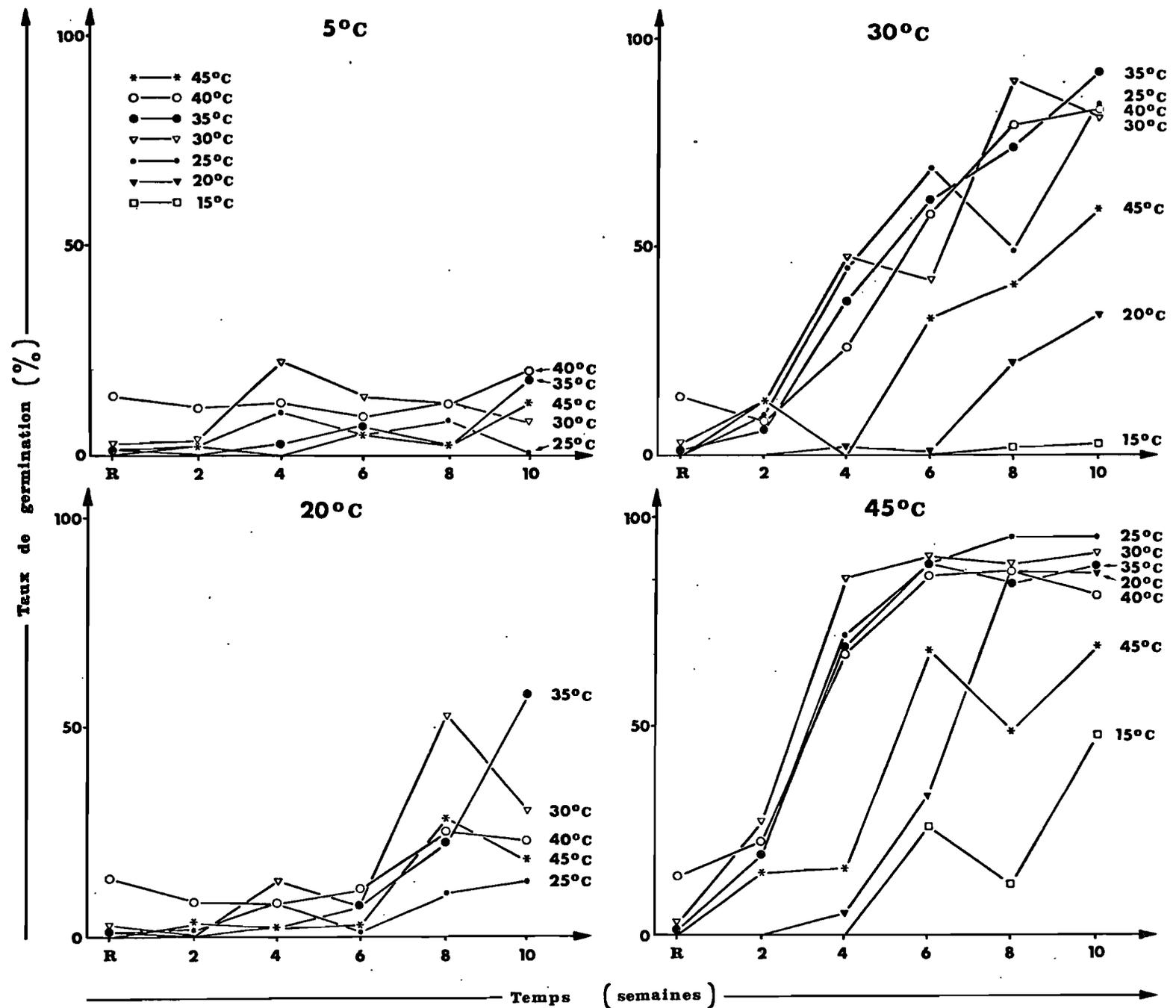


Fig. 11 : Evolution, en fonction de la durée de conservation des semences (à 5, 20, 30 et 45° C), des taux de germination, relevés à 7 jours, aux températures de 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C. (R) : Récolte.

taux et des vitesses de germination, principalement aux températures proches de la température optimale de germination (30, 35 et 45° C).

Les semences conservées à 20 et 30° C ont un comportement germinatif intermédiaire entre ces deux cas extrêmes.

L'influence de la température de conservation sur la germination des semences est montrée de façon plus claire sur la figure 9 (A et B) : pour toutes les températures de germination, les taux de germination (relevés à 7 jours) augmentent avec les températures de stockage des semences.

2.2.2. Comparaison de l'évolution de la germination des semences conservées à diverses températures

L'évolution de la germination des semences conservées à 4 températures a été suivie régulièrement pendant près de 2 mois. Pour chacune des conditions de conservation, nous constatons une amélioration de la germination au cours du temps (fig. 10) ; ce phénomène est progressif et se produit avec des vitesses différentes selon les températures de conservation : l'évolution est lente à 5° C et concerne surtout les températures de germination proches de la température optimale ; elle est rapide à 45° C et se manifeste à toutes les températures de germination, de 15 à 45° C.

La figure 11 montre la cinétique du phénomène.

Pour le stockage à 45° C, les courbes de germination aux températures de 25 à 40° C ont une forme sigmoïdale. Les taux de germination à 7 jours sont supérieurs à 80% six semaines après la récolte et ne varient plus significativement par la suite. Cette évolution se produit de façon comparable au cours de la conservation à 30° C, mais de façon moins rapide ; des taux de germination de plus de 80% sont atteints à 25, 30, 35 et 40° C après 10 semaines de conservation.

Le phénomène est encore plus lent pour les températures de conservation de 20° et surtout 5° C.

A une température de germination, 35° C par exemple (fig. 12), nous voyons très clairement l'évolution des taux de germination relevés à 7 jours : ils augmentent avec le temps de conservation des semences, d'autant plus vite que la température de stockage est élevée.

3 - CONCLUSION

Les semences morphologiquement mûres ne germent pas en totalité au moment de la récolte : elles présentent une "dormance". L'optimum thermique de la germination des semences du mil est très élevé, contrairement à celui des semences des pays tempérés. La meilleure germination est obtenue à la température de 40° C ou 75% des semences germent en 14 jours (temps de latence : 4 jours). Aux températures de 35 à 15° C, les vitesses et les taux de germination sont d'autant plus faibles que la température est plus basse.

La conservation des semences à 45° C améliore considérablement leur aptitude à la germination ; on observe un élargissement des gammes de températures de germination et des températures optimales, ainsi que des taux et des vitesses de germination. Pendant la conservation, les semences subissent une maturation physiologique qui lève leur dormance et permet une bonne germination, rapide et homogène.

Une post-maturation du même type se produit au cours de la conservation des semences à des températures plus basses ; la vitesse du phénomène est plus faible qu'à 45° C, et d'autant plus faible que la température de conservation est plus basse.

La post-maturation ne semble pas être influencée par la teneur en eau des semences. En effet, l'évolution de l'aptitude à la germination des caryopses conservés à 45° C et 5° C est très différente, bien que ceux-ci se déshydratent fortement et de façon très comparable dans ces deux conditions de stockage.

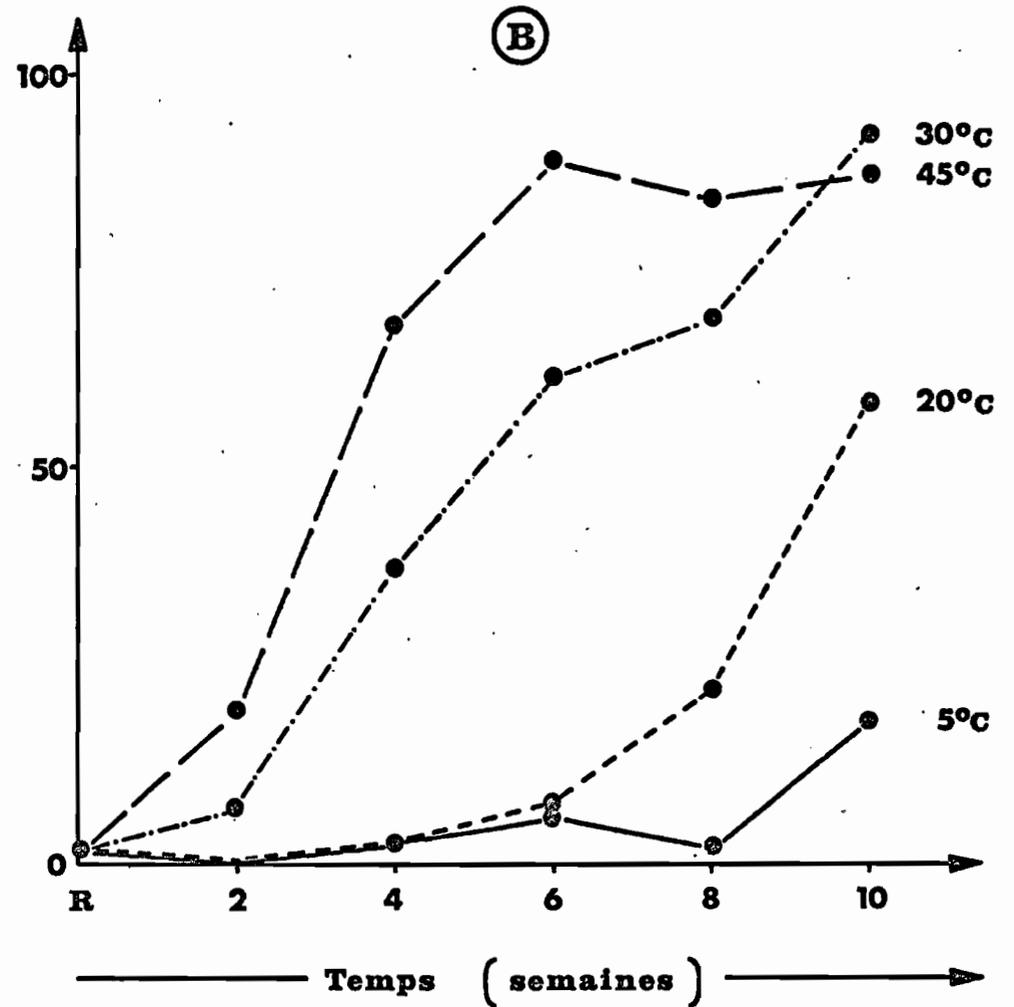
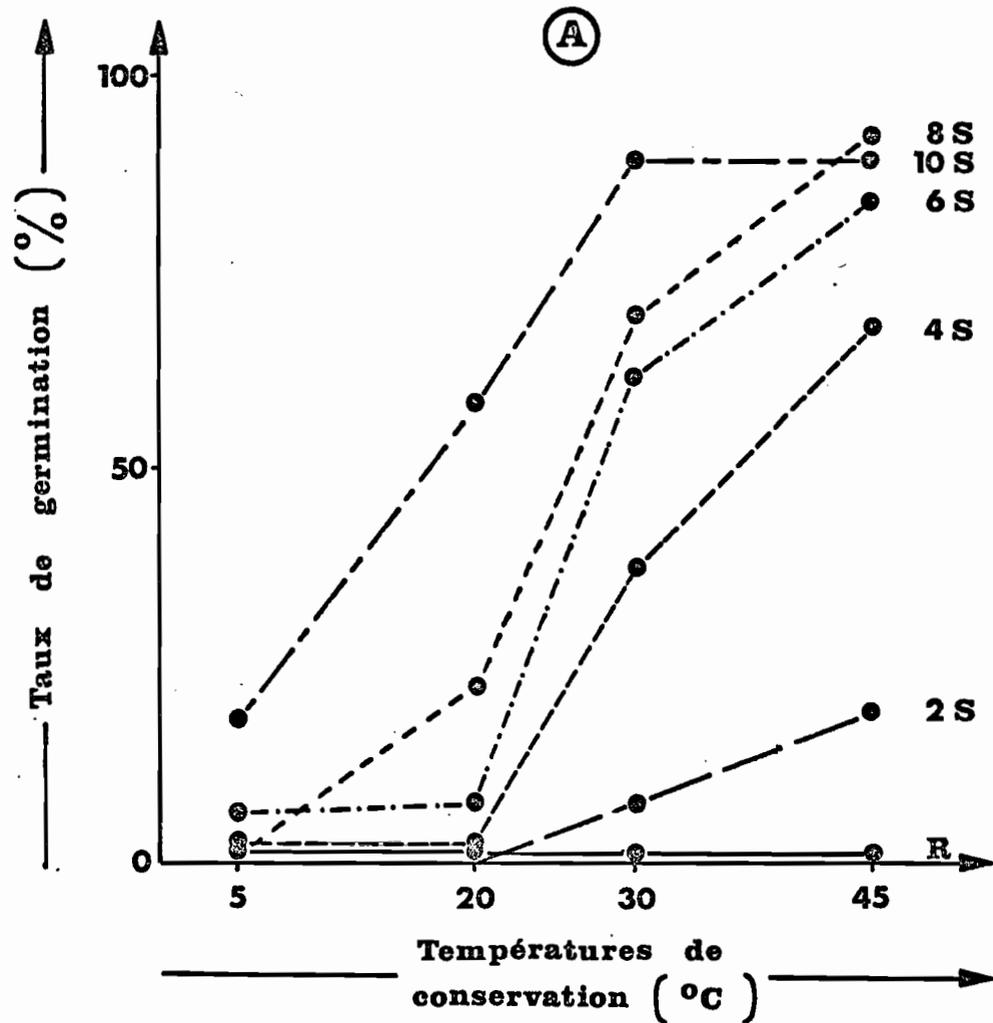


Fig. 12 : Influence de la température de conservation des semences sur leur germination à 35° C.

A : Evolution des taux de germination, à 7 jours, en fonction des temps de conservation à 5, 20, 30 et 45° C.

B : Evolution, en fonction des températures de conservation, des taux de germination, relevés à 7 jours, de semences fraîchement récoltées (R) et conservées pendant 2, 4, 6, 8 et 10 semaines.

CHAPITRE III

APTITUDE A LA GERMINATION DES SEMENCES DE DIFFERENTES PLANTES

L'étude de la germination d'un mélange de semences nous donne une image moyenne du comportement germinatif des semences de plusieurs chandelles mais ne nous renseigne pas sur la contribution des semences de chacune d'elles au processus global de la germination.

En effet, un taux de germination observé de 5% peut résulter de la germination de toutes les semences d'une unique chandelle mélangées à des semences de chandelles qui ne germent pas du tout, ou bien de la germination des semences de toutes les chandelles germant de façon identique.

Des chandelles principales et secondaires sont récoltées individuellement à maturité, c'est-à-dire dès que la teneur en eau de leurs semences atteint une valeur inférieure à 15% (déterminée à partir d'un échantillon de 50 semences prélevées au hasard sur l'ensemble de la chandelle). Pour chaque chandelle, des lots de 50 caryopses sont mis à germer à la récolte dans les conditions définies précédemment (obscurité, température de 15 à 45° C). Les semences restantes sont conservées à sec, à l'obscurité, à 5 et 30° C (ou 30° C seulement pour les petits lots) puis semées périodiquement.

Nous comparerons la germination des semences produites par les différentes plantes en utilisant, pour chaque condition de germination, un histogramme représentant les pourcentages de germination des semences de chaque chandelle relevés 4, 15 et 60 jours après la mise en germe.

1 - GERMINATION DES SEMENCES RECOLTÉES A MATURE

1.1. Chandelles principales

Les chandelles principales sont récoltées pendant la période du 14 février au 16 mars 1978.

Etant donnée la grande hétérogénéité de leur taille, nous avons distingué les grandes (plus de 25 cm de long) et les petites chandelles ; les semences de ces dernières mûrissent sensiblement plus vite que celles des précédentes (30 à 34 jours après la fin de la pollinisation, au lieu de 34 à 40 jours).

Le phénomène semble étroitement lié à la floraison progressive qui dure, en moyenne, plus longtemps chez les grandes (5,3 jours) que chez les petites chandelles (3,5 jours).

La récolte des chandelles principales de grande taille est effectuée environ 128 jours après le semis, celle des chandelles de petite taille 120 jours après le semis.

1.1.1. Aptitude à la germination des semences des grandes chandelles

Les résultats des essais de germination de 10 chandelles principales de grande taille sont résumés figure 13 A.

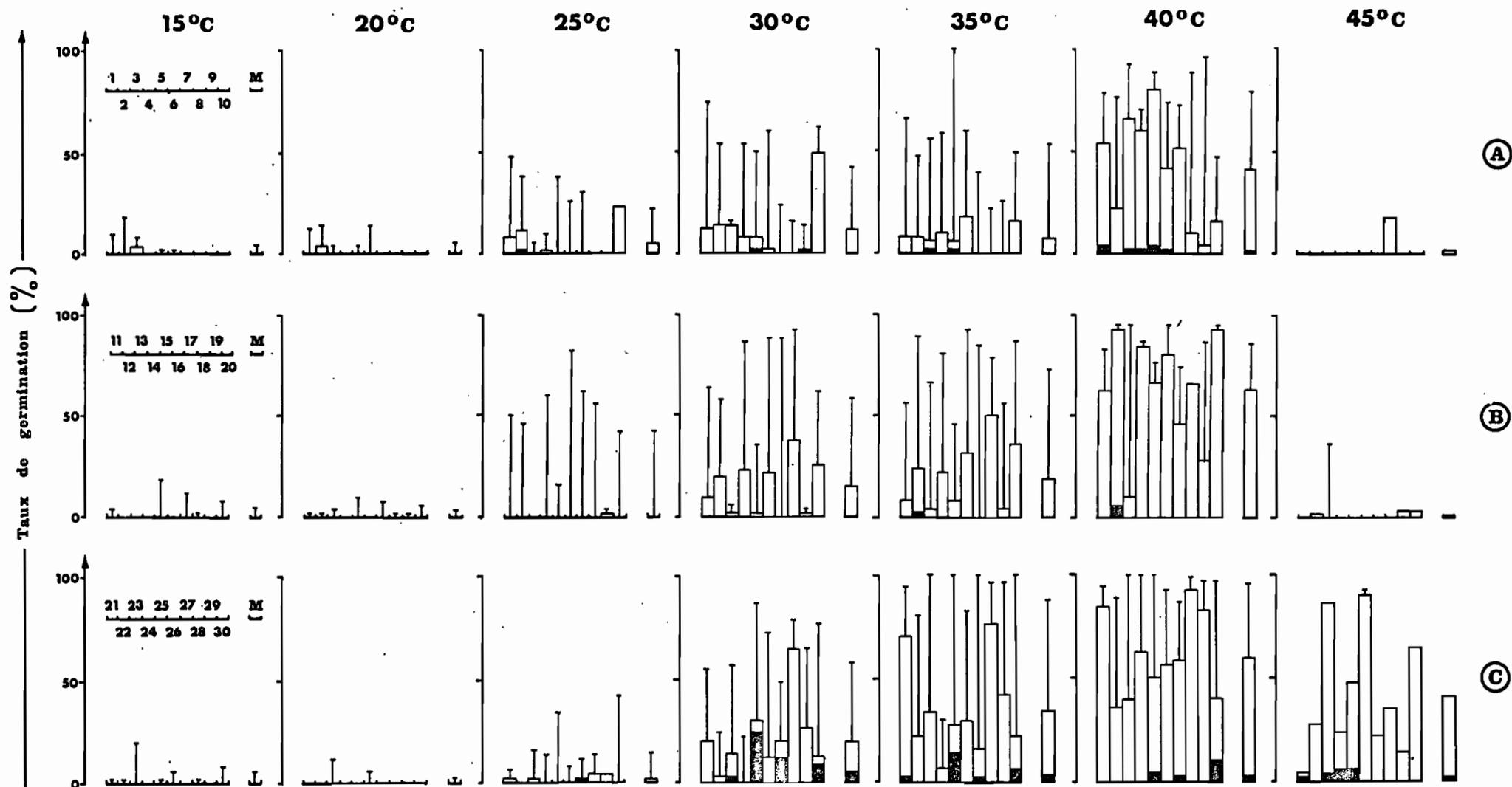


Fig. 13 : Comportement germinatif des semences de diverses chandelles principales et secondaires, récoltées à maturité, aux températures de 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C.

Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences de 10 chandelles de même type, relevés à 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale).

- A : chandelles principales de grande taille (numérotées de 1 à 10)
- B : chandelles principales de petite taille (numérotées de 11 à 20)
- C : chandelles secondaires (numérotées de 21 à 30)
- M représente la valeur moyenne des pourcentages de germination des semences des 10 chandelles à 4, 15 et 60 jours.

Nous pouvons voir que :

- pour toutes les températures de germination, la capacité et la vitesse de germination des semences des différentes chandelles sont variables. Les semences de toutes les chandelles germent à 30, 35 et 40° C avec des taux compris respectivement entre 17 et 74, 22 et 100, 48 et 96%. A 25° C, la germination est possible pour les semences de huit chandelles sur dix (taux de germination compris entre 0 et 48%) ; à 15 et 20° C, on n'observe aucune germination pour les semences d'un grand nombre d'entre elles et les taux de germination sont inférieurs à 18%. A 45° C, les semences d'une seule chandelle parmi les dix germent de façon significative (18%).
- en général, les différences de comportement germinatif observées entre les semences de chandelles différentes, pour une température de germination donnée, sont plus petites que celles observées entre les semences d'une même chandelle soumises à deux températures de germination voisines.
- la gamme des températures de germination des semences diffère d'une chandelle à l'autre. Les semences des chandelles 1, 2 et 3 germent entre 15 et 40° C, celles de la chandelle 8 à 30, 35, 40 et 45° C ; d'autres germent dans des gammes de températures intermédiaires, plus ou moins restreintes vers les basses températures (chandelle 9: 30 à 40° C, 4 et 7 : 25 à 40° C).
- les taux moyens de germination varient considérablement avec les températures. Ils augmentent de 15 à 40° C (température optimale). A 15, 20 et 45° C, les taux de germination sont très faibles. Ces résultats sont, dans l'ensemble, comparables à ceux obtenus pour le mélange de semences qui, néanmoins, ne germe pas à 15 et 45° C au bout de 60 jours. Cependant, il ne convient pas d'accorder une grande signification à cette différence, car les essais de germination du mélange ont été réalisés avec des lots moins importants (100 semences au lieu de 500). Il est probable que la répétition des essais de germination aurait permis d'aboutir aux mêmes conclusions.

1.1.2. Aptitude à la germination des semences des petites chandelles

La figure 13 B résume le comportement germinatif d'une dizaine de petites chandelles.

La confrontation des figures 13 A et B permet de voir qu'aux températures de 25 à 40° C les capacités et les vitesses moyennes de germination des semences de petites chandelles (taux à 15 et 60 jours) sont supérieures à celles des semences des grandes chandelles. Cependant, la grande variabilité du comportement germinatif, dans les deux groupes de chandelles, nous empêche d'affirmer qu'il existe une différence réelle entre elles.

Nous avons analysé statistiquement, à l'aide d'un test t, la signification de la différence entre les taux moyens de germination des deux populations de chandelles. L'analyse montre qu'à aucune température les taux moyens de germination ne sont significativement différents au seuil de 5% avec 18 d.d.l. (tableau 11).

1.1.3. Recherche de facteurs responsables de l'hétérogénéité

Etant donné l'étalement dans le temps des dates de récolte et la variabilité des poids secs moyens et de la teneur en eau des lots de semences à la récolte, on peut se demander si, dans une certaine mesure, ces caractères ne seraient pas responsables de l'hétérogénéité du comportement germinatif des semences.

- Influence de la date de récolte

Nous avons comparé la germination des semences de deux groupes de 5 chandelles "tardives" et "précoces", de taille variable, récoltées "mûres" respectivement 131 à 135 jours et 116 à 118 jours après le semis (figure 14). Ces chandelles ont été étudiées dans le

| | Température (°C) | Taux moyen de germination | | † |
|------------|---------------------|---------------------------|-------|----|
| | | 1 | 2 | |
| A 60 JOURS | 45 | 2,51 | 6,81 | NS |
| | 40 | 63,22 | 67,86 | NS |
| | 35 | 48,04 | 59,71 | NS |
| | 30 | 40,01 | 49,79 | NS |
| | 25 | 24,58 | 37,93 | NS |
| | 20 | 8,73 | 9,31 | NS |
| | 15 | 7,62 | 8,15 | NS |
| A 15 JOURS | 45 | 2,51 | 3,12 | NS |
| | 40 | 39,58 | 53,07 | NS |
| | 35 | 12,83 | 22,96 | NS |
| | 30 | 15,83 | 19,54 | NS |
| | 25 | 7,42 | 0,81 | NS |
| | 20 | 1,15 | 0 | NS |
| | 15 | 1,15 | 0 | NS |

Tableau II : Test † de la différence entre les taux moyens de germination des semences (à 15 et 60 jours) des chandelles de grande et petites tailles, aux températures de germination de 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° (après transformation angulaire de Bliss des pourcentages de germination ; $x = \text{Arc sin } \sqrt{\frac{x}{n}}$)

1 : Grandes chandelles

2 : Petites chandelles

NS : non significatif, au seuil 5% avec 18 degrés de liberté (d.d.l.).

| | Température (°C) | Taux moyen de germination | | † | |
|------------|---------------------|------------------------------|-------|------|-----|
| | | 1 | 2 | | |
| A 60 JOURS | 45 | 0 | 14,70 | 2,04 | NS |
| | 40 | 63,38 | 66,20 | 0,41 | NS |
| | 35 | 56,20 | 47,92 | 0,89 | NS |
| | 30 | 55,51 | 24,96 | 2,61 | * |
| | 25 | 44,18 | 11,01 | 3,68 | *** |
| | 20 | 5,31 | 6,24 | 0,21 | NS |
| | 15 | 6,65 | 3,29 | 0,57 | NS |
| A 15 JOURS | 45 | 0 | 7,33 | 1,47 | NS |
| | 40 | 59,31 | 30,70 | 4,24 | *** |
| | 35 | 24,77 | 19,41 | 0,64 | NS |
| | 30 | 20,70 | 16,65 | 0,38 | NS |
| | 25 | 0 | 7,49 | 1,32 | NS |
| | 20 | 0 | 0 | - | - |
| | 15 | 0 | 2,31 | 1,00 | NS |

Tableau III : Test de la différence entre les moyennes des taux de germination à 60 et 15 jours des semences de chandelles récoltées à 116 et 131 jours (après transformation angulaire).

1 : chandelles récoltées à 116 jours

2 : chandelles récoltées à 131 jours

Valeur de † significative au seuil 5% (*), 1% (***), non significative au seuil 5% (NS), avec 8 d.d.l.

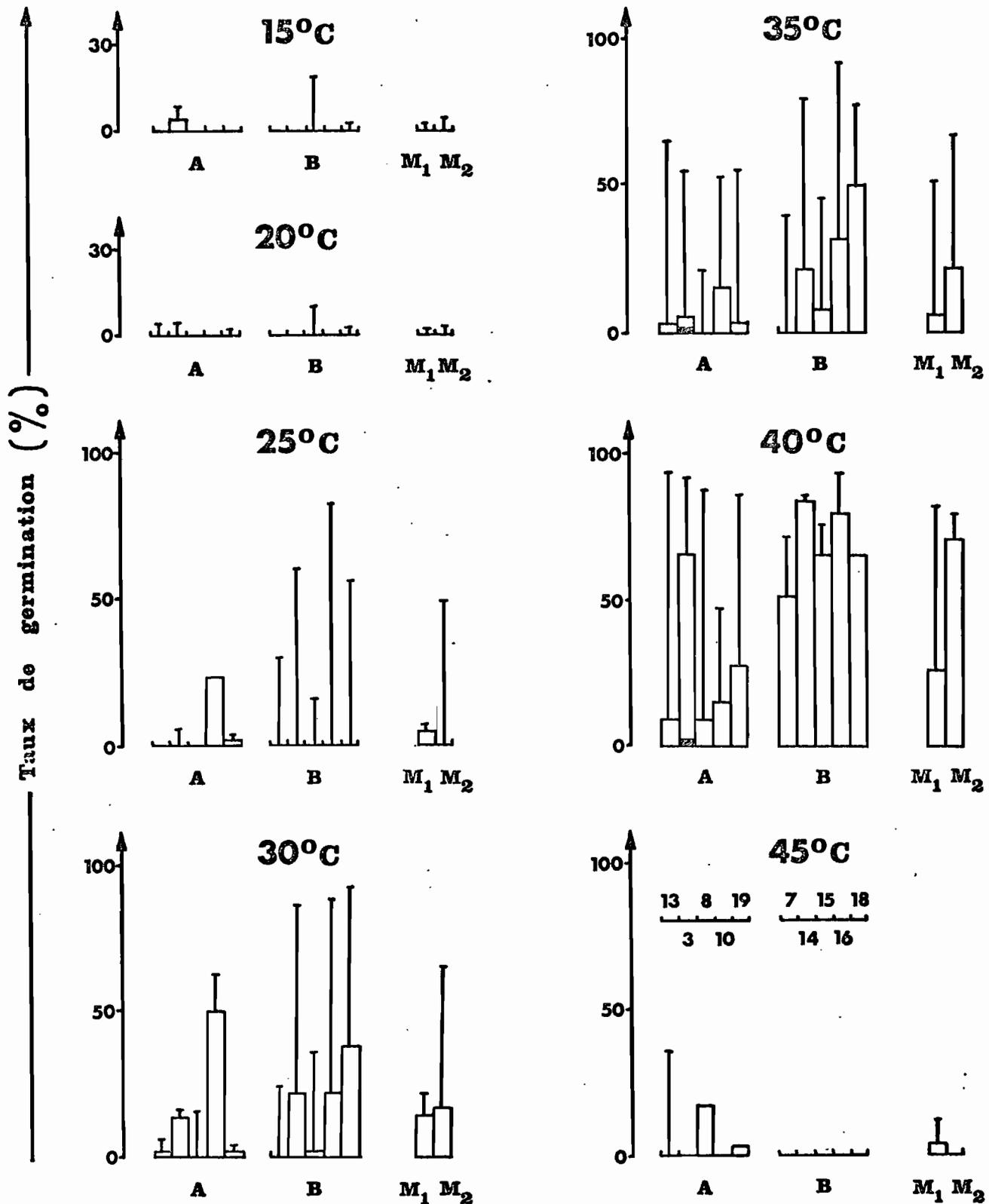


Fig. 14 : Comparaison du comportement germinatif des semences de chandelles principales précoces et tardives à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C.

A : 5 chandelles "tardives", mûres 131 à 135 jours après la date de semis

B : 5 chandelles "précoces", mûres 116 à 118 jours après la date de semis.

M₁ et M₂ représentent les moyennes des pourcentages de germination des semences des 2 lots de chandelles A et B.

Les taux de germination sont figurés à 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale).

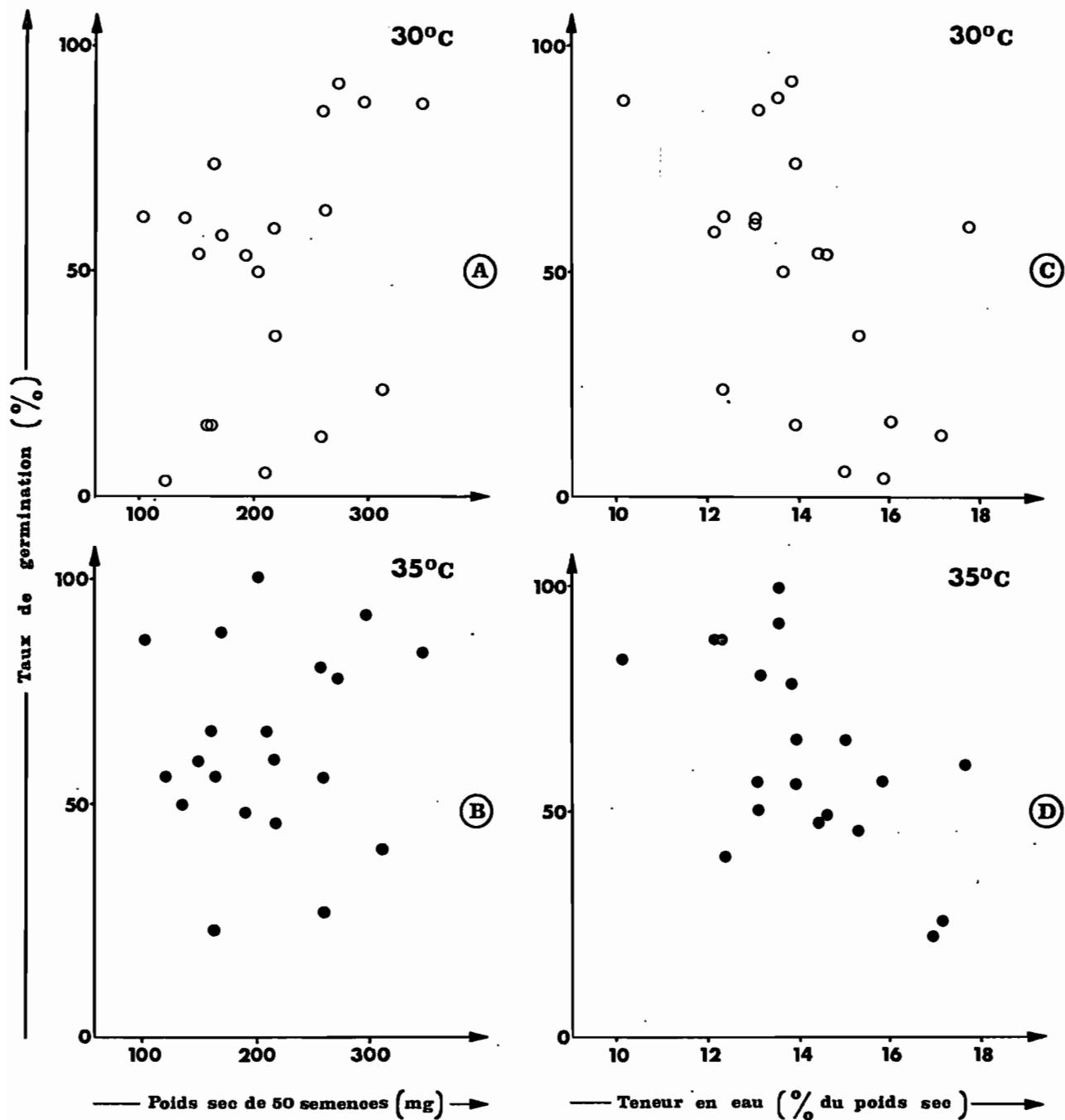


Fig. 15 : Influence du poids sec moyen (A et B) et de la teneur en eau (C et D) des lots de semences sur leur germination à 30 et 35° C (taux de germination à 60 jours des chandelles principales de la figure 13 A et B).

paragraphe précédent ; nous retrouvons donc les caractéristiques principales du comportement germinatif des semences des chandelles de la figure 13 (A et B).

Mais nous constatons aussi qu'il existe des différences entre les semences des chandelles précoces et tardives :

- seules les semences des chandelles récoltées tardivement germent à la température de 45° C (3 chandelles sur 5) ;
- les valeurs moyennes des capacités de germination à 25 et 30° C et des taux de germination relevés au bout de 15 jours à 40° C sont significativement plus grandes (seuil de signification à 5% avec 8 d.d.l.) pour les semences des chandelles récoltées à 116 jours (tableau III).

Cependant, la germination des semences des chandelles de chaque groupe est variable à toutes les températures et, dans l'ensemble, la variation des taux de germination pour une température de germination donnée est similaire d'un groupe de chandelles à l'autre.

En conclusion, à certaines températures de germination, la date à laquelle les semences atteignent le stade de "maturité" semble influencer la germination des semences produites, mais cela ne permet pas d'expliquer, en totalité, la variabilité du comportement germinatif observée entre les semences des diverses chandelles récoltées à maturité.

- Influence du poids des semences

Les graphiques de la figure 15 A et B représentent les pourcentages de germination, à 60 jours, des semences des vingt chandelles principales de la figure 13 A et B, à 30 et 35° C, en fonction des valeurs du poids sec moyen des semences correspondantes (poids sec moyen de 4 lots de 50 semences).

Nous remarquons, pour les deux températures de germination, que les points du graphique sont très dispersés et que le nuage qu'ils forment ne présente pas d'orientation privilégiée qui permettrait de conclure à une certaine dépendance du poids et de l'aptitude à germer des lots de semences.

- Influence de la teneur en eau

Cette étude a été conduite avec les mêmes chandelles que précédemment et met en relation les pourcentages de germination (taux de germination à 60 jours, à 30 et 35° C) et la teneur en eau des lots de 50 semences issus de chaque chandelle.

Les figures 15 C et D montrent qu'il n'y a pas de correspondance évidente entre la teneur en eau (dans la limite de 10 à 18%) et le comportement germinatif des semences récoltées à maturité.

1.2. Chandelles secondaires

Les chandelles secondaires sont récoltées entre le 28 mars et le 26 avril 1978, soit environ quarante deux jours après la récolte des premières chandelles principales. D'une façon générale, les chandelles secondaires produites par les plantes sont plus petites que les chandelles principales. Lorsqu'elles sont soumises aux différentes températures de germination, les semences des chandelles secondaires se comportent dans l'ensemble de la même façon que celles provenant de chandelles principales (figure 13 C).

Nous pouvons remarquer, cependant, que les semences de toutes les chandelles secondaires germent à la température de 45° C, alors que celles des chandelles principales germent peu à cette température (une grande et quatre petites chandelles principales) ; la germination des semences est plus rapide à 45° qu'à 30 et 35° C (les taux de germination moyens à 15 jours sont respectivement de 42%, 20 et 35%) mais plus faibles qu'à 30° C (les taux de germination moyens à 60 jours sont respectivement de 42 et 58%).

| | Température (°C) | Taux moyen de germination (après transformation angulaire Arc sin√%) | | | F | PPDS |
|------------|---------------------|--|-------|-------|----------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| A 60 JOURS | 45 | 2,51 | 6,81 | 39,88 | 20,99*** | 12,95 |
| | 40 | 63,22 | 67,86 | 79,59 | 9,27*** | 8,04 |
| | 35 | 48,04 | 59,71 | 75,43 | 7,82*** | 14,26 |
| | 30 | 40,01 | 49,79 | 49,88 | NS | - |
| | 25 | 24,58 | 39,93 | 20,60 | NS | - |
| | 20 | 8,73 | 9,31 | 3,45 | NS | - |
| | 15 | 7,62 | 8,15 | 9,07 | NS | - |
| A 15 JOURS | 45 | 2,51 | 3,12 | 39,68 | NS | - |
| | 40 | 39,58 | 53,07 | 51,52 | NS | - |
| | 35 | 12,83 | 22,96 | 35,23 | 7,70*** | 11,73 |
| | 30 | 15,83 | 19,54 | 24,08 | NS | - |
| | 25 | 7,42 | 0,81 | 4,75 | NS | - |
| | 20 | 1,15 | 0 | 0 | NS | - |
| | 15 | 1,15 | 0 | 0 | NS | - |

Tableau IV : Comparaison des taux moyens de germination des semences (à 15 et 60 jours) issues de chandelles principales et secondaires, par la méthode de la plus petite différence significative (PPDS), après analyse de la variance correspondante.

- 1 : chandelles principales de taille > 25 cm
- 2 : petites chandelles principales
- 3 : chandelles secondaires

NB : Lorsque l'analyse de variance a révélé l'effet significatif du traitement, les différences entre les moyennes prises dans leur ensemble ont été comparées par la méthode de la PPDS. Pour chaque température de germination, la différence entre deux moyennes particulières est significative au seuil 5% avec 27 d.d.l. lorsqu'elle dépasse la valeur de la PPDS. La PPDS figure pour toutes valeurs significatives de F.

$$\text{Le rapport F des variances} = \frac{\text{Carré moyen traitement}}{\text{Carré moyen erreur}}$$

NS = non significatif ; *** = significatif au seuil 1%.

La comparaison des taux moyens de germination des semences des chandelles principales (grandes et petites) et secondaires à chaque température de germination, par la méthode de la plus petite différence significative, montre que la germination des semences des chandelles secondaires est meilleure à 35, 40 et 45° C et plus rapide à 35° C.

Aux autres températures de germination, les moyennes calculées ne sont pas significativement différentes (tableau IV).

1.3. Conclusion

Cette étude a permis de montrer que le comportement germinatif des semences issues de différentes chandelles principales ou secondaires, récoltées à maturité, semble varier sensiblement d'une chandelle à une autre. L'hétérogénéité se manifeste principalement au niveau des taux et des vitesses de germination, pour toutes les températures de germination, ainsi que des gammes de températures permettant la germination des semences. Pour les chandelles principales, elle ne semble être liée ni à la taille des chandelles, ni au poids sec moyen et à la teneur en eau des semences.

Néanmoins, quelle que soit la provenance des semences, leur germination est optimale à la température de 40° C (comme pour le mélange) et diminue progressivement vers les températures extrêmes de la gamme.

Par ailleurs, les semences des chandelles secondaires germent, en moyenne, mieux que les semences des chandelles principales (petites et grandes) : la germination devient possible dans une gamme de températures plus large (en moyenne 15 à 45° C au lieu de 15 à 40° C pour les semences des chandelles principales) avec des taux de germination supérieurs à 35, 40 et 45° C.

Les semences des chandelles principales deviennent capables de germer à 45° C lorsque les chandelles atteignent le stade de "maturité" tardivement. A ce propos, on peut se demander si la germination des semences à 45° C, que l'on observe aussi pour les semences des chandelles secondaires, mais de façon plus amplifiée, n'est pas directement liée à l'âge de la plante ou à une modification non contrôlée des conditions de l'environnement au moment de la maturation des semences sur la chandelle.

2 - GERMINATION DES SEMENCES CONSERVEES A SEC

Dans cette étude, nous avons cherché à savoir si la conservation prolongée des semences de différentes chandelles affecte différemment l'aptitude à germer des semences de chacune d'elles.

L'évolution de la germination des semences a été suivie pendant 2 mois à partir des semences de cinq chandelles principales conservées à sec à 5 et 30° C et des semences de cinq chandelles secondaires conservées seulement à 30° C en raison du nombre plus limité des semences produites. Les essais de germination ont été effectués après 4 et 10 semaines de conservation pour le premier type de semences, après 10 semaines pour les secondes.

2.1. Evolution de la germination des semences de chandelles principales et secondaires conservées sèches à 30° C

La germination des semences des chandelles principales est fortement influencée par la durée de conservation (figure 16). On constate, comme pour le mélange, que les capacités et les vitesses de germination des semences de toutes les chandelles augmentent progressivement au cours de la conservation, pour toutes les températures de germination. Après 10 semaines de stockage à 30° C, les semences de toutes les chandelles germent dans une gamme de températures comprises entre 15 et 45° C ; aux températures de 25, 30, 35

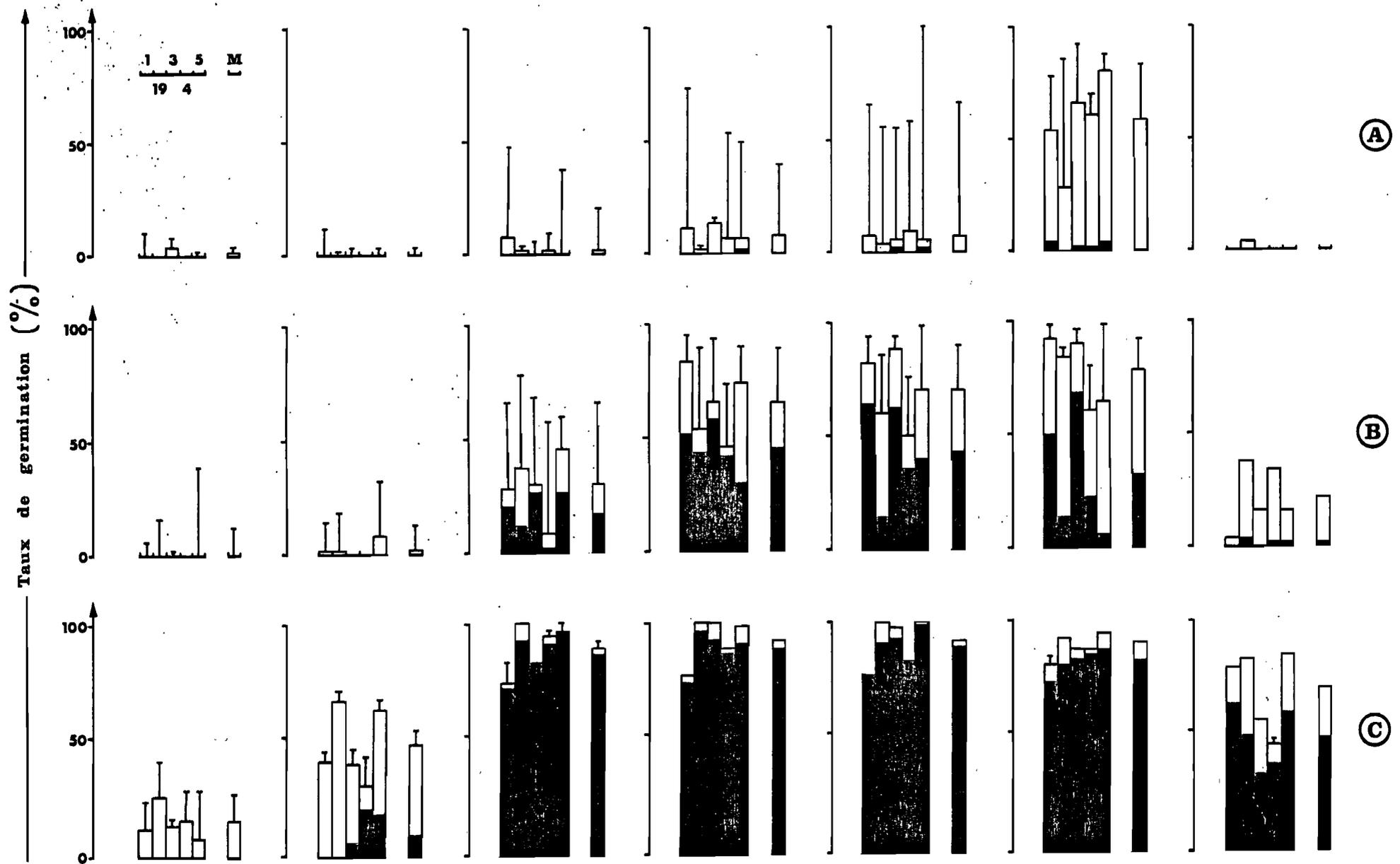


Fig. 16 : Influence de la conservation à sec, à 30° C, sur le comportement germinatif des semences de 5 chandelles principales (de la figure 13 A et B), à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C.

M représente la moyenne des pourcentages de germination des semences des 5 chandelles.

A : germination à la récolte ; B et C : germination après 4 et 10 semaines de stockage.

Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences des 5 chandelles, 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale) après le début de l'essai de germination.

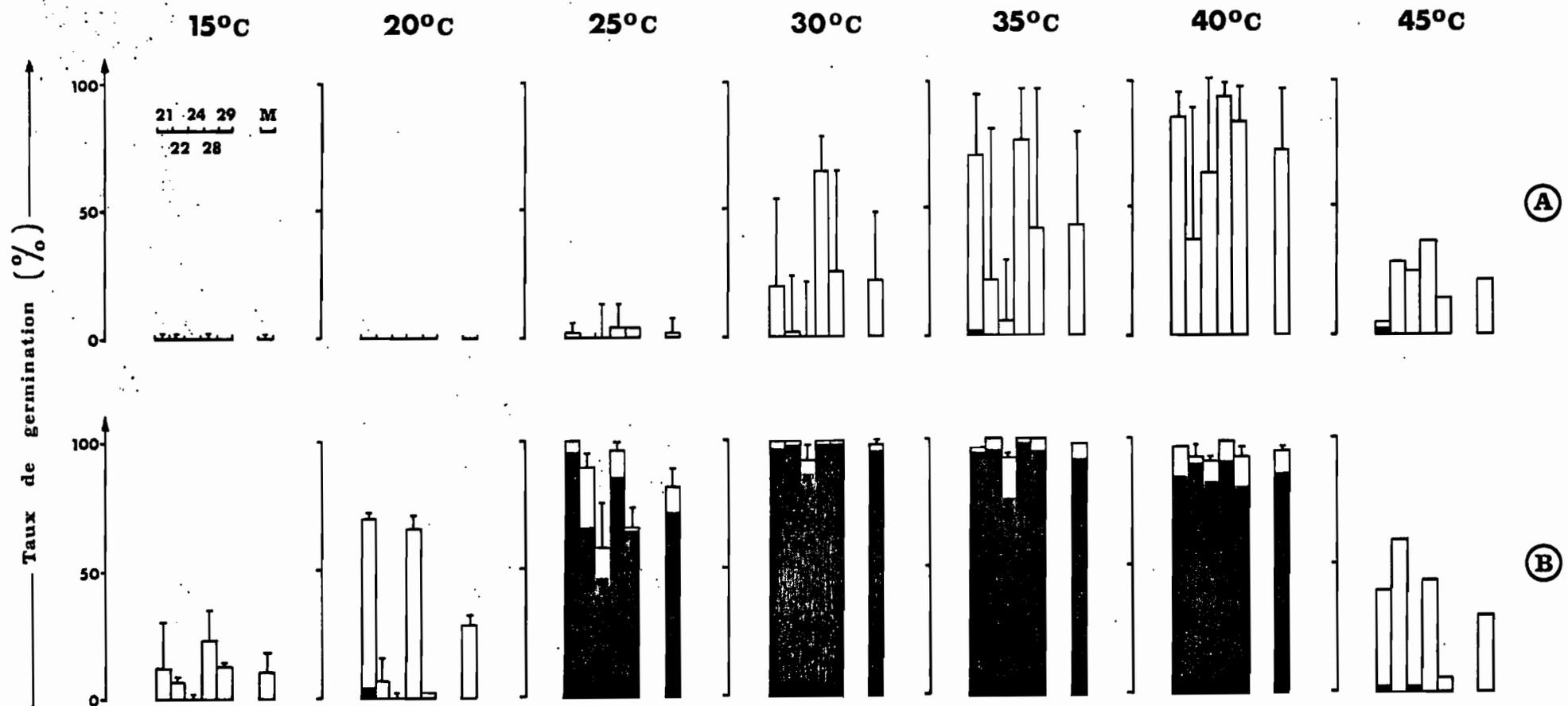


Fig. 17 : Comportement germinatif des semences de cinq chandeliers secondaires (de la figure 13 C) au cours d'une conservation à sec, à 30° C, à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, à la récolte (A) et après 10 semaines de stockage (B).

Le mode de représentation est identique à celui décrit à la figure 16.

et 40° C, les semences de 4 chandelles sur 5 sont capables de germer avec des taux supérieurs ou égaux à 80% en 4 jours. La germination devient moins bonne lorsque les semences sont soumises à des températures proches des températures extrêmes de la gamme.

Cependant, pour le mode de représentation utilisé, la variabilité de l'aptitude à la germination des semences de diverses chandelles reste importante, principalement aux températures pour lesquelles la germination est médiocre : les semences germent de façon homogène aux températures comprises entre 25 et 40° C alors qu'à 15, 20 et 45° C on observe toujours une forte variation des taux de germination (à 4, 15 et 60 jours).

Par ailleurs, la comparaison des figures 16 et 17 montre qu'une conservation de 10 semaines, à 30° C, n'a pas la même influence sur les semences des chandelles principales et secondaires qui germent en moyenne moins bien que les précédentes à 15, 20, 25 et 45° C.

On notera aussi que, pour une température de germination donnée, l'acquisition d'une meilleure faculté germinative pendant la conservation ne semble pas se réaliser avec la même vitesse pour les semences de chaque chandelle : à 25° C, les semences de la chandelle 2, qui présentent à la récolte la capacité de germination la plus faible (parmi les 5 chandelles) sont les seules à germer avec un taux de 100% en 15 jours, après 10 semaines de conservation.

Par contre, les semences de la chandelle 1, pour lesquelles on observe le taux maximum de germination le plus élevé à la récolte, germent à moins de 80% en 15 jours après une durée identique de stockage. Cependant, avant de pouvoir conclure définitivement à la réalité de ce phénomène, il nous paraît indispensable d'effectuer de nouvelles observations sur un plus grand nombre de chandelles, en utilisant des lots de semences plus importants lors des essais de germination.

2.2. Comparaison de l'évolution de la germination des semences de chandelles principales conservées à sec à 5 et 30° C

Comme à 30° C, la germination des semences de toutes les chandelles principales est améliorée au cours de la conservation à 5° C (figure 18). Cependant, la comparaison du comportement germinatif des semences conservées à 5 et 30° C pendant 2 mois (figures 16 et 18) montre que cette amélioration est considérablement plus lente à 5° C et se manifeste principalement aux températures de 30, 35 et 45° C. Après 10 semaines de conservation à 5° C, la variation du taux de germination (à 15 et 60 jours) est comparable à celle observée à la récolte.

2.3. Conclusion

La germination des semences de toutes les chandelles n'est pas influencée de façon identique par la durée de la température de conservation. On constate, comme pour le mélange, une augmentation des capacités et des vitesses de germination au cours de la conservation, notamment aux températures proches de la température optimale (40° C) ; cette maturation physiologique des semences est plus intense pour les semences conservées à 30° C que pour celles qui ont été stockées en chambre froide (5° C).

Cette étude a permis de mettre en évidence une nouvelle source d'hétérogénéité de la germination entre les semences des chandelles : la cinétique de l'évolution du comportement germinatif des semences mises en conservation semble différente pour les semences des chandelles secondaires et principales dont la post-maturation est plus rapide ; les semences des différentes chandelles (principales ou secondaires) ne semblent pas, non plus, évoluer de la même façon.

D'autre part, les variations du comportement germinatif entre les semences de diverses chandelles à la récolte deviennent plus faibles au cours de la conservation des semences (surtout à 30° C) pour les températures proches de l'optimum.

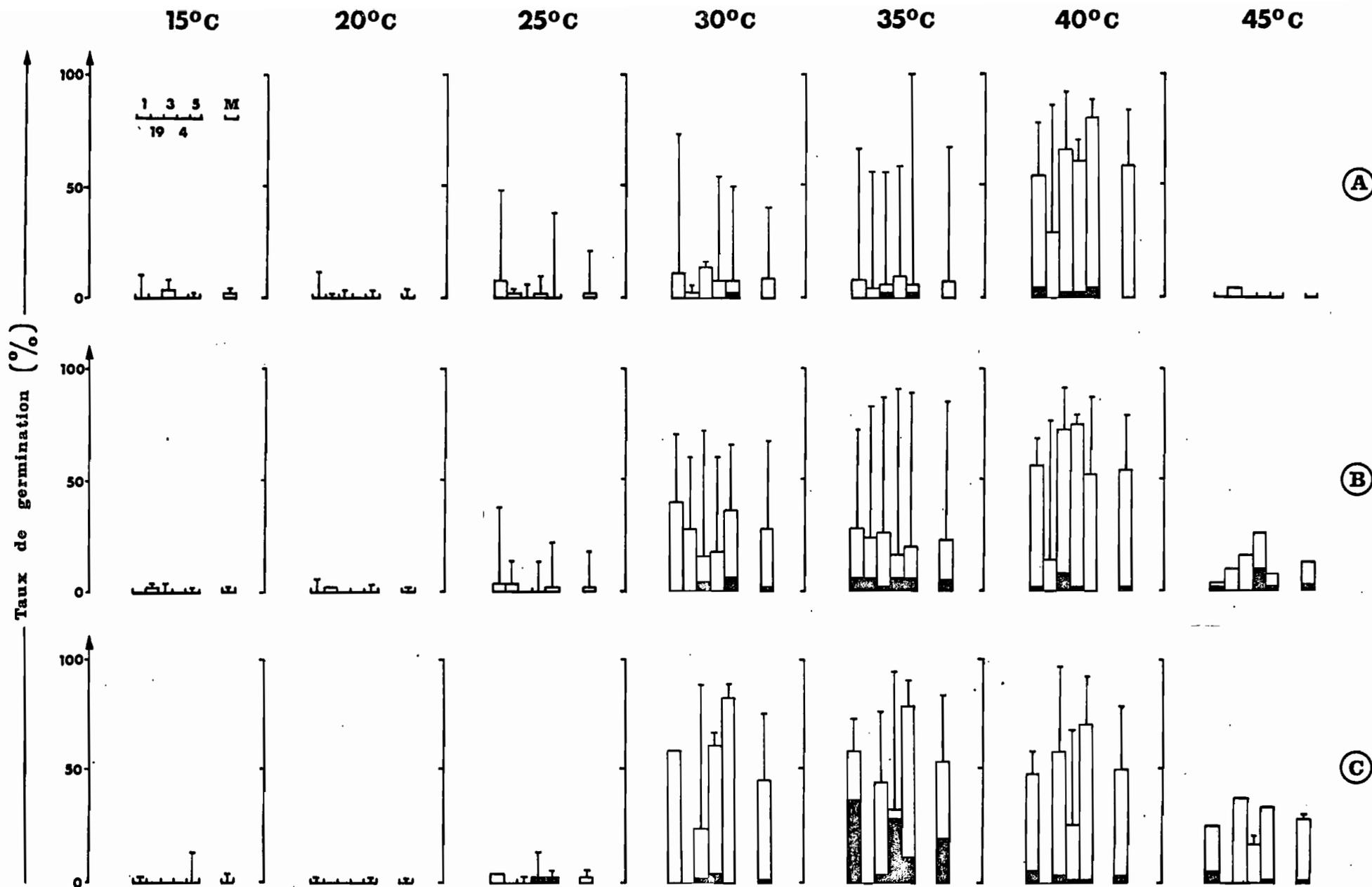


Fig. 18 : Influence de la conservation à sec, à 5° C, sur le comportement germinatif des semences de 5 chandelles principales (de la figure 16) à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C.
 M représente la moyenne des pourcentages de germination des semences des 5 chandelles.
 A : Germination à la récolte ; B et C : germination après 4 et 10 semaines de stockage.
 Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences de 5 chandelles, 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale) après le début de l'essai de germination.

3 - CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer qu'il existe une certaine hétérogénéité entre le comportement germinatif des semences issues des diverses chandelles.

A la récolte, les taux et les vitesses de germination des semences des chandelles principales ou secondaires sont variables d'une chandelle à l'autre. Les semences des chandelles secondaires germent, en moyenne, dans une gamme de températures plus large (15 à 45° C, au lieu de 15 à 40° C) et mieux à 35, 40 et 45° C que les semences des chandelles principales.

Néanmoins, on observe que la germination devient possible à 45° C pour les semences de la plupart des chandelles principales qui ont atteint le stade de "maturité" tardivement. A 30 et 35° C, cette variabilité ne semble être sous la dépendance ni de la taille de la chandelle, ni de la teneur en eau et du poids moyen des lots de semences.

Par contre, les semences de toutes les chandelles germent à la même température optimale de 40° C. Aux températures de 35 à 15° C, les taux et les vitesses de germination sont d'autant plus faibles que la température est plus basse.

L'acquisition d'une meilleure aptitude à germer au cours d'une conservation semble se produire différemment pour les semences des diverses chandelles secondaires et principales dont la post-maturation est plus rapide (lors d'une conservation à 30° C).

D'une façon générale, la conservation réduit la variabilité du comportement germinatif des semences entre les chandelles d'autant plus que la température et la durée de stockage sont élevées, pour les températures de germination proches de la température optimale.

CHAPITRE IV

APTITUDE A LA GERMINATION DES SEMENCES D'UNE MEME CHANDELLE

Dans les expériences décrites ici, nous avons tenté d'étudier la variabilité du comportement germinatif des semences au niveau de la chandelle. Pour cela, deux voies d'approche ont été employées :

- a. des essais de germination ont été conduits à partir de lots de semences prélevés sur des chandelles conservées sur pied ; ces récoltes, échelonnées dans le temps, ont pour but d'étudier la germination des semences en relation avec leur état de maturité ;
- b. des semences morphologiquement mûres ont été prélevées simultanément à différents niveaux de la chandelle, afin d'étudier l'influence de la localisation sur le comportement germinatif des semences produites, à la récolte et au cours d'une conservation contrôlée.

1 - GERMINATION DES SEMENCES DES CHANDELLES PRINCIPALES A DIFFERENTS STADES DE MATURITE

Des prélèvements de semences sont effectués individuellement à différentes dates sur cinq chandelles principales, de taille à peu près identique, à partir de la 4ème semaine (28 ou 29ème jour selon la chandelle) par rapport à la date de fin de fertilisation des

stigmates ; ces premières récoltes ont lieu entre le 13 février et le 8 mars 1978, à un moment où les semences ne sont pas encore morphologiquement mûres, n'ayant pas atteint leur état de déshydratation maximal (environ 13%).

La figure 19 montre que, après 28 et 29 jours de maturation sur pied, les teneurs en eau des semences de ces chandelles sont variables et comprises entre 18 et 44%. Nous pouvons noter qu'entre les 28 et 40ème jours, les semences des chandelles A, C et E, pour lesquelles on observe les teneurs en eau les plus élevées (41,1 - 44,5 et 39,4%) subissent une déshydratation intense ; la déshydratation est moins importante pour les semences des chandelles B et D qui accusent les 28 et 29ème jours des teneurs en eau relativement faibles (18,9 et 18,6). L'état de déshydratation maximal est atteint dès le 36ème jour pour ces dernières et un peu plus tard pour les autres.

Les récoltes se sont échelonnées sur environ 5 semaines et, à l'occasion de chacune d'elles, 7 lots de 50 semences prélevées au hasard sur l'ensemble de la chandelle sont mis à germer à l'obscurité aux températures de 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C. Pour des raisons de temps, elles n'ont pas été effectuées très régulièrement pour toutes les chandelles ; les secondes récoltes interviennent entre les 35 et 40ème jours, les suivantes entre les 49 et 56ème, 63 et 68ème jours.

Nous rapporterons ici les courbes de germination des semences d'une chandelle (chandelle C) à 4 dates successives et les résultats obtenus pour l'ensemble des 5 chandelles selon le mode de représentation décrit au chapitre III.

Après 4 semaines de maturation (figure 20A), la germination des semences de la chandelle C est possible entre 15 et 40° C. Pour cette dernière température, elle est lente et faible au départ (10% de germination à 35 jours), puis se manifeste rapidement pour une grande partie des semences à partir du 36ème jour après le début de

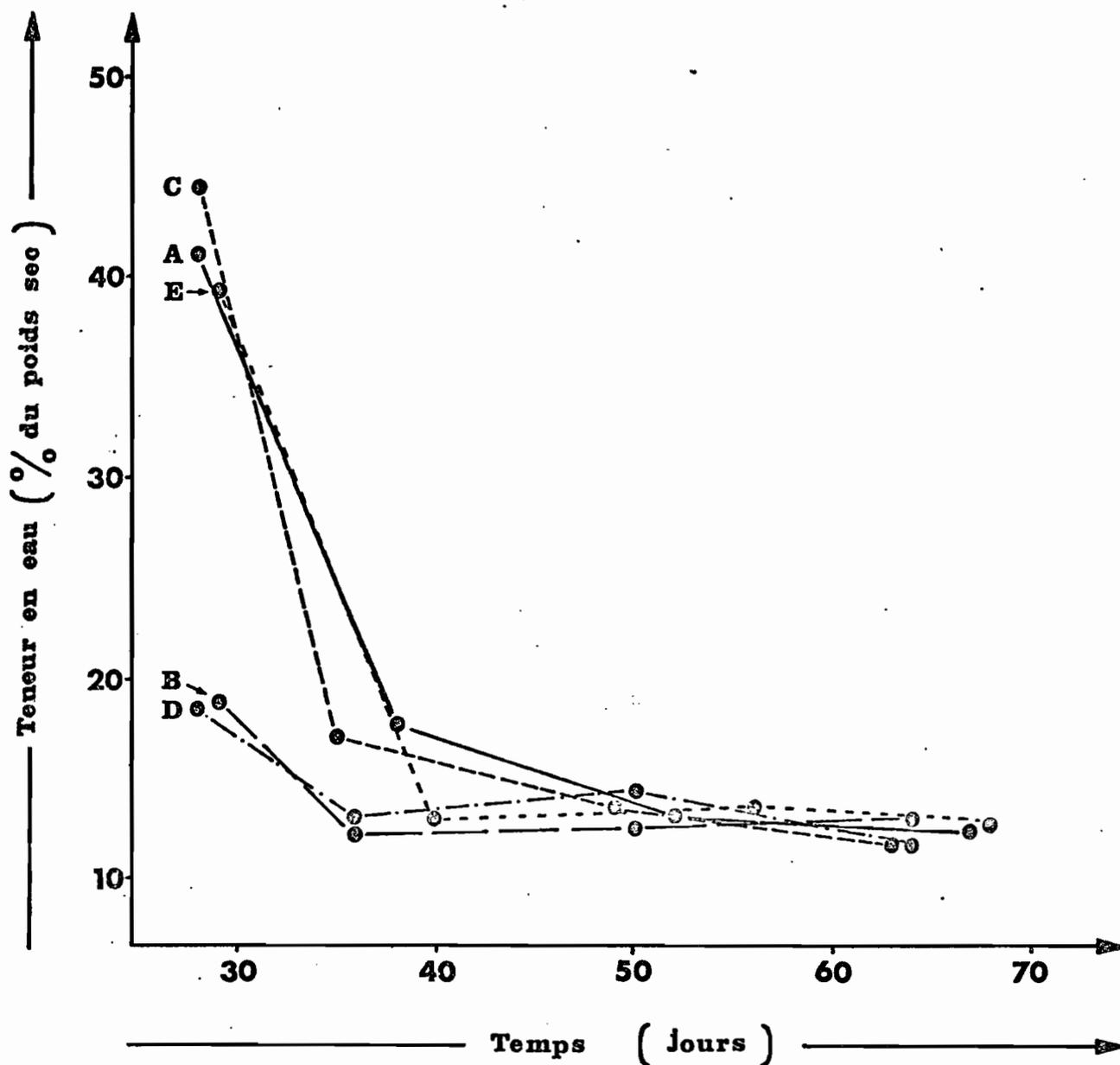


Fig. 19 : Evolution de la teneur en eau (calculé sur un lot de 50 semences) des semences de 5 chandelles principales, restées sur pied en serre, en fonction de leur état de maturation exprimé par rapport à la date de fin de pollinisation ($t = 0$).

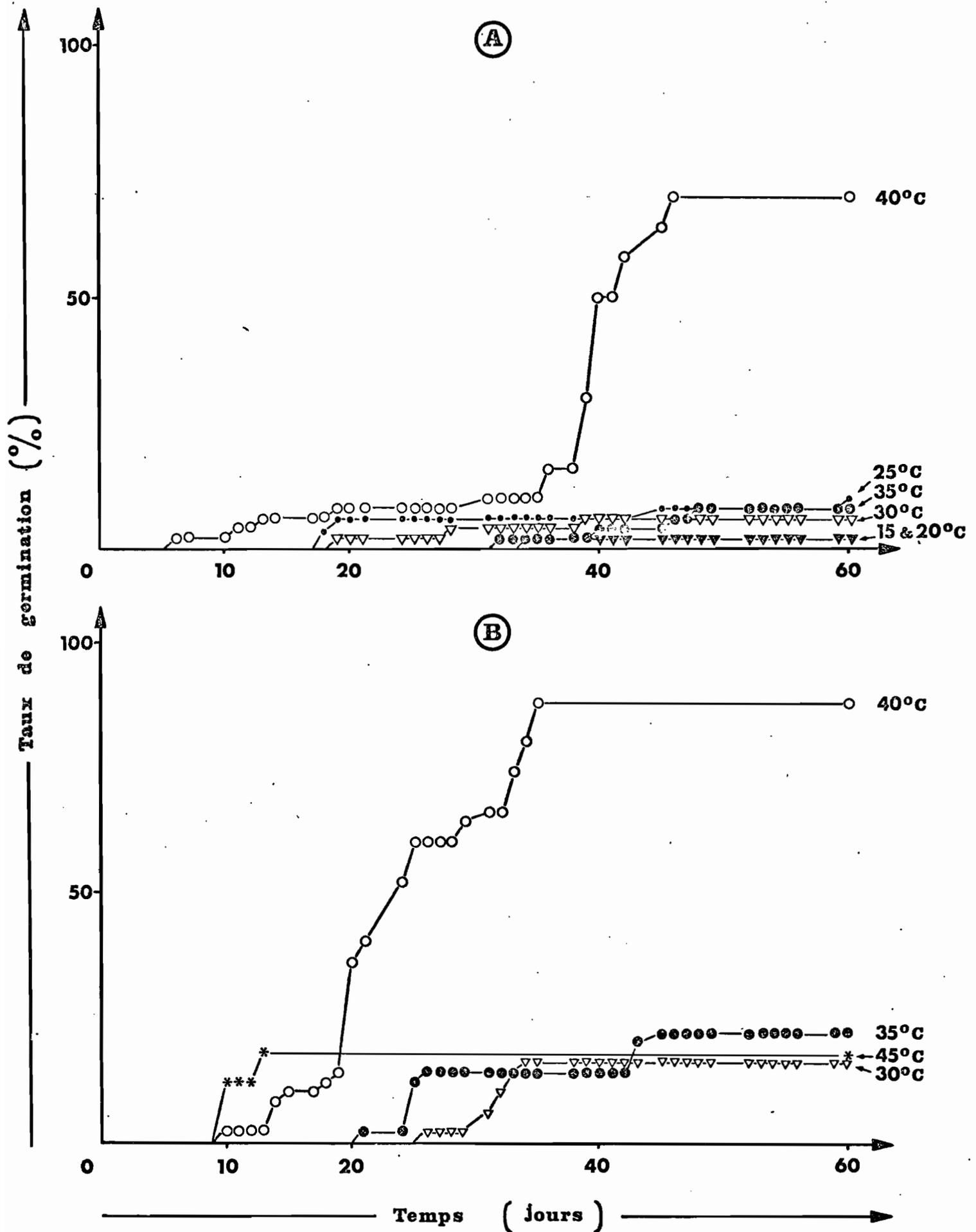


Fig. 20 : Courbes de germination à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, à l'obscurité, des semences d'une chandelle principale (C) prélevées sur pied 4 (A) et 5 (B) semaines après la fin de la pollinisation des fleurs.

la mise en germe (70% à 46 jours). A 25, 30 et 35° C, les semences germent lentement et en petit nombre (moins de 10% après 60 jours). A 15 et 20° C, les taux de germination à 60 jours sont peu significatifs (2%).

Lorsque les semences sont récoltées sensiblement à maturité la 5ème semaine (environ 17% d'eau), la germination devient possible à 45° C mais ne se manifeste pas à 15, 20 et 25° C (figure 20 B). Notons qu'il faut être très prudent avant d'accorder une signification particulière à cette absence de germination qui semble très vraisemblablement liée à un problème d'échantillonnage : il apparaîtrait que 50 semences ne suffisent pas pour constituer un lot représentatif de l'ensemble des semences de la chandelle. A 45° C, les semences germent en petit nombre mais rapidement (16 et 18% à 10 et 13 jours). Aux températures de 30, 35 et 40° C, la germination est meilleure que lors du semis précédent (taux de germination à 60 jours : 16, 22 et 88%) ; à 40° C, la germination est également plus rapide (10% à 15 jours et 88% à 35 jours).

Ces résultats, lorsqu'on les compare à ceux de la figure 4, montrent des différences entre le comportement germinatif des semences de la chandelle C et celle du mélange récolté à maturité : ces dernières germent aux températures comprises entre 20 et 40° C avec des capacités et des vitesses supérieures à 30, 35 et 40° C. La température optimale de germination est cependant la même dans les deux cas (40° C).

Au cours de la maturation, on observe, pour toutes les températures de germination (sauf 25° C), une augmentation progressive des capacités et des vitesses de germination et une diminution du temps de latence (figures 21 A et B). Des lots de semences récoltés 9 semaines après la fin de la fertilisation des stigmates germent à 25, 30, 35, 40 et 45° C avec des capacités maximales à 35 et 40° C (96%) et des taux de 64 et 44% à 30 et 45° C ; les temps de latence à 30, 35, 40 et 45° C, respectivement de 3, 11, 10 et 3 jours, sont

considérablement plus faibles que ceux observés à maturité (30, 24, 13 et 9 jours) ; les vitesses de germination à 30, 35 et 40° C sont plus élevées que pour les semences récoltées à maturité.

Les semences des 4 autres chandelles manifestent un comportement germinatif sensiblement variable et différent (figure 22) de celui des semences de la chandelle C. On remarque qu'après 4 semaines de maturation sur pied, l'éventail des températures permettant la germination est plus ou moins restreint (A = 25 à 40° C, B = 25 à 45° C, C = 15 à 40° C, D = 15 à 40° C, E = 30 à 40° C) ; les taux de germination à 25, 30, 35 et 40° C sont variables d'une chandelle à l'autre. Cependant, pour les 5 plantes, la germination est optimale à 40° C et nulle ou très faible à 15, 20 et 45° C.

A maturité, on constate que les semences de la plupart des chandelles germent mieux qu'à 4 semaines, à 25, 30, 35 et 40° C ; celles de la chandelle A germent à 45° C comme celles de la chandelle C (12% à 15 jours).

Au cours de la maturation, le comportement germinatif des semences de toutes les chandelles évolue de façon assez analogue (figure 23). Cette évolution se caractérise par un élargissement de l'éventail des températures de germination et par une augmentation progressive des vitesses et des capacités de germination pour toutes les températures.

Notons que les semences des chandelles B et D, pour lesquelles les teneurs en eau à 4 semaines sont les plus faibles (figure 19), semblent mieux germer que les autres à 25° C. Il est possible que la déshydratation plus rapide de leurs semences soit causée par la proximité d'une lampe d'éclairage qui élève localement la température de la serre. Aussi, peut-on se demander s'il existe un lien entre la profondeur de la "dormance" des semences à la récolte et la température moyenne à laquelle elles ont été soumises au cours de leur maturation sur la chandelle : plus la température est élevée et moins il y a de "dormance". Mais ce phénomène peut aussi être fortuit

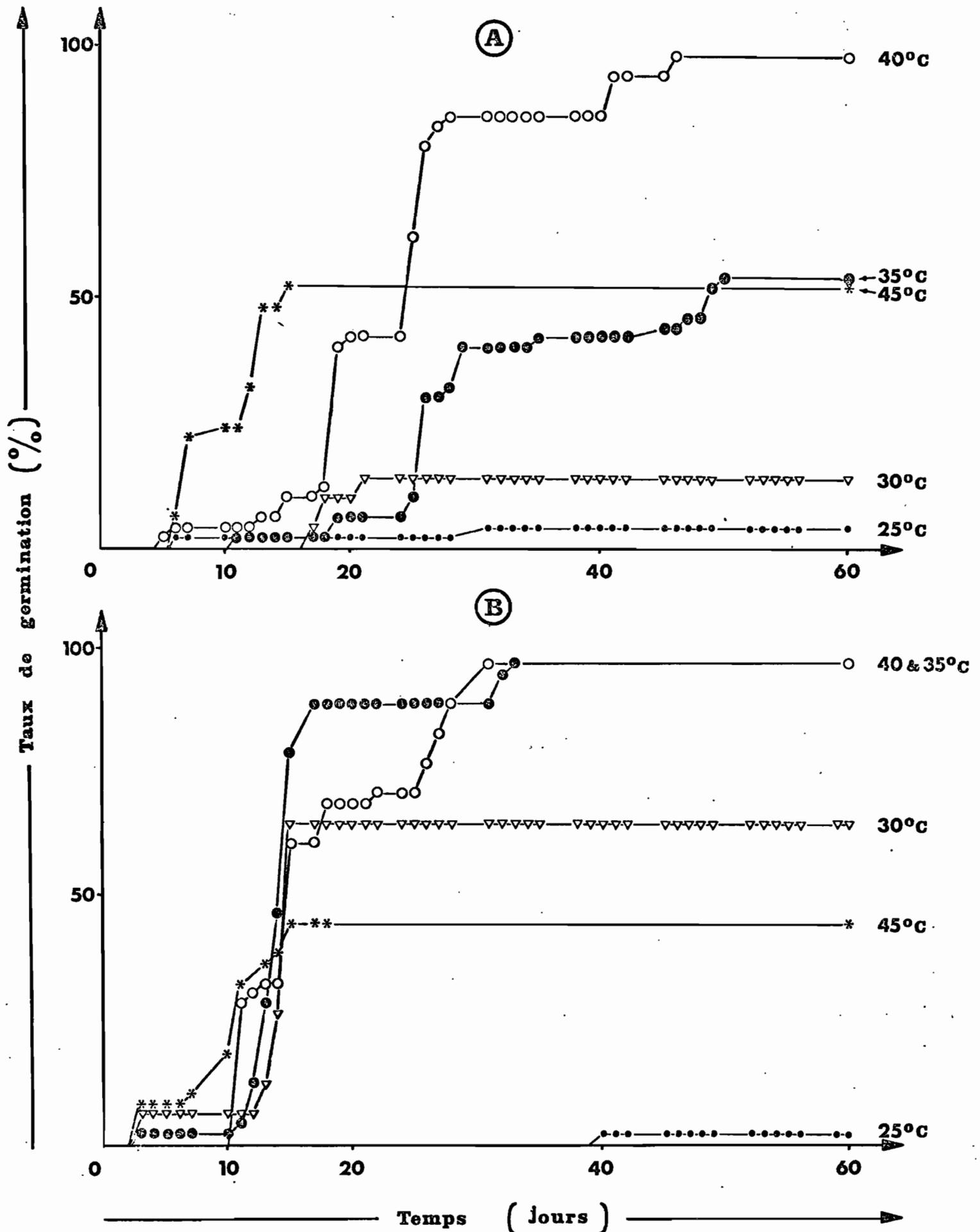


Fig. 21 : Courbes de germination à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, à l'obscurité, des semences d'une chandelle principale (même chandelle que fig. 20) prélevées sur pied 7 (A) et 9 (B) semaines après la fin de la pollinisation des fleurs.

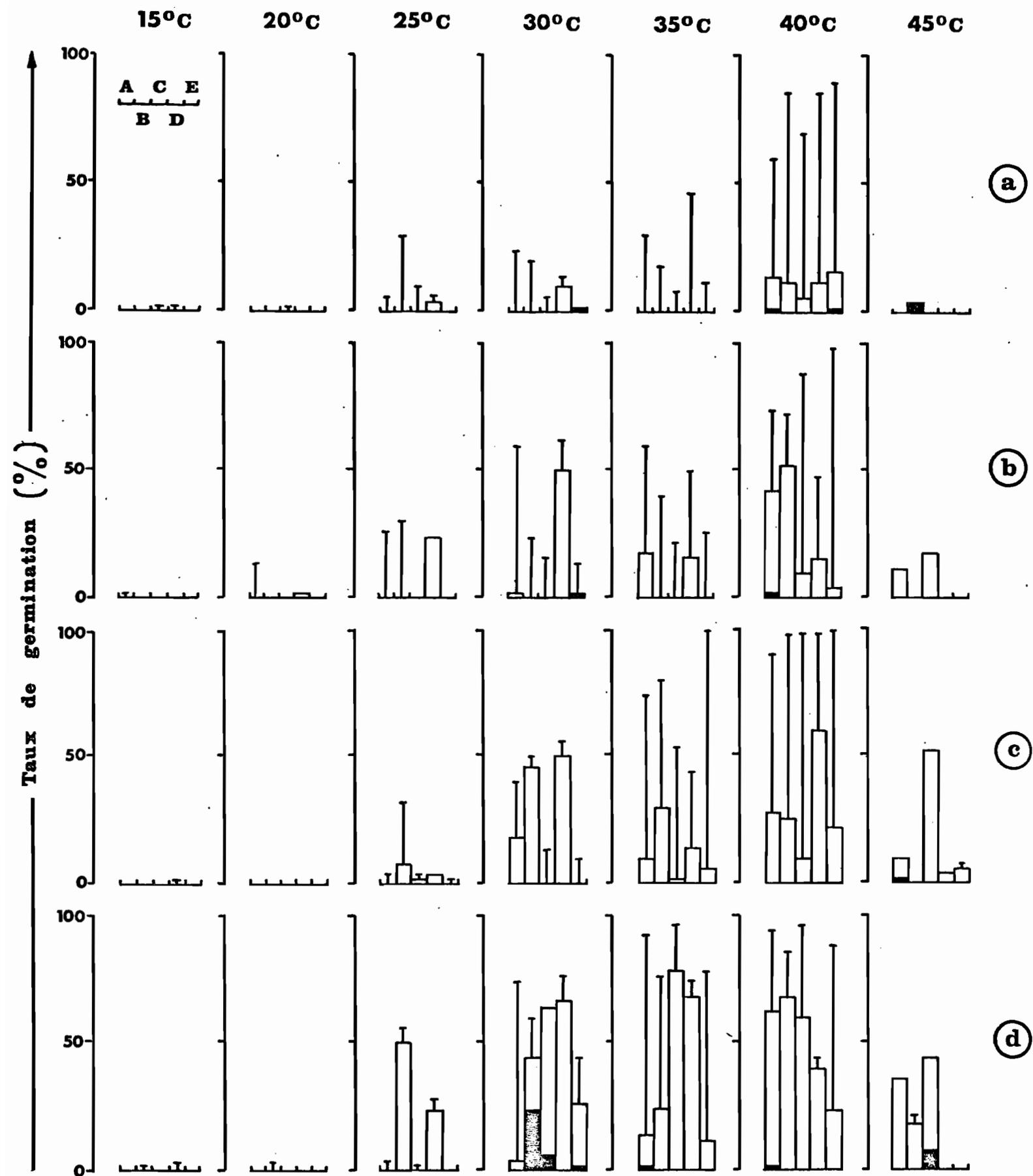


Fig. 22 : Comportement germinatif à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, à l'obscurité, des semences de 5 chandelles principales (A,B,C,D,E) récoltées sur pied en moyenne 4 (a), 5 (b), 7 (c) et 9 semaines (d) après la fin de la pollinisation des fleurs.

Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences des 5 chandelles, 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale) après le semis.

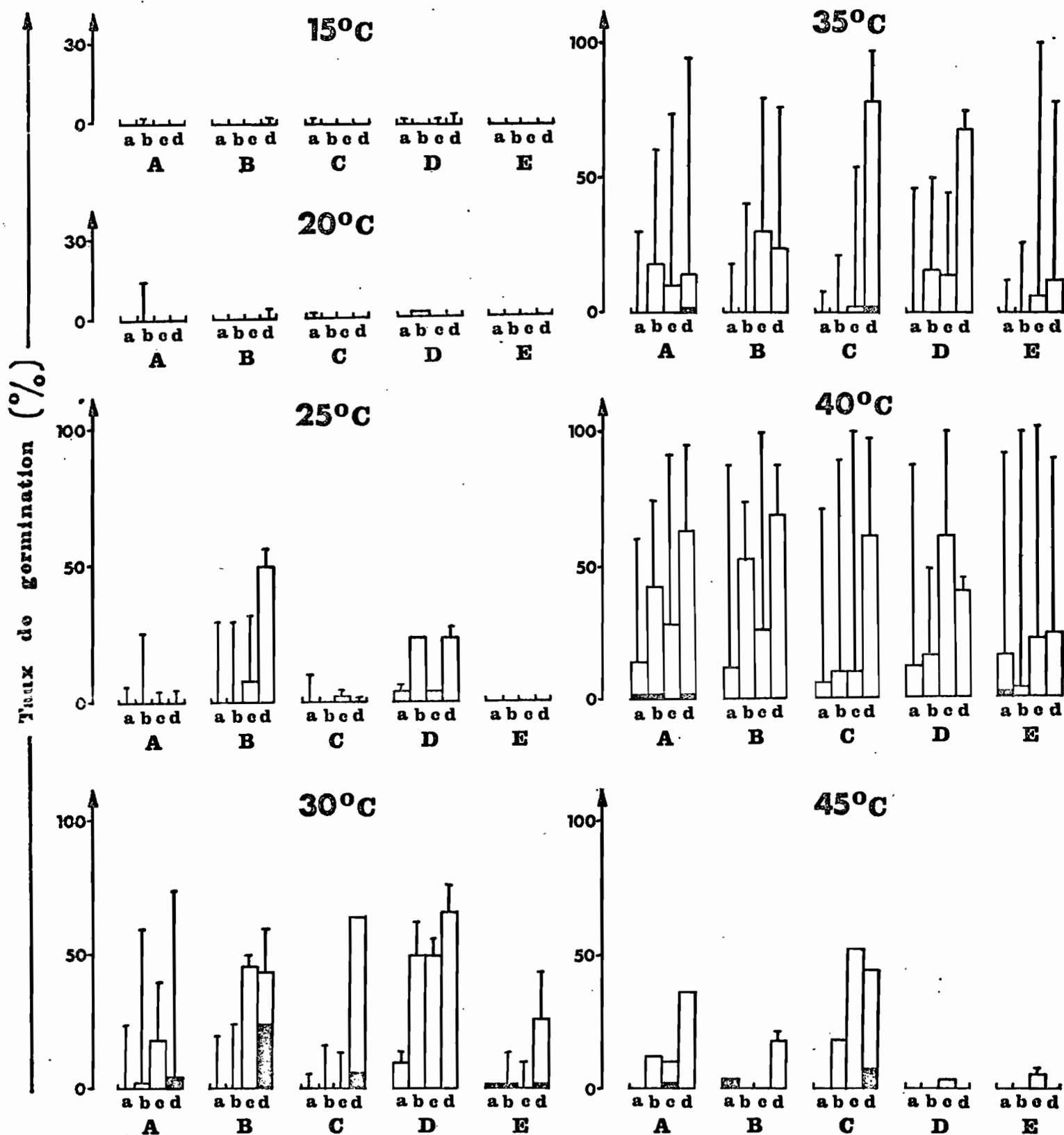


Fig. 23 : Comportement germinatif à 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45° C, à l'obscurité, des semences de 5 chandelles principales (mêmes chandelles que fig. 22) récoltées sur pied en moyenne 4 (a), 5 (b), 7 (c) et 9 semaines (d) après la fin de la pollinisation des fleurs.

Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences d'une seule chandelle prélevées à quatre dates différentes (a, b, c et d), 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale) après le semis.

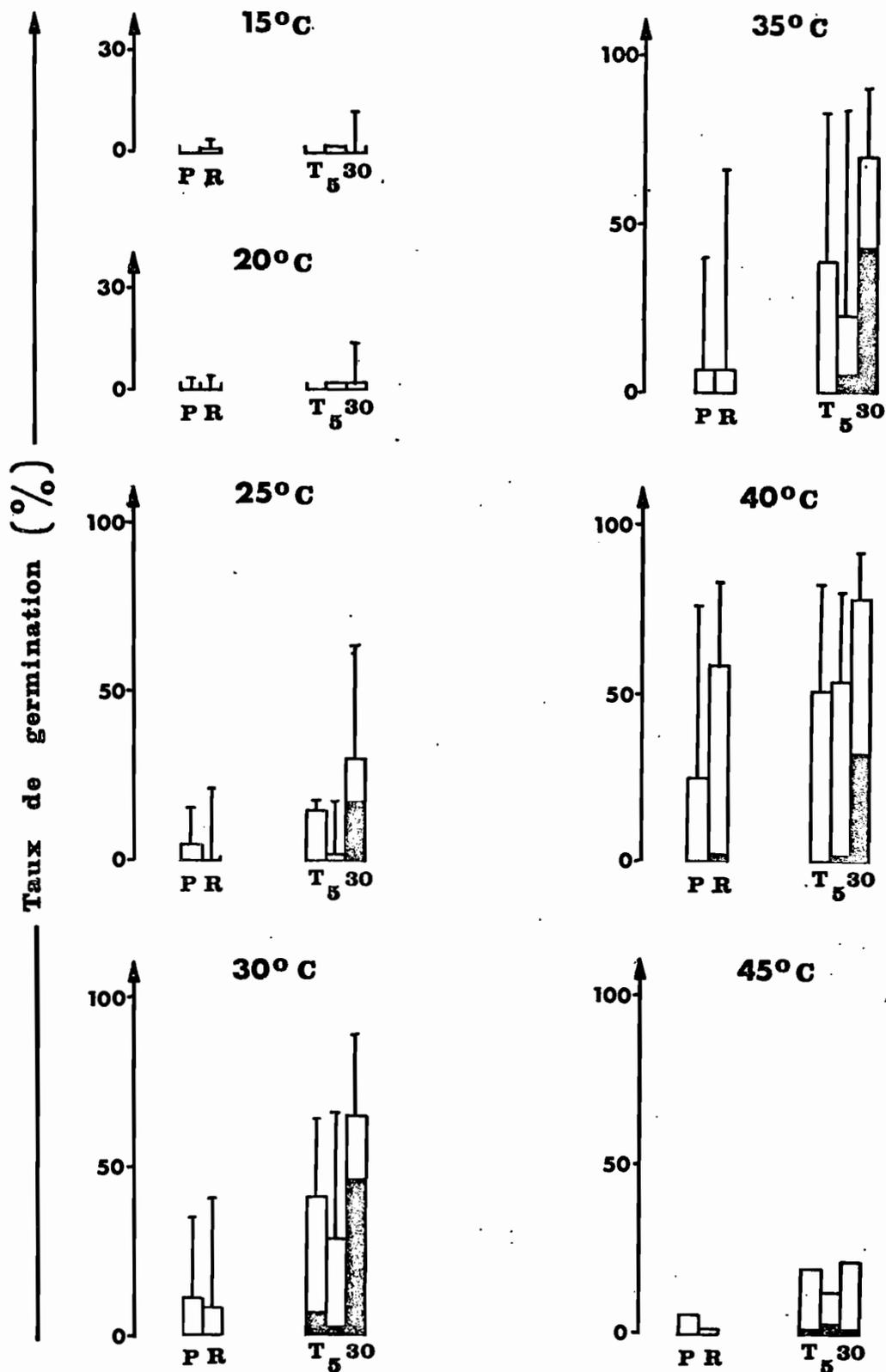


Fig. 24 : Comparaison de la germination, à diverses températures, de semences restées sur pied en serre et de semences conservées en conditions contrôlées.

P et T : semences prélevées sur pied 5 et 9 semaines après la fin de la pollinisation (moyennes des 5 chandelles des fig. 22 et 23).
 R, 5 et 30 : semences récoltées à maturité (5 semaines environ) et conservées 4 semaines à 5 et 30° C (moyenne des 5 chandelles des fig. 16 A, 16 B et 18 B).

Les barres sombres et claires et les lignes verticales représentent respectivement les pourcentages de germination moyens 4, 15 et 60 jours après le début de l'essai de germination.

et il serait intéressant de reprendre une expérimentation dans ce sens.

Nous avons comparé, figure 24, la germination des semences ayant subi une maturation sur pied à celle des semences récoltées à maturité et conservées en conditions contrôlées à sec, à 30 et 5° C. A maturité, les semences récoltées sur pied germent un peu moins bien que celles étudiées dans le chapitre précédent (figure 16 A) ; ces dernières germent dans une gamme de températures plus large (15 à 45° C) avec des capacités supérieures à 25, 30, 35 et 40° C.

Neuf semaines après la fin de la pollinisation, les semences des chandelles sur pied n'ont pas acquis une aptitude à germer aussi bonne que les semences conservées à 30° C (figure 16 B) qui germent dans un intervalle de température plus grand (15 à 45° C) avec des taux supérieurs à 4, 15 et 60 jours aux températures comprises entre 15 et 40° C. Par contre, leur germination est meilleure que celle des semences conservées à 5° C (celles de la figure 18 B) qui germent sensiblement aux mêmes températures mais plus lentement à 25, 30, 35 et 45° C.

En conclusion, il apparaît, dans nos conditions expérimentales, que la germination des semences d'une chandelle est fortement influencée par leur état de maturité au moment de la récolte. On peut donc se demander si la floraison progressive des fleurs, de haut en bas de la chandelle, ne crée pas un gradient de maturité qui se manifeste par des différences de comportement germinatif.

Nous avons pensé qu'une étude de la germination des semences issues de différents niveaux de la chandelle pouvait apporter des renseignements supplémentaires sur la variabilité de l'aptitude à germer des semences d'une chandelle.

2 - GERMINATION DES SEMENCES PRODUITES A DIFFERENTS NIVEAUX D'UNE MEME CHANDELLE PRINCIPALE

Des chandelles principales de taille à peu près identique sont récoltées dès que la teneur en eau moyenne de leurs semences atteint une valeur inférieure à 16% (calculée à partir d'un échantillon de 150 semences) entre les 28 et 41ème jours après la fin de la pollinisation (récoltes effectuées entre le 2 mars et le 16 mars 1978).

Nous avons comparé, selon le mode de représentation décrit au chapitre précédent, le comportement germinatif des semences issues de la partie apicale, médiane et basale des chandelles de 6 plantes, à la récolte et au cours d'une conservation de 10 semaines à 30° C. Les essais de germination sont réalisés à partir de lots de 100 semences aux températures de 30 et 40° C.

2.1. Germination des semences à la récolte

Les résultats obtenus sont groupés dans la figure 25 A et mettent en évidence les faits principaux suivants :

- les capacités et les vitesses de germination des semences des différentes parties de la chandelle sont en général plus grandes à 40 qu'à 30° C.
- à 30° C, les semences issues des différents niveaux des chandelles germent, en moyenne, à des taux identiques à 60 jours (39%). Mais lorsque l'on examine les taux maximaux de germination des semences des différentes portions d'une chandelle pour toutes les chandelles, la meilleure germination est obtenue tantôt pour les semences de la portion apicale (3 cas sur 6), de la portion médiane (1 cas sur 6) ou de la portion basale (2 cas sur 6). Par contre, la vitesse de germination semble d'autant plus élevée que les semences sont situées dans une position apicale. Notons que pour cinq chandelles sur six, le taux de germination des semences de la partie apicale de la chandelle est supérieur au taux de germination des semences

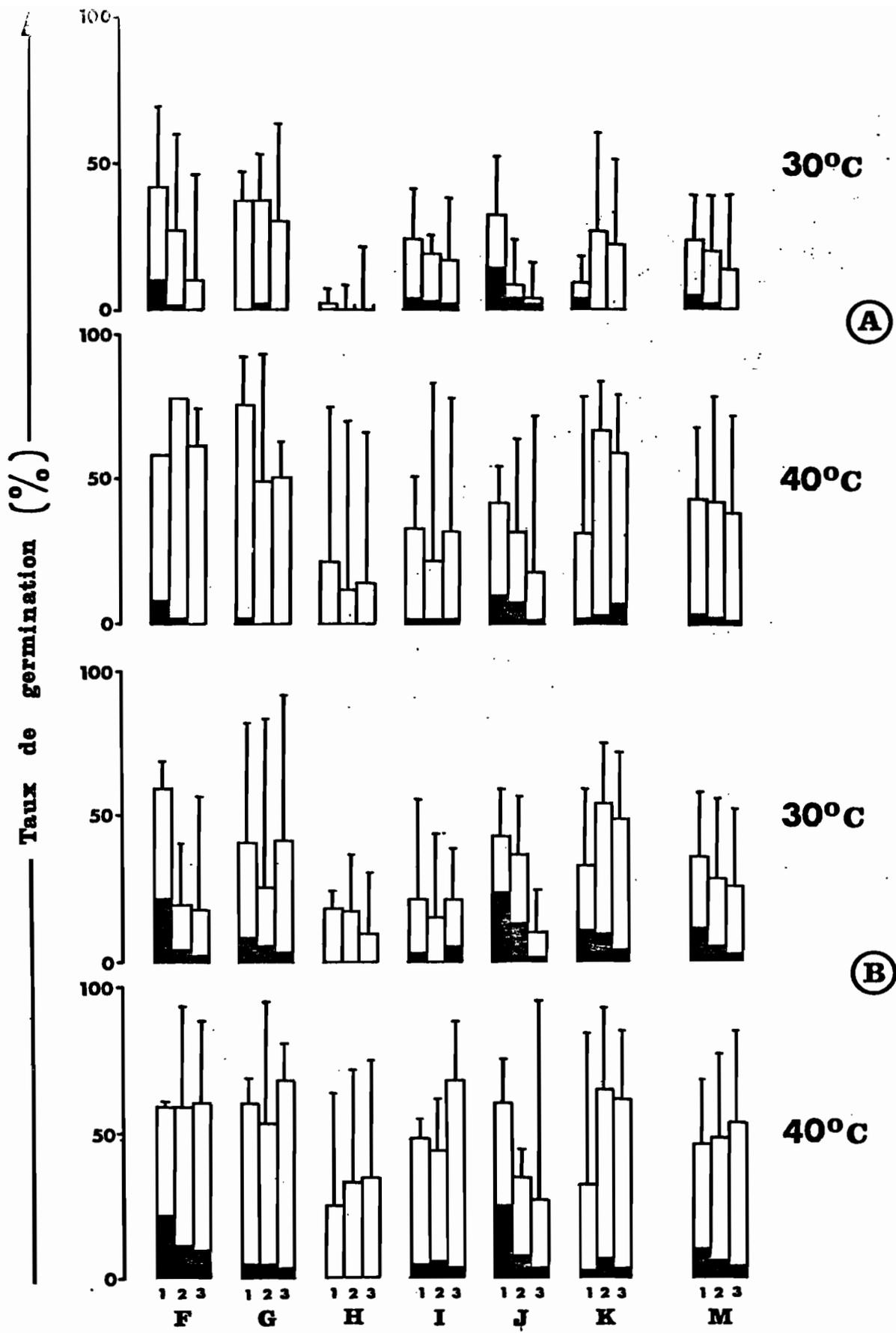


Fig. 25 : Comportement germinatif à 30 et 40° C, à l'obscurité, des semences de 6 chandelles principales (F,G,H,I,J,K) selon leur position sur la chandelle, à maturité (A) et après 2 semaines (B) de conservation à sec à 30° C.

M = pourcentage de germination moyen des semences des parties apicale (1), médiane (2) et basale (3) des six chandelles réunies à 4, 15 et 60 jours. Chaque histogramme représente les pourcentages de germination des semences issues de la partie apicale (1), médiane (2) et basale (3) d'une chandelle; 4 (barre sombre), 15 (barre claire) et 60 jours (ligne verticale) après le début de l'essai de germination.

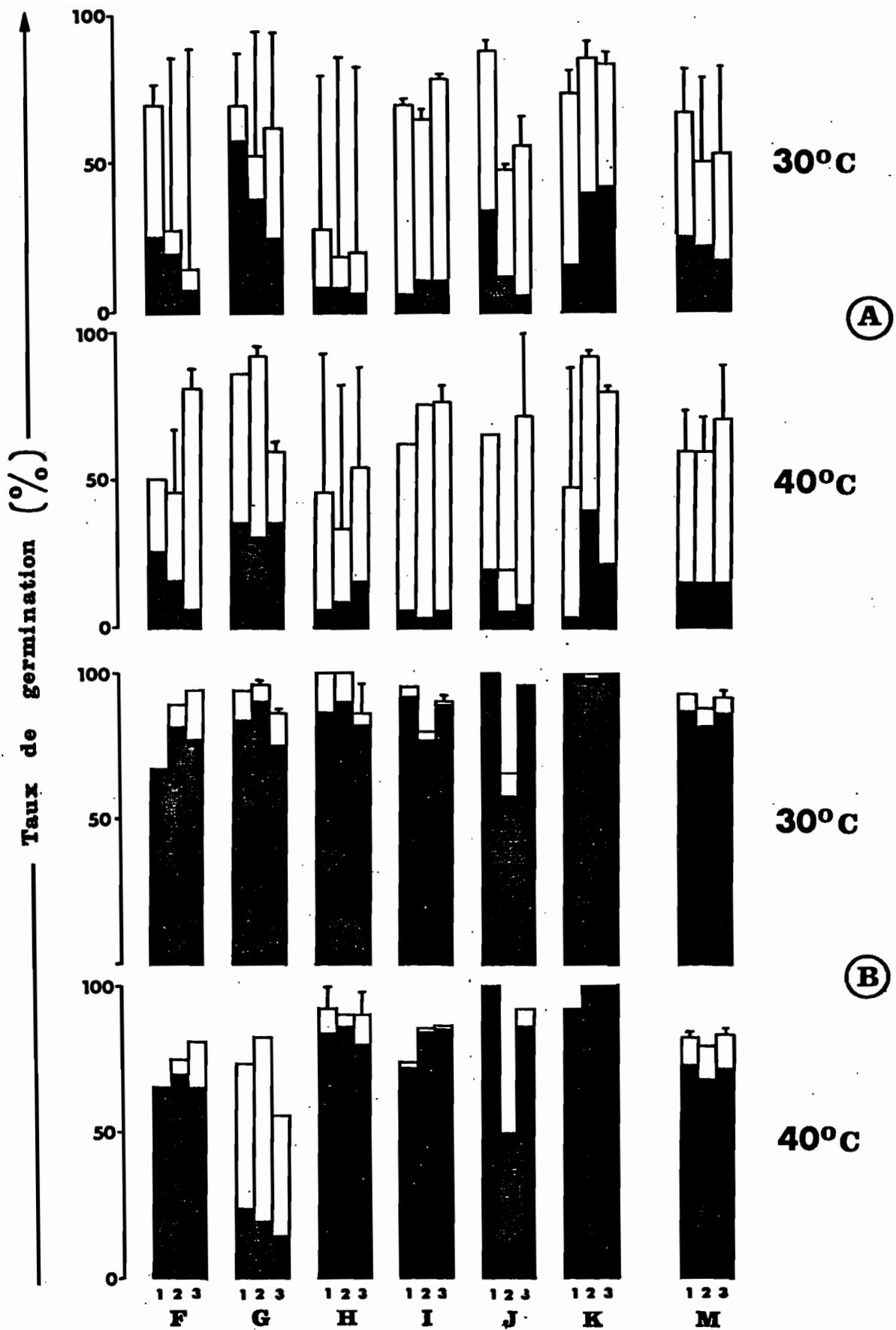


Fig. 26 : Comportement germinatif à 30 et 40° C, à l'obscurité, des semences de 6 chandelles principales (mêmes chandelles que fig. 25) selon leur position sur la chandelle 4 (A) et 10 semaines (B) de conservation à sec à 30° C.

Même représentation que figure 25.

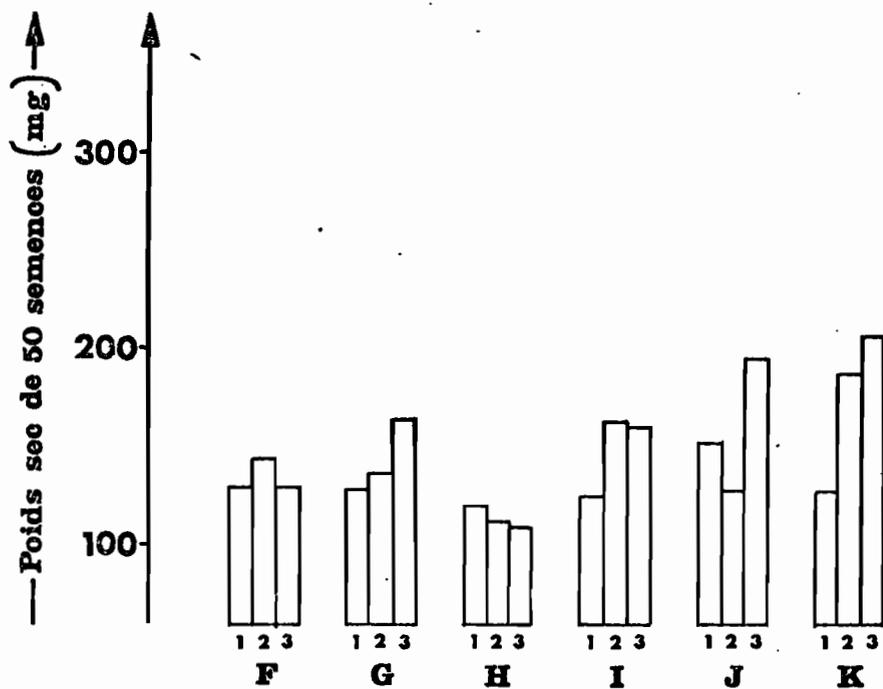


Fig. 27 : Variation du poids sec moyen de 3 lots de 50 semences de 6 chandelles principales (mêmes chandelles que fig. 25 et 26) selon leur position sur la chandelle.

Chaque histogramme représente le poids sec moyen des semences issues des parties apicale (1), médiane (2) et basale (3) d'une chandelle.

de la base alors que les semences de la partie médiane germent de façon intermédiaire dans 4 cas sur 6. D'autre part, les semences de la portion basale d'une chandelle sur six germent plus rapidement que les semences de la portion apicale ;

- à 40° C, il ne semble pas exister de relation précise entre le comportement germinatif des semences et leur position sur la chandelle.

En général, la comparaison entre les comportements germinatifs des semences issues de différents niveaux d'une même chandelle met en évidence des différences moins grandes que la comparaison des comportements germinatifs des semences de diverses chandelles. Autrement dit, il semble que la variabilité du comportement germinatif des semences à l'intérieur d'une même chandelle soit plus faible que la variabilité entre les semences de différentes chandelles.

Notons que les plantes produisent des chandelles dont le poids sec moyen des semences varie selon leur position sur la chandelle. L'analyse de la figure 27 montre qu'il n'y a pas de correspondance particulière entre le poids des semences et leur position sur celle-ci : dans 4 cas sur 6, le poids des semences de la partie basale est supérieur à celui de la partie apicale mais le poids des semences de la partie médiane peut être soit intermédiaire, soit supérieur ou inférieur aux précédents. D'autre part, il n'y a pas, non plus, sur une chandelle, de relation évidente entre le poids des semences des différents niveaux et leur comportement germinatif respectif (figures 27 et 25 A).

2.2. Germination des semences conservées à 30° C

La germination des semences des portions apicale, médiane et basale d'une chandelle est améliorée par une conservation à 30° C d'autant plus que le traitement est prolongé dans le temps (figures 25 B, 26 A et B). Nous constatons une homogénéisation de la germination des semences pour les deux températures de germination : après

10 semaines de conservation, la germination des semences de chaque portion est comparable à 30 et 40° C. D'autre part, pour les deux températures, les semences des diverses portions germent en moyenne de façon assez analogue.

Notons qu'après 2 et 4 semaines de stockage, les semences de la portion apicale manifestent en moyenne, à 30° C, une aptitude à germer (à 4 et 15 jours, à 60 jours seulement à 2 semaines) meilleure que les semences de la portion basale. Par contre, à 40° C, ce sont les semences de la portion basale qui manifestent cette aptitude (à 15 et 60 jours). Néanmoins, pour ces durées de conservation, l'examen des taux de germination à 4, 15 et 60 jours montre que selon la chandelle la germination des semences issues de n'importe quel niveau peut être la meilleure.

En définitive, nos résultats ont fait apparaître, à la récolte et en cours de conservation, une certaine variabilité du comportement germinatif entre les semences issues des différents niveaux d'une chandelle qui ne semble pas dépendre de façon évidente de la position des semences sur celle-ci.

3 - CONCLUSION

Lorsqu'elles sont récoltées à divers stades de maturité, les semences d'une même chandelle manifestent un comportement germinatif très différent.

Dès la quatrième semaine après la fin de la fertilisation des stigmates, alors que les semences ne sont pas encore morphologiquement mûres, la germination est possible dans une gamme de températures assez étendue comprises entre 25 et 40° C (température optimale). À maturité, les semences germent dans un éventail de températures plus large (20 à 45° C), avec des taux de germination plus grands à 25, 30, 35 et 40° C. Au cours de la post-maturation sur pied, les capacités et les vitesses de germination des semences augmentent progressivement pour toutes les températures de germination

pendant toute la durée de l'expérience (9 semaines). Cette évolution du comportement germinatif en serre est cependant plus lente que celle subie par des semences du même âge récoltées mûres et conservées sèches à 30° C et sensiblement plus rapide que celles des mêmes semences conservées sèches à 5° C.

La germination des lots de semences mûres, issues de différents niveaux d'une chandelle, est très hétérogène à la récolte et semble indépendante de la position des semences sur la chandelle. Une conservation à 30° C homogénéise progressivement la germination de ces lots à 30 et 40° C.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude, bien que très succincte, a permis de préciser certains points intéressants concernant la germination et l'hétérogénéité du comportement germinatif des semences d'une variété "hâtive" de mil, cultivée en serre.

Les semences morphologiquement mûres, placées dans des conditions apparemment convenables, ne germent pas en totalité au moment de la récolte comme c'est d'ailleurs le cas chez beaucoup de graminées (CROCKER et BARTON, 1953) : elles ne sont pas physiologiquement mûres. La germination des semences est possible dans un intervalle de températures défini (20 à 40 ou 45° C) et optimale à 40° C. Cet optimum thermique est particulièrement élevé si on le compare à ceux des semences des plantes de pays tempérés qui germent généralement mieux à des températures plus basses (CÔME, 1970), mais il semble que ce soit une caractéristique propre aux semences des plantes tropicales (ATTIMS et CÔME, 1978).

Pour des raisons de matériel (quantité limitée de semences et équipement rudimentaire) et de temps, nous avons négligé d'étudier l'influence des autres principaux facteurs de la germination (eau,

oxygène, températures alternées, lumière et inhibiteurs). Afin de permettre une meilleure compréhension du phénomène de la germination des semences du mil, il serait souhaitable d'entreprendre ultérieurement des expérimentations dans ce sens.

Sur pied ou conservées au sec en conditions contrôlées, les semences subissent une maturation physiologique progressive qui leur permet de germer dans un éventail de températures plus large, avec des capacités et des vitesses de germination meilleures. Dans nos expériences, réalisées à 5, 20, 30 et 45° C, ce processus de maturation est d'autant plus rapide que la température à laquelle sont soumises les semences "mûres" est élevée : stockées dès la récolte à une température de 45° C pendant 2 mois, les semences du mil sont capables de germer aux températures comprises entre 15 et 45° C, avec des taux supérieurs à 80% en moins de 7 jours à 25, 30, 35, et 40° C. Un tel traitement est intéressant puisqu'il permet d'utiliser assez rapidement des lots de semences fraîchement récoltés, dans le cas d'une analyse de descendance, par exemple.

Pour l'expérimentateur qui désire utiliser ultérieurement les semences, un stockage à basse température est souhaitable car il permet de prolonger leur durée de vie (TOUZARD, 1975), mais il retarde la post-maturation des semences qui germent peu au moment de leur mise en conservation. Une étude plus approfondie de la conservation des semences non physiologiquement mûres en relation avec leur aptitude à germer devrait être entreprise pour des durées de stockage assez longues.

Dans des conditions de culture identiques, les semences des diverses chandelles principales ou secondaires n'ont pas tout à fait le même comportement germinatif lorsqu'elles sont récoltées dès la maturité. Néanmoins, les variations sont de faible amplitude

comparativement aux différences d'aptitude à germer observées entre les semences récoltées mûres et conservées 2 semaines à 30° C. D'autre part, l'hétérogénéité du comportement germinatif des semences de diverses chandelles principales ne semble pas être déterminé par la morphologie des semences (poids sec et teneur en eau), mais en partie au moins par l'âge de la plante, ce qui expliquerait probablement la différence d'aptitude à germer entre les semences des chandelles principales et secondaires.

Une évolution différente de la post-maturation entre les semences des différentes chandelles est un autre facteur de variation; dans des conditions identiques de stockage, la vitesse de maturation varie entre les semences de différentes chandelles principales et entre les semences des chandelles principales et secondaires. Des expériences complémentaires seraient nécessaires pour confirmer ce phénomène.

Au cours de la post-maturation, on constate une atténuation de la variabilité du comportement germinatif entre les semences des diverses chandelles, surtout aux températures de germination proches de la température optimale. Cette atténuation est moins rapide pour les semences conservées à une température basse (5° C) comparativement à celles soumises à une température plus élevée (30° C).

Un certain nombre de facteurs liés à nos conditions d'expérimentation pourraient aussi expliquer une partie de la variabilité du comportement germinatif des semences :

- les plantes d'une même variété ont des géotypes différents (plantes allogames),
- les conditions de culture en serre ne sont pas constantes tout au long de l'année,
- les conditions de germination des semences ne sont pas toujours rigoureusement contrôlées (relevés effectués à la lumière, à la température du laboratoire, réhydratation périodique des boîtes de Pétri),

- les effectifs de semences utilisés dans nos expériences pourraient être trop faibles pour bien représenter les lots dont ils sont extraits.

Ainsi, il conviendrait de conduire les expérimentations ultérieures en limitant ou contrôlant efficacement l'influence de ces facteurs (utilisation de lignées pures et autofécondation, échantillons de semences plus importants...) dans un milieu de culture mieux contrôlé (équipement de type Phytotron), à partir d'un nombre plus élevé d'individus.

La réponse des semences d'une même chandelle aux températures de germination dépend étroitement de leur état de maturité. Environ 7 jours avant la déshydratation maximale des semences, la germination est possible dans une gamme de températures restreinte (25 à 40° C) avec de faibles taux de germination, sauf à 40° C, où elle est néanmoins très lente. Plus tard, les semences sur pied deviennent progressivement capables de mieux germer (élargissement de la gamme des températures et augmentation des capacités et vitesses de germination) mais cette germination est moins bonne que celle des semences récoltées mûres et conservées à 30° C.

Par ailleurs, nos résultats n'ont pas permis de mettre en évidence de relation précise entre le poids, l'aptitude à germer et le niveau d'insertion des semences sur la chandelle ; la variabilité du comportement germinatif des semences récoltées mûres semble plus réduite entre semences d'une même chandelle qu'entre semences de différentes chandelles récoltées au même stade de maturité.

La récolte des semences chandelle par chandelle doit ainsi permettre à l'expérimentateur de pouvoir disposer de lots de semences relativement homogènes. Cependant, la germination des semences n'a pu être étudiée qu'à 2 températures et il serait peut-être possible

d'observer des différences de propriétés germinatives significatives entre des semences issues de différents niveaux d'une même chandelle en les récoltant à un stade de maturation plus précoce ou en les plaçant dans des conditions de germination moins favorables et, éventuellement, en utilisant un mode de représentation mieux approprié (vitesse moyenne de germination, coefficient de vélocité...). Chez les caryopses de *Triticum aestivum* (CHAUSSAT, 1977) les différences de propriétés germinatives semblent liées à des phénomènes de compétition pour les aliments et d'inhibitions corrélatives entre les caryopses de rangs différents. Bien que la morphologie d'une inflorescence de mil ne soit pas comparable à celle d'un épi de blé, il serait peut-être intéressant de voir si les semences issues des involucre à un et plusieurs épillets n'ont pas un comportement germinatif différent.

Tout au long de ce travail, nous avons constaté une grande hétérogénéité dans la germination des semences de mil et tenté d'en rechercher les causes. Il conviendrait maintenant de déterminer avec précision les mécanismes de la "dormance" de ces semences et sur le plan pratique, de rechercher des traitements permettant d'accélérer la post-maturation.

BIBLIOGRAPHIE

- ABBOTT D.L. (1955) - Temperature and the dormancy of apple seeds.
XIVth Intern. Horticult. Cong. (La Haye - Scheveningen),
1, 746-753.
- ARTHUR J.C. (1895) - Delayed germination of cocklebur and other
paired seeds.
Proc. Soc. Pr. Agric. Sci., 16, 70-79.
- ATTIMS Y. (1972) - Influence de l'âge physiologique de la plante mère
sur la dormance des graines d'*Oldenlandia corymbosa* L.
(Rubiacées).
C.R. Acad. Sc., série D, 275, 1613-1616.
- ATTIMS Y. et CÔME D. (1978) - Dormance des graines produites par les
plantes de deux lignées d'*Oldenlandia corymbosa* L.
(Rubiacées) : sélection de deux types de plantes.
C.R. Acad. Sc., série D, 293, 1815-1818.
- BRUNKEN J.N. (1977) - A systematic study of *Pennisetum* sect.
Pennisetum (Gramineae).
Amer. J. Bot., 64 (2), 161-176.
- CAVERS P.B. et HARPER J.L. (1966) - Germination polymorphism in *Rumex*
crispus and *Rumex obtusifolius*.
J. Ecol., 54, 367-382.
- CHAUSSAT R. (1977) - Comparaison des poids et des propriétés germina-
tives des semences de l'épillet de Blé (*Triticum aestivum*
L.) à celles de l'épillet d'*Aegilops ovata* L.
C.R. Acad. Sc., série D, 284, 1983-1986.

- COBLEY L.S. (1956) - *An introduction to the botany of tropical crops*. London UK, Longmans green and Co Ltd, 26-28.
- CÔME D. (1970) - *Les obstacles à la germination*. Masson et Cie éd., Paris, 162 p.
- CÔME D. (1975) - Problèmes de terminologie concernant les semences. In *La germination des semences*, Gauthier-Villard éd., Paris, 11-26.
- CORBINEAU F. (1977) - Recherche, chez l'*Oldenlandia corymbosa* L. (Rubiaceae tropicale), de facteurs propres à la plante mère responsables de l'aptitude à la germination des graines qu'elle produit. *Diplôme d'Etudes Approfondies*, Paris, 40 p.
- CROCKER W. (1906) - Role of seed coats in delayed germination. *Bot. gaz*, 42, 265-291.
- CROCKER W. et BARTON L.V. (1953) - *Physiology of seeds. An introduction to the experimental study of seed and germination problems*. Chronica Botanica Co, Waltham, Mass., U.S.A., 267 p.
- DATTA S.G., GUTTERMAN Y. et EVENARI M. (1972) - The influence of the origin of the mother plant on yield and germination of their caryopses in *Aegilops ovata*. *Planta*, 105, 155-164.
- DO CAO T. (1976) - Aptitude à la germination des graines d'*Oldenlandia corymbosa* L. selon leur localisation sur la plante et les conditions de culture de celle-ci. *Diplôme d'Etudes Approfondies*, Paris, 32 p.
- DO CAO T. (1978) - Germination des graines des deux lignées d'*Oldenlandia corymbosa* L. selon les conditions de développement des plantes mères. *Thèse de 3ème cycle*, Paris, 96 p.
- DORNE A.J. (1968) - Influence de la température sur la germination des graines de *Silene inflata* Gaudin et *Alyssoides utriculatum* L. Medikus, récoltées à différentes altitudes. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 115, 489-500.
- DORNE A.J. (1973 a) - Influence de l'altitude de récolte sur la capacité de germination des semences du *Chenopodium bonus-henricus* L. *C.R. Acad. Sc.*, série D, 277, 305-308.

- DORNE A.J. (1973 b) - Germination de deux espèces à large distribution altitudinale : *Silene inflata* et *Alyssoides utriculatum*. Influence sur le comportement germinatif de la culture des porte-graines à basse altitude.
Phyton, 31, 25-39.
- DORNE A.J. et CÔME D. (1976) - Germination des semences du *Chenopodium bonus-henricus*. Recherche du mécanisme de l'inaptitude à la germination des semences récoltées à une altitude élevée.
Biol. Plant., 18, 72-77.
- ELLIS J.F. et ILNICKI R.D. (1968) - Seed dormancy In Corn chamomille.
Weed Science, 16, 2, 111-113.
- EVENARI M. (1957) - Les problèmes physiologiques de la germination.
Bull. Soc. Franc. Physiol. Vég., 3, 4, 105-124.
- EVENARI M., KOLLER D. et GUTTERMAN Y. (1966) - Effects of the environment of the mother plant on the germination by control of seed coat permeability to water in *Ononis sicula* Guss.
Aust. J. Biol. Sci., 19, 1007-1016.
- FERRARIS R. (1973) - *Pearl Millet (Pennisetum typhoides)*. Commonwealth Bureau of pastures and field crops, Hurley, Maidenhead, Berks SL 6 5LR, UK.
- HUTCHINSON J. et DALZIEL J.M. (Reprint 1962) - *Flora of West tropical Africa*. London, Crown agents for oversea govts and adm, vol II, part 2, 572-576.
- JACQUES R. (1963) - Action de la lumière par l'intermédiaire du phytochrome sur la germination, la croissance et le développement du *Chenopodium polyspermum* L.
Physiol. Vég., 6, 2, 137-164.
- JACQUES-FELIX H. (1962) - *Les graminées d'Afrique tropicale. I. Généralités, classification, description des genres*. IRAT, Paris, 345 p.
- JOHNSON L.P.V. (1935) - General preliminary studies on the physiology of delayed germination in *Avena fatua*.
Can. J. Res., 13, 283-300.
- JUNTILLA O. (1971) - Effects of mother plant temperature on seed development and germination in *Syringa reflexa* Schneid.
Meld. Norges. landbr. Hogsk., 50, 10, 1-16.
- KOTOWSKI F. (1926) - Temperature relations to germination of vegetable seeds.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 23, 176-184.

- MAUN M.A. et CAVERS P.B. (1971 a) - Seed production and dormancy in *Rumex crispus*: the effects of removal of cauline leaves at anthesis.
Can. J. Bot., 49, 7, 1123-1130.
- MAUN M.A. et CAVERS P.B. (1971 b) - The effects of removal of various proportions of flowers at anthesis on seed production and dormancy in *Rumex crispus*.
Can. J. Bot., 49, 10, 1841-1848.
- PERINO C. et CÔME D. (1977) - Influence de la température sur les phases de la germination de l'embryon de Pommier (*Pirus Malus* L.).
Physiol. Vég., 15, 3, 469-474.
- ROLLIN P. (1975) - Influence de quelques inhibiteurs sur la respiration et la germination des akènes de *Bidens radiata*.
Physiol. Vég., 13, 3, 369-382.
- SALISBURY E.J. (1942) - *The reproductive capacity of plants*.
G. Bell and sons ed., Londres, 244 p.
- SOUCIET J.L. (1978) - Contrôle de l'inhibition de la germination chez une espèce apomictique le *Panicum maximum*: étude plus particulière de l'influence du gamète mâle sur la constitution génotypique de l'albumen.
Thèse de 3ème cycle, Orsay, 104 p.
- TISSAOUI T. et CÔME D. (1975) - Mise en évidence de trois phases physiologiques différentes au cours de la "germination" de l'embryon de Pommier non dormant, grâce à la mesure de l'activité respiratoire.
Physiol. Vég., 13, 1, 95-102.
- TOOLE V.K., BAILEY W.K. et TOOLE E.H. (1964) - Factors influencing dormancy of peanut seeds.
Plant Physiol., 39, 822-832.
- TOUZARD J. (1975) - Théorie et pratique de la conservation des semences.
In *La germination des semences*.
Gauthier-Villard éd., Paris, 157-170.
- WILLIAMS J.T. et HARPER J.L. (1965) - Seed polymorphism and germination. I. The influence of nitrates and low temperature on the germination of *Chenopodium album*.
Weed. Res., 5, 141-150.
- WULF R. (1973) - Intrapopulation variation in the germination of seeds in *Hyptis suaveolens*.
Ecol., 54, 3, 646-649.