

## ALLONGEMENT DE LA DUREE DE RECOLTE

Rosa V. Molina<sup>1</sup>, Amparo García-Luis<sup>1</sup>, Miguel Valero<sup>1,2</sup>, Yolanda Navarro<sup>1,2</sup> et José L. Guardiola<sup>1</sup>

1: Departamento de Biología Vegetal, Universidad Politécnica, 46071-Valence, Espagne

2: Anciennement Compañía General del Azafrán, Liria, Valence, Espagne

**Mots clefs:** Programmation des cormus, *Crocus sativus* L., forçage, floraison, safran

### Extraits

En relevant les cormus de safran (*Crocus sativus* L.) après fanaison des feuilles (fin Juin, début Juillet) et en les stockant à 25° pendant une durée variable avant le forçage de la fleur à 17°C., nous avons pu programmer la floraison à volonté de mi-Septembre à mi-Décembre. Une floraison plus précoce a été obtenue par l'arrachage des cormus avant fanaison du feuillage (début Mai) et/ou en chauffant les cormus à 30°C. pendant 20 jours avant l'incubation à 25°C. D'autre part, la floraison peut être retardée en conservant les cormus à basse température. Les conditions de ce stockage au froid sont critiques au niveau du stade d'initiation florale dans les cormus, de la température, de la durée du stockage et de la composition de l'atmosphère. Un écart par rapport aux conditions optima provoque l'avortement des fleurs et/ou la réduction de leur taille. La combinaison des techniques décrites nous permet d'étendre la saison de récolte du safran en serre de début Septembre à fin Janvier, avec un rendement d'épice safran par cormus supérieur à 17 mg. La durée de la période de floraison par lot étant de 13 jours, nous pouvons cultiver 11 lots pendant cette durée. Avec la densité de plantation utilisée (457 cormus au m<sup>2</sup>), 1 ha de serre produirait 855 kg d'épice safran par an. La période de floraison pourrait être allongée jusqu'à début Mars mais avec un rendement d'épice par cormus plus faible (environ 14 mg)

### INTRODUCTION

L'épice safran a été utilisée comme condiment depuis l'âge du bronze tardif (Zachary et Hopf, 1994), et de nos jours est devenue l'épice la plus chère du monde (Winterhalter and Straubinger, 2000). De plus, beaucoup des composants du safran ont des applications médicales potentielles et possèdent des propriétés antitumorales (Abdullaev and Frenkel, 1999; Fernández Pérez and Escribano Martínez, 2000). Malgré ces perspectives apparemment prometteuses, la production de safran a rapidement décliné dans de nombreux pays traditionnellement producteurs, comme l'Espagne, l'Italie et la Grèce, pour devenir quasiment anecdotique (Negbi, 1999). Une tâche manuelle intensive (et coûteuse) de plus de 15 journées de travail par kilogramme de safran sec est nécessaire pour cueillir les fleurs et séparer les stigmates (Anonyme, 1998).

Proc. Ist IS on Saffron

Eds: J.-A. Fernández & F. Abdullaev

Acta Hort 650, ISHS 2004

Traduction J.C. Chartrou

Au coût élevé de ce travail, il faut ajouter la posture inconfortable des cueilleurs de fleurs, et la très courte période favorable de récolte qui a lieu aux premières heures du matin pendant les 20 ou 30 jours de durée de la période de floraison.

La mécanisation de la cueillette des fleurs dans le champ de culture du safran s'est avérée difficile (Galigani et Garbati Pegna, 1999). Les fleurs sont à peine au-dessus du niveau du sol, et la mécanisation requiert un soin particulier dans le nivellement du sol et dans la manoeuvre des machines de récolte. La courte durée de la période de floraison dans quelques sites particuliers rend nécessaire un investissement lourd en matériel de récolte pour une utilisation de seulement quelques jours par an. Une alternative possible est de cultiver des cormus en conteneurs en contrôlant les conditions environnementales. Comme nous le montrerons ci-dessous, la floraison des cormus peut être contrôlée à volonté depuis début Septembre jusqu'à début Mars. Ainsi, plusieurs lots de cormus peuvent être cultivés par an, réduisant d'autant l'investissement et les amortissements des dispositifs de récolte. De plus, la manoeuvre des plantes empotées peut être mécanisée, en tout ou partie, ce qui est plus précis que la manoeuvre des machines au champ, réduisant ainsi les problèmes posés par la faible longueur des pédoncules.

Dans le présent rapport, nous décrivons les moyens de contrôler l'époque et la durée de la formation des fleurs, et l'incidence de divers paramètres environnementaux du forçage des cormus. Nous décrivons aussi les opérations de base pour la culture et la manipulation des cormus forcés en serre.

## **MOYENS ET METHODES**

Dans nos expérimentations, nous avons utilisé du safran provenant de Quero, province de Tolède, zone traditionnelle de production Espagnole de safran. Pour les essais, nous avons choisi des cormus de plus de 30 mm de diamètre n'ayant pas fleuri l'année précédente. Ces cormus ont donc un seul bourgeon principal dominant à l'apex (Molina et al., 2004a). Quand on les prélève au champ, ils ont formé environ 2,5 à 3 fleurs selon le lot. Les cormus sont relevés après la fin complète du développement, avant le jaunissement des feuilles (fin Mai, en début d'arrachage des cormus), ou après la senescence foliaire (fin Juin ou début Juillet), en fin de période d'arrachage. Les manipulations des bulbes après arrachage ont été décrites par ailleurs en détail précédemment (Molina et al., 2004a). En bref, après tri et désinfection, les cormus sont placés sur un tapis de laine de roche dans des plateaux en plastique à la densité de 457 par m<sup>2</sup> et maintenus à l'obscurité à 25° pour l'initiation florale. Après la formation des fleurs, les cormus sont recouverts d'une couche d'argile expansée (arlite) arrosés et maintenus dans le noir à 17° pour la croissance des tiges et la sortie des fleurs. Pendant la floraison, les cormus sont placés en serre à 17° avec photopériode de 8h de jour, 16 h de nuit et un éclairage photosynthétique de flux lumineux de 20 micromoles (?) par m<sup>2</sup> et par seconde, fourni par des lampes fluorescentes Pope 58W/82. La serre est établie dans une salle thermostatée avec des étagères espacées de 75 cm en hauteur pour placer les plateaux garnis de cormus. Ces étagères sont approvisionnées en plateaux par rouleaux, automatisant le mouvement des plateaux vers le dispositif de récolte. Le séjour au froid est assuré en salle à atmosphère contrôlée, les cormus étant placés sur les plateaux en plastique utilisés pour l'induction florale.

## RESULTATS ET COMMENTAIRES

### Effets de la température sur la formation de la fleur

Aucun primordium floral n'était présent dans les cormus à la fin de la période hivernale de croissance végétative. La formation de la fleur a demandé une incubation des cormus à un régime de température élevé pour l'initiation florale, suivi d'une période de températures modérément basses pour la sortie des fleurs. Ceci peut être défini comme régime chaud-intermédiaire par Res (1992). Aux conditions du champ, l'initiation florale se produit en été, en même temps que la régression d'activité méristématique dans le bourgeon apical. Les larges différences dans la chronologie du déroulement de l'initiation florales dans différents pays relatées dans la littérature étaient précédemment présumées causées par des différences de calibre des cormus (Negbi, 1999). Cependant, Molina et al. (2004a) ont rapporté jusqu'à deux mois de différence de chronologie aussi bien pour l'initiation florale que pour la floraison, pour des cormus du même lot plantés dans différentes stations en Espagne. Ces auteurs en relatant la chronologie de ces faits ont noté la prévalence des températures de l'air et du sol. Quand les cormus ont été incubés en conditions contrôlées à température constante, la température optimum pour l'initiation florale s'est trouvée être dans la fourchette 23 à 25°C (Molina et al., 2004b). L'initiation florale se produit à la reprise de croissance des cataphylles. L'augmentation de longueur des cataphylles est surtout significative une quarantaine de jours après le début de l'incubation à température élevée (Figure 1). Les bractées sont initiées vers le jour 50, et les primordia d'étamines sont visibles au jour 60. Puis se succèdent rapidement l'initiation des tépales et du gynécée. Au jour 85, toutes les parties de la fleur sont complètement initiées (Figure 1). La même chronologie pour la croissance des cataphylles aussi bien que pour l'initiation florale est constatée chez des cormus arrachés après jaunissement du feuillage (cormus à arrachage tardif) et chez ceux arrachés deux mois plus tôt (vers mi-Mai, cormus à arrachage précoce). La possibilité de formation des fleurs par les cormus est déterminée par l'époque de différenciation des bractées. Ainsi, des cormus incubés à température élevée pendant 45 à 60 jours puis transférés à basse température (voir ci-dessous) forment un nombre maximum de fleurs (Molina et al., 2004b). A ce moment, les cataphylles (= pousses) sont longues de 2 à 3 mm (Figure 1). Un allongement supplémentaire de cette incubation à température élevée n'a pas d'effet favorable supplémentaire sur la formation des fleurs. Le nombre de fleurs formées est le même dans les cormus incubés pendant 60 jours que dans ceux incubés aussi longtemps que 150 jours (Fig. 2). Pendant ce prolongement d'incubation à température élevée, on constate une augmentation notable de la vitesse de croissance des cataphylles et une perte de poids significative des cormus (Fig. 2). A l'inverse, une durée trop longue d'incubation (dépassant 150 jours) à cette température élevée produit l'avortement des fleurs (Fig. 2). La croissance des cataphylles n'est pas ralentie pour autant que la perte de poids des cormus ne soit pas trop marquée. Nous n'avons pas trouvé de relation de cause à effet entre ces facteurs et l'avortement des fleurs. En recouvrant les cormus d'une couche d'argile expansée pour réduire les pertes d'eau par transpiration, on augmente la croissance des cataphylles et on réduit la perte de poids, mais sans effet sur l'avortement des fleurs.

De plus, l'incubation des cormus à 30° C. réduit notablement aussi bien la croissance des cataphylles que la perte de poids, mais augmente aussi l'avortement des fleurs. Bien qu'un lien causal ne puisse être établi, la longueur des paraphylles est un bon paramètre d'évaluation du risque et permet ainsi de choisir la durée maximum d'incubation. La sortie des fleurs demande une température notablement plus basse que celle citée pour l'initiation florale. Elle est optimum à environ 17°C.

#### **Détermination de la date de floraison**

Comme rapporté ci-dessus, l'extension de l'incubation à 25°C. dans la fourchette de 60 à 150 jours n'a pas d'effet sur la formation et la taille des fleurs. Cependant, ceci influe sur la date de sortie des fleurs. Plus longue est la durée d'incubation, plus courte sera la durée requise ensuite à 17°C pour la sortie de la fleur (Figure 3). Les cormus incubés à 25°C pendant 59 jours commencent à fleurir 118 jours après l'arrachage, (c'est-à-dire le 11 Octobre pour des cormus arrachés le 15 Juin). Quand l'incubation est prolongée à 150 jours, la floraison débute 172 jours après l'arrachage (le 4 Décembre), pour être complète le 10 Décembre. Donc selon la durée de l'incubation à 25°C, nous pouvons obtenir une différence de 54 jours pour le début de floraison. L'influence de la durée d'incubation sur la date de floraison est remarquablement reproductible. Dans les quatre expérimentations menées pendant deux années consécutives pour tester l'effet de la durée d'incubation sur la date de floraison en utilisant différents lots de cormus, l'écart de la date réelle de floraison par rapport à la date prévue en utilisant le graphique (Figure 3) récapitulant toutes les observations n'a pas dépassé 5 jours. C'est un aspect important au vu de la programmation de la disposition des cormus en plateaux et de l'occupation de la serre (voir ci-dessous). L'humidité de l'air (dans la fourchette de 65 à 85% d'humidité relative) et la concentration du CO<sub>2</sub> (dans la fourchette de 400 à 3000 PPM) n'ont pas eu d'effet sur la formation des fleurs.

#### **Influence de la date d'arrachage des cormus**

Aucun changement morphologique n'est détectable dans l'apex des tiges pendant les deux mois précédant le jaunissement du feuillage (Molina et al., 2004b). De plus, les bulbes arrachés pendant cette période ont, à l'incubation à température élevée une réponse identique à celle des bulbes arrachés après jaunissement des feuilles (Figures 1 et 2). Dans nos essais, des cormus arrachés le 4 Mai et incubés 55 jours à 25°C ont fleuri le 10 Septembre avec un rendement en safran semblable à celui de cormus arrachés 2 mois plus tard, allongeant ainsi d'un mois la période effective de floraison. Nous n'avons pas testé le comportement de cormus arrachés à une date encore plus précoce. L'arrachage précoce entraîne une diminution notable du poids des cormus, et ce paramètre est directement relié à la floraison (De Mastro and Ruta, 1993). Une plus grande avance de la date de floraison peut être obtenue en traitant à chaud les cormus 20 jours à 30°C. Ce traitement à chaud accélère la floraison de 4 à 7 jours par rapport à des bulbes traités tout le long à 25°C (Molina et al., 2004b). Une durée supérieure de ce traitement à chaud n'apporte pas d'amélioration. Quand il est trop long (91 jours) il réduit la formation des fleurs et rallonge la sortie des fleurs.

### **Effets de la basse température**

A la différence de la plupart des géophytes, qui montrent des besoins en températures basses pour rompre la dormance du bourgeon et/ou compléter la formation des fleurs (Dole, 2003), aucun avantage du refroidissement n'a été démontré pour le safran (Molina et al., 2004c). Le froid réduit notablement la croissance et allonge la durée de formation de la fleur, mais un long stockage au froid ou un trop grand écart par rapport aux conditions optima de conservation entraînent une diminution de la production d'épice. Les paramètres critiques sont le stade de formation de la fleur issue du méristème au début du stockage, la température de stockage et la teneur en oxygène. Les cormus stockés avant la formation des primordiums floraux demande une incubation à 25°C pour leur initiation avant la période de forçage à 17°C. L'influence complexe de ces paramètres sur la floraison et la production du safran a été déterminée par Molina et al. (1994b). Les cormus arrachés le 22 Juin après jaunissement des feuilles au moment du n° de stade floral 1,5 (primordia foliaires initiés dans 50% des méristèmes) et stockés à 2°C pendant 70 jours (jusqu'au 15 Septembre), peuvent être amenés à fleurir depuis mi-Décembre jusqu'à début Janvier. La récolte de safran par cormus est légèrement plus faible (- 10%) que pour des cormus pris au champ ou induits à fleur directement sans passage au froid (Molina et al., 2004c). En poursuivant le stockage au froid jusqu'à 160 jours après l'arrachage permet d'allonger la période de floraison jusqu'à début Avril. Cette floraison décalée entraîne une baisse de récolte de safran par cormus.

Cette baisse est directement liée à la durée du séjour au froid (Table 1).

### **CONCLUSIONS**

Par la modification de la durée d'incubation à 25°, nous sommes capables d'obtenir des lots de cormus dont le début de floraison diffère de 54 jours. A partir des premiers cormus arrachés dont l'induction florale avait commencé 40 jours plus tôt, nous obtenons une durée effective de floraison de 107 jours (à la somme des deux graphiques nous devons ajouter les 13 jours de durée de floraison du dernier lot de cormus). Puisque la durée de floraison d'un lot de cormus est de 13 jours, pendant ces 107 jours nous pouvons forcer en serre la floraison de 8 lots de cormus. A la densité de plantation utilisée (457 cormus par m<sup>2</sup>) et avec la récolte d'épice safran obtenue (21,1 mg par cormus), il en résulte une récolte de safran de 672 Kg par hectare de serre. Pour produire les cormus d'un hectare de serre, nous avons besoin de la production de cormus de 20 à 30 Ha de plein champ. De plus, nous avons besoin d'équipements de stockage permettant d'incuber les cormus à 25 et 17°C pour programmer la date de floraison. La durée de floraison en serre pourrait être encore allongée par l'utilisation plus onéreuse d'un stockage au froid. Conserver les cormus au froid pendant 70 jours a peu d'effets néfastes sur le rendement en safran par cormus, et nous permettrait d'étendre l'occupation de la serre jusqu'à début Janvier. Ainsi, quatre lots supplémentaires pourraient être récoltés portant la récolte de safran à 855 Kg à l'hectare. Une prolongation supplémentaire de la période de floraison demande une plus longue durée du coûteux stockage au froid et entraînerait un rendement moindre par cormus (Table 1). Sa faisabilité économique demande à être évaluée.

En résumé, le contrôle du cadre de floraison nous amène à produire l'épice safran comme une culture industrielle. Le champ est utilisé pour la production de cormus de calibre convenable. Ces cormus sont récoltés en utilisant une récolteuse à bulbes, désinfectés et programmés dans les installations de la serre pour fleurir au moment voulu. Un résumé des conditions de cette programmation tout au long de la période de floraison et des caractéristiques de la récolte est présenté Table 1. Après sortie des fleurs et cueillette mécanique des stigmates, les cormus peuvent revenir au champ pour former de nouveaux cormus. Si on ne le désire pas, ils peuvent être utilisés comme fourrage pour bestiaux. Ce système de production minimise beaucoup de problèmes de production de safran rencontrés dans de nombreux pays. D'une part, il demande beaucoup moins de main-d'œuvre manuelle que le système traditionnel de production. D'autre part, l'extension de la floraison sur plusieurs semaines diminue le travail intensif demandé actuellement par la récolte des fleurs et la séparation des stigmates. La mécanisation de la récolte des fleurs sur des plantes cultivées en conteneurs ne doit pas présenter les difficultés insurmontables rencontrées avec la mécanisation de la récolte en plein champ (Galiano et Garbati Pegna, 1999).

#### REMERCIEMENTS

Cette recherche a été menée grâce à un contrat de recherche avec la Compañía General del Azafrán de España.

Nous remercions Mr. Agustín Escandón, directeur général, pour son aide et l'autorisation de publier ces résultats.

#### Bibliographie

- Abdullaev, F.I. and Frenkel, G.D. 1999. Saffron in Biological and Medical Research. In: Negbi, M. (ed.). Saffron (*Crocus sativus* L). Harwood, Amsterdam. p. 103-114.
- Anonymous, 1998. Especial Azafrán. Boletín 34. Instituto Técnico Agronómico Provincial, Diputación de Albacete. Albacete, Spain.
- De Mastro, G. and Ruta, C. 1993. Relation between corm size and saffron (*Crocus sativus* L) flowering. Acta Hort. 344: 512-517.
- Dole, J.M. 2003. Research approaches for determining cold requirements for forcing and flowering of geophytes. HortScience 38: 341-346.
- Fernández Pérez, J.A. and Escribano Martínez, J. 2000. Biotecnología del Azafrán. Ediciones de la Universidad de Castilla la Mancha. Cuenca.
- Galiano, F. and Garbati Pegna, F. 1999. Mechanized saffron cultivation, including harvesting. In: Negbi, M. (ed.), Saffron (*Crocus sativus* L). Harwood, Amsterdam. pp 115-126.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L. and García-Luis, A. 2004a. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L). Sci. Hort. (in press).
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., García-Luis, A. and Guardiola, J.L. 2004b. The effect of time of corm lifting and duration of incubation at inductive temperature on flowering in the saffron plant (*Crocus sativus* L). Sci. Hort. (in press).

- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., García-Luis, A. and Guardiola, J.L. 2004c. Low temperature storage of the corms extend the flowering season of the saffron plant (*Crocus sativus* L). *Sci. Hort.* (in press).
- Negbi, M. 1999. Saffron cultivation: past, present and future prospects. In: M. Negbi (ed.). *Saffron (Crocus sativus* L). Harwood, Amsterdam. pp. 1-17.
- Res, A.R. 1992. *Ornamental Bulbs, Corms and Tubers*. C.A.B. International, Wallingford, U.K.
- Winterhalter, P. and Straubinger, M. 2000. Saffron. Renewed interest in an ancient spice. *Food Rev. Int.* 16: 39-59.
- Zohary, D. and Hopf, M. 1994. *Domestication of Plants in the Old World*. 2<sup>nd</sup> Ed. Clarendon Press, Oxford.

## Tableaux

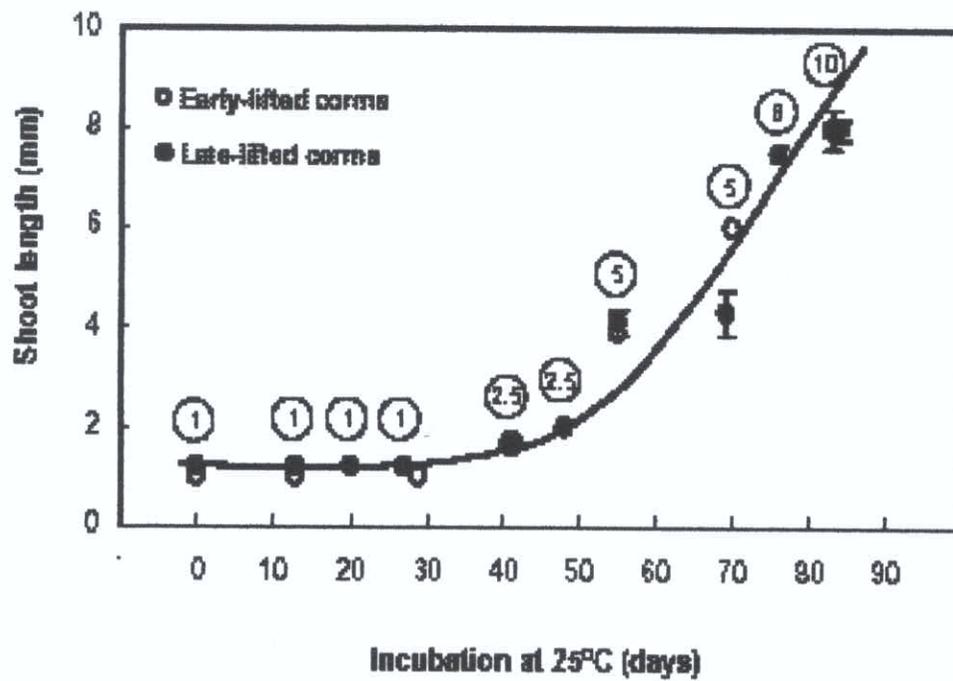
**Tableau 1:** Résumé du protocole de production de safran en serre. Pour chaque lot de cormus, les paramètres de stockage, le forçage de floraison, la date de floraison et la récolte d'épice sont indiqués. Source des données: Molina et al. (2004 b, c)

Desired period of flowering <sup>a</sup>	1 Sep 10 Oct	11 Oct 10 Dec	13 Dec 25 Jan	19 Jan 26 Feb	10 Feb 22 Mar	24 Mar 8 May
<u>Handling parameters</u>						
Corm lifting <sup>b</sup>	Early	Late	Late	Late	Late	Late
Heat curing	Yes	Optional	No	No	No	No
Cold storage (days)	None	None	70	100	130	160
25°C incubation (days)	41-84	59-150	45-109	45-109	45-109	45-109
<u>Flowering parameters</u>						
Flowers per corm	2.4	2.7	2.3	1.6	1.8	1.4
Saffron (mg flower <sup>-1</sup> )	8.1	8.5	8.6	8.8	8.3	8.1
Saffron (mg corm <sup>-1</sup> )	19.6	22.3	19.6	14.1	14.7	11.2

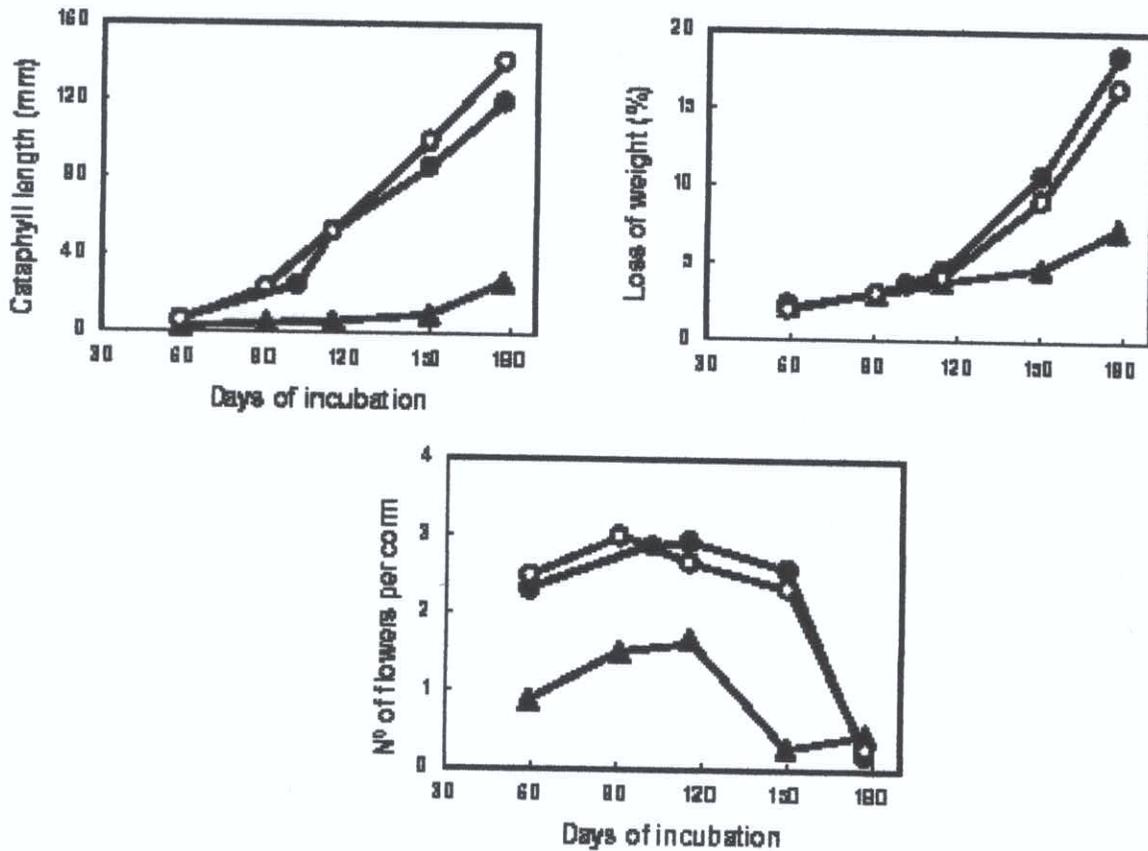
a) La période de floraison de chaque lot est déterminée par la durée d'incubation à 25°C

b) Tôt = début Mai, tard = début Juin. Dates pour Quero, Espagne

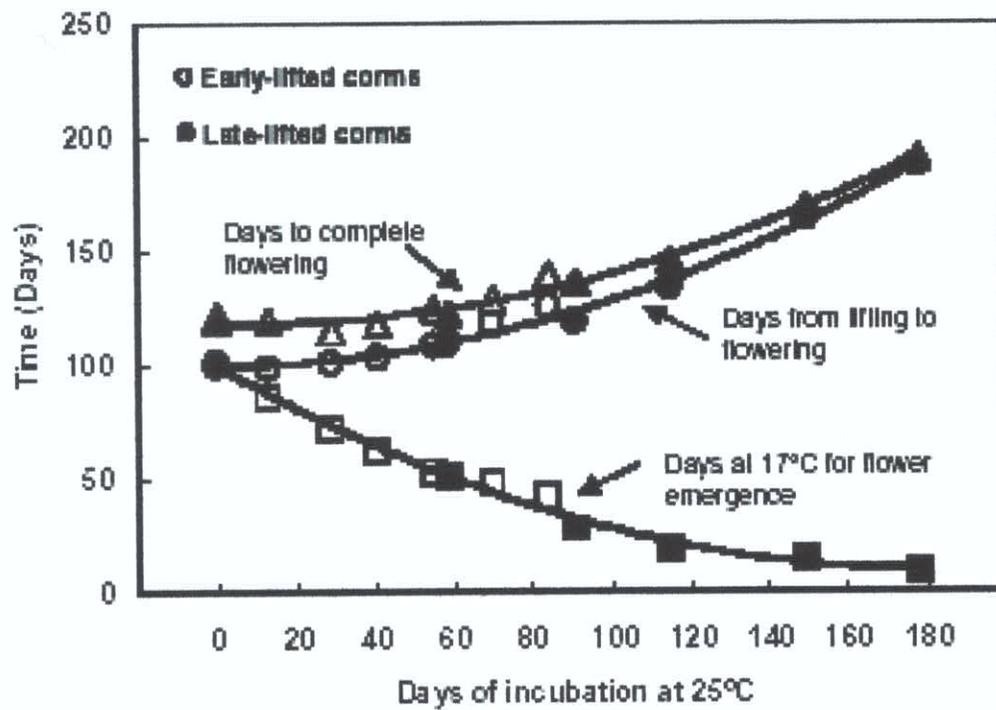
## Graphiques



**Fig. 1:** Stades de développement des cataphylles (=pousses) et stades d'initiation florale ( Nos de stades encadrés) pendant l'incubation des cornus à 25°C. Données pour arrachage tôt (début Mai=□) et arrachage tard (début Juillet=●). Les numéros des stades d'initiation florale sont définis par Molina et al. (2004a). Stade 4 formation des bractées, stade 6 formation des étamines, stade 8 formation des tépales, stade 10 formation du gynécée.



**Fig. 2:** Effets de la durée d'incubation à température élevée sur la formation de la fleur, la longueur des cataphylles et la perte de poids des cormus. Cormus incubés soit à 25°C (●) soit à 30°C (▲). Certains cormus incubés à 25°C sont recouverts d'une couche d'argile expansée pour réduire les pertes par transpiration (o). Le nombre de fleurs est donné à l'émergence après incubation à 17°C.



**Fig. 3:** Effets de la durée d'incubation à 25°C sur le délai requis à 17°C pour le début d'émergence des fleurs et nombre de jours entre arrachage et floraison. La différence entre les dates de début d'émergence des fleurs (indiquées par la ligne "jours entre arrachage et floraison") et les dates de floraison complète est la durée de floraison.