

# Étude du comportement de différents génotypes de rosiers de serre (*Rosa hybrida*) propagés par bouturage. II. Durée des phases du développement de miniplants du cultivar Sonia en conditions artificielles d'éclairage et de température

E Berninger

INRA – Station d'amélioration des plantes florales, 83370 Saint-Ayulf, France

(Reçu le 16 août 1991; accepté le 20 février 1992)

**Résumé** — Le bouturage de tronçons de tige calibrés, enracinés en conditions artificielles constantes, fournit des «miniplants» (rosiers en pots en première floraison) pratiquement affranchis des effets saisonniers antérieurs. Leur culture en chambres climatisées avec contrôles de température et d'éclairage a été faite pour définir les lois d'action du rayonnement *PAR* et de la température moyenne de l'air *T* sur les principales étapes apparentes du développement du cultivar Sonia.

Quatre stades définis (0 = suppression de l'inhibition du bourgeon, 1 = pousse atteignant 1 cm de long, B = bouton floral apparent, F = début de l'anthèse) délimitent 3 périodes successives (0-1), (1-B) et (B-F). Les effets de quelques variations introduites dans la technique de bouturage justifient la normalisation des opérations de bouturage.

Pour les miniplants normalisés, les rôles de l'éclairage et de la température varient selon les périodes: en (0-1), action prépondérante de *T*, entre 18 et 26 °C; en (1-B), action essentielle de *PAR* sur %B, action conjuguée de *PAR* et *T* sur la durée de cette période; en (B-F), action prépondérante de *T* sur la durée. Les repousses obtenues après coupe de la première pousse évoluent plus vite et avortent moins fréquemment que les miniplants et paraissent moins sensibles à l'effet frein des températures élevées et à l'effet avortement des *PAR* faibles. La dissection d'apex montre que le stade B ne marque pas la fin de la différenciation de la fleur: la réduction de l'effet *PAR* en période (B-F) semble indiquer que seule la phase de réelle différenciation florale serait dépendante du *PAR*.

**rosier de serre / bouturage / milieu contrôlé / action de la température / action de l'irradiance / développement**

**Summary** — Study of the behaviour of different genotypes of greenhouse rose bushes (*Rosa hybrida*) propagated by cuttings. II. Development time of "Sonia" miniplants in artificial light and temperature conditions. Cutting standardized stem pieces and rooting these under constant artificial conditions provided "miniplants" that could be grown in pots until the first flower, and which were practically free of season or storage effects. They were grown in controlled environment chambers with temperature and light control, in order to evaluate the effects of *PAR* irradiance and average air temperature, *T*, on the principal visible stages of development of the cultivar "Sonia". Four stages were defined (0 = release of bud inhibition; 1 = sprout length 1 cm; B = flower bud visible; F = beginning of anthesis), which determine 3 periods (0-1), (1-B), (B-F). The data analysed were as follows: the duration of each period; percentage of flower buds = % B; number of leaves on the stem = N. The duration of the period (0-1) was established with stipulary sprouts or regrowths, the duration of periods (1-B) and (B-F) with axillary sprouts (table I). The effects of

2 variations in the process of propagation justified a strict observance of standardization for reliable results (tables II, III). With standardized miniplants, the effects of light and temperature varied according to the periods: T in the range 18-26 °C prevailed on duration of period (0-1), PAR was essential for % B, and acted in relation with T on duration (1-B), T again prevailed on duration (B-F) (tables IV, V). The following mathematical models could be proposed for the durations of (1-B) and (B-F) (table VI):

$$y(1-B) = PAR^{0.17} \times f(T),$$

$$y(B-F) = PAR^{0.05} \times g(T),$$

where  $f(T)$  and  $g(T)$  are parabolas or hyperbolas with differing values of the parameters. The regrowths grew faster and with less flower bud abortion than the miniplants, and seemed to be less sensitive to high T or low PAR effects. Dissection of apices showed that stage B did not coincide with the end of flower differentiation (fig 3). Thus, the reduction of PAR effect during the (B-F) period could be an indication that only the true period of differentiation is PAR dependent.

### **greenhouse rose / cutting / controlled environment / temperature effect / light effect / development**

## **INTRODUCTION**

La mise à fleur des rosiers de serre remontants a été définie comme auto-inductible, indifférente à la photopériode (Halevy 1972; Zieslin et Mor 1990). Il est admis dans la pratique que la mise à fleur des variétés courantes de serre demande une quantité d'éclairement d'au moins 1 MJ PAR · m<sup>-2</sup> · j<sup>-1</sup> (le PAR est le rayonnement actif pour la photosynthèse, de longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm) et une température moyenne comprise entre 17 et 25 °C, les différences d'exigences entre cultivars étant appréciables. Leur caractérisation est faite, surtout en hiver, au moyen d'essais culturaux en serre sous différentes latitudes et pour différentes températures de consigne.

Van den Berg (1987) a établi les durées des phases de débourrement, différenciation du bouton floral et maturation de la fleur de Sonia et Ilona aux Pays-Bas pour différentes conditions de chauffage en serres et en phytotrons. D'autres auteurs (Moe et Kristoffersen, 1969; Moe, 1972; Wiseley et Lindstrom, 1972; Armitage et Tsujita, 1979) ont établi la réponse de quelques cultivars aux facteurs climatiques, mais surtout à un éclairage supplémentaire.

Dans un premier article, Berninger *et al* (1990), ont présenté les observations concernant le bouturage et le comportement en serre de «miniplants» (= jusqu'à la première florai-

son) d'une collection de cultivars et génotypes, et recherché les relations possibles pour quelques caractères, entre le comportement de ces miniplants et celui de plants adultes.

Les relations existant entre variables climatiques et durées des phases successives du développement ne pouvaient être bien analysées qu'en ayant une maîtrise suffisante et indépendante des conditions thermiques et lumineuses. D'autres essais ont donc été conduits en chambres climatisées à différents niveaux de température de l'air ( $T$ ) et d'irradiance ( $PAR$ ).

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Matériel végétal**

Le cultivar "Sonia" (Sweet Promise Meilland) se caractérise par sa facilité de culture. Il a été l'objet de nombreux essais et se bouture aisément.

Les tiges donneuses de boutures sont produites dans les serres de la station d'amélioration des plantes florales, à Fréjus, et récoltées si possible au stade du début d'épanouissement de la fleur.

Les boutures sont préparées et enracinées selon la technique précédemment décrite (Berninger *et al*, 1990). La morphologie des boutures et les conditions du bouturage sont maintenues constantes dans les essais successifs. Lorsque le système racinaire est jugé suffisant (18<sup>e</sup> au

21<sup>e</sup> j), les boutures sont empotées en pots de 1 l ou 0,5 l avec le substrat NTS 2 : gravier de porphyre (50 : 50) et disposées sur des tablettes de culture réglables en hauteur dans 2 chambres climatisées. Les apports selon besoins (en général tous les 2 j) d'eau du robinet suffisent à maintenir la culture sans carence évidente jusqu'à floraison. Des apports minéraux minimes deviennent nécessaires pour poursuivre la culture et observer les repousses de ces miniplants.

### **Chambres climatisées**

Elles sont équipées de tablettes mobiles dans le sens vertical, abaissées à mesure de la croissance pour maintenir si possible constante la distance entre le sommet des plantes et les sources lumineuses.

La chambre A comprend 4 secteurs de travail, sous éclairagements différents séparés par des écrans évitant l'irradiation directe d'un plan de travail par les autres sources lumineuses.

Ces sources sont :

- des tubes fluorescents de type blanc brillant, 500 et 1 000 W de puissance installée, assurant au niveau de la végétation respectivement 15 et 30 W PAR · m<sup>-2</sup>;
- des lampes sodium à haute pression, 400 et 1 200 W de puissance installée, assurant respectivement 20 et 60 W PAR · m<sup>-2</sup>.

Du fait d'éclairagements indirects, les spectres lumineux ne sont pas purement fluorescent ou sodium HP.

En photopériode de 12 h sur 24, la quantité journalière d'éclairage PAR au sommet des plantes est respectivement de 0,65; 1,30; 0,86; 2,60 MJ · m<sup>-2</sup>, alors qu'elle varie dans nos serres en moyennes mensuelles de 1,20 MJ · m<sup>-2</sup> en hiver à 5 MJ · m<sup>-2</sup> en été, sous toiture blanche (Berninger, 1989).

La température moyenne de l'air des secteurs peu et très éclairés diffère d'environ 0,6 °C de la température moyenne de consigne. L'hygrométrie relative varie de 80% en photopériode à 100% en scotopériode.

Cinquante pots peuvent être disposés dans chaque condition d'éclairage.

La chambre B, en éclairage uniforme par tubes fluorescents réglable de 15 à 60 W PAR · m<sup>-2</sup>, dont l'hygrométrie relative a été maintenue entre 80 et 90%, permet de mettre en expérience environ 130 pots, soit 16 lignes de 8 pots. Le brassage de l'air y est plus important qu'en chambre A.

### **Caractères et notations**

Le suivi du développement est assuré par le relevé journalier individuel des stades 1 cm (1), bouton visible (B), début d'anthèse (F). On en déduit le pourcentage de boutons (% B) apparus ou poursuivant leur développement (en conditions très limitantes, une partie des boutons apparus peut se dessécher). La notation du nombre de feuilles de la tige florale (N) indique le nombre de feuilles composées ou simples dont le limbe couvre plus de 1 cm<sup>2</sup>, et non le nombre de nœuds de la tige. D'autres caractéristiques permettent de préciser des différences entre traitements : poids de pousses, nombre de pétales des fleurs ainsi qu'anomalies éventuelles sur tige, feuillage, bouton, fleur épanouie. L'irradiance est déterminée au début de chaque expérience à l'aide de photopiles (Licor Quantum Sensor), la température de l'air de chaque parcelle est enregistrée en continu. Les analyses statistiques (calculs de régressions) sont faites au moyen du logiciel STAT.ITCF.

### **Essais réalisés**

À l'issue du bouturage, on dispose de plants non débourrés dont le bourgeon axillaire est apparemment quiescent et de plants en cours de débourrement, ou porteurs d'une pousse en croissance après débourrement du bourgeon axillaire. Le pourcentage de plants débourrés varie notamment selon les génotypes et les saisons de prélèvement. Par ailleurs, l'évolution des pousses « axillaires » ou « stipulaires » n'est pas la même pendant les premiers stades de leur développement. Une pousse axillaire correspond bien à la croissance du bourgeon axillaire présent à l'aisselle de chaque feuille. Le terme de pousses stipulaires, consacré dans la pratique horticole, correspond à la croissance de bourgeons secondaires axillant les écailles présentes à la base de cette pousse axillaire, activés après suppression du sommet de cette pousse (Berninger *et al.*, 1990).

On a recherché et exploité surtout les données obtenues sur pousses axillaires. Des essais préliminaires avaient pour but d'évaluer l'uniformité de réponse des miniplants et les répercussions de variations contrôlées introduites dans la technique de bouturage (dimensions et âge des boutures, conditions d'éclairage, état du substrat, etc).

Ensuite, les miniplants de Sonia ont été soumis à plusieurs régimes thermiques, dans la gamme de 17 à 30 °C et à plusieurs irradiances, dans la gamme de 15 à 60 W · m<sup>-2</sup>.

Les mauvaises réactions de jeunes miniplants aux températures les plus élevées ont conduit à étudier la culture de repousses, donc de plants à

système racinaire plus développé et âgé, et par là à observer la relation entre miniplants et «culture adulte».

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Comparaison de miniplants d'origine axillaire (Ax) et stipulaire (Sti)

Sonia offre en général les 2 possibilités à l'issue du bouturage. Dans l'essai à 21 °C du tableau I, seule la durée de la phase de débourrement (0-1 cm) varie sensiblement avec l'origine des pousses. L'écart type de la durée de cette phase est toujours plus élevé chez les plantes axillaires, en raison d'une hétérogénéité de l'état des bourgeons estimés quiescents (stade 0) à la mise en place de la culture. Une estimation fiable de la durée de la phase de débourrement ne peut se faire qu'à partir des données obtenues chez des plants stipulaires. Cependant, en pratique, les pousses axillaires sont le principal objet de l'exploitation du rosier, ce qui justifie d'avoir privilégié le matériel axillaire pour l'étude des phases (1-B) et (B-F).

Dans l'essai à 21 °C, le nombre de feuilles par tige *N* est corrélée positivement à la durée

de la phase (1-B) mais peu ou pas à la durée de la phase (B-F) :

$r_{N-durée(1-B)} Ax = + 0,91$  (très significatif)

$Sti = + 0,55$  (très significatif)

$r_{N-durée(B-F)} Ax = + 0,49$  (à la limite de signification à  $P = 0,05$ )

$Sti = + 0,19$  (non significatif)

Les essais à 24,5 et 26 °C portent sur des effectifs plus réduits et ont été arrêtés avant la pleine floraison.

### Effets de variations introduites dans la technique de bouturage

#### Variations de la surface foliaire initiale portée par la bouture

La norme de surface prévue est de 60 cm<sup>2</sup>, assurée par une réduction de surface approximative au moment du bouturage. Ce feuillage adulte ne grandit plus. Dans cet essai (tableau II), le feuillage d'une série de boutures a été réduit de 50% environ par rapport au témoin. Les surfaces ont été mesurées à la fin de l'essai par planimétrie. À l'issue du bouturage, le système racinaire du témoin était noté plus développé.

**Tableau I.** Comparaisons de miniplants d'origine axillaire (Ax) et stipulaire (Sti) – Chambre B – 55 W·m<sup>-2</sup>. Les durées entre parenthèses sont établies pour un nombre très faible de plants; mq = donnée manquante.

Temp (°C)	Orig	Nb plants	Phase 0-1 cm durée		Phase 1 cm-B durée		Phase B-F durée		Nb feuilles		% B
			j	σ	j	σ	j	σ	N	σ	
21,0	Ax	16	6,2	1,4	14,6	0,9	23,6	1,0	10,1	1,0	100
	Sti	64	7,9	0,7	14,3	1,1	23,6	1,0	9,4	1,0	100
24,5	Ax	8	5,5	1,8	12,2	0,9	(16)		8,8	1,2	100
	Sti	8	7,8	0,9	13,0	1,1	(15)		10,9	1,0	100
26,0	Ax	8	4,4	2,0	11,0	1,9	(15)		mq		100
	Sti	8	5,8	0,5	10,6	0,8	mq		mq		88

**Tableau II.** Effet de la surface foliaire portée par la bouture. Pousses d'origine stipulaire – Chambre A – 19 °C, 20 W·m<sup>-2</sup> sodium HP.

Surface foliaire	0-1 cm durée		1 cm – B durée		Nb feuilles		% B
	j	σ	j	σ	N	σ	
Normale 58 cm <sup>2</sup>	10,6	0,5	24,4	2,2	9,8	0,8	76
Réduite 32 cm <sup>2</sup>	10,7	0,7	27,1	2,2	9,3	0,8	76

Il y a une différence sensible, non significative, de durée de la phase (1-B) entre les traitements: la réduction de surface foliaire est de 45%, et la durée (1-B) augmente de 11%. Les 2 catégories de miniplants présentent le même pourcentage de boutons.

### **Variations de l'irradiance et de la nature de l'éclairage au cours du bouturage**

Le bouturage normalisé se fait sous irradiance de 10-12  $W \cdot m^{-2}$  au niveau du feuillage, par lampes sodium diffusantes à haute pression.

Dans cette expérience, le bouturage a été fait en caissons sous 2 conditions d'éclairage: 24 et 12  $W \cdot m^{-2}$  (tubes fluorescents). La température dans le caisson 24  $W \cdot m^{-2}$  a été supérieure de 2 °C environ à celle du témoin 12  $W \cdot m^{-2}$ . Les boutures placées sous 24  $W \cdot m^{-2}$  étaient nettement plus enracinées à l'issue du bouturage. En miniplants, la réduction de la durée des phases (0-1) et (1-B) sous 15  $W \cdot m^{-2}$  est nette. Il n'y a pas d'effet apparent sur la durée de la phase (B-F) (tableau III).

Les effets d'un supplément de surface foliaire initiale et ceux d'un supplément d'éclairage au cours du bouturage semblent très comparables et en accord avec les observations de Dubois et de Vries (1985).

### **Autres facteurs étudiés**

D'autres variations n'ont pas entraîné de conséquences notables:

- diamètre des boutures (de tiges florifères normales): celles issues de tiges «grosses» (diamètre moyen de 6,4 mm) ont eu le même comportement que celles issues de tiges «fines» (diamètre moyen de 5 mm);
- fertilisation du substrat de bouturage: la fertilisation a provoqué l'émission et la croissance plus rapide des racines, mais la reprise des miniplants après transplantation a été médiocre, peut-être révélatrice d'un matériel plus fragile;
- âge des «bois» bouturés: des bois de 6 mois, après fructification, gros et denses, ont été comparés au bois normal, jeune. Les boutures âgées ont montré une mortalité élevée en cours de bouturage, une sénescence du feuillage initial, des blocages des bourgeons.

La technique standard de bouturage appliquée n'est donc pas optimale, mais justifiée par sa simplicité, et éprouvée par 3 ans de pratique. Le comportement des boutures

elles-mêmes présente une variabilité saisonnière certaine, ou une variabilité liée à toute circonstance non contrôlée précédant le prélèvement et lors du prélèvement (âge physiologique des tiges, etc). On observe notamment des variations dans la rapidité et le pourcentage de débourrement en cours de bouturage, mais l'évolution des miniplants n'a pas paru affectée par cette variabilité antérieure, dont les effets sont donc suffisamment atténués par 18-21 j en conditions artificielles et la croissance *de novo*.

### **Comportement de miniplants axillaires en conditions variées de température et d'irradiance**

L'essai le plus complet et le plus précis, réalisé avec Sonia a été mené à 20 °C environ (tableau IV). Il montre que les paramètres importants sont la température et l'irradiance mais non la nature (fluorescent/sodium) des éclairagements.

Les autres résultats, acquis avec des lots de 8 plants au minimum, sont rassemblés dans le tableau V. Dans ces essais, Sonia était environné d'autres cultivars mais, étant le génotype le plus précoce, il n'a pas souffert de compétitions.

Une partie des essais a été arrêtée avant floraison, intentionnellement, ou en raison d'avaries, notamment des dispositifs d'éclairage. Pour 2 essais, les résultats concernant la phase (1-B) ne sont pas indiqués, en raison de l'origine stipulaire du matériel.

Quand un même lot de bouturage est cultivé simultanément sous des irradiations différentes, on observe souvent un nombre de feuilles *N* plus grand sous les éclairagements les plus élevés. Ceci peut correspondre à une augmentation réelle du nombre de feuilles ou simplement à un accroissement de surface de feuilles «marginales» ou d'ébauches qui ne sont pas prises en compte sous éclairage faible.

### **Pourcentage de boutons floraux (% B)**

Dans la majorité des essais, les irradiances comprises entre 30 et 60  $W \cdot m^{-2}$  permettent une réussite de 100% ou proche de 100% du développement floral. Sous irradiance de 15  $W \cdot m^{-2}$  les % B sont assez variables, la

**Tableau III.** Effet de l'éclairement au cours du bouturage, sur le comportement ultérieur des miniplants (8 plants par lot). Pousses d'origine axillaire – Chambre A, 23 °C, 15 W·m<sup>-2</sup> et 23,5 °C, 30 W·m<sup>-2</sup>.

Éclairement (W·m <sup>-2</sup> )		0-1 durée j	1-B durée j	B-F durée j	Nb feuilles	% B
Bouturage	Miniplants					
24	15	4,3	12,4	21,0	7,2	25
	30	5,6	10,6	19,8	8,2	100
12	15	6,1	16,6	21,0	7,8	38
	30	6,2	11,7	19,8	8,8	100

**Tableau IV.** Comportement de miniplants, issus de bouturage normalisé, sous 4 éclairagements différents (à température voisine) – Pousses d'origine axillaire – 24 plants par lot – Chambre A – T moyenne 20 °C.

Éclairement (W·m <sup>-2</sup> )	T réelle (°C)	0-1 cm durée		1 cm-B durée		B-F durée		Nb feuilles		% B
		j	σ	j	σ	j	σ	N	σ	
Fluo 15	19,1	5,2	1,9	22,8	0,8	29,5	0,6	7,8	0,9	44* 16
Fluo 30	19,8	6,0	2,1	18,0	2,2	27,9	1,1	8,5	1,2	96
Sodium 20	19,8	5,7	1,8	20,2	2,4	27,1	1,1	8,2	0,9	76
Sodium 60	20,4	6,5	2,1	13,6	1,4	23,6	1,0	8,6	1,2	100

\* Dessèchement d'une partie des boutons, floraison 16%.

**Tableau V.** Comportement de miniplants, issus de bouturage normalisé, sous différents éclairagements et températures – Pousses d'origine axillaire – 8 plants au moins par lot.

Éclairement (W·m <sup>-2</sup> )	T réelle (°C)	1 cm-B durée		B-F durée		Nb feuilles N	% B
		j	σ	j	σ		
<i>Ch A</i>							
Fluo 15	20,0	19,0	–			8,0	30
Fluo 30	20,5	16,4	–			9,0	44
Sodium 60	21,0	13,3	1,8			9,8	90
Fluo 15	22,5	16,0	1,7	21,0	–	8,0	50
Fluo 30	23,0	12,0	2,0	19,8	1,0	9,0	100
Sodium 50	19,0	17,6	2,3			8,9	100
<i>Ch B</i>							
Fluo 55	21,0	14,6	0,9	23,6	1,0	10,1	100
Fluo 55	24,0	12,2	0,9	16,0	1,0	8,7	100
Fluo 55	26,0	11,0	1,9	(15)	–	–	100
Fluo 50	29,3	10,3	1,3	14,9	1,1	9,8	100
Fluo 35	28,0			14,7	0,8	6,7	100* 75
<i>(Sti)</i>							

\* dessèchement d'une partie des boutons, floraison 75%

moyenne s'établissant à 30%. Le seul résultat obtenu sous irradiance de 20 W·m<sup>-2</sup> est de 76%. Dans une gamme thermique de 19 à 26°C, l'éclairement de 30 W·m<sup>-2</sup> × 12 h semble être le niveau critique au-dessous duquel l'avortement devient fréquent.

À 30 °C, le démarrage des miniplants peut être compromis. Au-dessous de 18 °C, en éclairage faible, l'évolution est très lente.

#### **Relations entre durées des phases (1-B) et (B-F), irradiance et température**

Dans la gamme des températures comprises entre 19 et 23 °C, on dispose de données en irradiance faible (15 W·m<sup>-2</sup>), moyenne (30 W·m<sup>-2</sup>) et forte (50-60 W·m<sup>-2</sup>) qui montrent un certain parallélisme des relations température – durée des phases.

Dans le domaine des températures et du rayonnement explorés, le modèle mathématique qui peut être proposé est de la forme :

$$\text{durée d'une phase} = PAR^n \times f(T),$$

en supposant indépendants les effets de la température et du rayonnement. Le paramètre  $n$  se calcule, pour une température donnée, à partir des rapports entre les durées de la phase (1-B) déterminées dans les différentes conditions d'irradiance :

$$\frac{\text{durée}(30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})}{\text{durée}(15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})} = 0,89$$

$$\text{et } \frac{\text{durée}(55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})}{\text{durée}(30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})} = 0,92.$$

On en déduit

$$n = 0,17, \text{ d'où l'équation} \\ y(1-B) = PAR^{0,17} \times f(T)$$

Cependant les durées réalisées sous l'éclairage sodium HP de  $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  s'ajustent mal à cette relation (fig 1).

Pour la phase (B-F), les rapports

$$\frac{\text{durée}(30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})}{\text{durée}(15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})} = 0,97$$

$$\text{et } \frac{\text{durée}(55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})}{\text{durée}(30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})} = 0,975$$

permettent de calculer la valeur de l'exposant  $n'$  :

$$n' = 0,05, \text{ d'où l'équation} \\ y(B-F) = PAR^{0,05} \times g(T).$$

Il est possible que la situation, notamment à  $T$  plus élevée, soit plus complexe (interactions entre  $T$  et  $PAR$ ). Notre approche est bien sûr simplificatrice. Van den Berg (1987) observe une accélération du développement de Sonia pendant la phase (1-B), jusqu'à la quantité d'éclairage  $PAR$  journalier de  $3 \text{ MJ} \times \text{m}^{-2}$ , mais pas au-delà de ce seuil qui correspond à une irradiance de  $69,4 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$  pendant 12 h. Ce niveau n'est pas atteint dans nos chambres climatisées, mais la valeur de  $3 \text{ MJ}$  est sensiblement la moyenne annuelle réalisée dans les serres de la station, et constitue donc une référence acceptable. Les durées effectivement réalisées sous les différentes irradiances  $PAR_i$  en ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ ) ont donc été corrigées et ramenées aux valeurs qu'elles auraient sous l'éclairage de référence de  $3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ , en leur appliquant les coefficients multiplicateurs suivants :

$$\left(\frac{PAR_i}{3}\right)^{0,17} \text{ pour la phase (1-B),}$$

$$\left(\frac{PAR_i}{3}\right)^{0,05} \text{ pour la phase (B-F).}$$

Les relations entre les durées des phases corrigées de l'influence du rayonnement ( $yc$ ) et la température peuvent s'ajuster à différents modèles mathématiques, dont les plus simples sont exponentiel, hyperbolique ou parabolique (tableau VI, Jolivet *et al*, 1982, De Jong, 1989); les données expérimentales s'ajustent de façon satisfaisante à chacun de ces modèles dans la gamme des conditions explorées; il convient cependant de faire les remarques suivantes :

– le modèle exponentiel ne rend pas bien compte de la concavité des courbes et devient irréaliste au-delà des températures d'essai (gamme de 18 à  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ );

– l'hyperbole  $y = K/T - T_0$  fournit 2 paramètres d'intérêt biologique: le paramètre  $K$ , ou «Somme de températures»  $\Sigma T$  et le 0 de végétation  $T_0$  théorique, mais elle ne rend pas compte des durées minimales réalisées vers  $25$  (1-B) ou  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  (B-F);

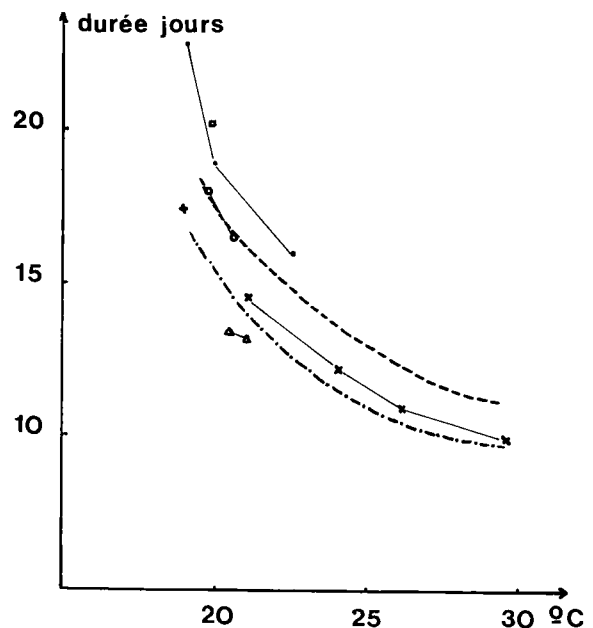


Fig 1. Durées observées de la période (1-B) en fonction de la température et de l'irradiance. Courbes théoriques corrigées pour les irradiances de  $30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (---), et de  $69,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (— — —).  $15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  Fluo,  $\circ$   $30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  Fluo,  $55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  Fluo,  $\square$   $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  sodium,  $+$   $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  sodium,  $\Delta$   $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  sodium.

**Tableau VI.** Ajustement des durées  $y$  corrigées de l'effet du *PAR* pour les périodes (1-B) et (B-F), et des durées observées pour la période (0-1 cm) à 3 modèles d'action de la température.

Période	Ajustement	Formule	Coef détermin	SCE
0-1 cm (stipulaires) 8 observations	Exponentiel	$y = 31,74 \cdot E(-0,0589 T)$	0,87	5,17
	Hyperbole	$145,90/(T - 4,61)$	0,91	3,81
	Parabole	$6,50 + 0,048 (27,60 - T)^2$	0,93	2,77
1 cm-B (axillaires) 13 observations	Exponentiel	$yc = 53,23 \cdot E(-0,0630 T)$	0,86	9,46
	Hyperbole	$186,91/(T - 7,66)$	0,90	6,70
	Parabole	$9,66 + 0,088 (27,91 - T)^2$	0,92	5,57
B-F (axillaires) 10 observations	Exponentiel	$yc = 112,30 \cdot E(-0,0749 T)$	0,96	10,51
	Hyperbole	$256,45/(T - 9,80)$	0,98	5,76
	Parabole	$14,24 + 0,146 (28,69 - T)^2$	0,99	2,75

SCE = Somme des carrés des écarts

– la parabole,  $y = a + b(T_{opt} - T)^2$ , irréaliste aux basses températures, définit une durée minimale ( $a$ ) et une température optimale.

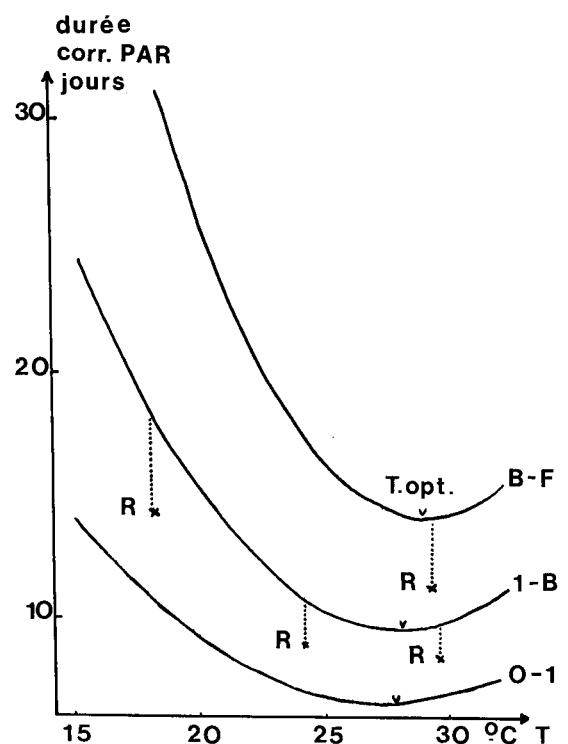
Pour les durées corrigées de l'influence du rayonnement, l'ajustement parabolique est un peu meilleur que les autres. En fait, la relation parabolique n'est vraiment bonne qu'au voisinage de la température optimale, et il est certain que le développement est arrêté bien avant d'atteindre  $T_0$  de l'ajustement hyperbolique (fig 2 – courbes d'ajustement parabolique).

En ce qui concerne la phase (0-1 cm), jusqu'à 26 °C, sa durée, à partir d'un temps 0 défini par la suppression de la pousse sus-jacente, est en relation avec la température, et dépend peu de l'éclairement. Sous irradiance élevée, l'éclairement tend même à ralentir la croissance, probablement par son effet local sur l'hygrométrie ambiante et la turgescence des tissus et en modérant l'étiollement de la pousse. Cette phase est aussi très dépendante de facteurs internes, déjà évoqués à propos du bouturage, de la saison, du niveau et de l'exposition de la bouture sur la tige, des hétérogénéités non contrôlées (dose d'hormone absorbée, micro-environnement, etc).

La dissection d'apex au cours du développement, du stade bourgeon quiescent jusqu'à la floraison, a déjà été réalisée par plusieurs auteurs (Horridge et Cockshull, 1974, Cockshull et Horridge, 1978, Zamski *et al*, 1985). Elle a été reprise ici sur du matériel cultivé en serre, en avril-mai, pour préciser l'état réel du développement méristématique lors des stades repères 1 cm et B. Les résultats sont donnés dans la figure 3. Il n'a pas été possible de disséquer suffisamment de matériel

élevé en chambres climatisées où les pousses sont plus petites et plus fragiles.

Au stade B, la différenciation florale n'est pas terminée, elle se poursuit encore pendant environ 1/3 de la phase (B-F). Ensuite, la durée de la phase terminale de croissance sans différenciation ne serait plus influencée par l'irradiance, dans la limite de la gamme d'éclaircements explorée. Mais l'action positive du rayonnement *PAR* sur les caractéristiques



**Fig 2.** Courbes d'ajustement parabolique durée – T et position des données «repousses» (R) par rapport à ces courbes.



de croissance, à tous les stades, est certaine : diamètre de la pousse axillaire, nombre de pousses stipulaires, poids des tiges, des feuilles et des fleurs.

La caractérisation des 3 périodes et des principaux facteurs régissant leur durée est résumée dans le tableau VII.

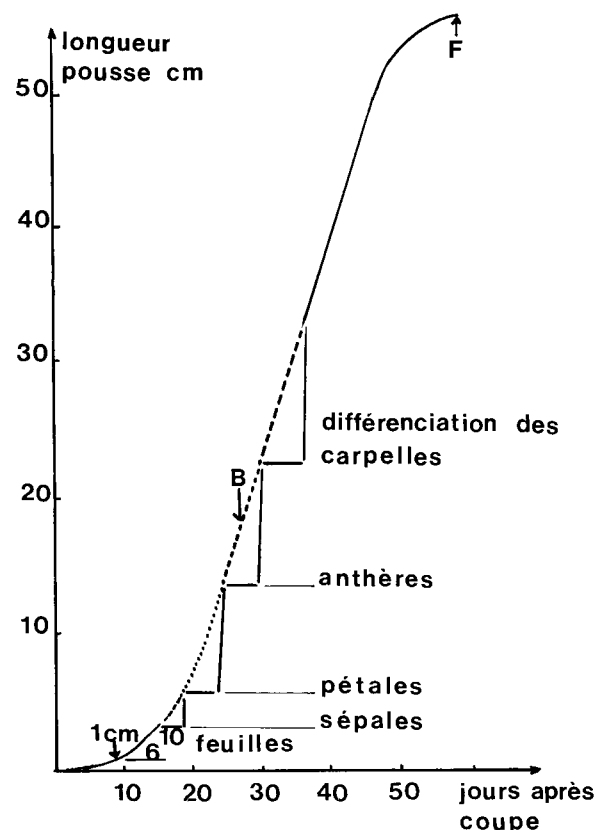


Fig 3. Évolution apparente et différenciation de l'apex de Sonia.

### Comportement des repousses

Le début de culture des miniplants à température élevée peut être compromis par le passage brutal de l'ambiance du bouturage ( $22^{\circ}\text{C}$ ,  $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 100% HR) aux conditions expérimentales ( $30^{\circ}\text{C}$ , 15, 30,  $60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 80% HR).

On est amené, soit à élever progressivement la température, soit à utiliser des plants déjà développés (miniplants d'un essai précédent en chambre climatisée, rabattus au-dessus de la 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> feuille de la nouvelle tige) ou plus développés et endurcis (miniplants d'un essai en serre, à floraison, rabattus comme ci-dessus).

Le débourrement le plus rapide est celui des repousses sur miniplants de chambre climatisée, puis sur miniplants «endurcis» (-2 et -1 j respectivement, par rapport aux miniplants). La durée de la phase (1-B) est également plus courte chez ces plants. Après application du facteur correctif PAR basé sur l'observation des miniplants, la différence de durée entre repousses et miniplants reste proche de 3 j à  $20^{\circ}\text{C}$ , 2 j à  $25$  et  $30^{\circ}\text{C}$  (cf données R, fig 2). La durée de la phase (B-F) est réduite surtout à T élevée; la température optimale de l'ajustement parabolique serait supérieure à  $30^{\circ}\text{C}$ .

Il semble donc que le ralentissement du développement à T élevée, suggéré par l'ajustement parabolique, soit en grande partie lié au type de plants considéré, donc à leur fonctionnement physiologique. Il pourrait en être de même de leur comportement sous éclairage réduit. Effectivement, la repousse de miniplants endurcis (cultivés en serre en

Tableau VII. Caractérisation physiologique et climatique des 3 périodes étudiées.

Périodes	0-1 cm	1 cm-B	B-F
Caractérisation	Grandissement	Différenciation feuilles, fleur	Fin différenciation fleur
Physiologique	Début différenciation des feuilles	Grandissement	Grandissement
Facteurs «internes»	Nombreux	Dont surface foliaire initiale	?
Exigences climatiques principales	T HR Rayonnement de certaines longueurs d'onde	T PAR	T (PAR)

mai-juin) sous  $15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  à  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  n'a pas donné lieu à avortements. Ce fait montre bien que nos observations dépendent du matériel végétal utilisé, et oriente la poursuite d'études en conditions sévères vers l'emploi des repousses : celles-ci poseront à nouveau le problème des relations possibles avec les conditions climatiques, artificielles ou de serre, antérieures.

## CONCLUSION

L'effet des facteurs température  $T$  et irradiance  $PAR$  sur la durée du développement jusqu'à la floraison de miniplants du rosier Sonia, varie au cours des 3 phases définies par le stade 0 puis par l'aspect extérieur de la pousse (1 cm, B, F). L'ajustement de la durée de chaque phase à des modèles mathématiques simples d'action de  $T$  est acceptable. Pour chaque phase, l'influence de l'irradiance et les valeurs des paramètres des modèles ( $T_0$ ,  $T_{\text{optimum}}$ ) sont différentes, aussi la recherche de paramètres uniques pour caractériser l'ensemble du développement, du stade 0 au stade F, ne semble guère possible. L'introduction de variations dans la technique de bouturage montre la sensibilité des réponses, en termes de durée d'une phase, à l'état du matériel et aux conditions climatiques de la phase précédente. Il n'est donc pas surprenant d'observer des différences importantes entre le comportement de miniplants et celui de repousses. L'établissement de courbes de réponse uniques avec des miniplants normalisés issus de boutures prélevées à des époques différentes de l'année signifie que les variations saisonnières antérieures ont été effacées lors du bouturage et que cette technique doit être efficace pour mettre en évidence les différences d'ordre génétique.

## REMERCIEMENTS

Je remercie R Barrade pour sa participation à cette étude, M le Nard et J Cl Mauget pour leur critique attentive du manuscrit.

## RÉFÉRENCES

- Armitage AM, Tsujita MJ (1979) Supplemental lighting and nutrition effects on yield and quality of «Forever Yours» roses. *Can J Plant Sci* 59, 343-350
- Berninger E (1989) Cultures florales de serre en zone méditerranéenne française. *INRA-PHM-Rev Hortic* 206 p
- Berninger E, Barrade R, Pudelska K (1990) Étude du comportement de différents génotypes de rosiers de serre (*Rosa hybrida*) propagés par bouturage. I. Bouturage et culture de «miniplants» en serre. *Agronomie* 10, 787-796
- Cockshull KE, Horridge JS (1977) Apical dominance and flower initiation in the rose. *J Hortic Sci* 42, 412-427
- De Jong J (1989) Analysis of components controlling early flowering of chrysanthemum at low temperature. *Euphytica* 40, 121-126
- Dubois LAB, de Vries DO (1985) Onderzoek met stekken van «Sonia» (*Expériences sur les boutures de «Sonia»*). *Vakbl Bloemisterij* 45, 26-31
- Halevy AH (1972) Phytohormones in flowering regulation of self-inductive plants. *Proc 18th Int Hortic Congr* 5, 178-198
- Horridge JS, Cockshull KE (1974) Flower initiation and development in the glasshouse rose. *Sci Hortic* 2, 273-284
- Jolivet E, Lebreton JD, Millier C, Pavé A, Vila JP (1982) *Modèles dynamiques déterministes en biologie*. Masson, Paris, 208 p
- Moe R (1972) Effect of daylength, light intensity and temperature on growth and flowering in roses. *J Am Soc Hortic Sci* 97, 796-800
- Moe R, Kristoffersen T (1969) The effect of temperature and light on growth and flowering of *Rosa* «Baccara» in greenhouses. *Acta Hortic* 14, 157-167
- Van den Berg GA (1987) Influence of temperature on bud break, shoot growth, flower bud atrophy and winter production of glasshouse roses. Thèse, Pudoc, Wageningen, 170 p
- Wiseley DK, Lindstrom RS (1972) Supplemental light and growth of rose during periods of low light intensity. *Hortscience* 7, 292-293
- Zamski E, Oshri S, Zieslin N (1985) Comparative morphology and anatomy of axillary buds along a rose shoot. *Bot Gaz* 146-2, 208-212
- Zieslin N, Mor Y (1990) Light on roses. A review. *Sci Hortic* 43, 1-14