

Relation entre température et développement en culture cotonnière méditerranéenne

Cognée M.

in

Braud M. (ed.), Campagne P. (ed.).
Le coton en Méditerranée et au Moyen-Orient

Montpellier : CIHEAM
Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1988-I

1988
pages 119-128

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI011845>

To cite this article / Pour citer cet article

Cognée M. **Relation entre température et développement en culture cotonnière méditerranéenne**. In : Braud M. (ed.), Campagne P. (ed.). *Le coton en Méditerranée et au Moyen-Orient*. Montpellier : CIHEAM, 1988. p. 119-128 (Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1988-I)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Relation entre température et développement en culture cotonnière méditerranéenne

M. COGNEE

IRCT - Laboratoire de Physiologie - Montpellier

*Dans la zone méditerranéenne, la température est un facteur particulièrement important du développement du cotonnier. En effet, la grande longueur de son cycle de culture impose des semis à une date où les températures ne sont pas vraiment encore défavorables ; en outre, on rencontre de nouveaux problèmes au moment de la maturation des capsules, lorsque les froids et la pluie reviennent, et que la durée du jour est considérablement diminuée. Tout programme de modélisation et de prévision des rendements doit donc parfaitement prendre en compte les effets de la température. Traditionnellement, on emploie pour cela des méthodes utilisant la sommation des températures journalières (notion de **temps physiologique**). Tous les modèles mis au point depuis une quinzaine d'années en font usage. Malheureusement les premiers essais que nous avons réalisés depuis 1981 à Montpellier nous ont montré que ces méthodes ne donnaient pas des résultats aussi corrects que prévus. Aussi nous avons entrepris d'effectuer une étude détaillée du problème.*

- dans une même année en effectuant des semis à plusieurs dates échelonnées dans le temps ;
- en répétant le même dispositif pendant plusieurs années.

La variété utilisée a été une variété très précoce, **Pavlikeni 73**, d'origine bulgare.

Chaque année, de 1981 à 1985, on a utilisé au moins 3 dates de semis : 15 avril, 1er mai et 15 mai. La date du 1er mai est celle qui est en moyenne la plus favorable pour le rendement final. En outre, en 1982 et 1983 on a aussi semé le 1er et le 15 juin. Enfin, en 1982 nous avons encore semé le 1er et le 15 juillet. Finalement nous disposons donc de 21 conditions différentes de culture.

Les semis sont réalisés en poquets espacés de 0,20m sur la ligne, et les lignes sont écartées de 0,70 m.

Les cultures reçoivent une irrigation par aspersion.

Les indicateurs du développement sont les suivants :

- date de levée : on utilise la date où on obtient 50% de la levée finale ;
- date moyenne d'apparition du 1er bouton floral, ou plus exactement du bouton floral situé au 1er noeud de la 1ère branche fructifère ;

I - Méthodes

Nous avons comparé la durée des différentes phases du développement lorsque la culture est soumise à des conditions variables de température. Cette variabilité est assurée :

- date moyenne d'apparition de la 1ère fleur ;
- date moyenne d'ouverture de la 1ère capsule.

Un abri météorologique situé à 150 m des cultures donne les températures minimales et maximales journalières de l'air. Pour les années 1982 et 1983 nous avons aussi utilisé les valeurs instantanées données par un thermomètre enregistreur.

De très nombreuses méthodes ont été utilisées pour permettre de mettre en évidence la liaison entre les températures reçues et la durée des diverses phases du développement (Robertson, 1983 ; Durand, 1967).

A. Méthodes utilisant directement la sommation journalière des températures avec utilisation d'un seuil. Nous en avons employé plusieurs variantes :

a - On peut partir des **températures moyennes journalières** obtenues en calculant la **moyenne arithmétique** de la température **minimale** et de la température **maximale** de chaque journée, et en retranchant une valeur seuil (zéro de développement). Lorsque la moyenne est inférieure ou égale au seuil, on prend une valeur nulle pour la sommation. Pour une phase donnée, cette sommation doit donner une valeur constante :

$$S(T - T_0) = k$$

Cette méthode est celle qui est la plus classiquement utilisée. Nous l'appellerons méthode de la moyenne des minimax.

Au lieu de prendre la moyenne des mini- et maxi-journaliers, on peut prendre la valeur exacte de la moyenne obtenue à partir des valeurs instantanées des températures, et retrancher ensuite de cette valeur la température-seuil, comme ci-dessus.

b - D'autres méthodes retranchent à **chaque instant** la valeur seuil de la valeur réellement enregistrée, au lieu de le faire une seule fois par jour comme dans les cas précédents. Elles sont très laborieuses si on ne dispose pas d'un enregistrement électronique permanent des températures. C'est pourquoi, en général on préfère calculer une approximation de l'évolution des valeurs instantanées à partir des seules valeurs mini- et maximales journalières.

C'est ainsi que nous avons utilisé une méthode dans laquelle l'évolution journalière est assimilée à une ligne brisée passant par les deux valeurs minimales et maximales journalières. On évalue ensuite facilement par **triangulation** (à l'aide de l'ordinateur) les portions de cette ligne qui passent au-dessus de la droite horizontale représentant le seuil. On ne retient pour la sommation que les aires des triangles situés au-dessus de cette droite.

c - Nous avons aussi retenu une méthode un peu voisine (Wallach et Kletter, 1981) dans laquelle on assimile l'évolution journalière à une portion de sinusoïde. A partir des minimales et maximales journalières, on calcule une valeur moyenne de nuit et une valeur moyenne de jour :

$$T_{\text{moy jour}} = (0,77 T_{\text{max}}) + (0,23 T_{\text{min}})$$

$$T_{\text{moy nuit}} = (0,81 T_{\text{min}}) + (0,19 T_{\text{max}})$$

On retranche ensuite le seuil de chacune de ces deux valeurs. De plus on fait intervenir sur elles un coefficient égal à la longueur relative du jour, DJ. Finalement, la valeur journalière sommée est la suivante :

$$(T_{\text{moy jour}} - \text{seuil}) \times DJ + (T_{\text{moy nuit}} - \text{seuil}) \times (1 - DJ)$$

B. Méthodes utilisant des régressions

On peut utiliser des régressions linéaires, exponentielles ou quadratiques.

a - Régression linéaire

On admet que la loi qui régit le développement journalier en fonction de la température moyenne du jour est une loi linéaire, $dv = A + B.T$. On montre facilement que la sommation de ces diverses lois journalières tout au long de la durée de la phase considérée amène à une loi générale de la forme suivante :

$$V = 1/D = a + b.T \quad (1)$$

où V est la vitesse de développement, c'est-à-dire l'inverse de la durée de la phase, D, et T la **température moyenne pendant la phase**.

On peut alors étudier la régression de la variable dépendante $V = 1/D$ en fonction de la variable indépendante T, calculer les coefficients de la droite de régression a et b et le coefficient de

corrélation R. De plus on peut facilement calculer le seuil T_0 qui annule le développement :

$$T_0 = -a/b.$$

En fait, on peut voir que si l'équation (1) est vérifiée, on observera une valeur constante pour la sommation des températures selon la méthode classique (à condition toutefois de prendre pour la sommation une valeur négative, et non pas nulle, lorsque la moyenne journalière descend au-dessous du seuil).

b - Régression quadratique

On peut utiliser deux formes de régressions quadratiques.

La première s'inspire de la régression linéaire (1), mais on ajoute cette fois un terme en T^2 :

$$V = 1/D = a + b.T + c.T^2 \quad (2)$$

Dans ce cas seul la température **moyenne** de la phase est prise en compte.

Mais il existe une deuxième forme dans laquelle on considère que la loi qui régit le développement **journalier** est une loi de forme quadratique (parabolique) :

$$dV = A + B_1.T + B_2.T^2$$

où T représente la température moyenne journalière.

Si on réalise la sommation de ces développements journaliers tout au long de la phase étudiée, on aboutit à la forme suivante :

$$D = a + b_1.S(T) + b_2.S(T^2)$$

dans laquelle D est la durée de la phase, $S(T)$ la somme des moyennes journalières pendant la phase et $S(T^2)$ la somme des carrés des moyennes journalières. Cette équation peut alors donner lieu à une étude de régression curvilinéaire, $S(T)$ et $S(T^2)$ étant les variables explicatives et D la variable expliquée. On voit que le développement s'annule pour la valeur seuil T_0 suivante :

$$T_0 + (-B_1 - (B_1^2 - 4 B_2 \times A)^{1/2}) / 2 B_2$$

-La vitesse de développement passe par une valeur maximale pour la température T_{opt} :

$$T_{opt} = -B_1 / 2 B_2$$

c - Régression exponentielle

Comme dans le cas précédent, la loi exponentielle peut s'appliquer soit sur l'ensemble de la phase de développement, en utilisant la température moyenne **calculée pour toute cette phase**, soit sur le développement journalier.

Dans le premier cas, certains auteurs utilisent l'équation de régression suivante (**Mutsaers, 1976**) :

$$D = A \exp -B(\bar{T} - T_0)$$

c'est-à-dire :

$$D = a \exp B(\bar{T} - T_0)$$

ce qui correspond à une vitesse croissante en fonction de la température moyenne T pendant la phase.

Plus rarement (**Reddy et al., 1984**) on utilise la forme suivante :

$$V = a \exp -b/(\bar{T} - T_0)$$

équivalente à :

$$D = A \exp b/(\bar{T} - T_0)$$

qui marque au contraire une vitesse de plus en plus réduite lorsque l'on a dépassé le seuil T_0 .

Dans le second cas, on admet que le développement **journalier** suit une loi exponentielle de la forme :

$$dV = \exp b T$$

T étant cette fois la température moyenne journalière.

Pour représenter facilement la sommation de cette loi pour l'ensemble de la phase, on peut faire intervenir la notion de Q_{10} (rapport de la vitesse de développement à la température $T + 10$ sur la vitesse à la température T). On a :

$$dV = Q_{10}^{T/10}$$

La sommation de ce développement journalier pour la durée totale de la phase donnera un indice de développement qui sera une constante pour la phase considérée, si le développement suit bien une loi exponentielle :

$$S(Q_{10} T/10) = k$$

On a ainsi une formulation voisine de celle des sommes de température classique, dans laquelle le Q_{10} joue ici un rôle analogue à celui de la température-seuil.

III - Résultats

A. Méthodes de sommation avec seuil

Le premier problème, et non des moindres, qui se pose dans la pratique, c'est précisément la connaissance de ce seuil. Dans le cas particulier de la culture cotonnière à Montpellier, nous n'avons aucune expérience en cette matière : la variété utilisée, aussi bien que les conditions climatiques extrêmes, pouvaient donner lieu à des divergences importantes par rapport aux valeurs utilisées habituellement, s'échelonnant de 10° à 15°C selon les auteurs.

Heureusement **Arnold** (1959) a décrit un moyen de détermination intéressant : il consiste à faire le calcul de sommation avec une succession de valeurs arbitraires. On retient comme valeur exacte celle qui minimise le coefficient de variation de l'ensemble des sommes obtenues pour une phase de développement considérée (voir aussi **Durand et al.**, 1982). Cette méthode peut s'appliquer à tous les types de sommation que nous avons décrits plus haut. Le tableau 1 indique les valeurs que nous avons trouvées de cette façon pour les 5 années d'expérimentation. La méthode classique de sommation des moyennes journalières (à partir des minima et des maxima) donne des seuils qui se situent dans des fourchettes relativement étroites, surtout pour la phase semis-1er bouton et semis-1ère fleur. Les résultats sont moins bons pour la phase semis-levée, tandis que pour la phase complète semis-ouverture 1ère capsule le seuil est difficile à déterminer car le coefficient de variation ne passe pas par un minimum bien marqué. Si on observe spécifiquement la phase de maturation des capsules, ce phénomène est encore plus accentué.

Avec l'estimation des variations horaires par triangulation, la méthode du minimum du coefficient de variation donne des résultats extrêmement variables, pour aller selon les phases considérées et selon les années de 8° à plus de 18° et même parfois 22°. Il est évident que des valeurs aussi élevées n'ont plus aucune signification biologique. Avec la méthode de **Wallach**, on trouve des seuils très semblables à ceux obtenus par la triangulation. Il est à remarquer que ces deux méthodes donnent des estimations de valeurs-seuil plus élevées que la méthode classique. Pourtant **Wallach** et **Kletter** (1981) prennent la valeur 12°C comme seuil dans leur modèle.

Finalement, on pourrait donc retenir une valeur de seuil de 12°C pour les phases semis-1er bouton et semis-première fleur, avec la première méthode. Pour la phase semis-1ère capsule, un seuil de 13 ou de 14°C serait meilleur. Pour les autres phases, l'estimation est plus délicate. Avec les deux autres méthodes il est bien difficile de donner une réponse valable. **Sevacherian** et **El Zik** (1983) utilisent la valeur de 15,5°C pour la triangulation.

Le tableau 2 donne les valeurs moyennes des sommes de température année par année pour le seuil de 12°C ou 13°C par la méthode classique, pour 15°C par la triangulation, et 14°C par la méthode **Wallach**. On pourrait constater par ailleurs que pour une même valeur-seuil on obtient dans ces deux derniers cas des sommes plus élevées : la différence avec la moyenne des minimax correspond aux heures passées chaque jour en dessous du seuil.

L'utilisation des valeurs horaires exactes des températures auxquelles on retranche à chaque fois le seuil nous a donné des résultats équivalents à ceux des méthodes de triangulation ou de **Wallach** et **Kletter**, et cela au prix d'une complication considérable : il nous a fallu relever à la main les températures à partir des courbes de l'enregistreur. Cette méthode n'a donc pas d'intérêt particulier.

A partir des valeurs moyennes inter-annuelles des sommes de température on peut se livrer à un essai d'estimation de la durée des différentes phases phénologiques et comparer le résultat avec la durée réelle. Avec la moyenne des minimax les écarts moyens pour l'ensemble des 21 cas dont nous disposons sont de ± 3 jours pour les phases semis-levée, semis-1er bouton ou semis-1ère fleur,

l'écart maximum rencontré étant de 8 à 9 jours. Pour la phase semis-capsulaison ou capsulaison seule, les écarts sont beaucoup plus importants. Avec la seconde méthode de triangulation la précision est moins bonne : avec un seuil de 15,5°C, les écarts sur les 21 cas sont en moyenne de ± 5 jours pour les 3 premières phases citées plus haut, et peuvent atteindre jusqu'à 12 ou 14 jours ! Si on fait intervenir la phase de capsulaison, aucune estimation valable n'est plus possible.

Nous avons pensé pendant un moment qu'une partie des difficultés rencontrées provenaient de la participation de la phase semis-levée dans la plupart de nos estimations. En fait, si on étudie la phase levée-1er bouton ou la phase levée-1ère fleur, les résultats ne sont pas meilleurs que ceux obtenus précédemment.

B. Méthodes de régression

Le tableau 3 montre le résultat global de la régression $V = 1/D = a + bT$ pour l'ensemble des 5 années, ainsi que les seuils calculés. Ces seuils sont bas, toujours inférieurs à 10°C. Par contre si on calcule ces seuils année par année, on obtient des valeurs plus élevées. Par exemple, si on prend la phase semis-1ère fleur, le seuil global est de 9,5°C tandis que les seuils calculés année par année sont respectivement de 11,9°, 10,4°, 10,5°, 11,4° et 11,7°. La précision obtenue n'est que très moyenne sauf pour la phase semis-1ère fleur où les coefficients R^2 annuels sont tous égaux à 0,98 ou 0,99, le coefficient global étant de 0,96. Sur nos 21 essais, l'écart moyen entre la durée de cette phase et son estimation est de ± 2 jours.

Le tableau 4 montre les résultats de la régression quadratique :

$$D = A + B_1 S(T) + B_2 S(T^2)$$

Cette fois-ci les coefficients de détermination prennent des valeurs extrêmement voisines de 1 : le plus mauvais est de 0,996, et concerne la phase semis-levée. Les calculs des seuils donnent des valeurs qui paraissent maintenant beaucoup plus réalistes et qui sont voisines les unes des autres. Enfin les estimations de la durée des phases que l'on peut faire à l'aide d'un tel modèle sont étonnamment précises, à la journée près. La courbe parabolique de réponse journalière en fonction de la température passe par un maximum pour une valeur relativement basse, de 18 à 23°

selon les phases, ce qui a été pour nous une surprise.

Le tableau 5 indique les résultats du calcul de la régression exponentielle de la vitesse de développement en fonction de la température moyenne de la phase avec un seuil T_0 , où la concavité de la courbe est dirigée vers le bas. On retrouve des valeurs de R^2 globales pour chaque phase qui ne sont guère meilleures qu'avec la régression linéaire. Elles sont même plus mauvaises pour la phase semis-levée.

L'utilisation de la loi à courbure inverse $V = a \exp(-b < (T-T_0))$ donne des résultats encore plus mauvais.

La méthode des indices de développement avec les Q10 est plus décevante encore. Lorsqu'on recherche le Q10 qui minimise le coefficient de variation, on obtient des valeurs qui peuvent aller de 1 à plus de 10 selon les phases de développement ou les années, alors qu'habituellement des valeurs de 2 ou 3 sont normales pour des phénomènes biologiques. On retombe devant les mêmes problèmes qu'avec la détermination des seuils corrects pour les méthodes de sommation des températures, mais à une échelle encore plus grande.

III - Conclusion

Les méthodes utilisées habituellement pour estimer l'influence de la température sur le développement du cotonnier ont donné dans l'ensemble d'assez mauvais résultats pour une culture réalisée dans les conditions très particulières de Montpellier. Parmi les méthodes basées sur les sommations de température, c'est encore la méthode la plus classique, retranchant chaque jour un seuil de la moyenne du minimum et du maximum, qui est la moins mauvaise pour la prédiction de la durée des phases. Elle peut être acceptable pour définir l'apparition de la 1ère fleur. Les méthodes plus sophistiquées donnent des résultats très décevants.

Les procédés utilisant des régressions linéaires ou exponentielles ne sont pas plus intéressants dans l'ensemble.

Par contre avec la régression quadratique définissant la durée des phases à partir de la

somme des moyennes journalières et la somme de leur carré on dispose d'un outil particulièrement performant qui permet pratiquement de prévoir cette durée à une journée près quelle que soit la phase ou l'année.

L'excellente adéquation de la courbe de développement quadratique nous explique en grande partie les échecs rencontrés avec les autres méthodes. En fait, dès que l'on atteint des températures moyennes de l'ordre de 20°C, la réponse à la température plafonne et s'éloigne donc de la droite utilisée habituellement soit directement (régression linéaire), soit indirectement (sommation de température). On comprend aussi pourquoi parmi les régressions exponentielles celles qui définissent une vitesse de plus en plus élevée en fonction de la température sont particulièrement mauvaises. L'utilisation des Q10 présente le même défaut.

La régression quadratique est la seule qui permette de prévoir correctement la durée des phases dans lesquelles la maturation des capsules est impliquée, car celle-ci se déroule pour une part plus ou moins grande à des moments où la température moyenne est de l'ordre de 20°C ou plus.

Résumé

On a utilisé de nombreuses méthodes (divers modes de sommation de température avec seuil, régressions linéaires, quadratiques et exponentielles) pour tenter de modéliser le développement du cotonnier dans la région méditerranéenne française. Seule une forme quadratique exprimant la durée des diverses phases du développement en fonction de la somme des températures moyennes journalières et de la somme de leurs carrés permet une estimation précise (à un jour près) de cette durée.

Bibliographie

Arnold C.Y., 1959.-The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system.- *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 74, 430-445.

Durand R., 1967.-Action de la température et du rayonnement sur la croissance.- *Ann. Physiol. Veg.*, 9, 5-27.

Durand R., Bonhomme R. et Derieux M., 1982.-Seuil optimal des sommes de températures. Application au maïs (*Zea mays* L.).- *Agronomie*, 2, 589-597.

Mutsaers H.J.W., 1976.-Influence of temperature on boll maturation period and assimilate conversion.- *Ann. Bot.*, 40, 317-324.

Reddy S.J., Maiti R.K. et Seetharama N., 1984.-An iterative regression approach for prediction of sorghum phenology in the semi-arid tropics.- *Agric. and Forest Meteorol.*, 32, 323-338.

Robertson G.W., 1983.-*Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops.*- World Meteorological Organization, Agricultural Meteorology, CAgM Report n° 15, 158 pp.

Sevacherian V. and El-Zik., 1983.-A slide rule for cotton crop and insect management.- *Cott. Gin and Oil Mill Press*, dec. 1983, 12-19.

Wallach D. and Kletter E., 1981.-Prediction of boll opening in a cotton crop.- *Agron. J.*, 763-767.

Phase	Année	Valeur du seuil en °C		
		Moyenne Minimax	Triangulation	Wallach
Semis - levée	1981	7	18	12
	1982	9	10	11
	1983	10	11	11
	1984	10	10	9
	1985	10	8	<9
Semis - 1er bouton	1981	15	18	16
	1982	10	11	11
	1983	11	12	12
	1984	13	17	16
	1985	13	17	17
Semis - 1ère fleur	1981	13	16	16
	1982	11	12	12
	1983	11	11	11
	1984	13	16	14
	1985	13	16	16
Semis - 1ère capsule	1981	13	15	>18
	1982	13	>18	>18
	1983	14	>18	>18
	1984	15	>18	>18
	1985	14	>18	>18
1ère fleur - 1ère capsule		<	Seuils mal définis	>

Tableau 1: Valeur du seuil minimisant le coefficient de variation des sommes de température obtenues par 3 méthodes différentes

Phase	Année	Sommes de température en degrés / jours					
		Moyenne Minimax	Triangulation	Wallach			
Semis - levée	1981	18 }	9 }		15 }		
	1982	38 }	27 }		36 }		
	1983	34 }	To = 12	18 }	To = 15	26 }	To = 14
	1984	19 }		13 }		22 }	
	1985	32 }		18 }		29 }	
Semis - 1er bouton	1981	278 }		178 }		241 }	
	1982	340 }		241 }		301 }	
	1983	278 }	To = 12	174 }	To = 15	234 }	To = 14
	1984	285 }		186 }		254 }	
	1985	245 }		145 }		206 }	
Semis - 1ère fleur	1981	552 }		362 }		475 }	
	1982	629 }		452 }		552 }	
	1983	614 }	To = 12	423 }	To = 15	532 }	To = 14
	1984	574 }		395 }		509 }	
	1985	544 }		361 }		472 }	
Semis - 1ère capsule	1981	1026 }		785 }		978 }	
	1982	1161 }		914 }		1107 }	
	1983	1143 }	To = 13	892 }	To = 15	1081 }	To = 14
	1984	971 }		752 }		947 }	
	1985	1001 }		780 }		963 }	

Tableau 2: Valeurs moyennes par année des sommes de température calculées avec les seuils indiqués, et obtenues par 3 méthodes différentes

Phase	Régression linéaire $V = a + b \cdot T$				Ecart avec estimation durée (en jours)	
	a	b	R ²	Seuil (° C)	Moyen	Extrême
Semis - levée	-127,60	15,40	0,90	8,30	± 2	8
Semis - 1ère bouton	-20,30	2,28	0,90	8,90	± 4	12
Semis - 1ère fleur	-12,10	1,28	0,96	9,50	± 2	6
Semis - 1ère capsule	-4,92	0,57	0,78	8,60	± 5	14
1ère fleur - 1ère capsule	-9,42	1,09	0,77	8,60	± 3	7

Tableau 3: Paramètres de la régression linéaire donnant la vitesse de développement en fonction de la température moyenne des phases. Estimations des durées.

Phase	$D = A + B_1 S(T) + B_2 S(T^2)$						Ecart avec estimation durée (en jours)	
	A	B ₁	B ₂	R ²	Seuil	T op.	Moyen	Extrême
Semis - levée	-0,53	0,124	-3,36	0,996	12,00	18,4	± 0,3	0,80
Semis - 1ère bouton	-7,28	0,111	-2,51	0,998	12,50	22,2	± 0,5	1,40
Semis - 1ère fleur	-15,20	0,109	-2,36	0,998	12,50	23,2	± 0,5	1,00
Semis - 1ère capsule	-1,47	0,112	-2,77	0,997	13,30	20,2	± 0,8	1,70
1ère fleur - 1ère capsule	-2,92	0,111	-2,89	0,998	14,30	19,2	± 0,4	1,20

Tableau 4: Paramètres de la régression quadratique donnant la durée de phase en fonction des sommes des températures journalières et leur carré. Estimation des durées.

Phase	$V = 1/D = a \exp b / (T - T_0)$				Ecart avec estimation durée (en jours)	
	a	b	R2	Seuil (° C)	Moyen	Extrême
Semis - levée	382	-13,70	0,84	6	± 2	7
Semis - 1ère bouton	53,2	-6,28	0,93	11	± 3	11
Semis - 1ère fleur	39,2	-11,60	0,96	9	± 2	5
Semis - 1ère capsule	10,9	-3,67	0,83	13	± 5	14
1ère fleur - 1ère capsule	40,7	-16,50	0,82	6	± 3	8

Tableau 5: Paramètres de la régression exponentielle donnant la vitesse de développement en fonction de la température moyenne de la phase. Estimation des durées.