Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1992, **26**, N° 2, 63-74

NOUVELLES PROPOSITIONS POUR ÉVALUER LA VITESSE DE DÉBOURREMENT DES BOURGEONS DE LA VIGNE ET MODÉLISATION DE LA DATE DE DÉBOURREMENT

C. RIOU* et R. POUGET**

*Laboratoire de Bioclimatologie, Centre INRA de Bordeaux,
B.P. 81, 33883 Villenave-d'Ornon cedex (France)
**Station de Recherches de Viticulture, Centre INRA de Bordeaux,
B.P. 81, 33883 Villenave-d'Ornon cedex (France)

Résumé : *Les auteurs proposent une nouvelle formulation de la vitesse de débourrement des bourgeons de vigne et une nouvelle méthode de prévision de la date de débourrement. Ils utilisent, pour cela, les résultats obtenus par POUGET (1964, 1966, 1988), mais en donnent une expression différente.*

La vitesse de débourrement est exprimée par une fonction exponentielle de la température à laquelle un terme correctif est ajouté pour tenir compte de l'écart à la fonction quant la température descend en-dessous de 15°C. Cette nouvelle expression et la formule de POUGET donnent des résultats différents pour les températures inférieures à 5°C.

La fonction $F = e^{0,07T} - 1,91\ e^{-0,126T}$ *se révèle être commune à tous les cépages utilisés dans l'expérimentation; pour calculer la date de débourrement, il faut en faire la somme pendant une durée D à partir du 1er janvier, jusqu'à atteindre une valeur W d'autant plus élevée que le cépage est plus tardif.*

Utilisant un modèle de variation de la température horaire en fonction du temps, les auteurs vérifient que pour un cépage donné une même somme W conduit à la prévision de la durée de débourrement aussi bien sous serre que dans les conditions naturelles, sous le climat bordelais.

INTRODUCTION

Dans plusieurs publications, POUGET (1964, 1966, 1988) a proposé une formule pour évaluer la vitesse de débourrement. Il en a tiré une méthode de prévision de la date de débourrement qu'il a appliquée à de nombreux cépages dans la région de Bordeaux.

Cet article se propose de prolonger ces résultats en les formulant différemment, en espérant ainsi leur donner des possibilités nouvelles de généralisation.

I — ETAT ACTUEL DE LA PRÉVISION DU DÉBOURREMENT

1) Vitesse de débourrement

POUGET (1964), à partir de résultats expérimentaux, a d'abord publié des observations sur la vitesse de débourrement de quelques cépages et montré qu'elle obéissait à des températures de 15, 20 et 25°C, à une loi du type :

$$V = A\,B^{T} \qquad (1)$$

A est une caractéristique du cépage;
B une valeur pratiquement constante de l'ordre de 1,07 et T la température.

L'auteur remarque cependant que pour des températures de 10°C et de 30°C, la formule (1) surestime la vitesse de débourrement. Rappelons que la vitesse de débourrement est définie ici par :

$$V = \frac{1000}{D}$$

où D est le nombre de jours qu'il a fallu à 50 p. cent des bourgeons pour débourrer.

La formule (1) peut aussi s'écrire sous la forme :

$$V = a\,e^{bT} \qquad (2)$$

où l'on retrouve une expression plus classique, avec :

$$b \approx 7.10^{-2}$$

Si la chute de la vitesse à des températures élevées est depuis longtemps constatée dans la réponse de la plante à la température (LEHENBAUER,1914), l'écart à la loi exponentielle aux températures basses est plus difficile à expliquer.

POUGET (1966) propose, par la suite, une formulation qui s'adapte mieux à ses résultats expérimentaux soit :

$$V = KT^{c} \qquad (3)$$

où c est le coefficient variétal de précocité de débourrement.

Pour les trois cépages étudiés, les résultats sont donnés dans le tableau I :

Avec cette formulation, le Q_{10} diminue avec la température mais reste voisin de 2, entre 15 et 25°C.

L'auteur (1988) généralise ensuite ces résultats à de nombreux cépages et fournit des valeurs de K et c pour 22 cépages.

Entre K et c s'établit une relation de la forme :

$$\log K = 2{,}57403 - 1{,}72494\ c \qquad (4)$$

On peut déjà noter que (4) peut s'écrire :

$$\log K = \log 375 - c \log 53{,}08 \qquad (5)$$

soit :

$$K = \frac{375}{(53{,}08)^c} \qquad (5\ bis)$$

et

$$V = 375 \left(\frac{T}{53{,}08}\right)^c \qquad (6)$$

Cette nouvelle expression a l'avantage de ne plus faire apparaître qu'une constante caractéristique du cépage au lieu de 2.

TABLEAU I

Coefficients K et c suivant les cépages

Cépage	K	c
Traminer	1,214	1,442
Merlot	0,444	1,702
Ugni blanc	0,223	1,865

2) Durée du débourrement : une méthode de prévision

POUGET (1988) propose alors de mettre en oeuvre la relation (3) (qu'on peut remplacer maintenant par (6)), en calculant pour chaque jour une « action journalière » de la forme :

$$a_j = \frac{a_x + a_n}{2} \qquad (7)$$

avec

$$a_x = KT_x^c$$
$$a_n = KT_n^c$$

T_x et T_n étant respectivement les températures journalières maximum et minimum.

A Bordeaux, l'auteur montre que la somme de ces actions journalières calculée à partir du 1er janvier, date à laquelle la levée de dormance a certainement eu lieu, reste à peu près constante pour un cépage donné; sur 17 années d'observations, on trouve pour une variété précoce comme Perle de csaba une somme de 1788 ± 38 et pour Ugni blanc, plus tardif, une somme de 1089 ± 15.

Une relation apparaît entre cette somme S et la durée moyenne du débourrement D,

de la forme :

$$S = 3737 - 30{,}4138\ D \qquad (8)$$

Il apparaît de même une relation entre c et S de la forme :

$$c = 2{,}824 - 0{,}000869\ S \qquad (9)$$

Ainsi la connaissance de D permet d'obtenir S, puis c et d'établir une méthode de prévision du débourrement pour les 22 cépages cités précédemment.

Les valeurs de S vont ainsi de 1788 pour Perle de csaba à 760 pour Sélect, ce qui correspond à des durées en jours respectivement de $63{,}5 \pm 8{,}6$ et $97{,}9 \pm 5{,}8$.

II — ÉTUDE CRITIQUE DE CES RÉSULTATS : MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE JOURNALIERE

1) Date du début de la sommation

La date du 1er janvier peut être discutée, mais elle a été choisie comme une date repère dans une période de post-dormance (donc de faible influence de la température), où les bourgeons des différentes variétés sont dans un état physiologique très comparable; il est donc d'une importance secondaire de déterminer la date initiale de la sommation avec précision.

2) Calcul de la somme : un modèle d'évolution de la température journalière

a) Evolution journalière de la température horaire

On peut mettre en question le mode de calcul de l'action journalière qui n'utilise que les valeurs extrêmes de la température. Pour améliorer ce calcul, on se propose, ici, de fournir un modèle d'évolution de la température journalière.

Dans ce modèle, le minimum de température est atteint à l'heure 0 ou 24, et le maximum est déphasé de 2 heures par rapport à la hauteur maximum du soleil, soit pour

$$H = \frac{D_j}{2} + 2$$

La forme de l'évolution de la température est sinusoïdale pendant la journée et parabolique la nuit.

Le modèle est de la forme :

$$\text{Pour } 1 \leq H \leq D_j$$

$$T = T_n + A \sin\left(\pi \frac{H}{D_j + 4}\right) \qquad (10)$$

où T est la température
H est l'heure

T_x est la température maximum
T_n est la température minimum
A est l'amplitude : $T_x - T_n$
D_j est la durée du jour (entier le plus proche)

Pour $D_j + 1 \leq H \leq 24$

$$T = T_c - F\sqrt{H - Dj} \qquad (11)$$

T_c est la température au coucher du soleil.

F est tel que $T = T_n$ quand $D_j = 24$

$$T_c = T(D_j)$$

$$T_c = T_n + A \sin\left(\frac{\pi D_j}{D_j + 4}\right) \qquad (12)$$

$$F = \frac{T_c - T_n}{\sqrt{24 - D_j}} \qquad (13)$$

Ce modèle a été comparé à plusieurs enregistrements horaires de température à différentes périodes de l'année, pendant des journées de ciel clair et les résultats satisfaisants en ont autorisé la validation, tout au moins pour des journées à ennuagement faible. Pour les autres journées, aucun modèle simple ne peut réellement prendre en compte l'effet des nuages, et le modèle proposé continuera à être appliqué.

b) Evolution annuelle de la température minimum journalière

Pour évaluer la valeur journalière de $T_{n,i}$ dans le modèle précédent, on a admis que la température minimum journalière suivait une loi sinusoïdale de la forme :

$$T_{n,i} = T_n + \frac{A_n}{2} \sin 2\pi \left(\frac{J - J_0}{365}\right) \qquad (14)$$

J est le numéro du jour.
J_0 représente le déphasage.
T_n est la température minimum moyenne annuelle.
A_n est l'amplitude annuelle de la température minimum.

Avec un minimum journalier vers le 21 janvier, soit un mois après le solstice d'hiver, J_0 est alors de 112.

En fait, pour éviter les trop grands écarts entre le calcul et la valeur exacte, on calcule l'écart entre la température minimum moyenne mensuelle, calculée $T_{n,i}$ et la moyenne vraie, $T_{n,m}$ soit :

$$E_i = \overline{T}_{n,i} - \overline{T}_{n,m} \qquad (15)$$

et cet écart est ajouté à toutes les valeurs journalières de la température minimum du mois. On obtient :

$$T_{n,c} = T_{n,i} - E_i \qquad (16)$$

c) Nouveau calcul de « l'action journalière »

En remplaçant l'ancien mode de calcul proposé en (7), par la sommation heure par heure, on trouve des valeurs différentes et inférieures de celles que POUGET (1988) avait établies.

	Calcul (7)	Nouveau calcul avec pas de temps horaire
Perle de csaba	1788	1442
Cabernet-Sauvignon	985	714

La même critique s'applique cependant aux deux modes de calcul.

En effet, la vitesse de débourrement définie d'après les résultats expérimentaux sous-serre est déterminée en écrivant :

$$V = \frac{1000}{D} = KT^c$$

où D est la durée du débourrement (50 p. cent des bourgeons débourrés).

La sommation D KT^c conduit ici à la valeur 1000, qui est, dans les conditions naturelles, dépassée pour les variétés précoces et non atteinte pour les variétés tardives.

On peut donc penser que c'est la formulation elle-même qui est en cause.

III — UNE NOUVELLE FORMULATION DE LA VITESSE DE DÉBOURREMENT

1) L'écart par rapport à la fonction exponentielle

L'observation faite par POUGET (1964) concernant l'écart à la fonction exponentielle et qui l'avait amené à proposer une nouvelle expression, peut être utilisée d'une autre façon.

On peut, en effet, introduire un terme correcteur dont l'effet augmente quand la température baisse et qui diminue alors la vitesse de débourrement. Par souci d'homogénéité, on peut proposer pour ce terme correcteur, une fonction exponentielle du type cte e^{-gT}, où g est > 0. Une fonction de ce type a été proposée par CLARKSON et RUSSEL (1979) pour exprimer la vitesse de développement avant la floraison de variétés de luzerne nécessitant une période de froid (avec T prise comme la température minimum, et avec g = 0,334).

On note aussi, quant à l'évolution de la vitesse de débourrement, que POUGET (1963), dans sa thèse sur la dormance des bourgeons, montre que la vitesse d'absorption de l'oxygène

diminue rapidement en s'écartant de la courbe exponentielle quand la température descend en dessous de 10°C. Il semble bien que les températures basses aient une action particulière sur l'intensité respiratoire des tissus.

2) Coefficients de la fonction proposée

On est amené à résoudre le problème suivant :

a) Proposer une fonction de la température F(T), dont la sommation en fonction du temps,

$\sum_{0}^{D} F(T).\, dt = cte$, conduit pour un cépage donné, aux valeurs de la durée de débourrement D observée sous serre dans les conditions expérimentales, pour les différentes températures utilisées.

b) Vérifier que cette fonction fournit, avec la même valeur de la constante, les durées observées pour ce même cépage, dans les conditions naturelles.

Cette fonction est de la forme

$$V = M\,[\, e^{0,07T} - Ne^{-gT}\,] \qquad (17)$$

L'ajustement aux résultats expérimentaux sous serre conduit à la formule finale :

$$V = M.F$$

avec

$$F = e^{0,07T} - 1,91\, e^{-0,126T} \qquad (18)$$

M est une constante qui dépend du cépage et qui avec les conventions de POUGET

$(V = \frac{1000}{D})$ prend les valeurs suivantes présentées dans le tableau II :

TABLEAU II

Valeurs de M suivant les cépages

Cépage	M
Perle de Csaba	28
Traminer	22,5
Merlot	18,5
Ugni blanc	15,5
Cabernet Sauvignon	13,5

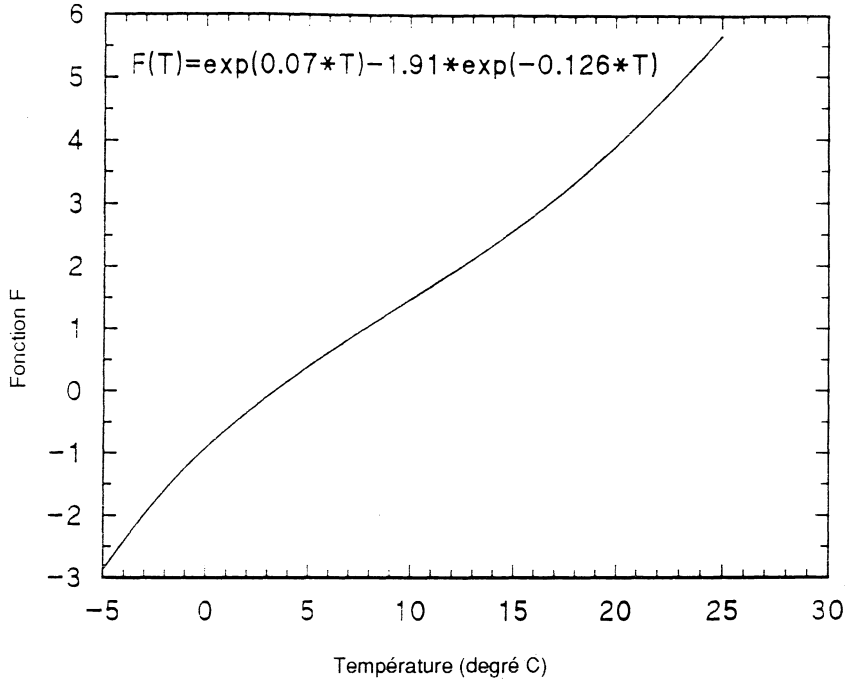


Fig. 1 — Évolution de la fonction F = exp(0,07T) - 1,91 exp(-0,126T) en fonction de la température

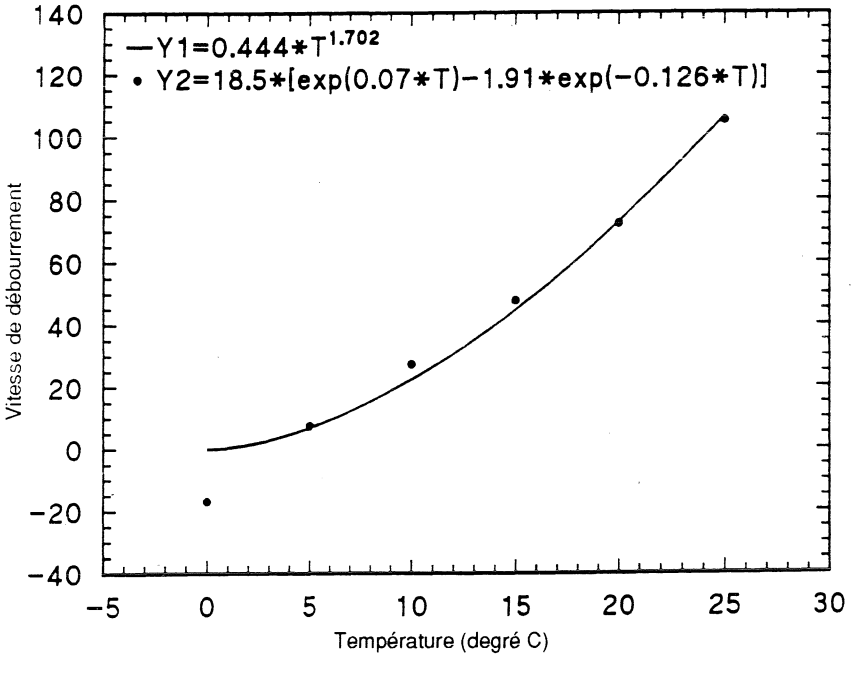


Fig. 2 — Comparaison de la fonction MF avec M = 18,5(•)
et de la fonction proposée par POUGET pour le Merlot (——)

La figure (1) représente la fonction (18) et la figure (2) compare les deux fonctions (celle proposée par POUGET (1988) et la nouvelle fonction) dans le cas du Merlot. On voit que pour les températures de l'expérience (5, 10, 15, 20, 25°C), les deux courbes restent très proches; on remarque également que pour les valeurs de T < 5°C, un écart se creuse entre les deux fonctions. La fonction (18) s'annule pour T = 3,3°C puis devient négative et atteint la valeur - 2,882 pour T = - 5°C (il faut une température de 16,3°C pour compenser une telle valeur).

3) Utilisation de la fonction pour la prévision du débourrement dans les conditions naturelles

Il reste maintenant à vérifier que ces fonctions nous conduisent sans modification de M à des prévisions correctes.

Les modèles d'évolution de la température (10, 11, 12), utilisés avec les valeurs moyennes interannuelles de la température à Bordeaux-INRA (1924-1953) nous fournissent les prévisions présentées dans le tableau III :

TABLEAU III

Comparaison des durées de débourrement calculées et observées

Cépage	Jour prévu par le modèle	Jour observé*
Perle de csaba	65	63,5 ± 8,6
Traminer	73	72,1 ± 6,3
Merlot	80	81,2 ± 5,8
Ugni blanc	87	85,9 ± 5,9
Cabernet Sauvignon	93	91,2 ± 6,8

* Résultats de POUGET (1988) : 18 années d'observations.

Ces résultats sont tout à fait satisfaisants.

CONCLUSION

La fonction (18) : $F = e^{0,07T} - 1,91\ e^{-0,126T}$ apparaît donc comme une fonction capable à la fois de traduire correctement les résultats obtenus sous serre par POUGET (1988) et les observations faites sur le terrain, quant à la durée du débourrement.

Cette fonction est commune à tous les cépages; sa sommation pendant la durée D conduit à des valeurs W différentes selon la précocité.

TABLEAU IV

Valeurs de la somme W selon les cépages

Cépage (précocité décroissante)	W (Unités-jours)
Perle de csaba	35
Chardonnay	38
Traminer	44
Chasselas	47
Gamay	49
Muscat	49
Pinot noir	51
Syrah	53
Cot	54
Chenin	55
Meunier	55
Riesling	55
Merlot	56
Sémillon	57
Cabernet franc	58
Grenache	59
Sauvignon	60
Carignan	63
Ugni blanc	64
Cabernet-Sauvignon	72
Mourvèdre	75
Sélect	84

$$\sum_{0}^{D} F_{(T)}dt = W \qquad (19)$$

avec W = 1000/M, quand W est exprimé en unités-jours, soit :

$$W = \frac{1}{24} \sum_{1}^{D} \sum_{1}^{24} F_{(T)}\, \delta H\, \delta J \qquad (20)$$

Plus le cépage est tardif et plus cette somme augmente.

Le fait qu'on ait là une fonction unique pour tous les cépages, qu'on puisse caractériser chaque cépage par une seule valeur (la somme atteinte), qu'on traduise correctement un ensemble d'observations sous serre et en conditions naturelles, et qu'on aboutisse finalement à une simple correction de la loi exponentielle utilisée à l'origine par POUGET, nous conduit à considérer la nouvelle formulation comme une amélioration.

En fait, on voit que la différence entre l'ancienne et la nouvelle expression porte sur l'évaluation de la vitesse de débourrement aux faibles températures (< 5°C), pour lesquelles il n'y avait pas eu d'observations sous serre, mais qui sont fréquentes pendant les premiers mois de l'année qui précèdent le débourrement.

A partir des observations de POUGET (1988), on peut établir le tableau IV, donnant les valeurs de W atteintes par la fonction F, pour les cépages dont la date de débourrement a été observée.

Disposant de la fonction (18) et des données de température, on peut alors calculer jour après jour la somme des valeurs de F et suivre l'évolution du bourgeon vers le débourrement qui sera atteint, pour un cépage donné, quand la somme atteindra la valeur W.

Manuscrit reçu le 14 octobre 1991; accepté pour publication le 6 novembre 1991.

BIBLIOGRAPHIE

CLARKSON N.M. et RUSSEL J.S., 1979. Effect of temperature on the development of two annual Medicago species. *Aust. J. Agric. Res.*, **30**, 909-916.

LEHENBAUER P.A , 1914. Growth of maïze seedlings in relation to temperature. *Physiol. Res.*, 1, 247-288.

POUGET R., 1963. Recherches physiologiques sur le repos végétatif de la vigne (*Vitis vinifera L.*) : La dormance des bourgeons et le mécanisme de sa disparition. *Thèse d'Etat*, Fac. Sci. Bordeaux.

POUGET R., 1964. Observations sur la vitesse de débourrement de cépages de *Vitis vinifera L.* après levée artificielle de la dormance. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 258, groupe **11**, 4333-4335.

POUGET R., 1966.Relations entre la dormance et le rythme végétatif chez la vigne. *Bull. Soc. Bot. de France*, **114**, 101-109.

POUGET R., 1988. Le débourrement des bourgeons de la vigne : Méthode de prévision et principes d'établissement d'une échelle de précocité de débourrement. *ConnaissanceVigne Vin*, **2**, 105-123.