LE ROLE DU CLIMAT EN VITICULTURE

PREMIERE PARTIE

J. NIGOND
Laboratoire de Bioclimatologie des Plantes Pérennes
Institut Universitaire de Technologie, 63 - Aubière. France.

I — **INTRODUCTION**

II — **PHENOMENES VEGETATIFS ET FACTEURS CLIMATIQUES**

A — **Dormance et déterminisme du débourrement des bourgeons**

1 - Méthode expérimentale
2 - Cinétique de la dormance
3 - Action de la température en conditions contrôlées

B — **Croissance et maturation des fruits.**

1 - Généralités
2 - Rôle du facteur lumière
3 - Rôle du facteur température
4 - Conclusions

I. — INTRODUCTION.

Cet exposé n'a pas pour but de présenter des résultats expérimentaux nouveaux concernant la bioclimatologie de la vigne. Il ne se propose pas non plus de faire le point d'une manière exhaustive de nos connaissances actuelles dans ce domaine. Il s'agit seulement d'ordonner aussi logiquement que possible un nombre limité d'exemples dans le but de montrer les différents aspects de l'action des facteurs physiques du milieu, de souligner leur importance pour la production viticole et enfin de discuter certaines des méthodes pouvant être mises en œuvre pour les étudier. Ce but peut apparaître modeste au regard des nombreuses

techniques viticoles traditionnelles qui, dans tous les pays, ont atteint une perfection indiscutable et permis d'exploiter le milieu climatique naturel avec le succès que l'on sait.

Pourtant lorsqu'il s'agit, à propos d'une région viticole quelconque, si célèbre soit-elle, d'établir des relations entre les valeurs numériques relatives aux facteurs physiques du milieu et celles concernant les résultats viticoles obtenus, les difficultés rencontrées sont en général presque insurmontables. Très souvent, en France tout au moins, on ne dispose pas des deux séries de données climatiques et biologiques qu'il faudrait confronter. S'il existe des indications partielles, elles sont presque toujours relatives à des échelles différentes : par exemple, des observations climatologiques faites sous abri à 2 mètres et des caractéristiques de la vendange pour une ou plusieurs exploitations de topographie et d'encépagement très divers. Ainsi, se trouve rendu encore plus difficile le problème déjà complexe de la mise en évidence, **a posteriori,** de l'action des différents facteurs du climat dans le milieu naturel. En outre, l'expérimentation à but spécifiquement bioclimatologique est assez rarement réalisée au vignoble. Elle n'est effectuée, dans le monde, que par quelques laboratoires. Très souvent, les conditions climatiques sont décrites à l'occasion d'essais concernant d'autres facteurs de la production (choix du cépage, conditions édaphiques, mode de conduite, etc...) et l'analyse de leur influence n'est faite que secondairement, dans le dépouillement de l'ensemble des résultats. Enfin, les travaux de recherche en conditions physiques contrôlées sont encore peu nombreux. En outre, ils présentent, pour la vigne, toutes les difficultés inhérentes aux plantes pérennes et portent plus souvent sur des organes isolés que sur des plantes entières. Les résultats ainsi obtenus pourront donc, tout au plus, servir de bases aux études réalisées dans le milieu naturel.

Pourtant, la complexité des études de bioclimatologie de la vigne ne résulte pas uniquement de l'aspect physique des phénomènes à analyser. Cette complexité est également grande dans le domaine biologique. De toutes les productions végétales, la production viticole est sans doute celle pour qui les nombreuses modalités de l'influence du milieu ont les conséquences commerciales les plus importantes. Cette production est à la fois fonction de la quantité et de la qualité de la récolte. Au fur et à mesure qu'augmente la qualité des produits, cette dernière prend une importance prépondérante par rapport à la quantité, à tel point que, dans les vignobles à appellation d'origine contrôlée, l'aspect qualitatif de la production est de beaucoup le plus important ; c'est lui qui conditionne, au premier chef, la rentabilité de l'exploitation. Ainsi, dans

le commerce de détail, le prix d'un vin ordinaire de consommation courante et celui d'un grand cru de Champagne varient dans le rapport de 1 à 20. A la production, les prix des types de raisin correspondants sont dans le rapport de 1 à 8. A l'intérieur de l'appellation « Champagne » elle-même, les prix du raisin pour chaque village sont fixés par l'échelle des crus, (coefficient compris entre 50 et 100). Ainsi la bioclimatologie de la vigne aura nécessairement pour but de contribuer à expliquer toutes ces modalités des aspects quantitatifs et qualitatifs de la production que les traditions viticoles ont codifiées.

Les conséquences économiques de ces recherches sont donc évidentes, en particulier dans les vignobles de crus ; elles seules pourraient permettre de modifier la législation existante, d'adapter rationnellement les modes de conduite aux conditions de la viticulture moderne, de définir éventuellement de nouvelles zones aptes à une production viticole de qualité, de développer la production de raisins de table, notamment à contre saison.

En montrant dans cette introduction, d'une part combien les méthodes de la bioclimatologie viticole sont encore imprécises et d'autre part, le type d'informations nécessaires pour faire progresser les techniques viticoles qui sont, sans doute, les plus avancées de toute l'agriculture, j'ai voulu faire pressentir combien mon exposé risque d'être peu satisfaisant pour des viticulteurs et aussi l'ampleur des recherches qui pourraient être entreprises. Actuellement il n'est guère possible d'utiliser les acquisitions récentes concernant la physiologie de la vigne pour rendre compte avec précision des phénomènes observés dans le milieu naturel ou pour résoudre des problèmes techniques. J'ai voulu également expliquer le plan qui va être suivi. Dans une première partie consacrée à l'action des facteurs climatiques sur les phénomènes végétatifs de la vigne, deux exemples de recherches assez fondamentales seront présentés, l'un relatif à la dormance des bourgeons, l'autre à la maturation des fruits. Dans une deuxième partie et d'une manière presque indépendante, les différentes échelles auxquelles les facteurs climatiques interviennent en viticulture seront étudiées. On envisagera successivement, l'échelle de la zone de végétation de la vigne, de la région viticole, de la topographie et celle du microclimat. Enfin, dans une troisième partie, seront présentés quelques-uns des résultats fournis par l'étude statistique des relations climat-production viticole.

II. — PHENOMENES VEGETATIFS ET FACTEURS CLIMATIQUES

A — DORMANCE ET DETERMINISME DU DEBOURREMENT DES BOURGEONS.

Depuis un certain nombre d'années de nombreuses études expérimentales ont été réalisées dans ce domaine. Cependant au lieu de résumer l'ensemble, d'ailleurs assez cohérent, des résultats obtenus, il me paraît préférable de montrer, à l'aide d'exemples, les difficultés que présente l'explication de l'époque de débourrement dans les conditions naturelles à partir de résultats relatifs à l'action de la température étudiée en conditions contrôlées.

1. - Méthode expérimentale

Des lots de boutures à un seul bourgeon dont l'importance peut varier de quelques dizaines à quelques centaines d'individus sont plantés dans du sable humide, puis placés à la lumière naturelle et à une température rigoureusement constante. Le temps nécessaire au débourrement de chaque bourgeon est déterminé de manière à pouvoir calculer le temps moyen harmonique relatif à l'ensemble du lot ainsi que les caractéristiques de la distribution des vitesses de débourrement : vitesse moyenne, coefficient de dispersion, dissymétrie et applatissement.

2. - Cinétique de la dormance

En prenant comme référence la température de 25° C et en effectuant tous les dix jours environ des prélèvements échelonnés de bourgeons, l'évolution du temps moyen de débourrement a pu être déterminée depuis le mois de juin jusqu'au printemps suivant. Pour le cépage Carignan, ces expériences ont été réalisées sous plusieurs types de climats (NIGOND 1966, BEN AMOR 1970).

Dans la région française du Languedoc méditerranéen (fig. 1) l'installation de la dormance débute fin juillet. L'évolution du phénomène est ensuite très rapide puisque la dormance atteint son intensité maximale dans le courant de septembre, le temps nécessaire au débourrement à 25° C étant alors, dans l'exemple choisi, de 8 à 14 fois plus élevé qu'au début de juillet. La levée de dormance a lieu en octobre et novembre. Elle est suivie par une période d'évolution plus lente des bourgeons (décembre et janvier) puis par des phénomènes de croissance avant le débourrement qui se déroulent plus ou moins rapidement suivant les années.

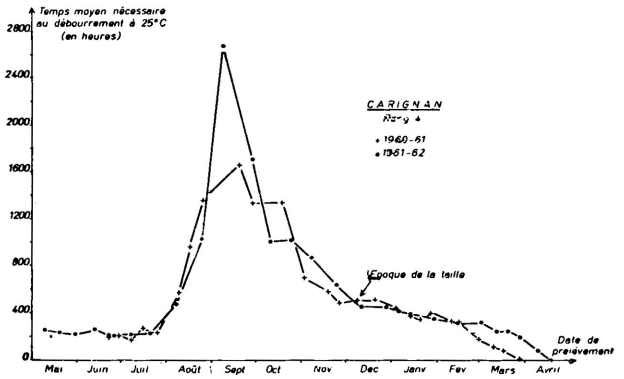

Fig. 1. — Variation du temps de débourrement à 25° C en fonction de l'époque de prélèvement. (Carignan, bourgeons de rang 4, 1960 et 1961).

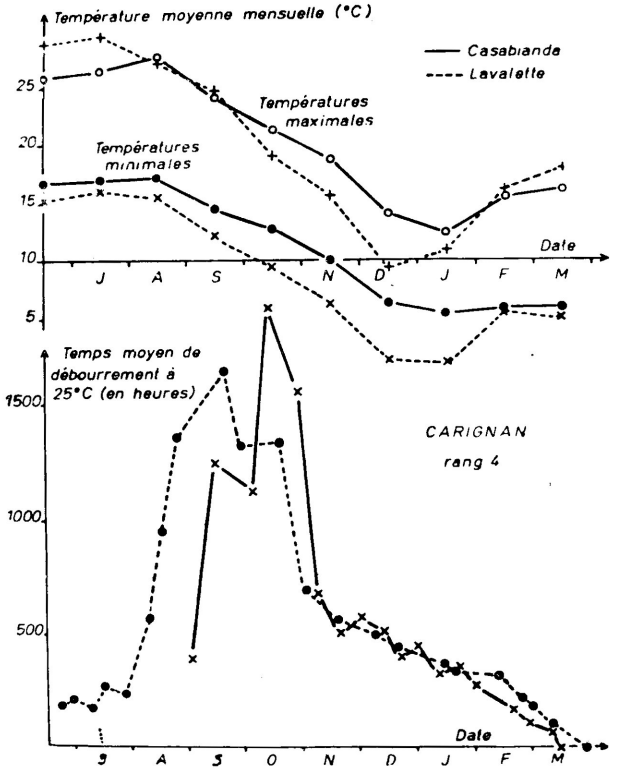

Fig. 2. — Evolution de la dormance sur des plantes adultes se développant dans la plaine orientale de la Corse (Domaine de Casabianda) et dans la plaine du Languedoc (Domaine de Lavalette).
La figure indique également les températures moyennes, minimales et maximales, observées dans chaque cas (Carignan : 1960-1961).

Plus au sud, en Corse, la cinétique de la dormance est assez nettement modifiée (fig. 2). Son établissement a été plus tardif qu'à Montpellier, l'écart entre les deux types de bourgeons étant de l'ordre de 20 à 30 jours. En outre, malgré une valeur maximale du temps de débourrement un peu plus élevée en Corse, la levée de la dormance a fait disparaître tout écart ; les deux lots de bourgeons ont atteint début

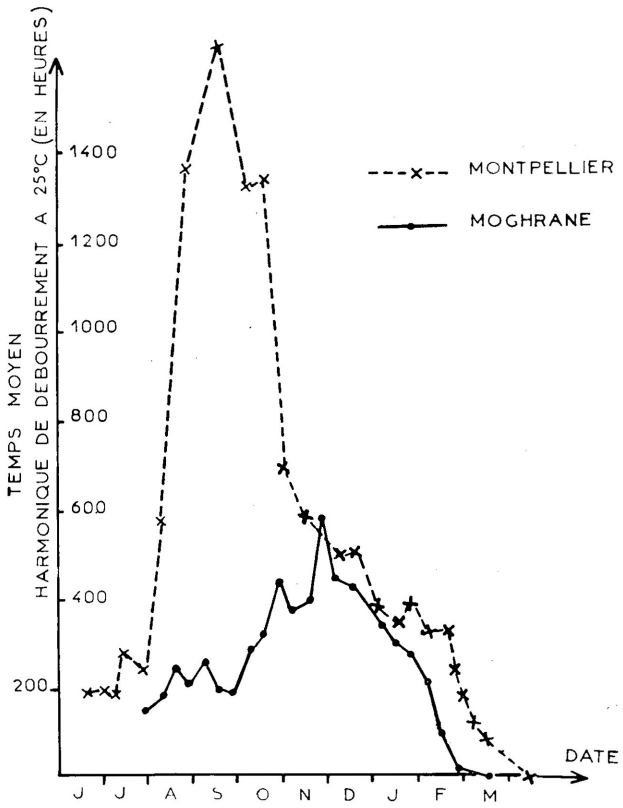

Fig. 3. — Variation du temps moyen harmonique de débourrement à 25° C en fonction de la date de prélèvement, Carignan, Montpellier (France), 1960-1961 et Moghrane (Tunisie), 1968-1969, (Ben Amor 1970).

décembre la même valeur (500 heures) du temps de débourrement. L'évolution a été ensuite analogue sous les deux climats jusqu'au début de février. A partir de cette date, les bourgeons ont cependant évolué plus rapidement en Corse, l'écart entre les deux dates moyennes de débourrement au vignoble étant finalement assez important (14 jours).

En Tunisie, le retard à l'installation de la dormance est encore plus marqué (fig. 3). Le temps moyen de débourrement ne présente pas en juillet et août de valeurs élevées ; c'est seulement fin septembre qu'une

dormance légère commence à s'installer atteignant son maximum au début de décembre. Les valeurs du temps de débourrement sont de l'ordre de 400 à 600 heures. En janvier et février, les phénomènes de croissance sont particulièrement rapides, le débourrement ayant lieu dans des conditions naturelles, courant mars.

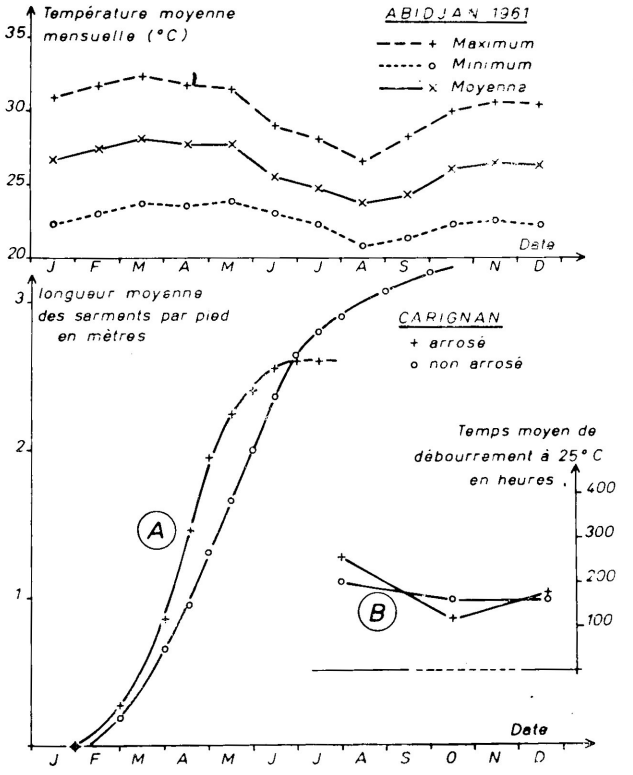

Fig. 4. — Evolution de la dormance des bourgeons sur des plantes cultivées sous le climat équatorial. La longueur moyenne de sarment par pied (A) et le temps moyen nécessaire au débourrement à 25° C (B) sont indiqués en fonction de la date et pour deux parcelles, l'une arrosée, l'autre non arrosée.
Les températures moyennes mensuelles minimales, moyennes et maximales, sont également présentées (Carignan, Abidjan, 1961).

Une expérience du même type a également été effectuée sous le climat équatorial d'Abidjan (Côte-d'Ivoire). Dans deux parcelles, l'une irriguée, l'autre non irriguée, des mesures de croissance des sarments et quelques prélèvements de bourgeons (fig. 4) ont montré que l'arrêt de la croissance n'est pas suivi par l'installation de la dormance. Le temps de débourrement à 25° C demeure toujours de l'ordre de 200 heures. Sur la plante elle-même, le débourrement des bourgeons latents a eu lieu dans les deux parcelles immédiatement après la chute des feuilles.

Cette série de quatre expériences réalisées sur le même cépage et sous des latitudes de plus en plus basses fait apparaître clairement les modifications progressives que subit la cinétique de la dormance. On assiste successivement à un retard au début de l'installation de la dormance puis à une diminution des valeurs maximales atteintes. Une comparaison de ces résultats avec les valeurs de la température sous abri semble mettre en évidence une influence déterminante de cette dernière. En Corse, où les températures minimales sont, après l'arrêt de la croissance, beaucoup plus élevées que dans le Languedoc, la dormance paraît devenir importante seulement lorsque les températures de 12 à 18° C peuvent agir pendant un temps suffisant, c'est-à-dire fin août. En Tunisie, les températures moyennes minimales ne deviennent égales à 15° C que beaucoup plus tardivement. Sous le climat assez continental de Moghrane étudié par BEN AMOR, cette valeur est atteinte à la mi-octobre ; c'est précisément à cette époque que la dormance du Carignan commence à se manifester en Tunisie. Enfin, en climat équatorial, la température ne semble jamais atteindre des valeurs suffisamment basses pour que la dormance s'installe. Ce résultat a pu être confirmé par une série d'expériences en serre partiellement conditionnée. On sait par ailleurs que certaines espèces tropicales du genre **Vitis** ont une végétation continue, la floraison et la maturation étant, par exemple, simultanées et continues pendant longtemps dans les régions du sud de la Floride pour **Vitis Caribae** B. C. (VIALA et VERMOREL 1910).

Ainsi, l'élément déterminant qui modifie le rythme de végétation de la vigne paraît bien être l'influence de la température sur les conditions d'installation de la dormance.

3. - Action de la température en conditions contrôlées.

En prenant toujours comme référence le temps moyen nécessaire au débourrement des bourgeons à 25° C, on a tenté de déterminer, par comparaison, l'influence de toute une série d'autres températures (6, 0, + 6, + 12° C). Des bourgeons étaient placés pendant des temps croissants à ces températures puis transférés à 25° C. Ainsi, à partir d'un état initial de dormance déterminé, on pouvait suivre l'évolution de cet état au cours de séjours plus ou moins prolongés à des températures relativement basses.

Lorsque les bourgeons sont prélevés pendant la période d'installation de la dormance, de telles expériences mettent en évidence une poursuite de l'installation de la dormance sur des bourgeons isolés, ce

phénomène étant d'autant plus important que la température est plus élevée, tout au moins dans la gamme de 0 à 18° C (fig. 5). A 25° C il

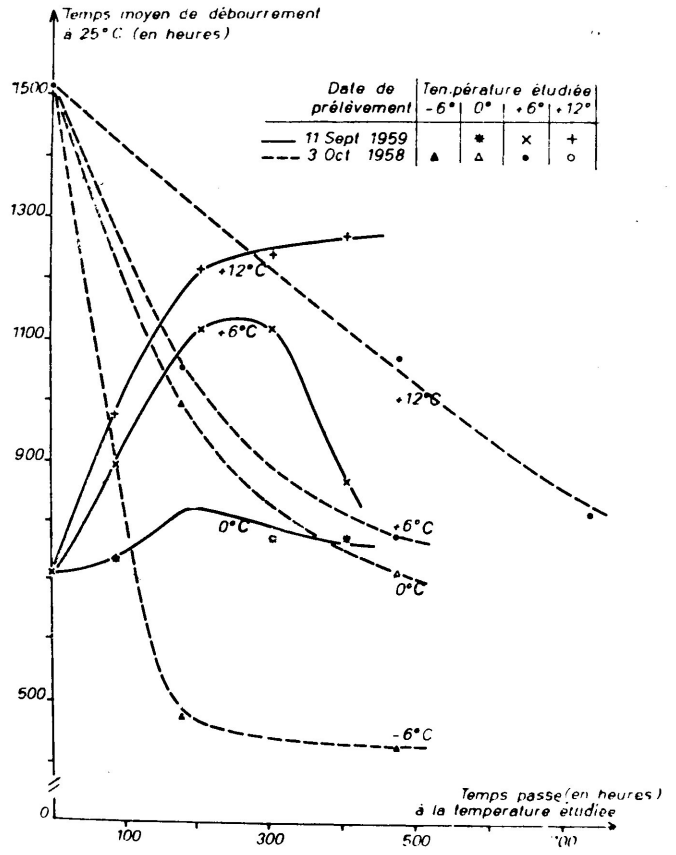

Fig. 5. — Action de séjours à différentes températures sur l'état de dormance de bourgeons prélevés au milieu de la phase d'installation de la dormance (11 septembre 1959) et peu avant le maximum de dormance (3 octobre 1958). (Aramon — bourgeons de rang 4).

n'y a pratiquement pas d'installation de la dormance sur les bourgeons isolés. Ainsi se trouve confirmée l'hypothèse fondée précédemment sur des observations en conditions naturelles : les températures élevées limitent bien l'installation de la dormance.

Si les bourgeons sont, au contraire, prélevés plus tardivement, par exemple à l'époque du maximum de dormance, les phénomènes observés sont tout à fait différents (fig. 5). Les températures de la gamme —6 à + 12° C provoquent une levée de la dormance d'autant plus rapide que les températures sont plus basses. En multipliant les expériences de ce type, il a été possible de suivre l'action des différentes températures

pendant toute la période de levée de dormance et de réaliser une présentation plus générale des résultats obtenus (fig. 6) :

— pour une même température de la gamme de — 6 à + 6° C, la vitesse de levée de dormance décroît linéairement quand l'état de dormance diminue.

— pour un même état de dormance, la vitesse de levée de dormance diminue d'une manière exponentielle quand la température s'élève.

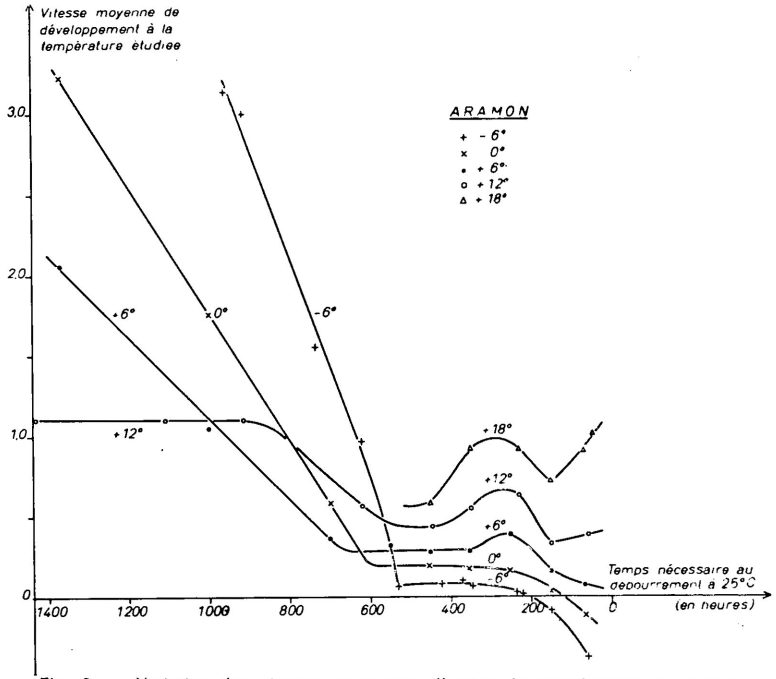

Fig. 6. — Variation des vitesses moyennes d'action de températures comprises entre — 6° C et + 18° C en fonction du temps moyen nécessaire au débourrement à 25° C (Aramon — bourgeons de rang 4).

Ces relations quantitatives relativement simples pourraient sans doute servir de base à une étude biochimique des phénomènes ayant lieu dans les bourgeons. En outre, du point de vue écologique, les résultats précédents montrent que des températures basses ne sont pas indispensables à la levée de la dormance. Celle-ci ayant lieu d'une manière très satisfaisante à 12° C, elle peut se produire dans les conditions naturelles du Languedoc au cours des mois d'octobre et de novembre où les températures moyennes sous abri sont de l'ordre de 10 à 15° C.

Lorsque le temps moyen de débourrement à 25° C atteint une valeur inférieure à 500 heures, c'est-à-dire au début de décembre, les modalités

d'action de la température deviennent totalement différentes. A partir de cette époque, se déroule la phase de croissance avant le débourrement pendant laquelle la loi d'action de la température présente une évolution très progressive (fig. 7). Après avoir eu une pente négative pendant la période de levée de dormance, elle présente un minimum au voisinage de + 6 puis de 0° C. Elle acquiert finalement une pente positive mais continue encore à évoluer pendant toute la période qui précède le débourrement : le seuil d'action de la température s'élève progressivement et atteint une valeur de + 6° C ; de même, la vitesse de développement à 12° C augmente régulièrement au cours de cette période.

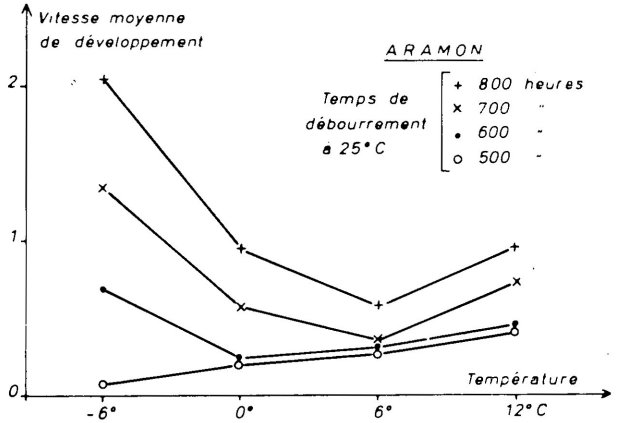

Fig. 7. — Variation de la vitesse moyenne de développement en fonction de la température : cas de bourgeons prélevés à la fin de la phase de levée de dormance et pendant la période de transition qui précède la phase de croissance avant le débourrement.
(Aramon — bourgeons de rang 4)

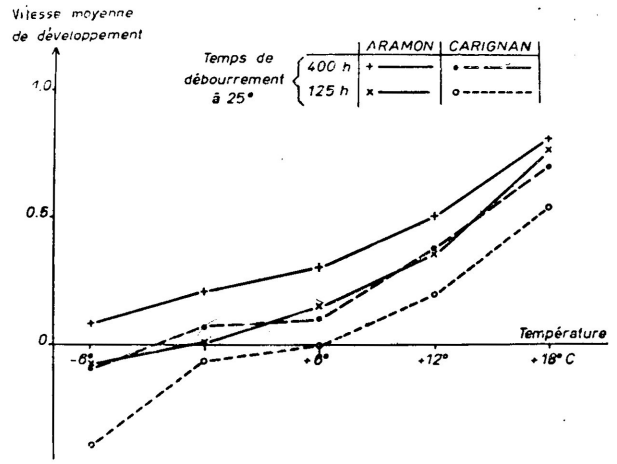

Fig. 8. — Comparaison des vitesses moyennes de développement de bourgeons d'Aramon et de Carignan, prélevées pendant la phase de croissance avant le débourrement et ayant même temps moyen de débourrement.
(Bourgeons de rang 4 — temps de débourrement : 400 h et 125 h à 25° C)

Cette évolution traduit vraisemblablement l'existence d'une série de phénomènes biochimiques très différents les uns des autres, se succédant à l'intérieur des bourgeons et ayant des exigences thermiques de plus en plus importantes. Les caractéristiques générales de cette évolution demeurent les mêmes lorsqu'on compare des cépages précoces (Aramon) et des cépages tardifs (Carignan). Les vitesses de développement augmentent progressivement mais demeurent d'autant plus faibles que le cépage est plus tardif (fig. 8).

Les résultats ainsi obtenus en conditions de températures contrôlées permettent de comprendre les grandes lignes de l'évolution des bourgeons dans les conditions naturelles : installation de la dormance dès que la croissance est arrêtée et que les températures de l'ordre de 15° C peuvent agir pendant un temps suffisant ; levée de la dormance même à des températures relativement élevées telles que 12° C ; adaptation des exigences thermiques des bourgeons aux conditions du relèvement de température au cours de l'avant-printemps.

En fait, les difficultés commencent lorsqu'on veut essayer d'établir un lien quantitatif entre les résultats obtenus en conditions naturelles et en conditions contrôlées. On pouvait penser que le dépouillement horaire des températures observées au vignoble puis le calcul de la somme des vitesses horaires de développement correspondantes déterminées en conditions contrôlées, permettraient d'expliquer les observations phénologiques faites au vignoble. Pourtant il n'en est rien et deux explications paraissent plausibles pour cet échec. En premier lieu, il est sans doute indispensable de tenir compte des phénomènes de thermopériodisme se produisant dans les conditions naturelles ; d'ailleurs même en conditions contrôlées, l'influence d'une température basse peut apparaître différente suivant la valeur de la température élevée qui lui succède. En second lieu, il est sans doute insuffisant de tenir compte uniquement du climat des bourgeons et de faire abstraction de celui auquel sont soumis les autres organes de la plante. Ainsi se trouve souligné à la fois l'intérêt fondamental et les limites de l'expérimentation faite sur des organes isolés se développant en conditions de milieux physiques contrôlés.

B — CROISSANCE ET MATURATION DES FRUITS.

1. - Généralités.

Pendant la période de repos végétatif, la situation biologique est relativement simple. S'il faut tenir compte de l'ensemble des parties pérennes de la plante pour interpréter les variations de l'époque de

débourrement, le bourgeon n'en reste pas moins l'organe le plus important à étudier. il n'en est pas de même pendant la phase de croissance active. La croissance et le développement de la plante résultent alors d'un ensemble de facteurs si complexe qu'il paraît utile d'en dresser un tableau schématique (fig. 9). Bien que simplifié à l'extrême, ce schéma rappelle comment interfèrent les trois grands groupes d'éléments déterminants de la production viticole : biologiques (porte-greffe et cépage), écologique (microclimat et nutrition), culturaux (ayant une influence à la fois biologique et écologique).

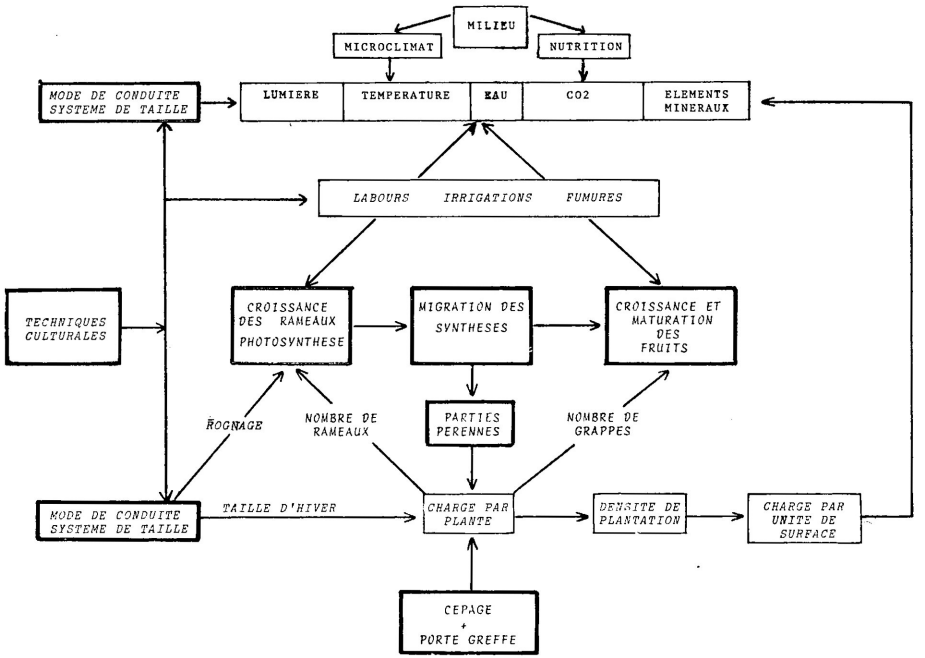

Fig. 9. — Eléments essentiels du déterminisme de la production viticole.

En viticulture, les techniques culturales jouent sans doute un rôle plus important que pour toute autre culture de plein-champ. En modifiant de manière souvent fondamentale les conditions de climat et de nutrition, les interventions au niveau du sol (labour, irrigation, fumure) et au niveau de la plante (mode de conduite, système de taille) agissent directement et indirectement pour améliorer considérablement la vocation viticole du milieu naturel. En outre, les opérations réalisées au niveau de la plante modifient spécifiquement les conditions d'expression du patrimoine génétique et les adaptent au milieu naturel. A l'échelle de l'individu, le mode de conduite ainsi que les tailles d'hiver et d'été déterminent à la fois la position et le nombre d'organes végétatifs et reproducteurs. A l'échelle

de la parcelle, la densité de plantation conditionne la répartition de ces éléments par unité de surface et par voie de conséquences, les conditions dans lesquelles va être exploité le milieu écologique.

A partir de ce schéma très élémentaire, il serait facile d'énumérer toutes les difficultés que présente l'étude des principaux phénomènes biologiques ayant lieu pendant la période de croissance active : croissance des rameaux, photosynthèse, migration des synthèses, croissance et maturation des fruits, etc... Toute intervention effectuée par exemple, au niveau d'un facteur du microclimat ou d'un élément du système de taille, aura des conséquences pour l'ensemble des relations qui viennent d'être schématisées. De plus, les déplacements d'équilibre ainsi provoqués seront différents selon le type biologique ou le milieu considéré.

Du point de vue expérimental, il résulte de ces observations la nécessité absolue de définir avec le maximum de précision les conditions générales de travail. Il en résulte également l'obligation de saisir de manière aussi complète que possible l'ensemble des modalités de réponse de la plante. C'est peut-être dans ce domaine que les difficultés sont les plus importantes. Ainsi, au niveau d'une parcelle considérée comme homogène pour le cépage, le microclimat, les conditions de nutrition et les techniques culturales, il existe encore des facteurs d'hétérogénéité biologique ou physique suffisamment nombreux pour que les quatre échelles d'investigations suivantes soient à envisager : souches, rameaux, grappes, baies. Pour chacune d'elles, il faut définir, d'une part des méthodes d'échantillonnage, d'autre part des critères biologiques et physiques correspondants à des échelles de temps analogues. Deux exemples de tels travaux analytiques, relatifs à l'action du climat sur l'évolution des fruits, vont être maintenant résumés.

2. - Rôle du facteur lumière.

Dans ce domaine, un exemple est fourni par une série d'expériences réalisée à l'Université de Californie (SCHULTZ et LIDER 1964, KLIEWER et SCHULTZ 1964, KLIEWER, LIDER et SCHULTZ 1967). L'influence du rayonnement solaire global est étudiée à l'aide de deux types d'écran en matière plastique, placés au-dessus des plantes pendant une partie de la période de végétation (15 juillet - 15 septembre approximativement). Ces écrans laissent passer respectivement 30 % et 21 % du rayonnement solaire global, leur action étant évidemment différente suivant l'heure de la journée et la longueur d'onde du rayonnement (fig. 10).

De tels écrans ont une influence sur d'autres facteurs climatiques, convection, température, etc... D'après une première série d'observations relatives aux mois de juillet à septembre 1962 et 1963, les températures maximales moyennes de l'air et des grappes seraient moins élevées respectivement de 1° et 3° C sous l'écran qu'à l'extérieur. Par contre, les températures minimales moyennes de l'air et des grappes seraient légèrement plus élevées sous l'écran (0,5° C environ). Une autre série de mesures correspondant à six journées d'août et septembre 1963, permet de comparer de manière plus précise les conditions thermiques correspondant à différentes valeurs du rayonnement global. L'influence de l'écran sur les températures paraît finalement relativement peu marquée et le dispositif expérimental décrit peut être considéré comme satisfaisant. Des installations analogues ont d'ailleurs été utilisées à diverses reprises en France pour l'étude de plantes de grande culture (GODARD 1945).

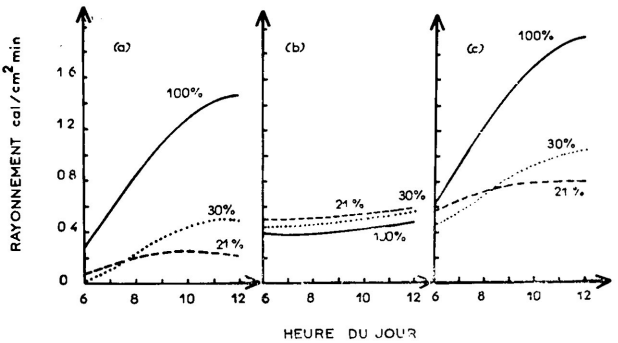

Fig. 10. — Valeurs du rayonnement solaire direct et diffus et du rayonnement atmosphérique à l'air libre (100 %), sous écran léger (30 %) et sous écran épais (21 %)
a) Rayonnement solaire direct et diffus
b) Rayonnement atmosphérique
c) Rayonnement global
(SCHULTZ et LIDER, 1964)

Dans l'ensemble des expériences ainsi réalisées en Californie, la réduction du rayonnement solaire global a eu pour conséquences, tout au long de la maturation, une teneur en sucre plus faible et une acidité plus élevée des plantes sous ombrage, puis finalement une maturité plus tardive. Ces résultats sont précisés par une série d'études biochimiques. (Fig. 11).

En premier lieu, des expériences concernant la photosynthèse sur des rameaux isolés de la plante et utilisant du carbone radioactif ont permis de suivre à deux époques différentes l'accumulation des sucres et des acides dans les baies. A la mi-août, les acides des baies immatures « 21 % » contiennent deux à sept fois plus de carbone marqué que ceux des baies « 30 ou 100 % ». De même, les sucres dans les baies « 30 ou 100 % » ont une radioactivité de 5 à 35 % plus élevée que celle

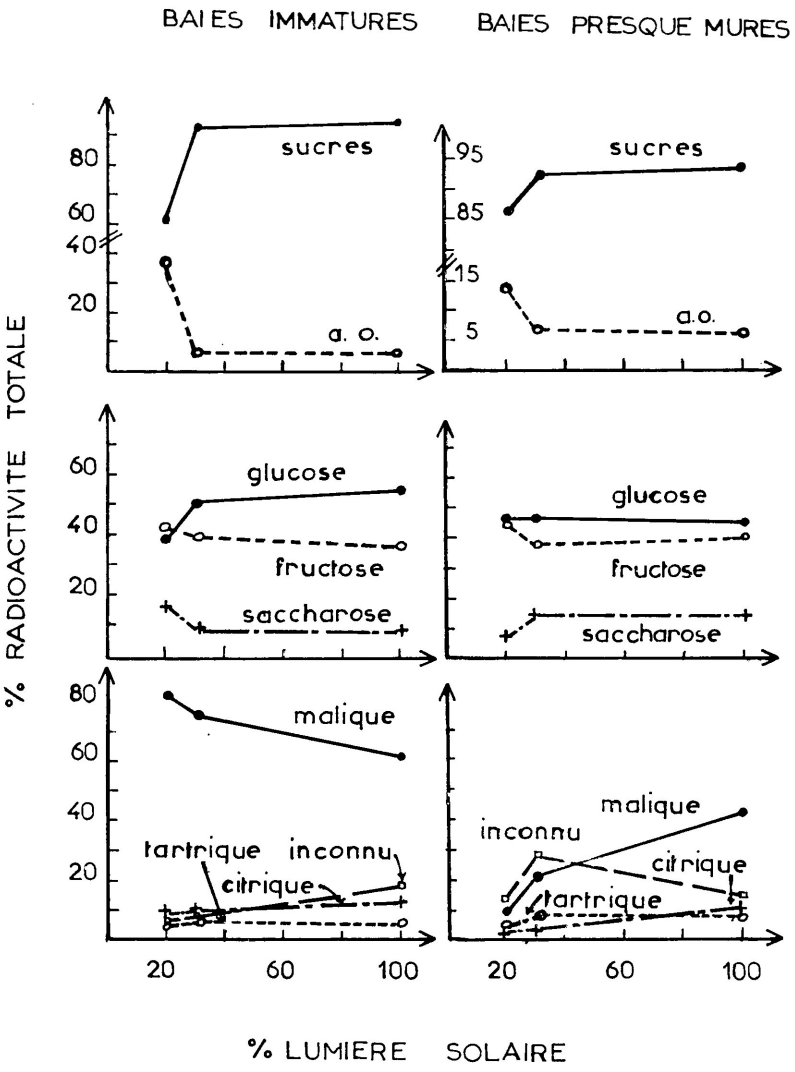

Fig. 11. — Influence d'une réduction du rayonnement global sur les quantités relatives de C14 incorporées dans les sucres et les acides organiques de baies immatures ou presque mûres du cépage Riesling blanc. (Prélèvement effectué 32 heures après l'incorporation du C14) (D'après SCHULTZ et KLIEWER, 1964.)

des sucres des baies « 21 % ». La réduction du rayonnement solaire de 100 à 30 % a donc relativement peu modifié le comportement des baies immatures par contre **une nouvelle réduction jusqu'à 21 % oriente d'une manière très importante le métabolisme des baies en faveur des acides organiques.** La même expérience réalisée à la mi-septembre sur des baies presque mûres donne des résultats du même type ; cependant l'influence

du rayonnement solaire paraît, à cette époque plus progressive. Ce résultat est en accord avec d'autres travaux indiquant que la synthèse d'acides organiques est plus active au début du développement des baies.

En ce qui concerne plus spécialement les **sucres,** le premier résultat est une augmentation importante de la radioactivité du saccharose dans les baies immatures recevant 21 % du rayonnement solaire. En outre, la radioactivité du glucose paraît être légèrement diminuée et celle du fructose légèrement augmentée par une réduction du rayonnement solaire. Au moment de la maturité, au contraire, la radioactivité du saccharose est de 7 à 15 % plus élevée pour les baies 100 % que pour les baies 21 %. De plus, les radioactivités du glucose et du fructose sont peu modifiées par l'intensité lumineuse.

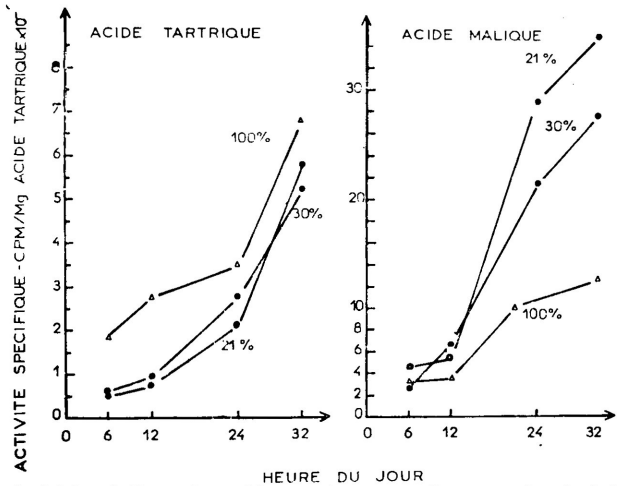

Fig. 12. — Activité spécifique des acides tartrique et malique extraits de baies prélevées sur des souches de Riesling blanc se développant en plein soleil ou sous des écrans laissant passer 30 % et 21 % du rayonnement solaire global. (KLIEWER et SCHULTZ, 1964.)

L'étude de la radioactivité des **acides** chez les baies immatures fait tout d'abord apparaître une action spécifique très nette : l'incorporation de carbone marqué dans l'acide malique diminue lorsque l'intensité lumineuse augmente. Par contre, la radioactivité de l'acide tartrique est peu modifiée. La formation d'acide aspartique paraît être favorisée par les faibles intensités lumineuses chez les baies proches de la maturité. La figure 12 résume très nettement cette action importante de la lumière sur le métabolisme des acides malique et tartrique.

En deuxième lieu, une étude cinétique de l'évolution des sucres et des acides réalisée de juillet à septembre 1965, à l'échelle de la plante entière, a permis de confirmer les résultats précédents (fig. 13).

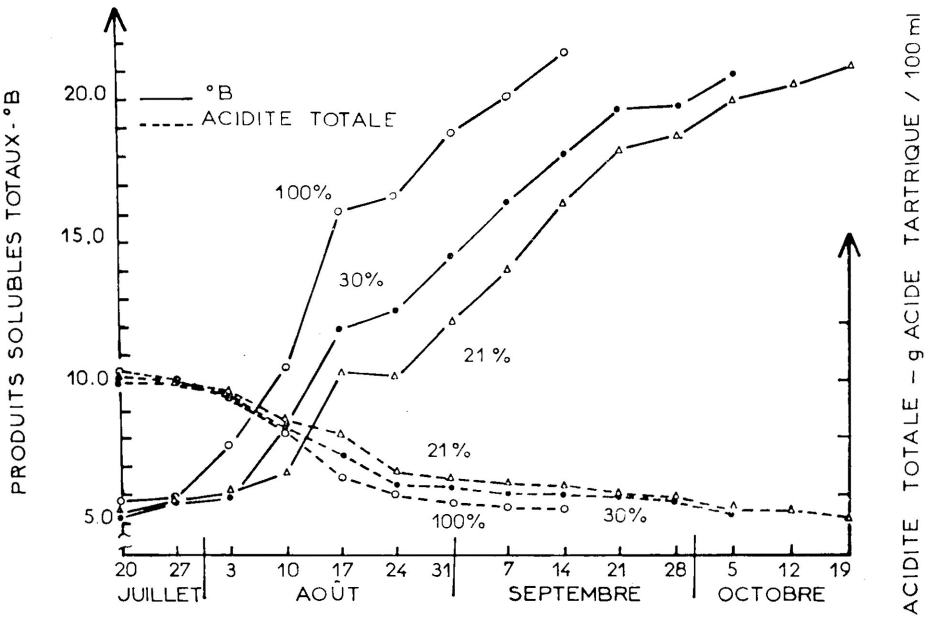

Fig. 13. — Variations des produits solubles totaux (°R) et de l'acidité totale des fruits sur des souches de Riesling blanc se développant en plein soleil ou sous des écrans laissant passer 30 % et 21 % du rayonnement solaire global. (KLIEWER, LIDER et SCHULTZ, 1967.)

Mis en place à la mi-juillet, les ombrages ont provoqué presque aussitôt un retard à l'accroissement de la teneur des baies en produits solubles ; ce retard s'est ensuite accru progressivement au cours du développement L'influence sur l'évolution des acides est apparue vers le 10 août, c'est-à-dire un peu plus tardivement. L'étude du rapport des acidités sous l'ombrage 30 % et sans ombrage permet de préciser les modalités de cette influence (fig. 14). La teneur en acide tartrique est peu augmentée, l'ombrage agissant plus supécialement sur la teneur en acide malique et en d'autres acides. L'acidité totale est finalement de 30 à 40 % plus élevée sur les plantes sous l'ombrage 30 %.

En plus des résultats scientifiques nouveaux qu'elles fournissent, les expériences précédentes apportent trois séries d'indications d'ordre méthodologique. **En premier lieu, l'étude microclimatique** précise du milieu expérimental apparaît indispensable lorsqu'il s'agit d'analyser l'influence spécifique d'un facteur physique, la lumière par exemple. **En second lieu,** se trouve soulignée la nécessité de faire appel, non seulement à la biométrie externe, mais également aux méthodes **biochimiques** pour étudier la réponse de la plante. Seul l'ensemble de ces méthodes peut permettre d'en observer les nombreuses modalités. Enfin, est mis en évidence l'intérêt de suivre **la cinétique des phénomènes biologiques** tout au cours de

la végétation, l'influence d'un même facteur physique étant très différente suivant le stade de développement de la plante ou de l'organe auquel il intervient.

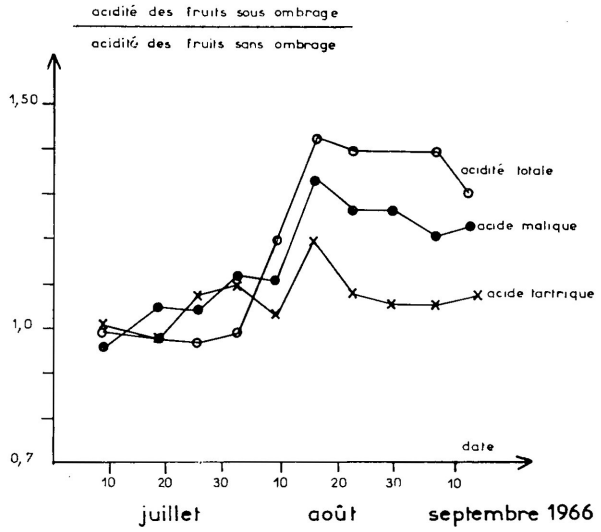

Fig. 14. — Variation du rapport des acidités des fruits sous ombrage 30 % et sans ombrage : acidité totale, acide malique et acide tartrique - Cépage : Riesling blanc. (D'après KLIEWER, LIDER et SCHULTZ, 1967.)

3. - Rôle du facteur température

Dans une autre série d'expériences (KLIEWER 1964, KLIEWER et LIDER 1968) l'action de la température était analysée d'une part en conditions contrôlées, d'autre part en utilisant les gradients thermiques qui existent entre les grappes d'une même plante et entre les baies d'une même grappe.

L'étude réalisée en conditions contrôlées a utilisé, comme précédemment, des rameaux isolés de la plante. Ils ont été alimentés pendant un temps court avec du gaz carbonique marqué puis placés dans des enceintes obscures à différentes températures (+ 10 à + 37° C). Deux expériences ont eu lieu, l'une à la mi-juillet sur des baies en cours de croissance, l'autre début septembre à l'approche de la maturité. (fig. 15).

Les premiers résultats concernent **l'importance relative des sucres et des acides.** Chez les baies immatures placées à 10° C, un plus grand pourcentage de radioactivité est contenu dans les sucres que dans les acides. A 15° C et à 37° C par contre, les acides et les sucres ont une radioactivité comparable. C'est à 20 et à 25° C que les acides organiques

sont synthétisés de la manière la plus importante, la radioactivité des sucres étant alors la moitié de celle des acides. La température apparaît donc comme l'un des facteurs déterminants du métabolisme des baies en cours de croissance. A l'approche de la maturité, les phénomènes observés sont totalement différents. Les sucres contiennent toujours au moins 80 % de la radioactivité totale et leur importance n'augmente que légèrement avec la température. Contrairement à ce qui était observé

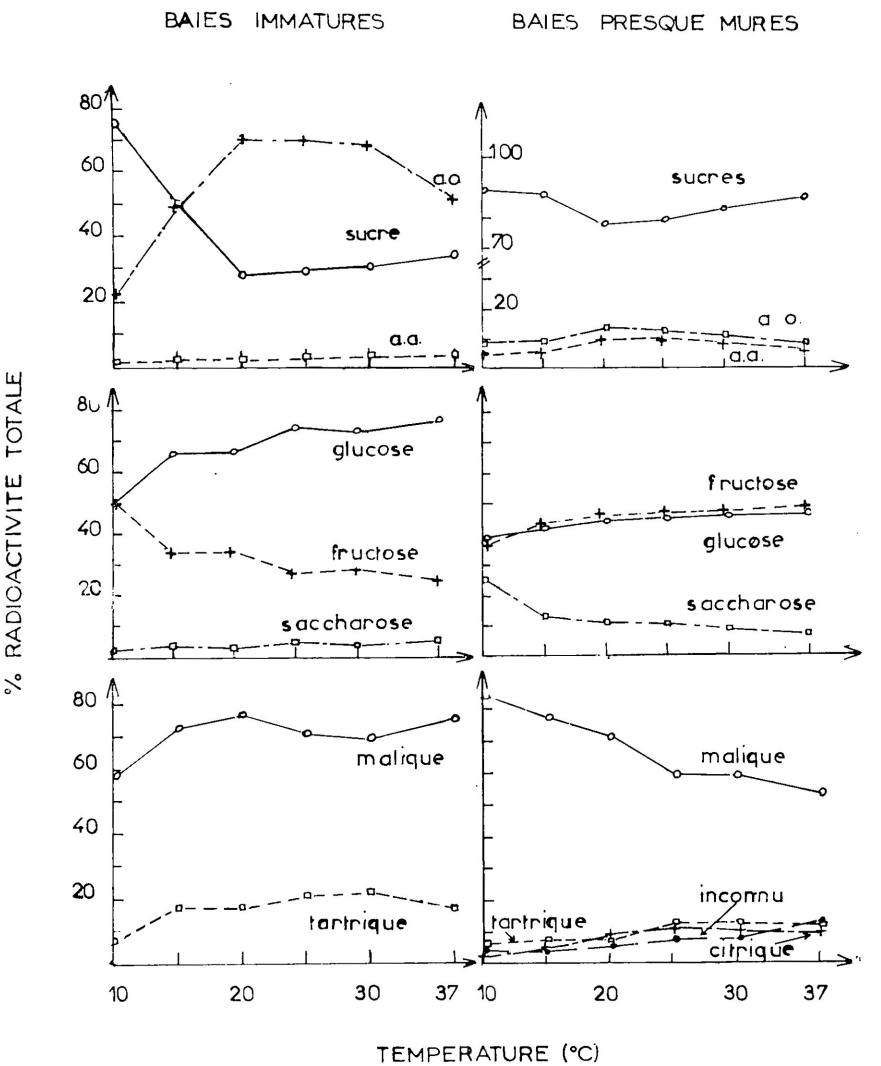

Fig. 15. — Influence de la température sur les quantités relatives de C14 incorporées dans les sucres et les acides organiques de baies immatures et presque mûres du cépage Sultanine. (Prélèvement effectué 96 heures après l'incorporation du C14). (D'après KLIEWER, 1964.)

chez les baies vertes, les basses températures (10 à 15° C) favorisent maintenant l'incorporation du carbone marqué dans les acides organiques.

L'étude de l'importance relative des différents acides fait apparaître une prépondérance considérable de l'acide malique (50 à 80 % de la radioactivité) quel que soit le stade de développement des baies. Chez les baies immatures, le pourcentage de radioactivité contenu dans l'acide malique augmente assez régulièrement lorsque la température s'élève de 10 à 37° C. Chez les baies presque mûres, au contraire, la quantité d'acide malique marqué diminue considérablement quand la température augmente. La quantité d'acide tartrique marqué, chez les baies immatures, est un peu plus importante entre 15 et 30° C qu'aux températures plus basses ou plus élevées.

L'influence de la température sur la biosynthèse des sucres est tout à fait différente suivant qu'il s'agit de baies vertes ou mûres. Chez les premières, à 10° C, la radioactivité du glucose et du fructose sont pratiquement les mêmes. Cependant, lorsque la température s'élève la quantité de glucose augmente alors que celle de fructose diminue. Le saccharose toujours en très faible quantité, demeure pratiquement constant. Chez les baies mûres, la radioactivité du fructose est le plus souvent légèrement supérieure à celle du glucose. Mais la température ne modifie que très peu la répartition du carbone marqué entre ces deux sucres. Le saccharose est, dans ce cas deux à trois fois plus abondant que chez les baies vertes et sa radioactivité diminue rapidement quand la température augmente.

L'étude réalisée dans les conditions naturelles est fondée sur les différences thermiques qui existent entre les baies situées en différents points d'une même grappe ou appartenant à des grappes placées différemment sur la souche. Les déterminations de températures ont été faites à l'aide de thermistances placées au centre des baies. Pour les deux journées prises comme exemple (fig. 16), les caractéristiques principales de l'évolution de la température sont les suivantes :

— les températures maximales atteintes peuvent être très élevées : dans le cas de baies exposées directement au rayonnement solaire, elles dépassent généralement 35° C et peuvent atteindre 45° C ou plus.

— pour une même orientation, un écart de température de l'ordre de 5° C peut exister entre des baies situées à différents niveaux sur la grappe.

les températures des baies à l'arrière de la grappe peuvent être, dans la matinée, de 11° C plus basses que celles de la face opposée ; en outre, ce gradient entre les deux faces d'une même grappe peut disparaître complètement dans l'après-midi, le maximum thermique étant atteint beaucoup plus tardivement à l'arrière de la grappe.

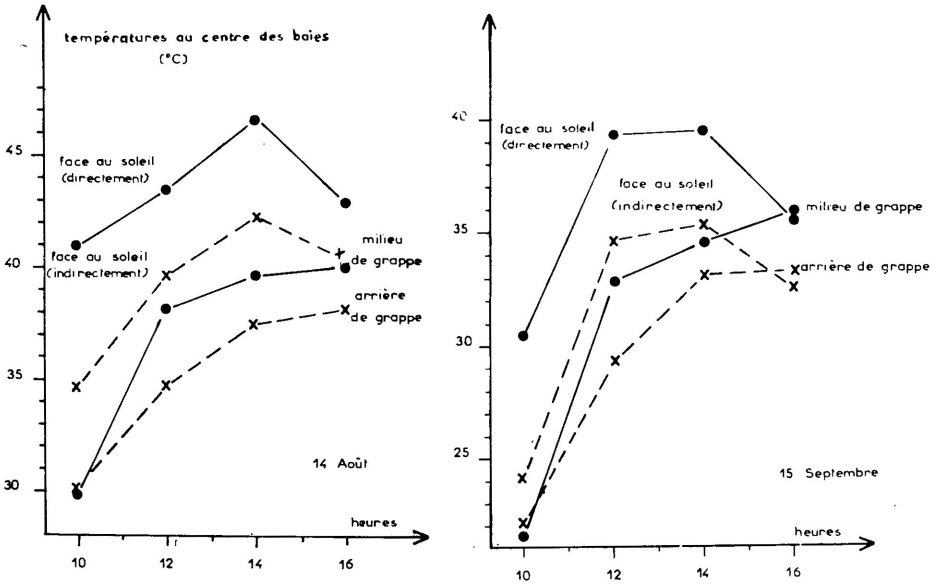

Fig. 16. — Température au centre des baies en fonction de leur situation sur la grappe. Cépage Sultanine.
(D'après KLIEWER et LIDER, 1968.)

— l'évolution de la température diurne des fruits varie notablement suivant l'époque c'est-à-dire suivant les caractéristiques de la trajectoire solaire.

On comprend que de telles différences dans le régime thermique des baies suivant leur position topographique puissent entraîner des écarts considérables dans les conditions biochimiques de leur développement. Cependant il n'est pas exclu qu'à cette action du facteur température s'ajoute une influence spécifique des conditions d'éclairement.

Du point de vue biologique, les résultats obtenus concernent tout d'abord la comparaison de grappes situées à l'ombre et au soleil. L'évolution de l'acidité totale et de la teneur en substances solubles (° B) n'est pas fondamentalement modifiée par les conditions thermiques (fig. 17). Pendant toute la période de juillet à septembre, l'acidité

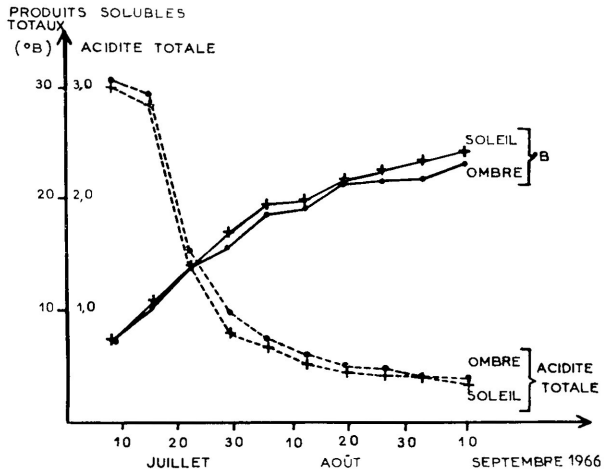

Fig. 17. — Teneur en produits solubles totaux (°B) et acidité totale pour des grappes apppartenant aux mêmes souches et situées au soleil ou à l'ombre - Cépage : Sultanine. (D'après KLIEWER et LIDER, 1968.)

demeure plus faible et les sucres plus importants dans les grappes au soleil que dans celles à l'ombre. Plus précisément, dans le cas des sucres, le fructose est toujours quantitativement plus important que le

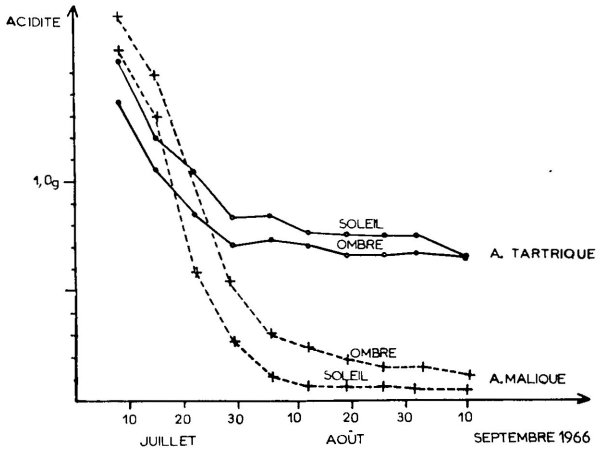

Fig. 18. — Teneur en acides tartrique et malique pour des grappes appartenant aux mêmes souches et situées au soleil ou à l'ombre - Cépage : Sultanine. (D'après KLIEWER et LIDER, 1968.)

glucose et les grappes à l'ombre contiennent un peu moins de chacun de ces sucres que celles situées au soleil. Dans le cas des acides, la situation est plus complexe (fig. 18). La teneur en acide tartrique qui diminue dans le rapport de 1 à 2 entre le 10 juillet et le 10 septembre demeure toujours plus élevée au soleil qu'à l'ombre. L'acide malique

très important début juillet, diminue rapidement jusqu'au début août et beaucoup plus lentement par la suite. Il reste beaucoup plus important dans les grappes situées à l'ombre que dans celles au soleil. Il en résulte que le rapport des teneurs en acide tartrique à l'ombre et au soleil demeure sensiblement constant et voisin de 0,9 pendant toute la période considérée. Au contraire, la valeur de ce rapport pour l'acide malique, voisine de 1,0 au début juillet, augmente très rapidement et peut atteindre 4 à la mi-août. Elle diminue ensuite mais demeure comprise entre 2,5 et 3. Ainsi, la situation à l'ombre paraît diminuer légèrement la teneur en acide tartrique et augmenter considérablement la teneur en acide malique. On peut déjà se poser la question de savoir dans quelle mesure le mode de conduite, en modifiant les conditions thermiques des grappes, peut agir de manière spécifique sur la teneur en acide malique.

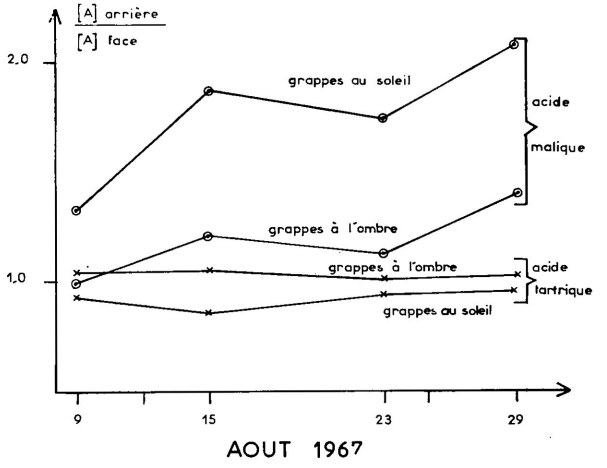

Fig. 19. — Rapport des teneurs [A] en un même acide malique ou tartrique dans les parties « face au soleil » et « arrière » d'une même grappe. On étudie séparément les cas des grappes au soleil et à l'ombre - Cépage : Sultanine.
(D'après KLIEWER et LIDER, 1968.)

L'étude expérimentale a également porté sur les différences de teneur en acides pouvant exister entre les diverses parties d'une même grappe, compte tenu du fait que cette grappe peut être située soit à l'ombre soit au soleil. On a calculé les rapports des teneurs en acides dans les parties situées en face du soleil et à l'opposé de cette direction (fig 19). Pour l'acide tartrique, les valeurs du rapport ne font pas apparaître un gradient de concentration très important. Dans les grappes au soleil, la partie arrière est légèrement moins riche en acide tartrique. Dans les grappes à l'ombre au contraire, la partie arrière paraît légèrement plus riche. Pour l'acide malique, le gradient de concentration est par contre très marqué au cours du mois d'août. Ainsi, sur les grappes à l'ombre,

la teneur en acide malique devient pendant ce mois, de 40 % plus élevée dans la partie arrière de la grappe. Lorsqu'il s'agit de grappes situées au soleil, l'écart est encore plus considérable, l'acide malique pouvant être pratiquement deux fois plus important dans les baies situées à l'opposé de la direction du soleil. Ces résultats sont évidemment à mettre en parallèle avec les gradients thermiques existant à l'intérieur d'une même grappe (cf. graph. 16).

La nécessité de telles recherches physiques et biochimiques à l'échelle de la baie ou d'un petit groupe de baies n'a d'ailleurs pas échappé aux auteurs de ces travaux. En effet, ils ont pris soin d'analyser deux échantillons comptant chacun environ 8.000 baies de manière à déterminer pour chacune des classes de teneurs en produits solubles totaux, les concentrations correspondantes en acide malique et acide tartrique. Dans le cas de l'acide tartrique, le rapport des concentrations relatives à des baies à l'ombre et au soleil ne varie pas en fonction de la richesse de ces dernières en produits solubles totaux. Au contraire, une relation paraît exister dans le cas de l'acide malique ; lorsque les baies sont plus riches en sucre, elles contiennent au moins deux fois plus d'acide malique si elles se sont développées à l'ombre qu'au soleil.

Il apparaît ainsi de manière évidente, que des études, tant microclimatiques que biochimiques seraient à réaliser, non seulement à l'échelle de la souche et à celle de la grappe, mais également à l'échelle de quelques baies voisines les unes des autres et se trouvant ainsi dans des conditions strictement compararbles.

4. - Conclusions

L'ensemble des résultats obtenus en conditions contrôlées par KLIEWER, LIDER et SCHULTZ fait bien saisir la diversité des modalités d'action d'un facteur fiologique (état de développement de la baie) et de deux facteurs physiques (lumière et température) au niveau des fruits. Le marquage au C 14 permet de comprendre comment ces facteurs orientent spécifiquement un certain nombre de voies métaboliques. Pour sept constituants biochimiques principaux, les variations d'importance relative ont été suivies à deux stades de développement des baies et dans des conditions constantes du milieu physique. Nul doute qu'il soit également nécessaire de poursuivre avec la même méthode des travaux portant sur l'ensemble du développement des baies et sur de plus nombreuses espèces chimiques ; certaines d'entre elles, bien que peu importantes quantitativement, peuvent pourtant jouer un rôle déterminant dans les qualités gustatives des produits.

Tant par les méthodes et les techniques mises en œuvre que par les résultats obtenus, le travail réalisé en Californie apparaît comme une première étape capitale. Cependant, il ne permet pas encore d'établir un lien quantitatif précis avec les observations faites dans les conditions naturelles des diverses régions viticoles. Comme dans le cas de l'étude de la biologie des bourgeons au vignoble, il faut maintenant, dans le domaine de la biologie des fruits, envisager toute une série de recherches très analytiques. Le microclimat des baies et la biochimie de leur développement seront à étudier parallèlement et à des échelles de temps comparables. Il faudra également mettre au point des méthodes statistiques particulières, qui, à l'aide des résultats analytiques obtenus, permettront de faire une synthèse pour expliquer les phénomènes observés à l'échelle de la souche, de la parcelle puis de la région.

Manuscrit reçu le 18 Juillet 1971.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEN AMOR T., 1970. — **Recherches sur la dormance des bourgeons de la vigne en Tunisie. Thèse,** Faculté des Sciences de Clermond-Ferrand et Institut National Agronomique de Tunis.

GODARD M., 1945. — La maturation de l'œilette et la radiation solaire, **C.R. Acad. Agric. Fr., 31,** 47-49.

KLIEWER W.M., 1964. — Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in **Vitis Vinifera.** I. Température. **Plant physiology, 39, 6,** 869-880.

KLIEWER W.M., et LIDER L.A., 1968. — Influence of cluster exposure to the sun on the compostion of Thompson seedless fruit. **Ann. J. Enol. Vit., 19,** 175-184.

KLIEWER W.M., SCHULTZ H.B. et LIDER L.A., 1967. — Influence of artificial shading of vinehards on the concentration of sugar and organic acid in grapes **Am. J. Enol. Vit., 18**, 78-86.

KLIEWER W.M. et SCHULTZ H.B., 1964. — Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in **Vitis Vinifera.** II. Light. **Am. J. Enol. Vit., 15,** 119-129.

NIGOND J., 1966. — Recherches sur la dormance des bourgeons de la vigne. **Institut national de la recherche agronomique,** Paris.

SCHULTZ H.B. et LIDER L.A., 1964. — Modification of the ilght factor and heat load in vinehards, **Am. J. Enol. Vit., 15,** 87-92.

VIALA et VERMOREL, 1910. — **Traité général d'ampélographie,** Paris.