

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 3, N° **1**, 1989

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

**Revue
Internationale
de Sytémique**

volume 03, numéro 1, pages 61 - 79, 1989

Modélisation et simulation
du système climat - vigne - viticulteur
Quelques réflexions sur la méthode

Patrice Uvietta

Numérisation Afscet, décembre 2015.



**MODÉLISATION ET SIMULATION
DU SYSTEME CLIMAT - VIGNE - VITICULTEUR**
Quelques réflexions sur la méthode

Patrice UVIETTA

Laboratoire ARTEMIS - IMAG ¹

Résumé

La conception d'un modèle de simulation pour étudier le système climat - vigne - viticulteur a suscité des réflexions sur la cohabitation d'une dynamique continue (dynamique de la production et de la distribution d'assimilat) et d'événements discrets (accidents climatiques). La démarche adoptée est discutée.

Abstract

The design of a simulated model for the study of the system climate - vine - vinegrower gives rise to considerations on the coexistence of continuous dynamics (dynamics of assimilate production and distribution) with discrete events (climatic events). The approach used for this model is discussed.

Le travail présenté a été réalisé dans le cadre d'une A.T.P. du Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement (PIREN) sur le thème «Environnement atmosphérique régional» pour étudier l'impact des contraintes climatiques en milieu viti-vinicole sur le support d'un modèle de simulation. Notre propos sera d'illustrer sur cette application particulière comment des principes de construction de modèles permettent de résoudre certains problèmes de modélisation. Ceci nous conduira auparavant à caractériser dans un premier temps le système climat - vigne - viticulteur, puis à présenter une description - condensée - du modèle et de ses résultats de simulation. Nous tenterons alors de tirer des conclusions sur la démarche adoptée.

1. B.P. 53X, 38041 Grenoble Cedex.

Nous allons maintenant préciser le contexte global de cette étude. Le premier choix a porté sur le type de produit du système viti-vinicole : production de vin ordinaire ou de vin d'appellation ? Ce choix détermine en effet complètement la modélisation : dans le cas de production courante, la quantité prime sur la qualité du produit ; dans le cas de production d'appellation, c'est la qualité qui prime. Nous avons opté pour l'étude du vignoble d'appellation d'origine de la vallée du Rhône (Drôme du sud). Cette zone a été retenue pour des raisons de disponibilité d'informations et de données. Simultanément, le modèle a requis la spécification d'un cadre temporel et spatial. La vigne étant un végétal à cycle annuel, on s'est limité à modéliser la dynamique sur le cycle annuel, étant donné le caractère expérimental du modèle ; ceci constitue une limitation vis-à-vis de l'étude, puisqu'il ne permet pas d'étudier les effets d'une calamité au-delà du cycle annuel simulé. L'unité de temps retenue est le jour. L'échelle spatiale retenue est celle de la parcelle, car l'hypothèse d'homogénéité des caractéristiques physiques peut être faite à cette échelle, tout en pouvant tenir compte de facteurs physiques tels que la pente (qui influe sur l'écoulement de l'eau) ou l'orientation (qui conditionne la photosynthèse).

1. Le système climat - vigne - viticulteur

Le modèle a pour objectif d'étudier la dynamique du végétal vis-à-vis du climat et des calamités éventuelles. Cette dynamique est appréhendée dans l'étude du processus de formation et de développement des baies.

1.1 Cycle du végétal

La formation des baies est conditionnée par les bourgeons générateurs des rameaux et des baies durant l'année antérieure : c'est alors que les inflorescences primordiales se forment dans les bourgeons latents, au printemps. Ceux-ci, après s'être développés, entrent dans une phase de repos, au cours de l'été : la dormance. Au printemps suivant, les bourgeons latents entrent en croissance : c'est le débourrement. Le nombre de fleurs sur chaque bourgeon dépend pour une large part de la croissance à ce moment. La floraison, courant juin, est la période pendant laquelle les fleurs sont fécondées pour donner naissance aux baies. La coulure se produit dans cette période si la température est trop basse ou s'il y a trop de précipitations, ou bien encore si les rameaux ont une trop forte croissance. Ensuite

la baie va croître pendant 6 à 8 semaines, jusqu'à la véraison, où les baies vont changer de couleur et de consistance. C'est alors la période de maturation, qui se termine lors de la récolte ; pendant la maturation, la qualité de la récolte se détermine et les baies prennent encore du poids. La figure 1 résume le calendrier du cycle annuel de la vigne.

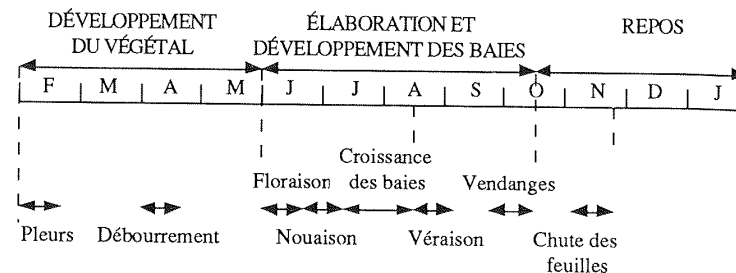


Figure 1. Calendrier type du cycle annuel de la vigne

Tout au long de ce cycle, l'assimilat va jouer un rôle déterminant : il constitue le cœur du modèle. L'assimilat est l'ensemble des sucres produits et distribués par le végétal entre les feuilles, les baies et la réserve ; cette production et cette distribution d'assimilat sont directement conditionnées par les contraintes climatiques.

Dans le modèle trois périodes ont été identifiées :

- * la période de repos, qui s'étend du 15 octobre jusqu'à la période des pleurs ; dans cette période, les seuls phénomènes climatiques importants sont les gelées exceptionnelles ;
- * la période végétative, qui s'étend jusqu'à la floraison (fin mai - début juin) ; les températures constituent un élément important ;
- * la période où les baies sont en cours de développement jusqu'à la récolte ; durant cette période, les phénomènes climatiques prennent toute leur importance.

On s'est fixé de simuler le cycle annuel de la vigne, c'est-à-dire que l'on suppose implicitement que les bourgeons latents n'ont pas subi d'influence du climat de l'année antérieure. Nous allons maintenant caractériser les contraintes climatiques.

1.2 Contraintes climatiques

La contrainte climatique est ici considérée comme l'interaction entre un élément climatique et le vignoble, à la suite de J.P. Marchand, pour qui :

«La contrainte physique est l'interaction entre un élément naturel, climatique, géologique, géomorphologique, botanique et un espace utilisé par l'homme.»

La contrainte climatique est caractérisée par :

- * son intensité,
- * sa durée,
- * la date à laquelle elle se produit,
- * sa place par rapport à la séquence climatique qui la précède.

Deux catégories de contraintes ont été distinguées :

* contrainte climatique permanente : il s'agit du rythme saisonnier, de l'alternance jour-nuit ; on peut également inclure dans cette catégorie les moyennes de composantes du climat local (ce que l'on pourrait exprimer par : «en moyenne, les conditions climatiques sont satisfaisantes pour pratiquer la viticulture»);

* contrainte climatique occasionnelle : il s'agit de la contrainte ni régulière dans le temps ni stable ; c'est ce type de contrainte qui induit les variations de la qualité et de la quantité de la récolte, et de son coût, du fait des calamités engendrées. Selon les cas, elle peut revêtir un caractère d'irréversibilité, comme une sécheresse longue ou un gel intense et long, et les effets peuvent se prolonger au-delà du cycle annuel en cours. On distingue plus finement la contrainte climatique ponctuelle, comme la grêle ou un gel, et la contrainte climatique diffuse, comme la sécheresse ou l'humidité ; dans le cas de la contrainte diffuse, un dépassement de seuil induit l'apparition d'une calamité.

Nous allons maintenant définir le système tel que nous l'avons modélisé.

1.3 Production et distribution d'assimilat dans le végétal

L'assimilat, durant les trois périodes de développement du végétal, d'élaboration et développement des baies, et enfin de repos, se répartit consécutivement vers les feuilles, puis vers les feuilles et les baies, et enfin vers la réserve.

* Durant la phase de développement du végétal, les bourgeons puis les feuilles apparaissent et croissent. La réserve est alors la seule source d'assimilat ; cette réserve se constitue durant toute l'année ; on en précisera les modalités par la suite. Si les conditions climatiques sont favorables, les feuilles peuvent produire un surplus d'assimilat, surtout vers la fin de la phase.

* Durant la phase d'élaboration et de développement des baies, on identifie la présence de deux sources possibles d'approvisionnement en assimilant : celui qui est produit par les feuilles (photosynthèse) et celui contenu dans la plante sous forme de réserve. C'est avant tout l'assimilat produit par les feuilles qui est utilisé ; toutefois lorsque les conditions climatiques sont défavorables, comme par exemple un ciel couvert qui réduit la photosynthèse, la réserve est alors également utilisée. Pour plus de précision, il faut distinguer ici deux sous-phases, l'une avant la véraison, où l'assimilat est utilisé pour la croissance du poids des baies et pour les feuilles ; la seconde après la véraison dans laquelle l'assimilat est en outre utilisé pour l'accroissement de la qualité des baies, et ce, jusqu'aux vendanges.

A l'échelle de temps plus fine retenue - la journée - la distribution est soumise à des variations liées à des facteurs aussi divers que la température, l'intensité de l'insolation, la durée de l'insolation, le potentiel hydrique, etc. Si l'on descendait à un niveau plus fin encore, on constaterait des fluctuations plus fines encore : compte-tenu de la rotation solaire, la surface des feuilles directement éclairées varie au cours de la journée ; la production résultante d'assimilat fluctue donc. Toutefois ce degré de désagrégation s'avère disproportionné par rapport à la connaissance macroscopique du système. Ceci conduit alors à considérer que des accidents de durée réelle inférieure à la journée durent une journée complète dans le modèle ; ceci n'induit cependant pas de biais dans la dynamique exprimée à ce degré de désagrégation.

1.4 Dynamique continue et événements

Un aspect déterminant des choix faits pour ce modèle, dès la conceptualisation, réside dans la combinaison de dynamique continue et d'événements discrets dans le temps, même en l'absence des événements climatiques à proprement parler. La distribution et la production d'assimilat sont considérées comme des phénomènes continus dont la dynamique est modulée par plusieurs «couches» d'événements :

* la première est liée à la source d'approvisionnement d'assimilat évoquée précédemment ; ceci a conduit à exprimer une sorte d'aiguillage qui définit la ou les sources d'approvisionnement, soit en fonction de la période, soit en fonction des besoins (on détaillera ensuite les hypothèses sur la priorité de distribution) ;

* la deuxième est liée indirectement aux accidents climatiques, et/ou aux maladies, qui peuvent avoir une influence sur les besoins en assimilât et/ou sur la production d'assimilat par les feuilles.

Compte tenu des connaissances sur la distribution de l'assimilat, deux solutions pouvaient être retenues :

* soit exprimer un mécanisme d'offre/demande qui s'ajuste en fonction de l'importance des besoins de chaque demandeur (feuilles, poids, qualité, réserve) ;

* soit exprimer un mécanisme où les demandes sont satisfaites en cascade, avec la priorité fixe suivante : feuille, poids, qualité, et enfin réserve s'il y a un reliquat.

Cette seconde possibilité permet d'éviter une formulation trop lourde à maîtriser ; elle s'avère en outre plus «correcte» puisqu'elle évite d'amplifier artificiellement le volume d'assimilat en circulation ; enfin elle permet d'étudier l'évolution de la réserve explicitement.

2 Présentation du modèle

2.1 Choix des variables d'état

Lors de la construction du modèle, on a précisé progressivement les variables d'état, qui sont les principales variables à observer. Partant des trois composants en interactions : la vigne, le viticulteur et le climat, l'orientation physiologique est devenue privilégiée dans la conception du modèle.

a Régime «idéal» de fonctionnement

En l'absence d'événements climatiques, la surface foliaire, les baies et la réserve d'assimilat constitueraient les seules variables d'état nécessaires : la surface foliaire augmente, en consommant de l'assimilat, et elle assure par la photosynthèse la production d'assimilat en sorte que les baies assurent leur croissance tant en nombre, poids que qualité ; éventuellement, il y a surplus d'assimilat, ce qui permet à la réserve de se reconstituer. La

prise en compte des événements climatiques a conduit à identifier le système de façon plus complète.

b Événements climatiques

Les précipitations, rares et irrégulières, donnent au sol un rôle de tampon : le sol n'absorbe qu'une partie des précipitations d'une part, et il constitue d'autre part un réservoir pour le végétal, tant qu'une sécheresse ne se produit pas ; ceci conduit à retenir comme variable d'état le potentiel hydrique du sol.

Les effets des événements, selon leur nature et leur durée, atteignent des parties distinctes du végétal, et peuvent éventuellement induire des effets bénéfiques dans certaines configurations :

* une grêle qui détruit des baies peut induire une amélioration de la récolte, tant en quantité qu'en qualité à quantité d'assimilat disponible égale, alors que la destruction de feuilles qui découle de cette même grêle réduit la surface foliaire, donc la photosynthèse, donc la production d'assimilat ;

* une période de sécheresse suivie de précipitations peu avant la récolte peut induire à la fois une récolte satisfaisante et une reconstitution de la réserve d'assimilat.

* certains événements comme la coulure réduisent le nombre de grains, sans pour autant modifier le nombre de grains.

Ces trois exemples illustrent la complexité des effets des événements climatiques qui ont conduit à distinguer le nombre des baies, leur poids moyen et leur qualité.

Les événements climatiques retenus dans le modèle sont les suivants :

* la température peut soit limiter la photosynthèse, donc la production d'assimilat, soit moduler le besoin d'assimilat ;

* l'insolation, variant dans l'année, - et de façon étroitement liée aux précipitations - module la photosynthèse, donc la production d'assimilat ;

* la grêle et le gel, ainsi que les maladies, provoquent une réduction du nombre de grains et/ou du poids moyen des grains ;

* les précipitations peuvent déclencher des maladies, ou provoquer une sécheresse, lorsqu'elles sont insuffisantes ou même absentes ; selon l'importance de la sécheresse, il s'en suit une réduction de la photosynthèse, une chute de feuilles, un ralentissement de la croissance du poids des grains ou même une chute de grains ; par ailleurs, si la sécheresse se produit dans une séquence climatique favorable, elle peut avoir pour effet indirect d'améliorer la qualité des baies.

b Surface foliaire

La surface foliaire détermine la quantité d'assimilat produite par la plante, ceci en fonction de la surface foliaire éclairée. Elle évolue en fonction de la croissance de la surface et de la chute de feuilles.

La croissance de la surface est fonction du besoin en assimilats des feuilles et de l'assimilat disponible. La satisfaction du besoin est exprimée à l'aide d'un mécanisme d'offre-demande en cascade, détaillé en annexe : le besoin est satisfait à hauteur de l'offre, et s'il reste de l'assimilat, il sera utilisable pour satisfaire les besoins des grains (en quantité comme en qualité).

Le besoin en assimilats des feuilles dépend de la surface foliaire et de la réserve accessible maximale ; il est modulé par l'effet des conditions climatiques :

- * pour la température,
- * pour l'intensité de la photosynthèse en fonction de la période de l'année,
- * lors de l'occurrence d'une sécheresse ; dans ce cas, l'effet de la sécheresse évolue de façon décroissante dans le temps. Il y a sécheresse si pendant huit jours consécutifs le potentiel hydrique est inférieur au seuil correspondant.

L'assimilat disponible est constitué de l'assimilat produit par photosynthèse et de la réserve d'assimilat éventuellement mobilisable dans le végétal (cf. le paragraphe sur la réserve d'assimilat).

La production d'assimilat est liée à la fraction de la surface foliaire éclairée. La production d'assimilat dépend également de l'intensité de la photosynthèse qui est liée à l'intensité de l'insolation, modulée par la température ; des coefficients de pente et d'orientation ont été inclus. L'intensité de l'insolation est corrigée par les durées de temps couvert et d'insolation. La production d'assimilat est enfin modulée par le fait qu'une fois la grappe apparue sur le pied de vigne, la production d'assimilat est stimulée ; ce facteur est défini comme une fonction du poids potentiel de la récolte (cf. le paragraphe sur le poids des grains).

La surface foliaire peut diminuer pour deux raisons distinctes : d'une part la chute naturelle, qui s'étend sur les dix derniers jours simulés et dépend de la surface foliaire et d'autre part la chute accidentelle, qui peut avoir plusieurs origines :

- * des événements ponctuels : une attaque de mildiou, un gel ou une grêle ;

* dans le cas de la sécheresse, par contre, la chute de feuilles dépend du niveau effectif du potentiel hydrique (événement diffus) : s'il descend en-dessous du seuil correspondant, il y a alors chute accidentelle. L'importance de la sécheresse est mesurée par l'écart entre le potentiel hydrique et le seuil correspondant.

Chacun de ces événements induit un pourcentage de destruction de la surface.

c Poids du grain

Le poids moyen du grain évolue en fonction de l'accroissement du poids par grain et de la perte de poids.

L'accroissement du poids par grain est déterminé en fonction du besoin en assimilats pour le poids et de l'assimilat disponible après satisfaction du besoin des feuilles (cf. paragraphe précédent) rapporté au grain. Le besoin en assimilats est déterminé par le poids potentiel de la récolte, de façon inversement proportionnelle pour exprimer l'atténuation du besoin au fur et à mesure de la croissance des grains. Cette partie du modèle est active dans la période comprise entre la floraison et la récolte. Le poids potentiel de la récolte est le produit du poids d'un grain par le nombre de grains.

La perte de poids peut être provoquée par une maladie ou par une sécheresse. Une maladie est un événement ponctuel. Une sécheresse produisant une diminution du poids du grain apparaît lorsque le niveau du potentiel hydrique descend en-dessous du seuil correspondant ; l'effet de la sécheresse est ici immédiat, et proportionnel à l'importance de celle-ci, mesurée par l'écart entre le seuil correspondant et le potentiel hydrique.

d Nombre de grains

La dynamique d'évolution du nombre de grains est représentée de façon similaire à celle du poids du grain. Elle dépend avant tout des événements climatiques. Comme pour le poids, sont exprimées l'apparition des grains et la récolte.

La perte en nombre de grains se produit lors d'une maladie ou bien encore lors d'une sécheresse. Celle-ci se produit lorsque le niveau du potentiel hydrique descend en-dessous du seuil correspondant, et elle est proportionnelle à l'écart entre le seuil et le potentiel hydrique. La coulure se produit s'il n'y a pas suffisamment d'assimilat disponible au moment de la floraison.

e Qualité

La qualité de la récolte est prise en compte sous forme d'indicateur, compte-tenu de la difficulté à la mesurer de façon satisfaisante. Elle évolue

en fonction de l'augmentation de la qualité, et peut être réduite par une attaque de botrytis.

La qualité s'améliore si les besoins en assimilats de la qualité sont couverts par la disponibilité d'assimilats – donc si les besoins en assimilats des feuilles et du poids des grains sont totalement satisfaits –. Le besoin est proportionnel au poids potentiel de la récolte.

Comme pour les variables de poids et de nombre de grains, la récolte fait cesser l'évolution de la qualité.

La qualité peut diminuer lors d'une attaque de botrytis qui est déclenchée de façon ponctuelle.

f Réserve d'assimilats

La réserve d'assimilats contenue dans le végétal peut se reconstituer ou diminuer tout au long du cycle annuel.

La reconstitution de la réserve dépend de la quantité d'assimilats non consommée pour les besoins des feuilles, du poids des grains et de la qualité ; c'est donc une variable susceptible de fluctuer fortement dans le temps.

Il est fait appel à la réserve lorsque la production d'assimilats est insuffisante pour couvrir les besoins totaux – qui est la somme des besoins des feuilles, du poids des grains et de la qualité – ; on prend en compte le fait que la réserve n'est pas intégralement accessible.

Le schéma de la figure 3 résume cette description de façon simplifiée.

2.3 Composants exclus du modèle

L'aspect financier n'a pas été développé, pour différentes raisons. La principale raison en est que, dans la zone étudiée, les traitements préventifs constituent une pratique fortement développée, ce qui annule quasiment les accidents liés aux maladies, sauf pour le botrytis et le mildiou. L'ensemble des traitements préventifs est considéré comme un coût fixe annuel, et donc il n'est pas inclus dans le modèle. Pour une région où la stratégie et/ou les accidents climatiques sont plus nombreux, la partie du modèle concernant les relations entre l'aspect financier et les accidents devrait être plus détaillée qu'ici. La seconde raison est de ne pas trop complexifier le modèle sur l'aspect financier ; la stratégie du viticulteur qui produit des vins d'appellation est complexe, car sa prise en compte dans le modèle nécessite l'inclusion de tout le mécanisme de formation des prix.

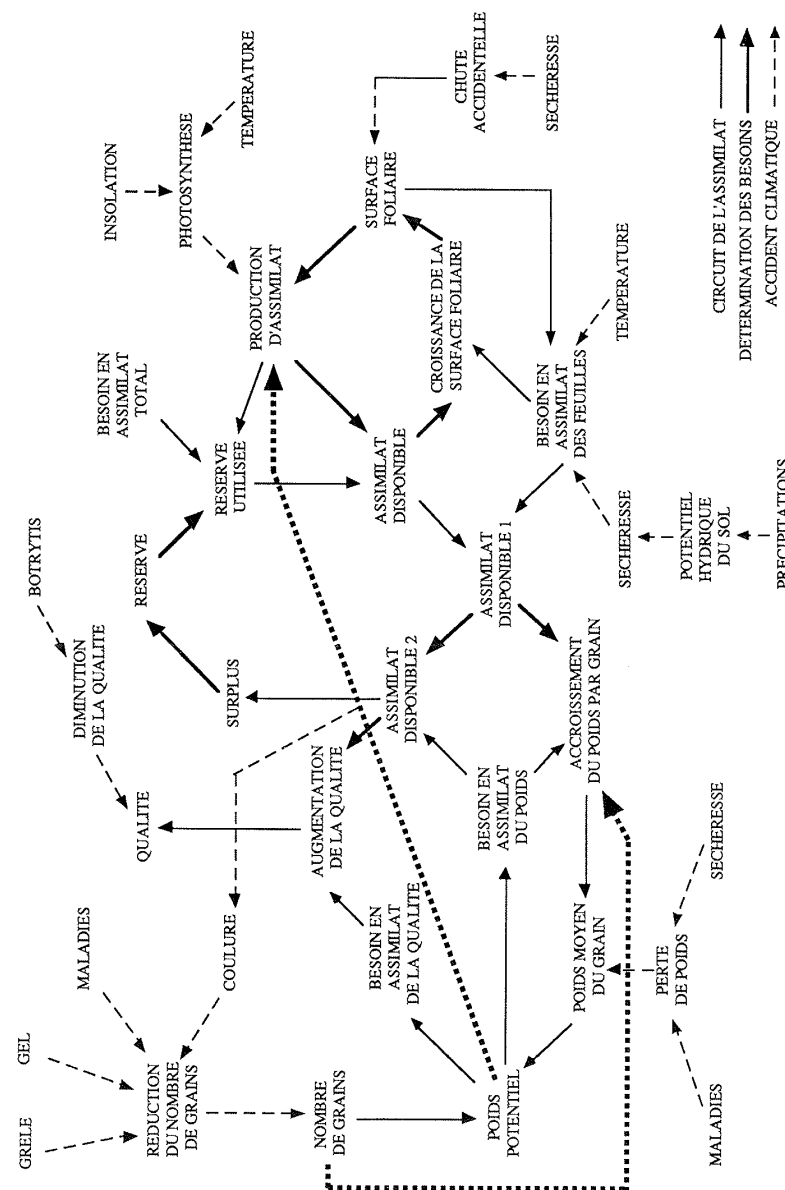


Figure 3. Schéma simplifié du modèle

D'autres éléments n'ont pas été pris en compte explicitement, comme le mode de conduite de la vigne qui fait varier la surface foliaire entre 4.5 et 7 ha/ha : ceci aurait introduit des facteurs de variété supplémentaires qu'il n'était pas souhaitable de retenir à ce niveau de désagrégation du modèle.

3 Évaluation du modèle

Nous allons maintenant présenter quelques résultats que l'on peut tirer de ce modèle ; nous ne détaillerons pas les résultats de simulation, présentés par ailleurs.

3.1 *Modèle de dynamique globale*

Tel qu'il est construit le modèle a pour caractéristique d'exprimer globalement la dynamique, au niveau de désagrégation retenu. En pratique, des «incursions» ont été faites à un niveau plus fin ; le fait que ce niveau plus fin n'ait pas été retenu n'implique pas qu'une future version plus détaillée ne puisse en dériver : le recours à l'approche descendante le rend possible bien au contraire.

3.2 *Modèle de compréhension*

La simulation a porté sur des années effectives, alors que le modèle tente d'exprimer une dynamique générale. Simuler des années effectives introduit des particularités de comportement, qu'il n'est pas aisé d'imputer dans tous les cas, du fait de l'impossibilité de se référer à une année «type» ou «moyenne», pour des phénomènes liés au climat : en effet, la dynamique étudiée est conditionnée semble-t-il par l'aspect séquentiel des composants climatiques, tout autant que par leur date d'apparition, leur durée et leur intensité.

Un facteur supplémentaire de difficulté est – paradoxalement – l'action du viticulteur. En effet son intervention consiste avant tout à réduire, sinon à éliminer, les effets des irrégularités climatiques ; cette fonction de régulation et de contrôle s'exerce sous des formes extrêmement variées et à tout moment de la vie du végétal, puisqu'il s'agit aussi bien de la sélection du ou des cépages que du choix du terrain, du mode de conduite que de la

mise en œuvre de traitements préventifs et curatifs. En dehors de quelques cas particuliers comme une attaque de botrytis ou de mildiou, on ne peut en effet affirmer que la variation résultante de la quantité de baies ou de leur qualité est imputable à l'action du viticulteur, à la séquence climatique ou conjointement aux deux.

Pour ces raisons nous considérons que ce modèle a avant tout une vocation de compréhension. A cet égard, la simulation d'années effectives nous a montré que la dynamique de la production et de la distribution de l'assimilat a été exprimée de façon satisfaisante dans le modèle. La simulation des années 1984 et 1985 illustrent ce fait.

3.3 *Modèle combinant événements et continu*

Durant le cycle annuel tel qu'il est pris en compte, toutes les variables d'état ne sont pas activées de bout en bout de la simulation :

- * le potentiel hydrique et la réserve d'assimilat sont «permanentes»,
- * la surface foliaire «disparaît» quelques jours avant la fin du cycle simulé,
- * le nombre, le poids moyen et la qualité des baies «apparaissent» à la floraison pour disparaître à la récolte.

Ceci a constitué une contrainte forte dans la conception du modèle : le cœur du modèle étant le circuit de l'assimilat, il n'était pas envisageable de faire l'économie de trois modèles consécutifs. Ceci a induit quelques difficultés d'écriture pour exprimer de façon correcte les «apparitions» et «disparitions» correspondantes.

3.4 *Simulation des années 1984 et 1985*

Le fait climatique majeur de l'année 1984 est la sécheresse, qui a duré un mois. Les conséquences exprimées par le modèle sont les suivantes. La chute de feuilles et donc la réduction de la surface foliaire a provoqué une diminution importante de la production d'assimilat et donc un fort appel à la réserve d'assimilat, environ une semaine après le début de la sécheresse. Par ailleurs, le nombre de grains a chuté de façon sensible, de même que le poids moyen du grain ; la quantité d'assimilat devenant de ce fait suffisante pour satisfaire les besoins des baies restantes, le poids du grain à la récolte atteint une valeur comparable à la valeur moyenne des dernières années ; par contre la qualité ne satisfait pas totalement ses besoins en assimilats.

En 1985, une sécheresse plus brève s'est produite à peu près à la même date qu'en 1984, et les précipitations sont plus régulièrement réparties qu'en 1984. Aucune chute de grains se produit, la croissance du poids moyen est régulière. La légère sécheresse de septembre réduit la surface foliaire, ce qui induit la satisfaction partielle du besoin en assimilats de la qualité. Par contre, le poids de la récolte est comparable à la valeur moyenne des dernières années.

Soulignons également que les simulations rendent correctement compte du fait que la réserve est utilisée pour combler les besoins des divers organes de la vigne tant que la surface foliaire n'est pas suffisante pour le faire. Par contre, si l'on compare les résultats des simulations, un point reste insatisfaisant : la qualité n'est pas aussi différente qu'on pouvait l'attendre. D'autre part, le modèle se révèle sensible à certains coefficients, particulièrement à ceux qui interviennent dans le circuit de l'assimilat.

4 Conclusions

4.1 Démarche descendante

Le modèle qui vient d'être présenté illustre l'importance du choix d'une méthode de travail adaptée : la complexité du système et peut-être plus encore la variété des composants de ce système et de leur dynamique caractérisent ce travail. Il est courant d'énoncer que la démarche systémique s'appuie sur des principes étroitement liés de globalité, d'interaction et de rétroaction ; ils ne prennent toute leur valeur qu'en donnant lieu à une véritable méthode de travail. Nous allons discuter les principales caractéristiques de notre approche.

Dans l'approche globale, on considère qu'il existe des composants déterminants en interaction qui conditionnent l'évolution du système. La contrainte pour le modélisateur est alors d'identifier tous les composants essentiels à la compréhension du problème : l'oubli de tels composants conduirait à une compréhension incomplète, voire erronée. On ne saurait toutefois se contenter du seul principe de globalité : pris isolément, il conduit à dresser un simple catalogue des composants essentiels. La compréhension du fonctionnement d'un système passe avant tout par l'identification des relations de dépendance entre composants du système. Le principe de globalité fait appel également au principe de l'approche descendante, qui en garantit l'efficacité. Il faut identifier toutes les relations essen-

tielles entre variables, ce qui conduit à la construction d'une première version de modèle exprimant le cœur de la dynamique du système, ce qui ne signifie pas un modèle rudimentaire. Il est bon de rappeler à ce propos que l'on ne doit pas confondre l'essentiel et le simple : l'approche descendante ne consiste pas à construire dans un premier temps un modèle simple, que l'on enrichirait par complexité – ou plutôt par complication ? – progressive, mais bien au contraire il s'agit d'exprimer dès le début la complexité : l'objectif est l'obtention d'un squelette, enrichi progressivement par des détails plus fins seulement si nécessaire et autant que nécessaire. Ce squelette exprime l'identification des variables d'état et de leurs interactions ainsi que la définition des scénarios envisagés ; dans le cas présent, les scénarios sont les divers accidents climatiques pouvant influencer l'évolution de la vigne au cours de son cycle végétatif.

L'approche descendante a été nécessaire, compte tenu des incertitudes sur la connaissance du système à étudier : le choix du degré de finesse auquel exprimer la dynamique en a été facilité ; il faut souligner que ceci constituait un problème majeur comme on aura pu s'en rendre compte dans la présentation : il s'agissait de trouver un compromis entre l'expression de la dynamique de façon suffisamment détaillée pour rendre compte de la complexité et de la diversité, et d'autre part rester à un niveau tel que l'ensemble des connaissances exprimées le soient de façon «équilibrée».

4.2 Modèle d'aide à la synthèse des connaissances

Ce modèle de simulation a constitué un outil pour la synthèse des connaissances et la vérification de cohérence des hypothèses retenues. Dans notre contexte, il n'existait pas à proprement parler une vision globale des interactions du système viti-vinicole et du climat : on dispose en général de connaissances centrées soit sur un (macro-) composant soit sur l'autre. L'une des tâches primordiales de ce travail a de ce fait consisté à déterminer le niveau d'analyse pertinent pour une approche dite globale. Ceci a notamment conduit à fixer un certain nombre d'hypothèses «à la frontière» des interactions entre les deux (macro-) composants. D'où ce rôle de test de cohérence imparti au modèle. Il est indéniable que dans cette version le modèle est avant tout un prototype, qui est soumis à des limitations : l'aspect réductionniste est assurément présent ; néanmoins, si les résultats de simulation ont une signification, ils montrent que les évolutions exprimées sont plausibles. Compte-tenu de l'incertitude sur les données tout autant que sur certains comportements, il ne faut pas demander

au modèle plus que ce pour quoi il a été construit : la validation d'hypothèses. A ce titre, la formulation retenue pour exprimer la répartition de l'assimilat – qui, rappelons-le, constitue le cœur du modèle – semble pertinente dans son principe.

Le système climat - vigne - viticulteur est de ceux pour lesquels la modélisation constitue une aide à la compréhension, puisque l'on est conduit à identifier les connaissances – et les incertitudes – sur le système ; le modèle présenté n'est qu'une étape, où l'on s'est proposé d'exprimer une dynamique globale. La variabilité des récoltes incite à cerner plus précisément le système. A cet égard, les recherches menées par l'INRA de Colmar afin de prévoir le rendement 6 à 8 semaines avant la récolte nous montrent que sur l'ensemble des cépages étudiés en Alsace, il n'existe pas de liaisons fortes entre les variables de rendement : nombre de grappes par souche, poids moyen d'une grappe, nombre de baies par grappe et poids moyen d'une baie ; les spécificités des variétés semblent importantes, puisque le composant déterminant de la production est pour les unes la fertilité des bourgeons, pour d'autres le nombre de baies, pour d'autres encore le poids des baies ou même aucun composant ne prédomine pour certaines variétés.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une Action Thématique Programmée du Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'ENVIRONNEMENT (PIREN) sur le thème « Environnement atmosphérique régional » sous la direction de Jean-Pierre Marchand (Dpt. de Géographie de l'Université de Rennes II et E.R. 30 du C.N.R.S., Grenoble) par Maryvonne Le Berre, Henri Chamussy, et Yves Crespin (U.F.R. de géographie de l'U.J.F., Grenoble) et Patrice Uvietta (Laboratoire ARTEMIS-IMAG, Grenoble).

Annexe : Mécanisme d'offre-demande d'assimilat

Cette formulation conduit à une écriture qui exprime complètement les hypothèses retenues. Les besoins en assimilats sont satisfaits selon la priorité suivante : feuilles, puis poids des grains, enfin qualité ; s'il reste de l'assimilat après satisfaction de ces besoins, il est possible de reconstituer la réserve. La répartition de l'assimilat est exprimée dans le modèle dans une forme équivalente à celle qui suit.

```

si assimilat_disponible ≥ besoin des feuilles
alors besoin des feuilles satisfait et reste_assimilat_1
sinon besoin des feuilles satisfait à hauteur de assimilat_disponible
si reste_assimilat_1
alors si reste_assimilat_1 ≥ besoin du poids
    alors besoin du poids satisfait et reste_assimilat_2
    sinon besoin du poids satisfait à hauteur de reste_assimilat_1
sinon besoin du poids pas du tout satisfait
si reste_assimilat_2
alors si reste_assimilat_2 ≥ besoin de la qualité
    alors besoin de la qualité satisfait et reste_assimilat_3
    sinon besoin de la qualité satisfait à hauteur de reste_assimilat_2
sinon besoin de la qualité pas du tout satisfait

```

Références

a Sur les contraintes climatiques :

CHARRE J., « Contraintes climatiques de l'organisation de l'espace », Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, n°45-46, pp. 3-12, 1981.

MARCHAND J.P., « Les contraintes physiques et la géographie contemporaine », *L'espace géographique*, n°3, pp. 231-240, 1980.

b Sur la méthodologie de la modélisation (approche descendante) :

RECHENMANN F., UVIETTA P., « Systems prospective », 2ème congrès IFAC sur « System approach for development », Le Caire, novembre 1977.

c Étude sur la vigne :

HUGLIN P., SCHNEIDER Ch., « Recherche de méthodes de prévision quantitative de la vendange », *Bulletin de l'O.I.V.*, (58) 656-657, pp. 950-960, 1985.

d Sur le modèle :

CRESPIN Y., « Modélisation d'un système dynamique : les contraintes climatiques en milieu viti-vinicole », *Bull.Assoc. Géogr. Franç.*, n°5, pp. 381-391, 1986.

CRESPIN Y., LE BERRE M., UVIETTA P., « Le système climat - vigne - viticulteur. Exemple de modèle dynamique », *Bulletin de l'O.I.V.*, vol. 60-671-672, pp. 5-26, 1987.

CHAMUSSY H., CRESPIN Y., LE BERRE M., MARCHAND J.P., UVIETTA P., Rapport final de l'A.T.P. PIREN, 1987.