

---

# Organisation et implémentation de connaissances contextuelles dans un SBC en œnologie.

**Juliette Agabra (1)(2)**

**Isabelle Alvarez (1)**

**Patrick Brézillon (2)**

*(1) CEMAGREF*

*LISC*

*BP 121*

*92185 ANTONY Cedex*

*Tel: 01 40 96 62 35 Fax: 0140 96 60 80*

*juliette.agabra , isabelle.alvarez@cemagref.fr*

*(2) LIP6*

*Boîte 169*

*Université Paris VI*

*4, place Jussieu*

*75252 PARIS Cedex 05*

*patrick.brezillon@luforia.ibp.fr*

---

**RESUME.** *La fabrication du vin est un domaine où la formalisation est très difficile, principalement parce que l'on a affaire à un nombre considérable de connaissances hétérogènes, qui interviennent à des étapes différentes du processus de fabrication. Nous nous intéressons ici au problème particulier des arrêts de fermentation alcoolique. Cette étape dépend fortement des événements qui se sont produits à des étapes précédentes. Ces connaissances sur les étapes précédentes sont définies comme connaissances contextuelles. Dans cet article, nous présentons pourquoi et comment nous avons utilisé ces connaissances pour construire ce que nous appelons un système à base de connaissances contextuelles.*

**MOTS-CLES :** *Représentation des connaissances, systèmes à base de connaissances, contexte, œnologie, fermentation alcoolique*

---

## 1. Introduction

L'expertise est primordiale tout au long du processus de fabrication du vin, notamment à cause du grand nombre de processus biologiques complexes qui y interviennent (la culture de la vigne, la maturation des raisins, la fermentation alcoolique...). Les systèmes à base de connaissances sont donc susceptibles de jouer un rôle important en aidant les différents acteurs de la filière.

L'un des problèmes majeurs rencontrés lors de la fabrication du vin est l'arrêt inopiné de la fermentation alcoolique, réaction de transformation du sucre en alcool. En effet, la fermentation alcoolique est une des étapes les plus critiques et son achèvement n'est pas assuré. Quelles qu'en soient les causes, il arrive ainsi que la fermentation ralentisse (quelques fois beaucoup) et parfois s'arrête complètement, laissant du sucre résiduel dans le vin. On dit alors qu'il y a "arrêt de fermentation".

Les arrêts de fermentation peuvent survenir dans tous les types de structures (petits ou grands vignobles, même les plus réputés, cave coopératives,...) et dans toutes les régions.

Les conséquences de ces arrêts sont les suivantes :

- une perte de la production concernée, en cas de vin non homologué (la réglementation est très stricte : il faut moins de 2g/l de sucre dans les vins secs),
- un manque de place dans la cuverie. Si une fermentation dure 1 mois au lieu de 10 jours, elle immobilise « anormalement » une ou plusieurs cuves,
- un problème de respect des délais. Certains vins, notamment les primeurs, doivent être commercialisés à une période précise et tout retard peut être préjudiciable,
  - des effets possibles sur les caractéristiques organoleptiques du vin final, notamment lorsque la fermentation est relancée grâce à l'ajout de divers activateurs chimiques,
  - tous ces problèmes se soldant souvent par des pertes financières non négligeables.

Notre objectif est d'aider les œnologues à prédire les arrêts de fermentation le plus en amont possible. Cette préoccupation n'est pas nouvelle ; plusieurs approches utilisant les techniques des réseaux de neurones [INS 95] ou des systèmes à base de connaissances ont déjà été essayées, mais n'ont pas vraiment abouti, principalement parce qu'elles avaient une vue trop partielle du problème. Elles ne prenaient pas en compte les informations non directement liées à la fermentation (par exemple celles liées à la culture de la vigne ou aux traitements effectués sur le moût avant fermentation), alors que ces informations sont pourtant utilisées implicitement par les acteurs de la filière. Ce type d'informations est ce que nous appelons des **connaissances contextuelles**.

Nous décrivons dans cet article la conception et le développement de notre Système à Base de Connaissances Contextuelles. Grâce aux connaissances recueillies auprès des experts [AGA 96], nous avons ainsi construit un modèle du domaine (connaissances profondes) du type entités-relations. C'est la première fois que les connaissances contextuelles sont utilisées de manière explicite pour la résolution du problème. Une simulation lancée sur le modèle produit une évaluation du risque d'arrêt de fermentation.

L'article est divisé en quatre parties principales. Les parties 2 et 3 présentent respectivement le domaine vinicole et les différents acteurs qui y interviennent. Puis, nous nous attachons à identifier quelles sont les connaissances contextuelles dans l'application vinicole (partie 4). Enfin, nous discutons comment il est possible de représenter ces connaissances contextuelles afin de les utiliser pour la résolution du problème (partie 5).

## 2. Présentation du domaine

Le vin est le résultat de la transformation du sucre contenu dans le raisin en alcool, processus appelé « fermentation alcoolique ». L'ensemble de la filière vin est divisée en six étapes principales :

- la culture de la vigne, au cours de laquelle on cherche à produire les meilleurs raisins possibles,
- la vendange, suivie du pressurage des raisins qui donne le « moût »,
- les traitements préfermentaires, qui comprennent essentiellement une étape de clarification (la suppression de la majorité des éléments en suspension dans le moût), et l'ajout de divers produits, qui servent à aider la clarification (bentonite), empêcher l'oxydation (SO<sub>2</sub>) ou activer la fermentation à venir (vitamines).
- la fermentation alcoolique, parfois suivie d'une fermentation malolactique,
- le collage du vin, qui a pour but d'enlever les dernières particules en suspension dans le vin (par ajout de blanc d'œuf notamment),
- la mise en bouteille et la commercialisation.

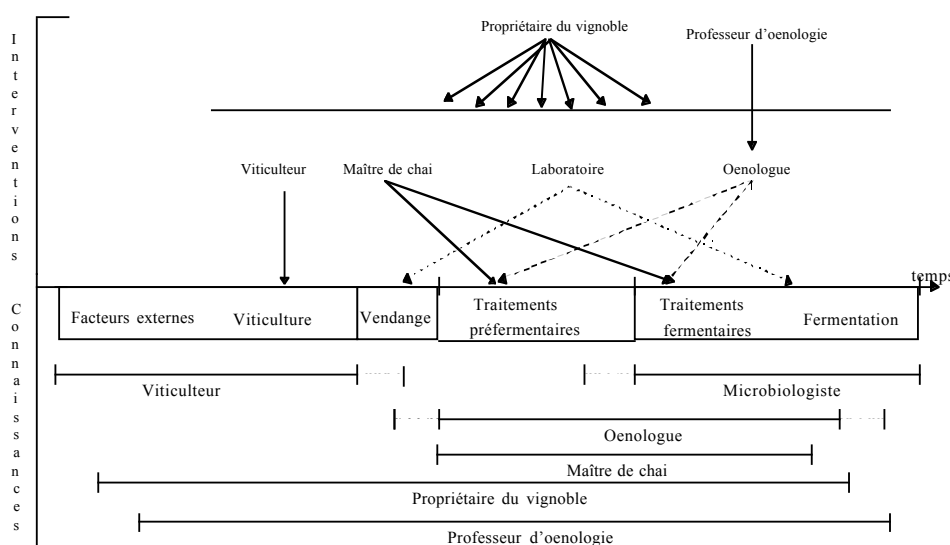
On peut facilement imaginer la difficulté de maîtrise de la fabrication du vin, étant donné le nombre de processus biologiques, chimiques, biochimiques, et même industriels, qui y interviennent, souvent de manière étroitement liée. Ceci explique que nous ayons



également d'autres paramètres, tels que le cépage ou la nature du sol de la parcelle, qui interviennent en tant que contraintes externes à l'ensemble du processus (cf figure 1).

### 3. Les acteurs

Beaucoup de personnes participent de près ou de loin à la fabrication du vin : des acteurs commerciaux comme les négociants ; des acteurs politiques tels l'Union des Œnologues de France (UEF) ou l'Institut National des Appellations d'Origine (INAO) ; des acteurs techniques (viticulteurs, œnologues, microbiologistes,...). Nous considérons uniquement les acteurs qui interviennent durant les étapes de fabrication du vin. La figure 2 illustre deux aspects différents mais complémentaires : quelle partie du processus les différents acteurs connaissent, et à quelle(s) étape(s) ils sont supposés intervenir.



**Figure 2.** Diagramme des expertises et interventions des différents acteurs  
(Les pointillés horizontaux représentent des connaissances ponctuelles)

Les acteurs représentés sur la figure 2 sont les suivants :

- Le viticulteur s'occupe de la culture de la vigne. Il a donc une vue globale de tout ce qui a été fait sur les ceps depuis le début du cycle végétatif. Il essaie de trouver des solutions à différents problèmes : à quel moment effectuer les traitements phytosanitaires de manière à laisser le minimum de résidus sur les raisins tout en ayant une efficacité maximale, tout en tenant compte du climat et du cycle végétatif ? Quel type de taille ou de palissage favorisera une concentration optimale de sucre dans les raisins ?
- Le maître de chai est chargé de quasiment tous les traitements après la vendange. Il doit normalement suivre les instructions de l'œnologue ou du propriétaire s'il y a lieu.
- L'œnologue est impliqué dans les mêmes étapes que le maître de chai. Soit il supervise intégralement les opérations préfermentaires et fermentaires (œnologue attitré), soit il vient ponctuellement à la cave donner des conseils lorsqu'il y en a besoin (œnologue d'un cabinet conseil). Par exemple, son avis est nécessaire lorsqu'il s'agit de choisir un type de traitement préfermentaire adapté à la vendange de l'année, ou d'ajouter des produits pour pallier d'éventuelles carences du moût.

- Le microbiologiste s'intéresse aux réactions biochimiques mettant en jeu les levures et autres micro-organismes.
- Le propriétaire du vignoble est celui qui a la vue la plus globale, puisqu'il doit normalement être capable de définir les grandes orientations de chaque étape de la conduite de son exploitation.
- Le professeur d'œnologie enseigne aux futurs œnologues.
- Un laboratoire peut également avoir un rôle ponctuel en réalisant des analyses chimiques, soit sur le raisin avant vendange pour fixer la date de celle-ci, soit juste après la vendange, soit sur le moût à différents moments de la fermentation.

Il y a également beaucoup d'autres personnes impliquées, notamment les nombreux employés saisonniers.

Certaines des connaissances de ces différents experts se recourent, d'autres sont aussi complètement disjointes. On peut voir sur la figure 2 que chaque expert d'un sous-domaine (comme le microbiologiste) a en fait une vue partielle de l'ensemble du processus, et, que comme chacun essaie de résoudre le problème des arrêts de fermentation avec ses propres connaissances, on comprend que cette résolution ne peut être qu'incomplète. Par exemple, le microbiologiste n'essaiera pas de savoir quel a été l'incidence du climat de l'année ou des différents traitements phytosanitaires effectués sur la vigne, sur la fermentation.

#### **4. Le contexte dans l'application vinicole**

Il n'existe pas de définition précise et absolue du contexte [BRE 96]. Nous exposons ici ce que nous considérons comme connaissances contextuelles pour l'application vinicole.

##### ***4.1. Les limites des approches précédentes***

En ce qui concerne la fermentation, un grand nombre de recherches menées en œnologie ou en viticulture ont eu pour but de comprendre l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur celle-ci. Depuis 1978, l'influence de l'enherbement et de la fumure azotée sur la fermentation alcoolique et la qualité finale du vin produit, a été étudiée par [MAI 95]. Il en est dans le domaine de la biochimie. Que ce soit en Afrique du Sud, en Australie, aux Etats-Unis, ou en France, beaucoup de recherches ont eu pour objectif de montrer l'importance notamment de la technique de clarification, ou encore de la teneur en azote du moût, sur le déroulement de la fermentation.

En ce qui concerne précisément le problème des arrêts de fermentation, l'INRA de Montpellier a lancé il y a quatre ans une étude sur la variabilité chimique des moûts de la région Languedoc-Roussillon. La collecte et l'analyse d'un grand nombre de moûts leur a permis notamment d'étudier le lien entre les allures des courbes de cinétique fermentaire et le problème des arrêts de fermentation [SAB 96]. Plusieurs méthodes ont été essayées: l'interprétation de ces courbes [GRE 90], le développement d'un système expert [GRE 88], l'utilisation de techniques de classification et d'apprentissage au travers d'un réseau de neurones [INS 95]. L'objectif était de prédire un éventuel arrêt de fermentation suffisamment à l'avance pour pouvoir effectuer des corrections efficaces sur le moût. Malheureusement, ces approches n'eurent pas le succès escompté.

Deux autres études ont essayé de prédire les courbes de fermentation à la fois à partir des données de cinétique précédentes mais aussi d'informations additionnelles (concentration initiale en sucre, concentration en azote,...) [MAR 95]. La prédiction s'est avérée bonne pour le début des courbes, mais mauvaise pour les fins de fermentation, là où justement les arrêts se produisent [ALV 95].

La conclusion que l'on peut tirer de toutes ces recherches est que, si de nombreux travaux ont effectivement montré que certains facteurs en amont de la fermentation ont une influence certaine sur celle-ci, les essais réalisés pour prédire les arrêts de fermentation n'en ont pour l'instant pas tenu compte. C'est sans doute une des raisons de leur échec, et, en tout cas, ce qui a été à l'origine de notre approche.

#### ***4.2. Qu'appelle-t-on connaissances contextuelles pour le processus de fermentation ?***

Les connaissances recueillies auprès des experts peuvent être séparées en deux groupes. Le premier groupe comprend les connaissances concernant la phase de fermentation alcoolique elle-même. On en distingue deux sortes : les connaissances **du domaine**, c'est-à-dire celles qui portent sur le processus de fermentation au sens strict (et qui sont ici pour la plupart biochimiques), et les connaissances dites **de contrôle**, qui concernent les interventions des acteurs au cours de la fermentation, dans le but d'en contrôler les différents paramètres (régulation de la température de la cuve, ajout d'activateurs fermentaires, aérations...). Le deuxième grand groupe est constitué des connaissances qui ne portent pas directement sur la fermentation, mais qui y sont néanmoins utilisées de manière implicite par les acteurs. Elles concernent tout ce qui s'est passé en amont de cette phase (par exemple, le climat au moment de la vendange). Ce sont ces connaissances que nous qualifions de **contextuelles** par rapport au processus de fermentation.

Toutes ces connaissances participent à la résolution du problème, comme nous le verrons dans la partie 5. En quoi les connaissances contextuelles sont-elles utiles ? Tout d'abord le problème des arrêts de fermentation ne pourrait pas être résolu uniquement à partir des connaissances du domaine. En effet, dans la pratique très peu de paramètres biochimiques sont mesurés au cours de la fermentation (il n'y a quasiment que le sucre et la température du moût). De plus, même si on avait accès à tous les paramètres analytiques du moût en phase de fermentation, il n'est pas prouvé que le métabolisme fermentaire soit un phénomène déterministe. En résumé, si certaines causes d'arrêts peuvent être trouvées dans la phase de fermentation-même, l'utilisation des connaissances contextuelles permet de détecter des causes beaucoup plus lointaines, et en définitive de n'en oublier aucune. Illustrons cet aspect à partir du modèle représenté sur la figure 1.

Une des causes possibles d'arrêt de fermentation est en fait la conjonction de deux causes : une résistance insuffisante de la membrane des levures, et l'action de l'éthanol sur ces membranes. La conjonction de ces deux causes conduit à la mort d'un plus ou moins grand nombre de cellules. Considérons tout d'abord la résistance insuffisante des membranes des levures. Elle peut provenir d'une carence en acides gras insaturés (notés AGLC) dans le moût. Si nous nous arrêtons là dans la recherche des causes possibles, nous pouvons dire que nous n'avons utilisé que les connaissances concernant la fermentation elle-même. Il est cependant possible d'aller plus loin, et d'utiliser les connaissances concernant les opérations préfermentaires. Par exemple, une aération insuffisante peut être à l'origine de cette carence en acides gras insaturés, ou encore un débouillage trop poussé. Nous pouvons ensuite nous demander ce qui a pu conduire le maître de chai à effectuer un tel débouillage. Cela est en général dû à un trop grand nombre de corps étrangers dans le moût, ce qui est souvent le cas lorsque la vendange a été mécanique (parties de branches, feuilles, agrafes,...), ou encore atteinte de Botrytis. Pour trouver cette cause, nous avons été obligés d'utiliser des connaissances « lointaines » remontant jusqu'à l'étape de viticulture.

Le cheminement est similaire en ce qui concerne l'effet de l'éthanol sur les levures. Une forte concentration en éthanol vient forcément d'une teneur initiale en sucre élevée. Mais une telle concentration peut avoir plusieurs causes : un rendement relativement faible, et/ou le climat pendant la maturation. Cela dépend aussi du cépage lui-même, qui est en fait le facteur le plus éloigné que l'on puisse trouver, puisqu'il est considéré comme « externe » (on ne peut le changer a posteriori).

Il est ainsi possible d'effectuer une classification des connaissances contextuelles selon leur « distance » aux connaissances du domaine [AGA 97]. Tichener (cité dans [JAN 95]) a, dans un autre domaine, un point de vue très proche du nôtre. Tichener soutient que l'environnement autour d'un organisme sert de fondement pour la définition du contexte. Le contexte doit être considéré comme une couche, ou un ensemble de couches autour de connaissances plus « centrales ». Notre modèle peut ainsi être vu comme un oignon, dans lequel les connaissances contextuelles sont organisées en couches autour d'un noyau formé des connaissances du domaine et des connaissances de contrôle, comme les différentes pellicules d'un oignon. La couche la plus externe contient les paramètres qui sont contextuels à toutes les autres couches. Dans cette représentation, le climat durant les dernières semaines avant la vendange est considéré comme plus « éloigné » du noyau que la température de débouillage du moût avant fermentation.

#### 4.3. Qu'appelle-t-on connaissances contextuelles vis-à-vis des acteurs ?

Il est possible de représenter l'origine des connaissances utilisées pour déterminer les causes possibles d'arrêt de fermentation. Les figures 3a, 3b et 3c donnent respectivement le point de vue du microbiologiste, de l'œnologue et du viticulteur sur l'ensemble des connaissances représentées sur la figure 1.

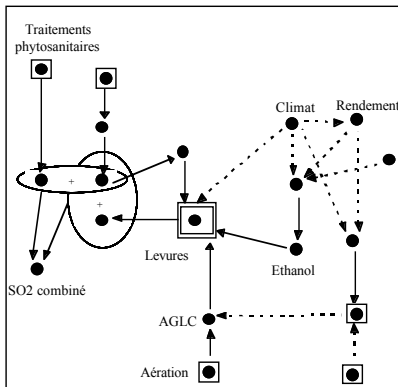


Figure 3a. Microbiologiste

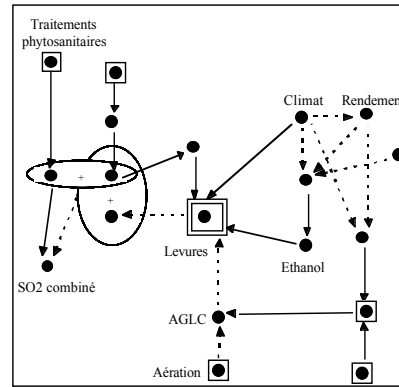
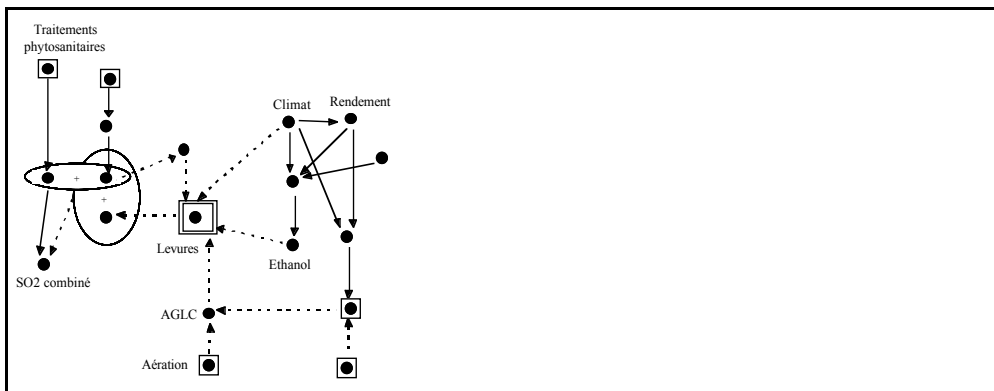


Figure 3b. Œnologue



Les connaissances représentées sur la figure 1 ont ainsi été obtenues en regroupant les connaissances de tous les experts (le microbiologiste, le viticulteur et l'œnologue dans

notre exemple). Certaines connaissances sont partagées par plusieurs experts alors que d'autres non. Cependant, chacune de ces connaissances contribue à comprendre et résoudre le problème. C'est la raison pour laquelle nous avons eu besoin de construire un modèle qui nous permette de prendre en compte toutes ces connaissances, quelle que soit leur origine et leur « distance » par rapport à la fermentation.

**Figure 3c.** *Viticulteur*

#### **4.4. Le recueil des connaissances contextuelles**

Le fait de séparer les connaissances contextuelles des connaissances du domaine a plusieurs conséquences sur le recueil de l'expertise. Tout d'abord, et avant tout, il convient de choisir s'il faut recueillir ces connaissances contextuelles en plus des connaissances du domaine, ou pas, et cela en fonction du problème à résoudre.

Par ailleurs, le recueil des connaissances contextuelles ne s'effectue pas auprès des mêmes experts que pour les connaissances du domaine, ni de la même façon. Si les connaissances du domaine sont relativement partagées par plusieurs experts, en revanche les connaissances contextuelles sont propres à certaines catégories d'experts (cf figure 2), qu'il est donc nécessaire d'interviewer spécifiquement : le viticulteur (pour l'expertise sur l'étape de viticulture) et l'œnologue (pour l'expertise sur l'étape préfermentaire).

Enfin, la façon dont se passe le recueil est également légèrement différente. Les connaissances contextuelles étant moins directement liées au problème à résoudre, les questions se doivent également d'être moins directes. On orientera les questions non plus sur l'influence de tel ou tel facteur sur l'arrêt de fermentation ou même la fermentation, mais sur son impact sur tel autre paramètre plus « proche » de la fermentation.

### **5. Organisation et utilisation des connaissances contextuelles dans notre modèle**

La construction de notre système nous a amené à réfléchir en particulier sur trois questions, qui se sont posées à différentes étapes de son développement :

- la notion de connaissance contextuelle pour le problème à résoudre,
- l'utilisation des connaissances contextuelles pour résoudre le problème,
- la notion de connaissance contextualisée lors de la résolution du problème.

#### **5.1. L'organisation des connaissances dans le modèle**

Grâce aux connaissances recueillies auprès des différents experts [AGA 96], nous avons d'abord construit un modèle du domaine vinicole du type entités-relations. Pour l'implémentation, nous avons utilisé le logiciel METAGEN [SAH 95], qui permet de générer du code Smalltalk à partir d'une description des connaissances de haut niveau. Une base de règles associée a également été implémentée en formalisme NEOPUS [PAC 95].

Le modèle comprend les connaissances du domaine, les connaissances de contrôle et les connaissances contextuelles (au sens défini aux paragraphes 4.2 et 4.3).



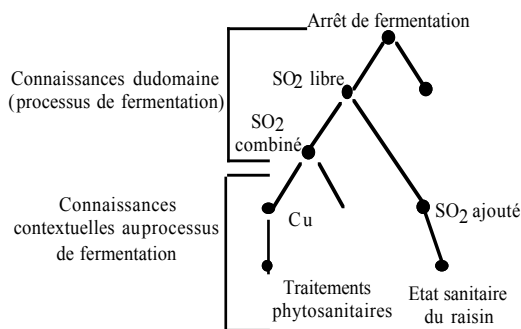


Figure 4. Existence d'un chemin de dérivation

Notre expérience de construction du modèle a révélé qu'il existe parmi les connaissances contextuelles, des connaissances directement **opérantes**, c'est-à-dire qu'il existe un chemin de dérivation entre ces connaissances et la conclusion recherchée (cf figure 4).

Malheureusement, il n'est pas toujours possible (et presque jamais dans le cas de la fermentation) de dériver un chemin entre les connaissances contextuelles et le but, principalement parce qu'on manque d'informations au sujet de ces liens. Ce manque d'informations peut venir d'une absence de communication entre experts (cf figure 5a) ou de connaissances trop complexes pour être bien organisées (cf figure 5b).

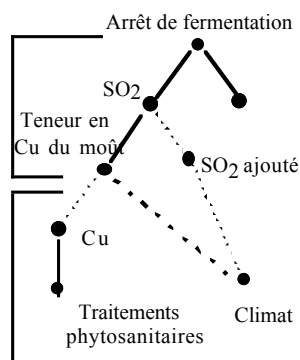


Figure 5a. Liens manquants

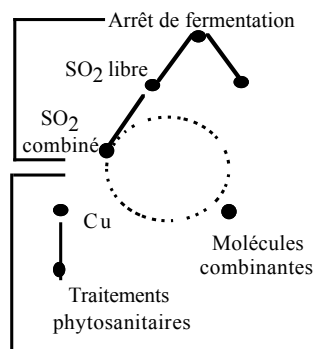


Figure 5b. Liens trop complexes

Pour pouvoir utiliser quand même ces connaissances contextuelles, deux opérations ont été nécessaires :

- construire un arbre de décision, qui intervient chronologiquement après le modèle et permet, lui, de conclure,
- affaiblir le but à atteindre. On ne déduit plus s'il va se produire un arrêt ou pas, mais on évalue quel est le risque pour qu'il se produise un arrêt de fermentation.

## 5.2. Utilisation des connaissances contextuelles pour la résolution du problème

Une fois que les connaissances contextuelles ont été rendues opérantes au niveau de leur représentation, il est possible de les utiliser dans le modèle biologique précédemment construit. Une simulation menée sur le modèle permet d'évaluer un certain nombre de paramètres qui vont servir d'entrée au système de décision final. C'est l'arbre de décision qui va, lui, évaluer le risque d'arrêt de fermentation d'un moût donné.

La simulation comporte plusieurs macro-étapes, qui se succèdent chronologiquement, depuis la culture de la vigne jusqu'à la fermentation alcoolique en passant par les opérations préfermentaires.

Chaque étape prend en entrée un certain nombre de données. Ces données sont composées tout d'abord d'un sous-ensemble des données disponibles au début de la

simulation : les mesures de diverses concentrations, les actions déjà effectuées,... Ces données comprennent bien entendu des informations contextuelles selon les différentes acceptions que nous avons vu précédemment (paragraphe 4.2 et 4.3). Toutes ces données, bien que disponibles dès le début, ne sont utilisées qu'à l'étape appropriée. Par exemple, les paramètres concernant les opérations préfermentaires (température et durée de la clarification,...) ne constituent des données d'entrée que pour l'étape préfermentaire et ne seront donc pas utilisées avant.

Chaque étape hérite également une partie de ces conditions initiales de l'étape précédente, le chemin qui a permis d'aboutir à ces conclusions constituant dès lors un contexte figé pour l'étape suivante. Par exemple, la concentration initiale en azote est utilisée lors de l'étape préfermentaire. Cette concentration peut être déduite de l'étape précédente (viticulture) à partir de certains paramètres, notamment les conditions météorologiques. Celles-ci sont contextuelles pour l'étape préfermentaire. Par contre, la concentration en azote déduite est ce que nous appelons une connaissance **contextualisée par rapport au processus de résolution du problème** (les arrêts de fermentation), et nous allons tout de suite expliquer la différence.

### 5.3. Notion de connaissance contextualisée par rapport à la résolution du problème

La simulation menée sur le modèle nous a poussé à faire une distinction entre les connaissances contextuelles (opérantes) et connaissances contextualisées.

Nous avons vu précédemment (paragraphe 5.2) qu'une partie des données d'entrée n'est pas utilisée dès le début de la simulation, comme par exemple tout ce qui concerne les traitements préfermentaires. Nous avons vu également que certaines connaissances peuvent être déduites d'autres étapes (plus distantes) de la simulation.

Pendant la simulation, il y a réellement un processus de « contextualisation » (bien que très simple dans notre cas) comme proposé dans [EDM 93]. Par exemple, la teneur en cuivre est déduite d'une étape très éloignée de l'étape de fermentation (cf figure 1). Les connaissances utilisées dans la détermination de la teneur en cuivre (traitements phytosanitaires,...) sont clairement contextuelles par rapport à l'étape où cette teneur est utilisée (l'étape de fermentation). Dans le modèle, nous avons représenté cela par un couple d'entités (cf figure 6). Au début de l'étape de fermentation, il y a un transfert de valeur d'un élément du couple vers l'autre.

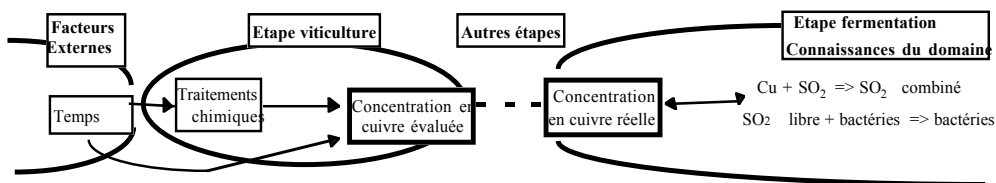


Figure 6. Couple de connaissance contextuelle/contextualisée

L'intérêt d'effectuer une distinction « physique » entre connaissances contextuelles (opérantes) et connaissances contextualisées est double. Le premier est la possibilité **d'évolution du statut des connaissances** du modèle en parallèle avec les connaissances du domaine vinicole. En effet, l'utilisation de nouveaux capteurs dans les caves ou la systématisation de certaines mesures peuvent faire évoluer la représentation des connaissances, et notamment à rentrer directement dans le modèle les valeurs mesurées au lieu de les déduire grâce à la simulation. Du coup, nous pourrions abandonner les processus de contextualisation des connaissances concernées par cette évolution.

Le deuxième intérêt concerne la validation du modèle. Chaque couple de connaissances contextuelles/contextualisées permet d'effectuer une **validation locale** du modèle, en plus de la validation globale classique par test sur des cas réels.

Pour résumer, il existe à la fois une définition globale et locale des connaissances contextuelles et contextualisées. La première s'exprime en terme de représentation des connaissances, la seconde est basée sur le processus de résolution du problème. Le statut (externe, contextuelle, contextualisée) d'une connaissance n'est pas statique durant le déroulement de la simulation (étant donné un état de l'art du domaine fixe). Par exemple, une fois que la simulation est terminée et a fourni un résultat (un risque d'arrêt de fermentation), le modèle sera utilisé pour donner une mesure de confiance et tester la sensibilité du résultat par rapport aux conditions initiales et à certains paramètres. En ce qui concerne cette nouvelle problématique, le contexte de chaque étape de résolution sera différent de celui défini par rapport à la résolution du problème des arrêts de fermentation lui-même.

## 6. Conclusion

Nous avons voulu montrer dans ce papier que les connaissances contextuelles peuvent faire partie intégrante d'un SBC, au point même de constituer l'essentiel des connaissances du domaine considéré, comme c'est le cas pour le problème des arrêts de fermentation lors de vinicole, où aucun expert ne peut apporter une description biochimique complète du problème. Dans notre application, elles sont même indispensables à la résolution du problème. Leur utilisation suppose une réflexion sur le statut de chaque connaissance et sur le positionnement de ces connaissances les unes par rapport aux autres au cours du processus de résolution du problème. Cet article n'en est qu'une ébauche.

La prochaine étape de travail sera la validation du modèle. Nous essayerons également de trouver un moyen d'évaluer la confiance dans le risque de fermentation prédit.

## Remerciements

Ces travaux sont partiellement financés par l'INRA et l'ONIVINS, dans le cadre d'un programme national mené en collaboration avec divers organismes interprofessionnels. Nous remercions P. Barre, J.-M. Sablayrolles, L. Blateyron de l'INRA et P. Grenier du Cemagref pour leur participation à l'élaboration du modèle. Nous remercions également B. Lesueur (LIP6) pour son aide lors de l'utilisation de METAGEN.

## Références

- [AGA 96] AGABRA J., *Interviews en Champagne et Bourgogne, et questionnaires*, Rapport Interne, LISC, Cemagref, 1996.
- [AGA 97] AGABRA J., ALVAREZ I., BREZILLON P., *Contextual Knowledge Based System : A Study and Design in Enology*, Proceedings of CONTEXT97, Rio de Janeiro.
- [ALV 95] ALVAREZ I., *Utilisation des possibilités d'apprentissage d'Intellisphère sur un micro-projet des fins de cinétiques*, Rapport Interne, LISC, Cemagref, 1995.
- [BREZ 96] BREZILLON P., *Context in human-machine problem solving : a survey*, Technical Report 96/29, LAFORIA, October, 37 pages, 1996.
- [EDM 93] EDMONSON W. H. et MEECH J. F., *A model of context for human-computer interaction*, Proceeding of the IJCAI-93 Workshop on Using Knowledge in its Context, Technical Report 93/13, LAFORIA, University Paris 6, pp.31-38, 1993.
- [GRE 88] GRENIER P., FEUILLOLEY P., SABLAYROLLES J.M., *Development of an expert system for the optimization of the wine alcoholic fermentation*, International Conference on Agricultural Engineering, March 2-5, Paris, paper n° 88.399, 1988.

- [GRE 90] GRENIER P., SABLAYROLLES J-M., *Captation de vitesse d'évolution d'un procédé continu en IAA et son utilisation dans les systèmes experts de pilotage*, International Symposium ACoFop II Conference, Edition ENSIAA, 313-324, 1990.
- [INS 95] INSA G., SABLAYROLLES J.M., DOUZAL V., *Alcoholic fermentation under enological conditions. Use of a combination of data analysis and neural networks to predict sluggish and stuck fermentations*, Bioprocess Engineering, 442, Springer Verlag, 1995.
- [JAN 95] JANSEN B., *Context in context*, <http://mac145.syd.dit.csiro.au/Context/context.html> (Working Draft V4), 1995.
- [MAI 95] MAIGRE D., AERNY J. and MURISIER F., *Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée*, Revue Suisse Vitic. & Hortic., 27 (4): 237-251, 1995.
- [MAR 95] MARIN R., *Etude post-doctorale sur la prédiction des arrêts de fermentation*, Rapport Interne, Gemo, Cemagref, 1995.
- [PAC 95] PACHET F., *On the embeddability of production rules in object-oriented languages*, Journal of Object-Oriented Programming, Vol. 8, N. 4, pp. 19-24, 1995.
- [SAB 96] SABLAYROLLES J.M., SALMON J. M. et BARRE P., *Carences nutritionnelles des moûts. Efficacité des ajouts combinés d'oxygène et d'azote ammoniacal*, Revue française d'œnologie, vol. 159 : 25-29, 1996.
- [SAH 95] SAHRAOUI H., REVAULT N., BLAIN G. et PERROT J. F., *A Metamodeling technique: The MÉTAGEN system*, Proceedings of TOOLS 16 : TOOLS Europe'95, pp. 127-139, Prentice Hall Versailles, France, 1995.