

Prise en compte de l'expertise des opérateurs des entreprises agroalimentaires pour la conception de systèmes d'aide à la décision

Irène ALLAIS

Unité EDUTER Ingénierie - Institut EDUTER - AGROSUP Dijon
Site de Marmilhat, BP100, 63370 Lempdes
irene.allais@educagri.fr

Gilles TRYSTRAM

AgroParisTech – UMR 1145 Ingénierie, Procédés & Aliments
16 rue Claude Bernard 75005 Paris

1. INTRODUCTION

Les aliments sont obtenus par différents procédés de fabrication qui doivent être capables de garantir leurs qualités des aliments et leur régularité dans le temps. Ils répondent à des exigences en termes de coût, de productivité, de consommation d'énergie et de respect de l'environnement [1]. Parmi l'ensemble des caractéristiques des aliments, les propriétés sensorielles sont essentielles car elles conditionnent le choix et les préférences des consommateurs. Ces propriétés sensorielles sont difficiles à mesurer au moyen d'appareils de mesure car ils ne sont pas suffisamment spécifiques ou adaptés à un usage dans un atelier de fabrication. Ces instruments ne sont pas assez robustes, sont difficiles à nettoyer, ou disposent d'un temps de réponse trop long... En revanche, les opérateurs présents dans les ateliers de fabrication sont capables d'évaluer les propriétés sensorielles des aliments au moyen de leurs sens (vue, odeur, toucher, ouïe) [2], [3]. Du fait de son expérience, un opérateur peut reconnaître de faibles changements dans le procédé. Il est également capable d'extraire l'information d'une perception complexe et d'en déduire une décision. Les opérateurs utilisent ces informations pour conduire la fabrication des aliments et disposent ainsi de savoir-faire spécifiques : savoir-mesurer et savoir-piloter.

2. PRESENTATION DE LA RECHERCHE ACTION COLLABORATIVE

Développer des systèmes d'aide à la décision intégrant l'expertise des opérateurs pour améliorer la conduite des procédés de fabrication agroalimentaires constitue un enjeu important dans le secteur alimentaire.

La recherche collaborative a donc consisté à associer des chercheurs du domaine du génie des procédés agroalimentaires et des opérateurs détenteurs du savoir-faire de fabrication des aliments présents dans les ateliers afin de recueillir et formaliser l'expertise des opérateurs pour concevoir des systèmes d'aide à la décision. Le recueil d'expertise s'est déroulé directement dans les ateliers de fabrication.

Depuis 1998, une douzaine de cas différents ont été traités dans le cadre des travaux de recherche de l'UMR 1145¹.

¹ UMR 1145 : Unité Mixte de Recherches Ingénierie, Procédés & Aliments

3. METHODOLOGIE

Une hypothèse forte qui sous-tend les travaux est que l'expertise est présente dans l'entreprise et que l'opérateur-expert qui la détient constitue la référence : la qualité de l'expertise n'est donc pas questionnée a priori. La démarche développée a pour objectifs d'identifier, recueillir, et formaliser le savoir-faire. Elle s'appuie sur de nombreux travaux de recherche conduits dans d'autres domaines. Une méthodologie originale a été développée et validée afin de prendre en compte différents types de spécificités :

1. Spécificités liées à l'expertise humaine.

Ces spécificités ont été bien étudiées dans la communauté de l'ingénierie de la connaissance. Les méthodes de recueil de l'expertise humaine sont utilisées pour transformer des connaissances tacites (non formalisées) en connaissances explicites, sans préjuger du support sur lequel elles seront conservées puis diffusées. En général, elles font intervenir un expert qui détient les connaissances et un chercheur spécialiste du recueil qui a pour but de formaliser les connaissances nécessaires à la résolution d'un problème. Il s'ensuit un certain nombre d'itérations avec l'expert, jusqu'à ce que l'expert se déclare satisfait du résultat obtenu [4]. Les difficultés pour recueillir l'expertise se situent à 2 niveaux : choix des experts et explicitation des connaissances.

o *Choix des experts*

Un expert est défini « *comme une personne apte à juger quelque chose, un connaisseur, un spécialiste* » (Grand dictionnaire Larousse, 1983). Du point de vue des sciences cognitives, les études sur le développement de l'expertise montrent que 2 processus participent à la création de l'expertise : un processus cognitif et un processus lié à la perception. Le processus d'acquisition d'une expertise demande un certain temps. Un des éléments dans la formation de l'expertise est le raisonnement par comparaison avec une bibliothèque de cas mémorisés par l'expert. Dans le cas de médecins radiologistes, il apparaît que le raisonnement des experts est plus élaboré que ceux d'un novice car l'expérience augmente le nombre de liens opératoires (nouveaux liens créés par association) et le nombre de liens canoniques activables (liens existants renforcés par l'expertise) [5]. D'après Gallouin [6], il y a trois différences principales entre expert et novice : (1) Les experts automatisent leur savoir dans leur domaine de connaissance : une partie de leur comportement relève plus du réflexe que d'un mécanisme tout à fait conscient. Cela leur permet d'être plus rapides pour traiter certaines aspects des situations qui se présentent à eux et d'utiliser le temps gagné à la résolution des points délicats de ces mêmes situations. Mais le savoir automatisé devient difficile d'accès ; (2) l'organisation de l'information est différente ; et (3), la pondération des informations est différente.

Dans le cas de la conduite des procédés de fabrication des aliments, le choix des experts est généralement limité à un petit nombre de personnes (souvent inférieur à 5 personnes : le nombre d'opérateurs se relayant pour la conduite de la fabrication). Pour évaluer le niveau d'expertise, nous avons utilisé des critères « externes » tels que le nombre d'années d'ancienneté de conduite et la reconnaissance par les pairs. Donc, en choisissant le critère « nombre d'années d'ancienneté », on intègre la notion qu'un opérateur ayant passé un grand nombre d'années à conduire des fabrications aurait mémorisé un grand nombre de cas.

Pour évaluer « la qualité » de l'expert il est possible de mesurer la répétabilité des mesures réalisées par un expert et la cohérence entre experts, mais ceci ne garantit pas que les solutions données par l'expert soient optimales. De ce point de vue, la reconnaissance par les pairs constitue un indicateur pertinent.

○ *Explicitation – freins liés à l’expert*

Lors du recueil de l’expertise des opérateurs dans le cadre de la conduite de fabrications, nous nous situons dans un contexte de travail de l’opérateur. Il est donc nécessaire de prendre en compte des facteurs liés à l’individu (importance de l’explicitation et la motivation lors de la collaboration avec l’opérateur) mais aussi aux relations sociales dans le travail.

D’après Dejours [7], psychologue du travail, il existe toujours un décalage entre le travail prescrit et le travail effectif, ce qui rend difficile la description d’un travail. Il identifie 5 obstacles pour approcher le travail effectif : la discrétion (risque de sanction), la stratégie personnelle (risque de perte de pouvoir), les stratégies de défense contre la souffrance au travail, le langage (en adoptant le langage de l’ingénieur, on occulte ce qui est lié aux gestes du métier) et le retard de la symbolisation sur l’usage de l’intelligence, c’est à dire la difficulté pour l’opérateur à exprimer un comportement qui lui semble automatique ou naturel, ce comportement automatique étant caractéristique d’un expert. Ainsi, les connaissances recueillies peuvent être inexactes et incomplètes.

○ *Explicitation – Interaction expert-chercheur*

Il est reconnu que la présence du chercheur qui recueille les connaissances va influencer l’expert et que la qualité de la relation expert- chercheur est déterminante pour la qualité du recueil des connaissances. Des systèmes d’aide à l’interview ont été mis au point [8], mais l’impact de la qualité de la relation sur la qualité du recueil de connaissances reste difficile à quantifier.

○ *Explicitation – méthodes utilisées par le chercheur*

Le recueil d’expertise est le point de départ de recherches dans différents domaines scientifiques (ethnologie, anthropologie, sociologie, géographie, histoire, ergonomie, sciences cognitives, ...) qui ont développé différentes méthodes d’acquisition des connaissances. Différentes techniques de recueil [6] [9] ont été développées, dont certaines en ergonomie et psychologie. Elles ont toutes pour objectif de collecter la connaissance utile pour développer un système donné. Généralement, un petit nombre de techniques (1 à 3) sont utilisées en même temps. Parmi les plus utilisées, on peut citer les interviews, l’observation directe et les questionnaires. Le choix d’une technique dépend du problème à traiter (diagnostic, surveillance, prédiction, contrôle, conception, planification, modélisation...) et du type de connaissances mises en jeu.

Parmi les différentes techniques de recueil disponibles, nous avons utilisé l’observation directe sans couplage vidéo et différents types d’interviews avec couplage d’enregistrement audio. Ces 2 techniques se sont révélées bien adaptées. En effet, comme signalé par Curt [10] :

- l’opérateur est dans son contexte habituel avec ses repères
- les opérateurs interviewés sont des praticiens qui sont plus à l’aise pour expliquer leur travail en situation réelle
- le recueil des gestes à partir d’observations est a priori plus complet car il y a moins de risque d’oubli dans ce cas
- l’observation directe permet en outre de réaliser des mesures complémentaires

Enfin, les résultats du recueil sont soumis à l’expert, cette confrontation est réalisée de manière itérative et permet de valider la qualité du recueil.

2. Spécificités liées au contexte de travail directement en atelier de fabrication

Cela implique de prendre en compte l'organisation de l'entreprise dans le déroulement de la recherche et de s'y adapter. L'objectif premier d'un atelier de fabrication est en effet de fabriquer un produit en assurant le respect des quantités, délais et standards de qualité.

D'une part, la présence de chercheurs dans l'atelier interrogeant les opérateurs est considérée comme un élément perturbateur du fonctionnement ordinaire. Lors de la planification des phases de recueil en entreprise, il s'agit donc de s'adapter aux horaires de production et aux aléas de fabrication. Une fois dans l'atelier, il est nécessaire d'être discret, de laisser l'opérateur mener son activité de production même si cela interrompt le recueil.

D'autre part, dans le cadre d'un fonctionnement normal d'atelier, la diversité des situations rencontrées par l'opérateur et donc recueillies par l'expert peut être relativement limitée. Dans ce contexte, deux solutions alternatives sont envisageables: augmenter le temps de recherche ou provoquer délibérément des perturbations dans le déroulement de la fabrication. Ces perturbations sont bien évidemment à négocier avec l'entreprise qui est généralement réticente.

3. Spécificités liées au type de données recueillies: les mesures sensorielles.

Un cadre méthodologique spécifique a été défini pour formaliser les mesures sensorielles effectuées par les opérateurs lors de la fabrication des aliments [11]. Il a été adapté de la méthode d'analyse sensorielle descriptive utilisée classiquement sur les aliments en laboratoire qui décrit une mesure sensorielle au moyen de 5 critères : nom, définition, mode opératoire, échelle, référence. Cela a conduit à définir le **concept d'indicateur sensoriel** qui est une variable décrite par 2 critères supplémentaires : lieu de la mesure et moment de la mesure. Il est nécessaire de définir le moment de mesure car, à la différence du produit fini, les caractéristiques sensorielles du produit évoluent pendant la fabrication. Le lieu de mesure est également important à préciser car il existe une variabilité spatiale inhérente au produit et au procédé : par exemple, des biscuits dans un four de grand volume se trouvent à des stades de cuisson différents.

Lorsque les opérateurs utilisent leurs sens pour mesurer les propriétés sensorielles des produits, ils expriment le résultat de ces mesures plus facilement avec des mots (tels que "cuit", "brûlé"), autrement dit des symboles, qu'avec des nombres ; or les méthodes traditionnelles de traitement de l'information de l'automatique ne peuvent pas prendre en compte les variables linguistiques [12].

Les techniques d'intelligence artificielle ont connu un fort développement depuis les années 80 : elles ont montré leur aptitude à prendre en compte des données de natures hétérogènes, notamment des données symboliques. Les systèmes experts sont définis comme un programme conçu pour imiter le comportement d'un expert humain dans un domaine donné. Ce sont des environnements d'automatisation combinant des méthodes traditionnelles et heuristiques pour résoudre un problème donné. La réalisation d'un tel programme n'est possible que si une expertise humaine existe, si le domaine d'application est suffisamment restreint et si des connaissances précises sont disponibles. L'aptitude des systèmes experts à simuler le raisonnement humain et donc à effectuer des tâches décisionnelles et, d'autre part, leur aptitude à manipuler des données symboliques et donc à interagir avec l'opérateur dans un format qui lui est familier, en font des outils parfaitement adaptés à l'aide à la conduite.

On peut distinguer les systèmes experts « classiques », apparus dans les années 80 des systèmes experts basés sur la logique floue. Tous deux sont adaptés au traitement de la

connaissance humaine. Au-delà de la réduction du nombre de règles à définir, l'utilisation de la logique et du raisonnement flou permet de mieux modéliser les connaissances et le raisonnement des opérateurs, car elle permet de tenir compte de l'imprécision et l'incertitude inhérente au raisonnement humain.

Ainsi, le fait d'avoir décidé de mener une recherche s'appuyant sur les opérateurs de fabrication a généré l'élaboration d'une méthodologie spécifique issue de l'adaptation de méthodes issues d'autres domaines d'application : génie des procédés alimentaire, ingénierie de la connaissance ou mathématiques.

4. ACTEURS

Les acteurs impliqués dans cette Recherche Action Collaborative viennent de 2 secteurs différents : le monde de la recherche et le monde de l'entreprise.

- Les acteurs des entreprises impliqués dans cette RAC peuvent être classés en 2 catégories : l'encadrement, décideur de l'engagement dans le projet, et les opérateurs détenteurs de l'expertise. Les motivations de l'encadrement résident dans une anticipation des résultats de la recherche pour une amélioration du fonctionnement de l'entreprise et l'intérêt de participer à un projet innovant. L'engagement initial des opérateurs n'est pas spontané mais plutôt provoqué. Leur engagement s'affirme progressivement car ils trouvent plusieurs intérêts : la fierté de voir son savoir-faire reconnu et d'être le centre d'intérêt, la satisfaction de pouvoir échanger sur son activité professionnelle avec un interlocuteur réellement intéressé.
- Les chercheurs impliqués sont issus du génie des procédés et des sciences des aliments, domaines où les approches sont classiquement basées sur des savoirs et des démarches expérimentales. Leur motivation est un intérêt scientifique pour explorer une nouvelle voie : la prise en compte de l'expertise humaine pour la conduite des procédés et pour mettre au point des méthodes innovantes.

La figure 1 illustre les différents groupes d'acteurs qui ont interagi dans cette RAC. L'axe vertical représente le niveau de connaissance formelle et il oppose les « profanes » aux « savants » alors que l'axe horizontal représente le niveau d'expertise et oppose les « novices » aux « experts ». Plus le niveau d'expertise est élevé, plus le nombre de liens canoniques activables (liens existants renforcés par l'expertise) et de liens opératoires (nouveaux liens créés par association) augmentent [5]. Les opérateurs en charge de la conduite des procédés ont souvent un niveau de formation faible, et donc il n'apparaît pas aberrant de les considérer comme des profanes. En revanche, il serait faux de les assimiler à des « novices ».

Les personnes qui ont effectué le recueil étaient des « savants », externes à l'entreprise. Dans la plupart des cas traités, ces personnes étaient des jeunes adultes : doctorants ou stagiaires, pouvant être considérés comme des « savants novices ». Le recueil d'expertise s'est donc déroulé essentiellement entre « savants novices » et « profanes expérimentés ». Dans les différents cas traités, ils n'ont jamais été rejetés et ont été bien acceptés par les « profanes experts ». Bien que cette mise relation n'ait pas été construite délibérément au départ de la RAC, il est possible qu'elle ait joué favorablement car les jeunes « savants novices » ont bénéficié de la bienveillance des experts et ils ont joué un rôle de passeurs entre « profanes experts » et « savants experts ».

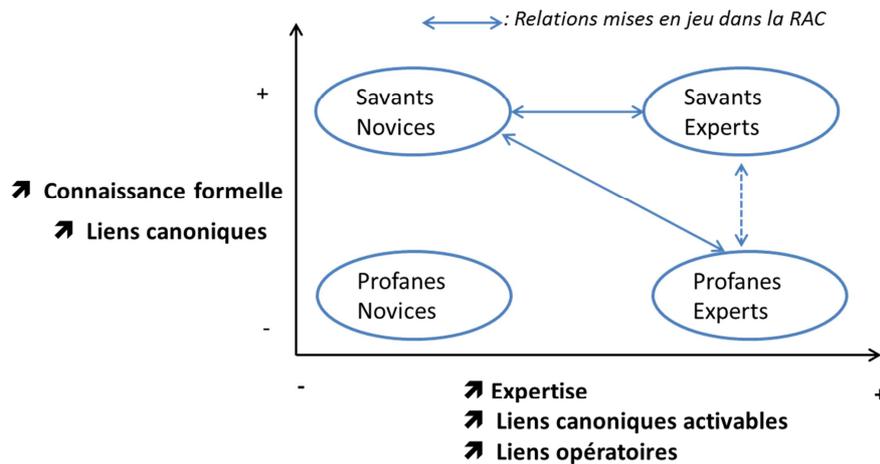


Figure 1 : Groupes d'acteurs ayant interagi dans la RAC

5. RESULTATS

1. Apports

Une douzaine de cas différents ont été traités et ont montré que l'approche proposée était pertinente du point de vue de la communauté scientifique [13] à [19]. Les principaux apports ont porté sur :

- Le développement d'une méthodologie spécifique pour recueillir et formaliser le savoir mesurer
- La prise en compte et la formalisation du savoir piloter
- La modélisation du savoir piloter avec des outils mathématiques adéquats
- L'amélioration de la conduite des procédés

Pour les opérateurs, l'implication dans la RAC leur a permis de prendre du recul par rapport à leur activité et d'échanger entre eux sur leurs savoir-faire.

2. Nouveaux éclairages

A l'issue de ces travaux, un nouvel éclairage a été produit sur le couplage entre approches expérimentales et expertes [20] :

- utiliser l'expertise afin d'orienter les choix métrologiques et la démarche expérimentale,
 - de l'atelier vers le laboratoire : l'expertise dans l'atelier est utile pour identifier les variables d'intérêt. Ensuite, les mesures de mesure adéquates (instrumentales ou sensorielles) peuvent être définies et mises en place.
 - du laboratoire vers l'atelier : Les mesures instrumentales définies au laboratoire peuvent être intégrées pour renforcer la stratégie de décision de l'opérateur.
- intégrer l'expertise pour la modélisation des procédés de fabrication,
- injecter de la connaissance formelle dans un modèle de conduite des procédés de fabrication.

6. DISCUSSION

1. Freins sur la coopération entre savoirs profanes des opérateurs et savoirs savants des chercheurs

Certains freins culturels sur l'idée de coopération entre savoir-faire profane et savoirs savants ont été rencontrés dans une communauté scientifique et une industrie où la logique dominante est la substitution du « savoir-faire » par le « savoir ».

Ces types de freins ont été observés dans d'autres domaines. A partir d'une recherche bibliographique², une analyse quantitative sur l'évolution du nombre de publications et des domaines concernés et une analyse qualitative ont permis de préciser les définitions et les caractéristiques des deux types de savoirs, les intérêts et limites à leur intégration. Il s'en dégage 3 points qui nous paraissent importants à souligner dans le cadre de la discussion sur les freins à la coopération entre savoirs profanes et savoirs savants.

1) Suprématie du savoir savant sur le savoir profane

L'idée d'une suprématie du savoir savant sur le savoir profane s'est installée depuis très longtemps : le « mythe de la Caverne » de Platon y a fortement contribué. Platon exposait déjà l'idée d'une hiérarchie entre 2 mondes : le monde intelligible étant supérieur au monde empirique, domaine de l'approximation. Il estimait que la Science (ou contemplation des Idées) est supérieure à la pratique, à l'art, à la simple technique empirique. Aujourd'hui encore, le savoir profane est considéré comme un « sous savoir » [21], [22], [23]. La connaissance locale est considérée comme fragmentée et subjective et donc manquant de mérite scientifique [24].

2) La reconnaissance et la prise en compte du savoir profane sont récentes

Ce n'est que très récemment (à partir des années 1990 et surtout 2000) que le savoir profane a fait l'objet d'un intérêt particulier de la part des savants essentiellement dans les domaines de la protection de l'environnement, de l'agriculture et de la santé, aussi bien dans les sociétés traditionnelles qu'occidentales. Il est intéressant de souligner que le développement des techniques d'intelligence artificielle pour capter la connaissance humaine, dans les années 80, a précédé la prise de conscience par rapport au savoir profane. Ceci peut s'expliquer en partie par le fait que les premiers systèmes experts³ s'intéressaient à la connaissance humaine de savants et que, pour les disciplines de l'intelligence artificielle, la distinction essentielle se situe entre « connaissance humaine » et « données » alors que la distinction savant/profane est secondaire. Il est possible que la possibilité « technique » de prendre en compte la connaissance humaine, qui au départ, était de la connaissance humaine « savante » ait contribué à la prise en compte de la connaissance humaine profane.

L'intérêt récent pour les savoirs profanes est dû à des raisons sociologiques telles que les doutes des savants face à des problèmes complexes et multidisciplinaires et la perte de confiance des profanes dans les savants. Cet intérêt est également dû à l'apparition de nouveaux enjeux :

- Pour les savants, la prise en compte des savoirs profanes permet une plus grande efficacité, de produire un savoir scientifique de qualité, de mieux répondre à de nouveaux enjeux et d'accéder à des connaissances inconnues, différentes ou complémentaires.

² Recherche bibliographique effectuée sur Science Direct© fin 2006 en utilisant séparément 4 termes : « lay knowledge », « local knowledge », « traditional knowledge », « indigeneous knowledge ».

³ Le premier système expert dénommé « Mycin » avait pour objectif l'aide au diagnostic médical, et il était basé sur les connaissances de médecins et non de profanes.

- Pour les profanes, les principaux enjeux sont la reconnaissance de l'existence et de la propriété intellectuelle des savoirs profanes, la formalisation des savoirs profanes pour éviter leur disparition, l'augmentation de l'efficacité des savoirs profanes pour faire face aux défis que les populations doivent affronter, l'amélioration et l'orientation des politiques de recherches.

3) Une coopération problématique

Il est frappant de constater que dans la plupart des articles, la coopération entre savoirs profanes et savants est présentée d'emblée comme problématique. Deux raisons principales peuvent expliquer cette difficulté : des visions du monde différentes [24] et un manque de confiance réciproque.

Les visions du monde différentes impliquent des systèmes de référence différents et une expression différente des connaissances : les connaissances profanes sont souvent exprimées sous forme qualitative alors que les données scientifiques sont plus souvent exprimées sous forme quantitatives. Cela peut conduire à une apparente contradiction entre savoirs profanes et savants.

Le manque de confiance est dû, d'une part, à une peur des profanes (perte de confiance dans les experts, crainte vis à vis des savants sur l'utilisation du savoir profane, risque de pillage intellectuel) et, d'autre part, à la crainte des savants de perdre une partie de leur pouvoir et à leurs doutes sur la fiabilité du savoir profane, sur la possibilité de le collecter et de l'assembler sous un format utilisable, sur la complication des investigations scientifiques, sur les méthodes à utiliser et sur les avantages attendus.

Dans le domaine de l'agro-alimentaire, on se situe dans une logique de substitution du savoir profane par le savoir savant. En effet, d'une part, la connaissance profane de l'artisan est reconnue. D'autre part, la démarche industrielle vise à remplacer le savoir profane par le savoir savant. Ce point est bien illustré par le texte de Bimbenet [1] extrait des techniques de l'Ingénieur, en posant la question : « *Sur quels critères peut-on dire qu'une activité est ou non industrielle ?* »

« Il est évidemment délicat de juger de la nature artisanale ou industrielle d'une activité. En outre, il n'y a pas de frontière tranchée entre ces deux modes de travail. Dans le domaine qui nous concerne ici, nous considérerons surtout la démarche industrielle comme consistant à s'efforcer de maîtriser systématiquement et avec le moins de subjectivité humaine possible tous les facteurs concourant à la productivité des opérations et à la constance des qualités des produits.

L'artisan, lui, mise sur le savoir-faire, la capacité d'adaptation et la créativité humaine, pour atteindre la qualité et la productivité maximales. »

Bien qu'il soit précisé dans le texte qu'il « n'y a pas de frontière tranchée entre ces deux modes de travail », la démarche industrielle est placée en opposition par rapport à la démarche artisanale. Dans ce contexte, l'idée d'associer démarche artisanale profane et démarche industrielle savante peut être considérée comme dérangement et les réticences des « savants » (chercheur ou ingénieurs des établissements de recherche ou des entreprises) vis à vis des savoirs profanes sont compréhensibles. Il est en effet difficile de reconnaître pour des personnes ayant étudié spécifiquement les procédés alimentaires de reconnaître qu'un opérateur ayant un niveau de formation largement inférieur puisse apporter des connaissances. Elles sont rarement explicitement formulées mais elles existent sous une forme implicite.

De plus, parmi les ingénieurs des services de recherche et développement, il peut exister parfois une méconnaissance du rôle exact des opérateurs dans les ateliers. Il en résulte une

certaines difficultés pour les convaincre de l'intérêt d'un couplage entre expertise humaine et démarche expérimentale.

2. Absence de tension entre production de connaissances et action

On peut souligner que l'objectif de la RAC était in fine de faire évoluer l'action de conduire le procédé. Cet objectif n'est pas entré en tension avec l'objectif de production de connaissances. Une explication possible est que l'objectif de la recherche est aussi un objectif d'action, ainsi, la production de connaissances a nourri l'action et une démarche cohérente intégrant ces 2 objectifs a été définie. Notamment, les différentes étapes de validation à différents stades de la démarche participent à l'appropriation par les acteurs : validation qualitative des mesures sensorielles puis validation des règles de conduite par entretiens avec l'opérateur au fil de l'avancement du travail. La validation finale du système d'aide à la décision est réalisée par comparaison des réponses du système à celles de l'expert. Elle se fait d'une part par validation qualitative avec l'expert et validation quantitative par simulations et in situ.

3. Recherche Action Collaborative jusqu'où?

Il s'agit bien de Recherche orientée pour l'Action impliquant des « profanes » par opposition aux « savants » mais on peut considérer que la collaboration avec les profanes est restée limitée. En effet, le « contrôle » de la démarche et de la méthodologie a été conservé par les chercheurs. Le savoir-faire est resté dans les mains des opérateurs. Les opérateurs n'ont pas influencé la démarche sauf dans le cas de la transmission des mesures sensorielles d'un opérateur expert vers un opérateur novice [12].

7. CONCLUSION

Une recherche collaborative a consisté à associer des chercheurs du domaine du génie des procédés agroalimentaires et des opérateurs détenteurs du savoir-faire de fabrication des aliments présents dans les ateliers afin de recueillir et formaliser l'expertise des opérateurs dans des systèmes d'aide à la décision.

La méthodologie développée a pris en compte 3 types de spécificités liées respectivement à l'expertise humaine, au type de données recueillies et au contexte de travail en atelier de fabrication.

Une douzaine de cas différents ont été traités et ont montré que l'approche proposée était pertinente du point de vue de la communauté scientifique [13] à [19]. Pour les opérateurs, l'implication dans la RAC leur a permis de prendre du recul par rapport à leur activité et d'échanger entre eux sur leurs savoir-faire. A l'issue de ces travaux, un nouvel éclairage a été produit sur le couplage entre approches expérimentales et expertes.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **Bimbenet J.J. (1998).** *Bases conceptuelles du génie des procédés agroalimentaires*, Techniques de l'Ingénieur, F 1 000.

[2] **Mittal G.S. (1997).** *Computerized control systems in the food industry*. Dekker Inc, New-York, 597 pages.

- [3] **Trystram G. & Courtois F. (1998).** Automatique et industries alimentaires - quelques avancées, perspectives et limites. *I.A.A.*, 21-32.
- [4] **Barthes J-P-A. (1998).** *Les systèmes à base de connaissances, IA03 - Méthodes de recueil de connaissances*, Université Technologique de Compiègne, Département de Génie Informatique, http://bunnydown.free.fr/4A_2004_2005/S1/MOD%204101%20ACQUISITION,%20REPRESENTATION%20ET%20TRAITEMENT%20DES%20CONNAISSANCES/ARTC/IA03-methodes.html
- [5] **Raufaste E., Eyrolle H., Mariné C. (1998).** *Pertinence generation in radiological diagnosis: Spreading activation and the nature of expertise*. *Cognitive Science*, 22, 4, 517-546.
- [6] Gallouin J-F. (1988). *Transfert de connaissances: systèmes experts : techniques et méthodes*, Eyrolles, 168 pages.
- [7] **Dejours C. (2004).** *L'évaluation du travail à l'épreuve du réel-Critique des fondements de l'évaluation*. Inra éditions, Collection «Sciences en questions », 84 pages.
- [8] **Kawaguchi, A., Motoda, H., Mizoguchi, R. (1991).** *Interview-based knowledge acquisition using dynamic analysis*. *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, 6, 5, 47 – 60.
- [9] **Dieng R. (1990).** *Méthodes et outils d'acquisition des connaissances*. Rapport de recherche INRIA n° 1319, Programme 1 « Programmation, Calcul symbolique et Intelligence artificielle », 31 pages.
- [10] **Curt C., (2002).** *Méthode d'analyse, d'évaluation et de contrôle des propriétés sensorielles en conduite de procédé alimentaire*, Thèse en Génie des Procédés n°120 de l'ENSIA, 192 pages.
- [11] **Curt C., Trystram G., Hossenlopp J. 2001.** *Formalisation of at-line human evaluations to monitor product changes during processing Integration of human decision in the dry sausage ripening process*. *Sciences des Aliments*, 21, 6, 663-682.
- [12] **Davidson V. J. (1994).** *Expert systems in process control*. *Food Research International*, 27, 2, 121-128.
- [13] **Perrot N., Trystram G., Guely F., Chevrier F., Schoeseters N., Dugre, E. 2000.** *Feed-back quality control in the baking industry using fuzzy sets*, *Journal of Food Process Engineering*, 23, 249-279.
- [14] **Curt C., Hossenlopp J., Perrot N., Trystram G. 2002.** *Dry sausage ripening control integration of sensory-related properties*. *Food Control*, 13, 3, 151-159.
- [15] **Curt C., Francon C., Trystram G. 2004.** *Optimization of the chopping process using at-line human evaluations and response surface methodology*, *International Journal of Food Science & Technology*, 39, 10, 1043-1052.
- [16] **Ioannou I., Perrot N., Curt, C., Mauris G. & Trystram G 2004a.** *Development of a control system using the fuzzy set theory applied to a browning process—a fuzzy symbolic approach for the measurement of product browning: development of a diagnosis model – part I*, *Journal of Food Engineering*, 6, 4, 497-506.
- [17] **Perrot N., Agioux L., Ioannou I., Mauris G., Corrieu G., Trystram G. 2004.** *Decision support system design using the operator skill to control cheese ripening—application of the fuzzy symbolic approach*, *Journal of Food Engineering*, 64, 3, 321-333.
- [18] **Edoura-Gaena R. B., Allais I., Gros J-B, Trystram G. 2006.** *A decision support system to control the aeration of a sponge finger batter*. *Food Control*, 17, 585-596.
- [19] **Allais I., Perrot, N. Curt C., Trystram G. 2007.** *Modelling the operator know-how to control sensory quality in traditional processes*. *Journal of Food Engineering*, 83 (2), p.156-166.
- [20] **Allais , Edoura-Gaena, Gros et Trystram G. 2007.** *How human expertise at industrial scale and experiments can complete each other to improve food processes knowledge and control*. *Food Research International*, 40, 585-602

- [21] **Callery P. (1997)** *Maternal knowledge and professional knowledge: co-operation and conflict in the care of sick children*. International Journal of Nursing Studies, 34, 1, 27-34.
- [22] **Popay J., Williams G. (1996)** *Public health research and lay knowledge*. Soc Sci Med., 42, 5, 759-768.
- [23] **Fao, (2006)**. *Interactions du genre, de la biodiversité agricole et des savoirs locaux au service de la sécurité alimentaire*, Manuel de formation, 190 pages.
- [24] **Close, C. H., & Hall, G. B. (2006)**. *A GIS-based protocol for the collection and use of local knowledge in fisheries management planning*. Journal of Environmental Management, 78(4), 341-352.