

Bulletin

de l'Institut International du Froid
of the International Institute of Refrigeration



2005-3

*Abstracts and News
Analyses et Informations*

Article de synthèse

**Caisses à basse
température des véhicules
de livraison utilisant
un cycle transcritique
biétagé au CO₂:
développements récents
et applications**

**Aldo Micheletto
Giovanni Rosso**

**ICR2007
Prix de THF**

Review Article

**State-of-the-art of
Low-temperature Delivery
Bodies using a Two-stage
Transcritical Carbon
Dioxide Cycle:
Development and
Applications**

**Aldo Micheletto
Giovanni Rosso**

**ICR2007
MR Medals and Awards**

Aldo Micheletto, ingénieur conseil, est le Directeur du marketing et du développement chez Iarp (www.iarp.it), un fabricant important de meubles de vente frigorifiques. Il travaille depuis 30 ans dans les principales sociétés italiennes intervenant dans le domaine du froid commercial. Au début des années 90, il a joué un rôle clé au niveau du remplacement des frigorigènes CFC et HCFC dans les meubles de vente frigorifiques autonomes et dans les caisses des véhicules de livraison. Chez Iarp et Cold Car (www.coldcar.it) depuis 1999, il travaille sur le remplacement des frigorigènes HFC par le CO₂ dans les mêmes applications.

Caisses à basse température des véhicules de livraison utilisant un cycle transcritique biétagé au CO₂ : développements récents et applications

par

Aldo Micheletto et Giovanni Rosso

E-mail: micheletto@iarp.it

INTRODUCTION

Bien que l'utilisation du dioxyde de carbone (CO₂) dans le conditionnement d'air automobile soit en plein essor, poussée par le désir d'utiliser une technologie respectueuse de l'environnement, son utilisation dans les véhicules de livraison à basse température n'est que très récente et des avantages significatifs sont en train d'émerger.

Cet article présente les résultats intéressants (et surprenants) de l'étude réalisée conjointement

par Iarp et Cold Car, en collaboration avec le professeur Petter Nekså du SINTEF, sur les carrosseries basse-température qui utilisent un cycle transcritique biétagé fonctionnant au R-744. Les différentes étapes qui ont permis d'atteindre une performance et une efficacité (COP) beaucoup plus élevées que celles atteintes avec des systèmes courants fonctionnant au R-507A sont décrites.

Les solutions impliquant la conception de nouveaux systèmes eutectiques à plaques et à couplage rapide pour le CO₂ sont très intéressants.



Photo 1. Delivery vehicles
Véhicules de livraison

I. LE SYSTEME

A la différence des véhicules de transport, les véhicules destinés à la distribution de produits alimentaires périssables à basse température (Photo 1) effectuent un cycle de fonctionnement quotidien qui est caractérisé par un nombre élevé d'ouvertures de porte. Par conséquent, des solutions spécifiques sont exigées, soit structurelles (ces véhicules sont souvent équipés d'un

grand nombre de portes latérales), (Photo 2), soit thermodynamiques (Photo 3). Actuellement, les systèmes traditionnels fonctionnant avec des évaporateurs ventilés ne peuvent pas assurer une performance adéquate en raison de l'obstruction de l'évaporateur par le givre dû aux entrées d'air fréquentes à l'intérieur de la caisse lors des nombreuses ouvertures de porte. En conséquence, la solution optimale se trouve dans les systèmes frigorifiques avec accumulation



Photo 3. Thermodynamics
Thermodynamique



Photo 4. Eutectic system
Système eutectique

d'énergie dans des plaques ou des poutres eutectiques (*Photo 4*) et avec circulation naturelle (non forcée) de l'air.

L'énergie utilisée pour approvisionner le système est exclusivement électrique (*Photo 5*) et le groupe frigorifique est utilisé principalement pour la congélation du liquide lorsque le véhicule est garé dans l'entrepôt, en accumulant la majeure partie de l'énergie frigorifique sous forme de chaleur latente qui est libérée pendant la période d'utilisation du véhicule.

Des systèmes split ont récemment été développés dans lesquels le groupe de condensation du moteur est séparée (*Photo 6*), alors que le détendeur et l'évaporateur (à l'intérieur des plaques eutectiques) sont à bord du véhicule. Le système de circuit permet l'utilisation du même gaz frigorigène pour les secteurs à haute et à basse pression qui sont reliés au moyen de raccords à face plate (*Photo 7*), qui assurent un niveau extrêmement faible de pertes (0,00002 g) aux moments du raccordement et de la déconnexion et inversement.



Photo 6. Split system
Système split

La dernière solution a des avantages indéniables:

- réduction du poids du véhicule à vide et augmentation en conséquence de la charge utile (de 120 kg et davantage);
- possibilité de révision du groupe compresseur-condenseur (efficacité et fiabilité élevées) sans arrêter le véhicule;
- possibilité de développer des groupes frigorifiques à puissances multiples afin d'alimenter davantage de véhicules en parallèle, permettant d'économiser de l'argent et de

réduire le nombre d'opérations (efficacité plus élevée).

II. LE CONCEPT

L'idée initiale d'utiliser le R-744 est née du constat que, dans ces types de systèmes split, les fuites de frigorigène — même si elles sont très faibles — peuvent être considérées comme ayant un impact négatif sur l'environnement et par conséquent certains pays commençaient à

introduire des réglementations restrictives s'appliquant à ces systèmes qui utilisent les HFC en tant que frigorigène. L'attention s'est alors concentrée sur le gaz naturel ayant un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP) nul, et un potentiel de réchauffement planétaire (GWP) limité. Suite au rejet des hydrocarbures (HC) pour des raisons évidentes de sécurité dues aux quantités prévues pour chaque installation (plus de 3 kg), il restait le CO₂: le R-744.

Le but du programme était de vérifier que l'efficacité du système (COP) fonctionnant au R-744 était au moins identique à celle des HFC, afin d'obtenir une valeur TEWI inférieure.

Une étude de faisabilité par le professeur Neksâ (SINTEF), a démontré que, dans un cycle biétagé

(Figure 1), l'efficacité du système, mesurée en utilisant le COP (coefficient de performance), serait égale ou supérieure à celle des systèmes utilisant des HFC (le R-404A ou le R-507). Par conséquent, il en a découlé que les deux paramètres qui permettent d'obtenir le TEWI (COP et GWP) ont démontré les avantages liés à l'utilisation du R-744.

En effet, d'un point de vue théorique, le R-744 présente déjà des caractéristiques intéressantes aux températures d'évaporation exigées (-45 °C). D'ailleurs, dans ce cas spécifique, la solution biétagée ne semble pas être particulièrement préjudiciable en ce qui concerne les coûts prévus, car les applications ayant de tels niveaux de puissance exigent déjà l'utilisation de compresseurs avec au moins deux cylindres (Photo 8).

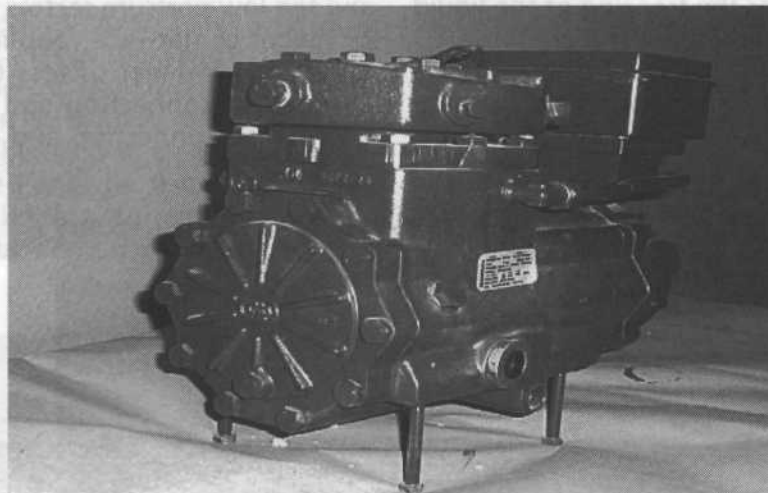


Photo 8. Compressor
Compresseur

Une autre considération importante en faveur du R-744 vient du fait que le marché pour de telles applications est international et concerne également les secteurs en développement dans lesquels le gaz R-744 peut être facilement trouvé à bas prix et en petit conditionnement (puisque le gaz employé dans les bars pour la production de boissons gazeuses peut être utilisé) avec le niveau de pureté exigé.

III. QUESTIONS

Si nous analysons le cycle à l'aide d'un diagramme représentant les pressions (p) et les enthalpies (h) (Figure 1), quelques tendances apparaissent immédiatement:

1. Si les pressions fournies ne sont pas contrôlées de manière adéquate, alors elles atteindront

des valeurs proches de 120 lorsque la pression d'évaporation diminue.

2. Les pressions du système entier, lorsqu'il ne fonctionne pas, peuvent atteindre des valeurs supérieures à 70 bars.
3. Le sommet de la courbe en cloche du diagramme est légèrement inférieur à 30 °C; par conséquent, il n'y a aucune possibilité de condensation au-dessus d'une telle valeur.

En pratique, une telle situation présente **deux types de problèmes** :

- récupération des **composants** ad hoc ou adaptation d'autres composants de façon à être appropriés pour un tel usage;
- la **sécurité** du système à des niveaux de pression environ 7 fois plus élevés que ceux des systèmes utilisant les HFC employés auparavant.

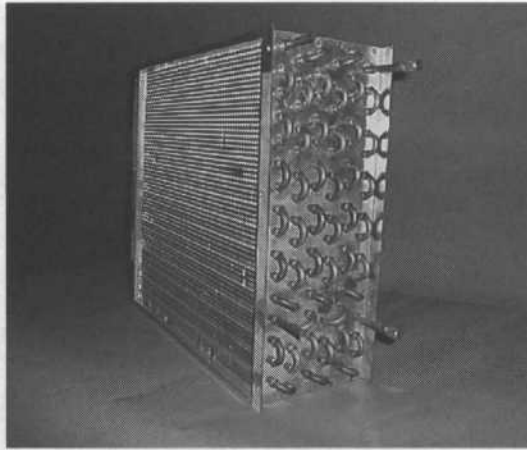


Photo 9. Gas cooler
Refroidisseur de gaz

III.1. L'installation à haute pression

Les pressions des fluides en phase gazeuse qui sont supérieures à 100 bars et qui peuvent se produire dans la partie à haute pression de l'installation, exigent une conception spéciale des composants, en particulier là où les problèmes de sécurité constituent une considération importante.

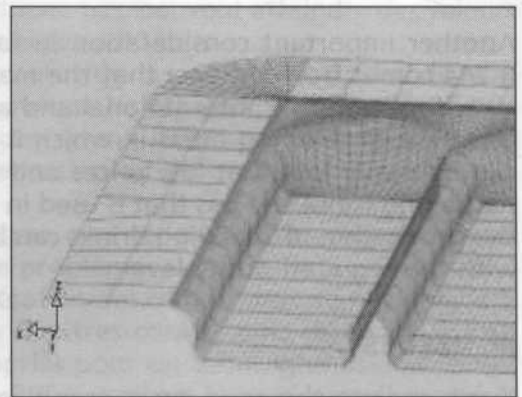
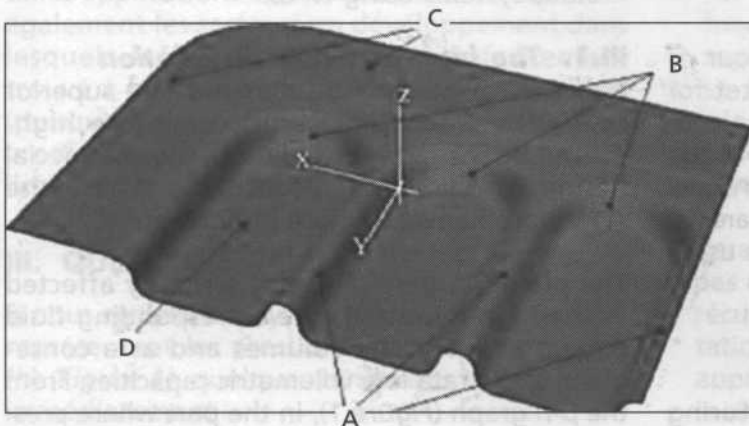
En général, la **tuyauterie** n'est pas sérieusement affectée car la densité élevée du fluide correspondant génère des volumes massiques faibles et par conséquent, des capacités volumétriques proportionnellement faibles. A partir de la courbe $p-h$ (Figure 1), dans la partie où la pression est élevée, le volume massique est seulement de $0,0020 \text{ m}^3/\text{kg}$. De plus, il est évident que les chutes de pression possibles pendant le cycle n'ont pas de conséquences importantes comme ce pourrait être le cas avec d'autres fluides. Par conséquent, dans le cas décrit ici, il est possible d'utiliser des tubes à faible diamètre (de seulement 6 à 8 mm) et d'une épaisseur de 1 mm.

c'est-à-dire qui peuvent être trouvés facilement sur le marché.

D'autres éléments, tels que le **refroidisseur de gaz** (Photo 9) qui remplace le « vieux » condenseur, ont été fondamentalement modifiés. Cold Car a choisi de ne pas utiliser de refroidisseur de gaz de type « micro canaux » car l'espace extrêmement faible exigerait une attention particulière en ce qui concerne le nettoyage. Cependant, des éléments dérivés des condenseurs traditionnels, fabriqués avec des tubes de diamètre inférieur (diamètre extérieur de 7,2 mm) et une épaisseur supérieure, ont été choisis.

N1.2. Le détendeur

Le système de détente avec vanne modulante a exigé un travail de développement important, principalement dû à l'indisponibilité de tels détendeurs à bas prix et pouvant se détendre de 60-100 bars à 7-10 bars ($-48 \text{ °C}/-40 \text{ °C}$). Les solutions choisies utilisant des détendeurs



Photos 10 and 11. Eutectic accumulators
Accumulateurs eutectiques

avec régulation dans la zone de haute pression, limitent les pointes non voulues lorsque la pression d'évaporation s'abaisse, pendant laquelle la pression fournie demeure en dessous de 100 bars.

111.3. L'installation à basse pression : accumulateurs eutectiques

En ce qui concerne le programme Cold Car, les accumulateurs eutectiques (Photos 10 et 11) ont constitué la partie la plus contraignante du projet, car les problèmes de sécurité sont évidents.

En fait, alors que la pression de détente ne dépasse pas 10 bars pendant le fonctionnement, les pressions sont à un niveau proche de 50 à 60 bars lorsque le groupe est arrêté et l'évaporateur est à la température ambiante.

Dans les **plaques traditionnelles** (Photo 12), l'évaporateur est composé d'un serpentin, placé à l'intérieur de la plaque et en contact direct avec la solution eutectique. La technologie actuelle exige également une soudure entre les différentes extrémités coupées du serpentin. Dans le cas du CO₂, ceci constitue un risque inac-

ceptable : s'il y a une fuite de gaz de l'évaporateur, la plaque entière sera affectée par la hausse de pression. La charge totale du système est suffisante pour remplir la totalité du volume intérieur qui, lorsque le réservoir est déformé, atteint 150 dm³, avec une pression théorique de 50 à 60 bars. Ceci ne se produit pas parce que les plaques eutectiques éclatent tout simplement lorsque des valeurs plus basses sont atteintes, avec des risques et dégâts majeurs.

Par conséquent, Cold Car a développé des **plaques spéciales avec un évaporateur externe** (Photo 13), en contact avec la zone de la plaque par sa surface particulière (demande de brevet déposée). Toute fuite à partir de la plaque est dispersée dans l'environnement ambiant et ne permet pas une augmentation de la pression dans la plaque. La forme particulière de la surface de contact de la plaque permet de maintenir une valeur d'échange importante. Par conséquent, la performance du système n'est pas réduite: elle est augmentée.

Couplage des systèmes split

Cold Car avait déjà développé des solutions très fiables et fonctionnelles utilisant des systèmes

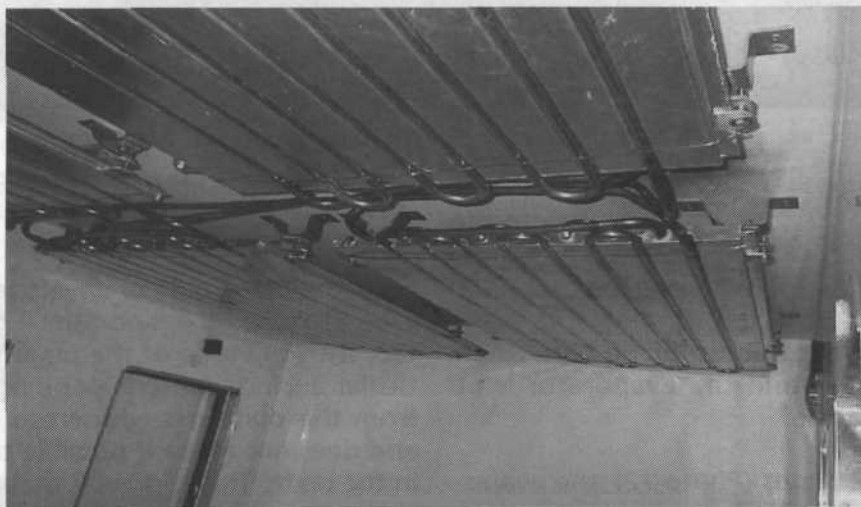


Photo 13. Special plate with an external evaporator
Plaque spéciale munie d'un évaporateur externe

split pour le R-507A. L'expérience acquise sur des centaines de telles applications a permis de développer un système split spécifique pour le CO₂ (Photo 14), dont la principale particularité se trouve dans le raccordement de la connexion (Photo 15), équipé avec de nouveaux raccords à face plate, qui ont été dimensionnés pour les pressions impliquées et principalement pour les températures de retour qui sont inférieures

(le système fonctionne à des températures descendant jusqu'à -50 °C).

IV. RESULTATS

L'**objectif prédéfini** était d'obtenir un COP qui serait au moins identique à celui des systèmes utilisant les frigorigènes traditionnels (le R-404 et le R-507) sous les conditions de fonctionnement

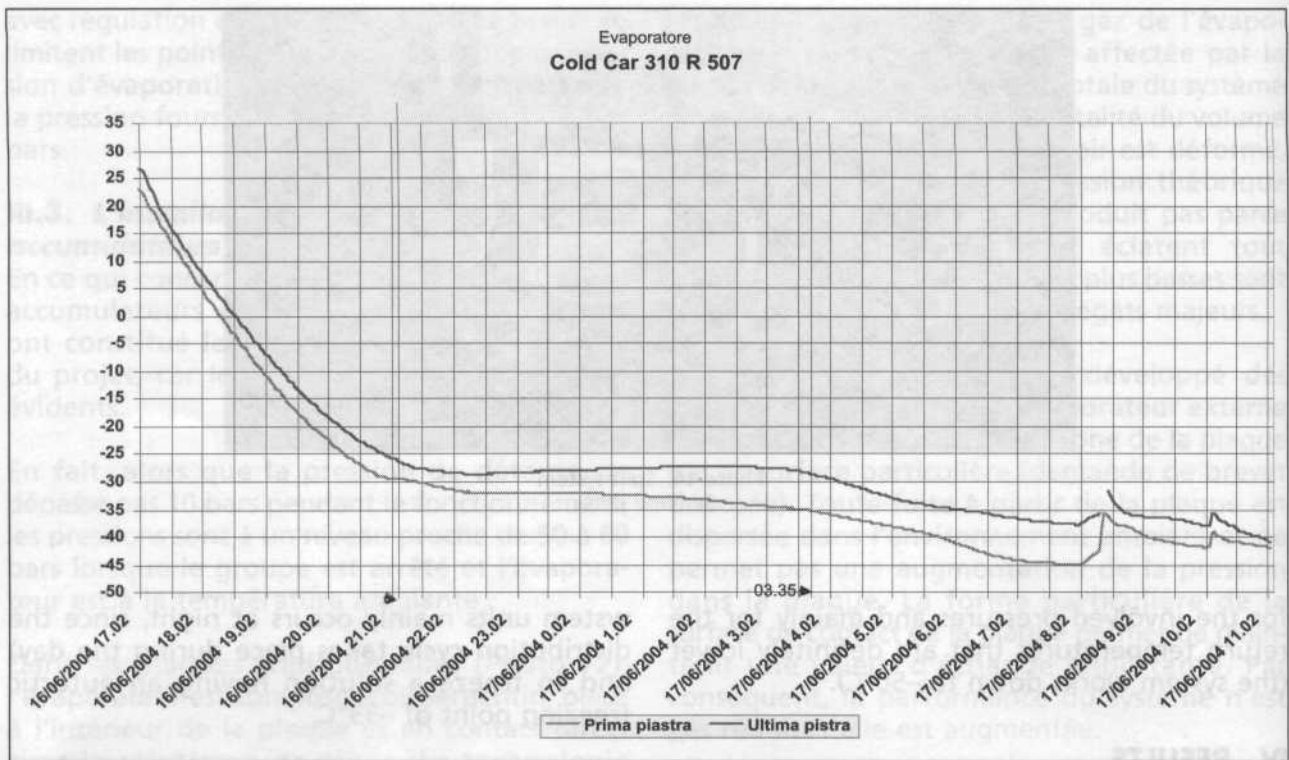


Figure 3.

habituelles du système, qui étaient fixées à des températures ambiantes de 27 °C (les groupes du système eutectique fonctionnent principalement la nuit, puisque le cycle de distribution a lieu pendant la journée) et à la congélation d'une solution ayant un point de congélation eutectique de -33 °C.

La comparaison de l'efficacité du système vis-à-vis de ceux fonctionnant au R-507A a été effec-

tuée d'une manière simple et fiable, en mesurant le temps de congélation de la solution des deux systèmes, avec exactement la même quantité (124 kg) et en maintenant la même puissance d'alimentation électrique.

Comme le montre les *Figures 2 et 3*, le temps de congélation diminue considérablement, passant de 6,5 h (R-507A) à 4,7 h (R-744), représentant une augmentation de **31,5% du COP du système**.

Conférences de l'HF et conférences patronnées par l'IIF : en savoir plus

Φ Première annonce dans ce Bulletin

Systemes frigorifiques à l'ammoniac : progrès et développements

Ohrid (République de Macédoine) - 6-8 mai 2005

Cette conférence de l'HF se concentrera sur :

- conception des systèmes modernes à ammoniac et innovation technologique (frigorigènes naturels, technologie à NH₃ à faible charge, expansion directe)
- efficacité énergétique (incluant le refroidissement indirect, comparaison avec les systèmes à HCFC et à HFC, NH₃/CO₂ et autres systèmes à cascade)
- systèmes à ammoniac dans les pays en développement
- normes techniques et de sécurité
- recommandations et matériels pour formations
- information publique des avantages des frigorigènes naturels.

Contact : Prof. Risto Ciconkov, Faculty of Mechanical Eng. Tel. +389.236.4762. Fax: +389.236.2298. E-mail: ristoci@ukim.edu.mk.
Web : www.mf.ukim.edu.mk/web_ohrid2005/ohrid-2005.html.
(Intéresse les Commissions B1, B2, D1)

13e Réunion de la société internationale de cryochirurgie

Héraklion (Crète, Grèce) - 12-13 mai 2005

La réunion sera utile pour les praticiens et les experts intéressés par la cryochirurgie ou la cryobiologie, les médecins généralistes et les chirurgiens, les chirurgiens oncologues, les urologues, les chirurgiens orthopédiques, les dermatologues et les chercheurs en cryochirurgie. Les jeunes chercheurs et étudiants sont en particulier encouragés à participer et présenter leurs projets de recherche.

Sélection du programme scientifique :

- recherche fondamentale y compris l'apoptose, biologie de la cryodestruction et immunostimulation
- les techniques d'ablation pour les tumeurs solides, traitement en urgence pour les obstructions (des bronches, colorectales), applications dermatologiques et nouvelles applications
- présentations orales et présentations poster (résultats préliminaires, provisoires ou définitifs), prix pour la meilleure présentation
- cryothérapie du foie, transmission en direct d'une salle d'opération
- session pratique : cryothérapie de l'obstruction des bronches chez le cochon
- réunions de recherche
- symposium satellite : « chirurgie assistée par imagerie médicale », techniques d'ablation dans les néoplasies du foie, biopsies des ganglions de Troisier
- table ronde : « application des basses températures en cardiologie », « cancer rectal et anal ».

Contact : Odysseas Zoras. Tel. +30.281.039.4800. Fax +30.281.054.2063. E-mail: ozoras@med.uoc.gr or A.Dudhia@rbh.nthames.nhs.uk. Web : www.med.uog or www.societyofcryosurgery.org/index.htm.
(Intéresse la Commission C1)

MODEL-IT 2005

Louvain (Belgique) - 29 mai - 2 juin 2005

Ce symposium a pour but d'explorer la multitude de techniques de modélisation avec un usage potentiel dans le domaine de la recherche sur la qualité des produits dans la chaîne agroalimentaire. Les thèmes abordés couvrent le domaine complet de la modélisation de la qualité dans la chaîne agroalimentaire du râteau à la fourchette. Les chercheurs dans divers domaines de la modélisation sont encouragés à intégrer dans ou associer leurs méthodologies à la chaîne agroalimentaire.

Sans imposer de limites, quelques exemples de techniques possibles sont:

- modèle stochastique
- exploitation des données
- modèles discrets
- réseaux neuronaux
- réseaux métaboliques
- modèles statistiques multivariés
- analyse des séries de temps
- modèles fondés sur des règles
- modélisation à l'échelle nano et micro
- modélisation épidémiologique
- courbes de liaison
- cinétique pharmacocinétique
- analyse des risques
- dynamique des populations
- modèles chaotiques.