



**HAL**  
open science

## Développement des biocarburants et enjeux de sécurité liés aux procédés de production et à la distribution

Guy Marlair, Carine Riviere

► **To cite this version:**

Guy Marlair, Carine Riviere. Développement des biocarburants et enjeux de sécurité liés aux procédés de production et à la distribution. Rapport Scientifique INERIS, 2009, 2008-2009, pp.58-62. ineris-01869248

**HAL Id: ineris-01869248**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869248>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Développement des biocarburants et enjeux de sécurité liés aux procédés de production et à la distribution

{ G. Marlair, C. Rivière }

## RÉFÉRENCES

[1] Rivière C., Marlair G., *BIOSAFUEL®*, a pre-diagnosis tool of risks pertaining to biofuels chains. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 22 (2009) 228-236.

[2] Marlair G., Rotureau P., Breulet H., Brohez S. *Booming Development of Biofuels for transport : is fire safety of concern?*, *Fire and Materials*, 2009; 33:1-19.

[3] Marlair G., Demissy M., Brignon J.-M. *Un nouveau challenge : offrir une alternative au kérosène*, *La lettre Technique de l'Ingénieur - Énergie*, décembre 2007, n°11, p. 10-11.

[4] Marlair G. *Typologie du risque d'incendie et d'explosion associée au cycle de vie des biocarburants*, *RAS INERIS 2006-2007* (p. 70-73).

[5] Marlair G., Rotureau P., FèvreA-L. *La maîtrise des risques technologiques comme indicateur de développement durable des nouvelles filières énergétiques : une réflexion assise sur le cas des biocarburants*, *Actes du 1<sup>er</sup> congrès sur l'Ingénierie des Risques industriels*, 17-19 décembre 2007, Montréal, Canada, pp 433-455.

## NOTE

\* École nationale supérieure des ingénieurs de Bourges.

Lancé en 2006, le programme BIOSAFUEL® est l'un des tous premiers programmes de recherche dédié à l'analyse des questions de sécurité relatives au développement des biocarburants (carburants moteurs élaborés à partir de biomasse) pour lequel on assiste à un véritable effet de mondialisation. On peut rappeler que ce secteur d'activité connaît en effet un essor extrêmement important depuis 2003 en Europe, année de publication de la directive européenne (30/2003/CE) fixant de premiers objectifs d'utilisation en termes de taux d'incorporation (5.75 % à l'horizon 2010). Depuis lors, le soutien de ce secteur par les politiques publiques ne s'est pas démenti (lancement de l'E10 en France en avril 2009, adoption de la nouvelle directive sur les énergies renouvelables par Bruxelles fin 2008), et ce, malgré des interrogations récurrentes (à partir de l'été 2007) sur la durabilité de certaines filières de production. Les objectifs du programme BIOSAFUEL® comportaient notamment une première évaluation globale des enjeux de sécurité en s'appuyant sur l'examen des risques produits et procédés associés aux principales technologies de production de biocarburants (bibliographie, échange avec industriels, participation à des conférences...), mais aussi sur l'analyse de l'accidentologie récente et la réalisation d'expérimentations dédiées. En outre, le produit de sortie majeur escompté était le développement d'un premier outil simplifié de pré diagnostic du niveau de risque encouru dans les différentes filières de production ou pour un projet donné.

Nous avons dans le rapport scientifique de 2007 rendu compte des premiers résultats de notre analyse, en rappelant notamment la typologie des risques spécifiques présentés par l'éthanol et les premiers enseignements du retour d'expérience.

## Des challenges techniques pour les utilisations avancées ou les techniques innovantes

Ce projet a été réalisé en pleine période de transition des filières de production dites de première génération, relativement matures (à partir de plantes sucrières, plantes amy-lacées, sources lipidiques, huiles de colza, de palme, de soja... graisses animales) et des filières de seconde génération, filières en devenir, reposant sur des transformations de diverses ressources de biomasse terrestre et marine dont la valorisation énergétique n'entre plus en compétition avec l'usage alimentaire (cultures dédiées et résidus lignocellulosiques divers, algues...) (figure 1). Notre analyse a d'abord porté sur l'identification des dangers liés aux produits et procédés impliqués (collaboration UPJV et ENSIB\*). Elle s'est appuyée sur de l'analyse bibliographique, des échanges dans des réseaux variés (IGUS -www.oecdigus.org, pôle IAR), et par des participations à des voyages d'étude (pôle biotech dans l'Ontario, Journées d'échanges franco-brésiliennes). Cette approche s'est notamment traduite par l'identification d'une liste de facteurs favorables et défavorables à la maîtrise des

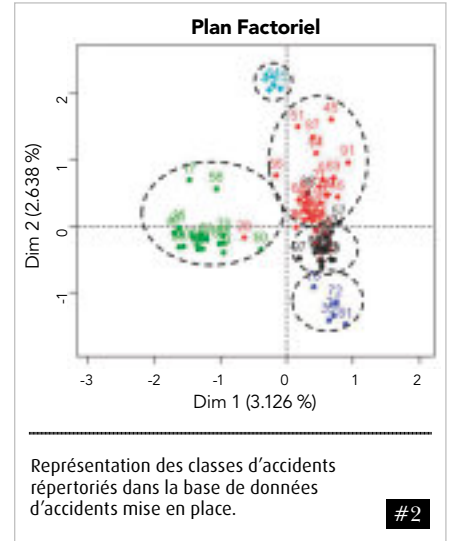
questions de sécurité liées aux procédés de production et à la distribution des biocarburants [Marlair *et al.*, 5]. L'extrême dynamisme de ce domaine d'activité milite pour un suivi régulier des innovations (nouvelles molécules présentant un potentiel intéressant comme additif de carburants ou comme nouveau carburant moteur, innovations technologiques telles que les techniques séparatives par membranes, nouveaux additifs de formulation, nouvelles biomasses constituant des matières premières en devenir...).

**L'apport de l'analyse statistique en matière d'examen du retour d'expérience**

En support au programme BIOSAFUEL® et d'autres projets connexes (BIOMAP, ALFA-BIRD), la mise en place d'une base de données d'accidents relatifs à l'industrie des biocarburants couvrant l'ensemble de leur cycle de vie depuis la production des agroressources jusqu'à l'utilisation finale dans un moteur thermique a été réalisée. Cette base de données, devenue un outil d'analyse pérenne, recense à ce jour plus de 110 accidents significatifs, dont certains ont été décrits dans diverses publications [Marlair *et al.*, 2, 4]. Une reconfiguration du mode d'enregistrement des données selon des catégories prédéfinies avec soin a été opérée, afin d'en permettre un traitement statistique pertinent, basé sur une analyse multicritère

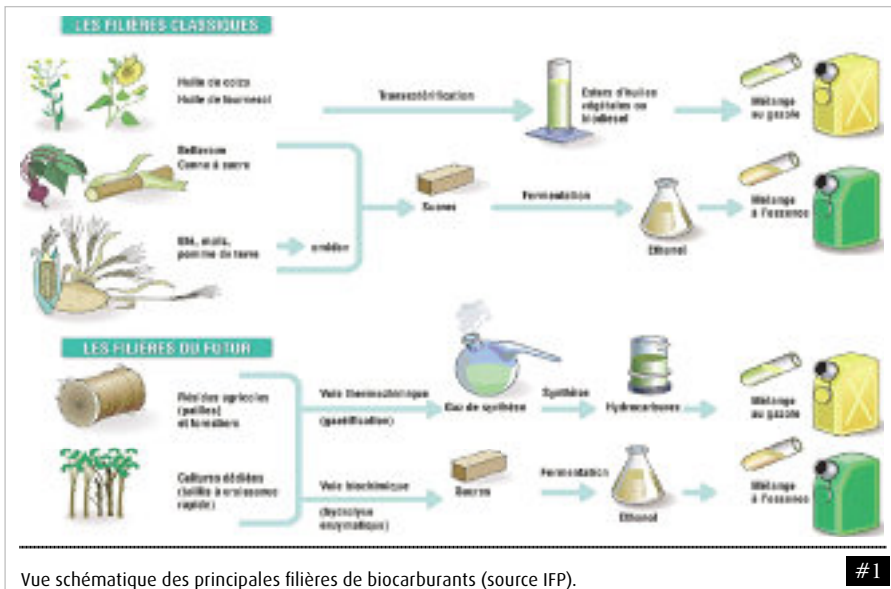
et multidimensionnelle. Le résultat majeur est un classement des accidents par analogies de critères, ces analogies ressortant d'un traitement statistique de type analyse des correspondances multiples (ACM), suivie d'une classification hiérarchique ascendante (CHA). L'ACM est une analyse factorielle permettant de transformer des données qualitatives dans une base de données en coordonnées factorielles (données quantitatives) à partir desquelles il est possible d'établir une classification. Cette classification consiste à regrouper les accidents présentant des similitudes.

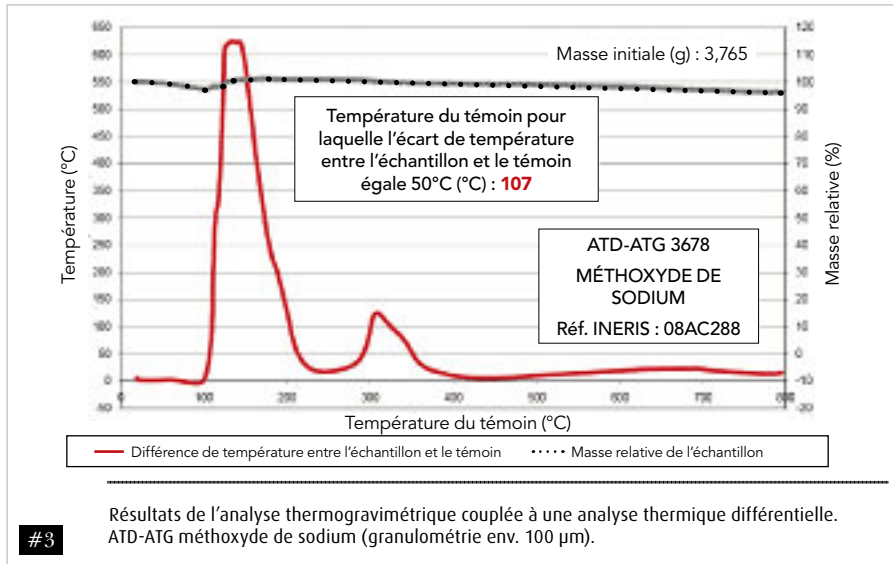
La figure 2 illustre la représentation de la base de données et des regroupements de classes d'accidents dans un plan factoriel (composantes principales). Ces différentes classes d'accidents correspondent aux scénarios principaux décrits dans le tableau 1. Le scénario 1 est notamment significatif aux États-Unis, pays pour lequel la cartographie des unités de production apporte un éclairage. La plupart des unités sont situées dans le Middle-West américain, alors que la consommation est majoritairement dans les principales mégapoles américaines situées sur les côtes, et l'exportation essentiellement par voie maritime. Les grandes distances de transport par voies terrestres (rail, route) sont un des facteurs (mais pas le seul) à l'origine de ces accidents.



Scénario 1	Scénario d'incident lors du transport de produits dangereux (éthanol) : déversement suivi ou non d'une explosion/incendie (avec dans certains cas contamination environnementale).
Scénario 2	Scénario d'explosion/incendie au niveau d'un réservoir de stockage de produits dangereux, en particulier lorsque l'usine est en travaux.
Scénario 3	Scénario d'explosion/incendie dans un sécheur de grains.
Scénario 4	Scénario d'incident atypique (ex. : accident lors de la construction de l'usine).
Scénario 5	Scénario d'explosion/incendie lors d'une fabrication artisanale de biodiesel.

Tableau 1 : Description des classes de scénarios accidentels découlant du traitement statistique.





## Expérimentations

Une part du projet a été consacrée à la réalisation d'essais permettant la caractérisation des scénarios accidentels se traduisant par des feux de nappes de produits impliqués dans l'élaboration de biodiesels (huiles végétales...) de première génération ou de carburants de synthèse de seconde génération (cires, produits bruts résultant du traitement en réacteur de type Fischer-Tropsch de gaz de synthèse obtenu par gazéification de biomasse, pré-examen de la combustion du 2.5 DMF\* en conditions d'incendie). L'apport le plus significatif de ce volet concerne la caractérisation des dangers des produits de type alcoolates de potassium et de sodium, constituant les véritables catalyseurs de la réaction de trans-estérification opérant dans les filières de production de biodiesel reposant sur une catalyse homogène en milieu basique. Un plan d'expériences consolidé entre INERIS et le LCRE\*\* a permis d'examiner les points suivants :

- comportement des produits lors d'une combustion en tas (essais au calorimètre de Tewarson) ;
- explosivité des poussières ;
- réactivité des produits à l'eau (essais calorimétriques menés par le LCRE).

Les résultats obtenus à ce jour confirment la réalité des dangers de ces produits et permettent d'en préciser les contours.

La figure 3 illustre le fort potentiel d'auto-échauffement du méthoxyde de sodium.

## Développement de l'outil de prédiagnostic Biosafuel®

La conception de l'outil BIOSAFUEL® (du même nom que le programme) s'appuie sur le cadre méthodologique d'une méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision, la méthode AHP (« Analytic Hierarchical Process »), une méthode assise sur une expérience significative. Notre choix s'est notamment justifié par les travaux antérieurs menés à l'aide de cette méthode par [Narayanan *et al.*, 2007] pour hiérarchiser les filières Biodiesel 1G et par [Papalexandrou *et al.*, 2008] pour évaluer les filières biocarburants. Ces méthodes multicritères permettent d'agréger plusieurs indicateurs afin d'évaluer et de comparer différentes alternatives ou options. Elles sont particulièrement adaptées lorsque des indicateurs de nature différente (données quantitatives, semi-quantitatives, qualitatives) et d'origine différente (indicateurs économiques, sociétaux...) sont pris en compte. Dans le cadre de la mise en place de BIOSAFUEL®, l'objectif était de proposer une méthodologie permettant de déterminer le niveau de sécurité d'un projet biocarburant donné, qui pourrait également s'appliquer à la détermination des indicateurs économiques, sociétaux et environnementaux relatifs à ce projet. BIOSAFUEL® s'intéresse à la sécurité liée aux procédés de production et à la distribution des biocarburants.

Les dangers relatifs aux filières biocarburants de 1<sup>re</sup> génération et de génération 1bis ont été identifiés. Pour construire BIOSAFUEL®, nous nous sommes appuyés sur l'identification de ces dangers, que nous avons cherché à évaluer et à hiérarchiser à partir de méthodes semi-quantitatives existantes telles que :

- la méthode du Groupe Rhodia pour évaluer les risques liés au transport des produits chimiques (catalyseurs, acide, base, éthanol...) et de la biomasse. Cette méthode a également été utilisée dans le cadre du projet Global ;
- la méthode HPR (Hiérarchisation des Risques Potentiels) [Vincent *et al.*, 2000] de l'INRS pour évaluer les risques liés au stockage des produits chimiques (catalyseurs, acide, base, éthanol...) ;
- la matrice RMR (Reactivity Management Roundtable) de l'AIChE\*\*\* [Chastain *et al.*,

	Méthoxyde de potassium	Méthoxyde de sodium
Pmax	7.1 bars	7.6 bars
VMP	490 bars/s	746 bars/s
Kst	133 bar.m/s	215 bar.m/s
Classe d'explosion	St1 (1 à 200 bar.m/s)	St2 (201 à 300 bar.m/s)

Tableau 2 : mise en évidence des caractéristiques d'explosivité de poudres de méthoxydes de potassium et de sodium.

## NOTES

\* 2,5 DMF 2,5-diméthylfurane.

\*\* LCRE laboratoire canadien de recherche sur les explosifs.

\*\*\* American Institute of Chemical Engineers.

2008] pour prendre en compte les risques liés à la compatibilité des produits stockés à proximité ;

- le modèle de Frank-Kamenetskii pour prendre en compte les risques d'auto-échauffement de produits pulvérulents (farine de blé, maïs...).

Plus globalement, le tableau 3 récapitule l'ensemble des critères de sécurité évalués par BIOSAFUEL®, il précise les outils utilisés et les paramètres d'entrée pris en compte pour déterminer ces critères.

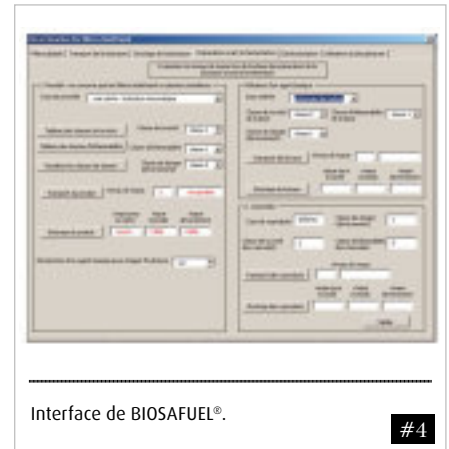
Cette approche méthodologique s'est concrétisée par le développement d'un outil informatisé sous Excel. En pratique, la version 1 de l'outil est capable de traiter l'ensemble des filières bioéthanol et biodiesel 1G. L'outil a été encodé sous VBA (« Visual Basic for Applications »). La figure 4 suivante présente l'interface de BIOSAFUEL®.

BIOSAFUEL® est un outil d'évaluation des

risques mais également un outil de hiérarchisation. Il a été conçu de façon à pouvoir comparer différentes filières biocarburant (dans un contexte donné). En effet, pour chacune des phases de production du biocarburant, différents procédés, différents produits chimiques, différentes technologies peuvent être utilisés. BIOSAFUEL® est capable de comparer et de hiérarchiser ces différentes variantes, à partir des indicateurs déterminés par la méthode AHP (score AHP).

### Conclusions et perspectives

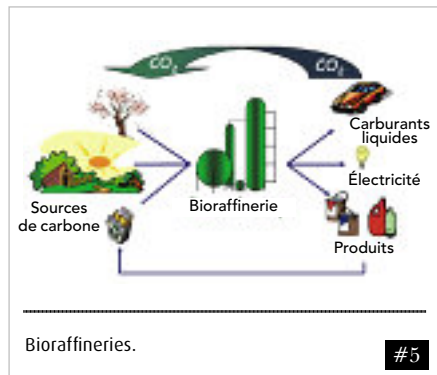
Sans véritablement constituer une barrière technologique au développement des biocarburants, il est apparu clairement au cours de notre recherche (retour d'accidents, prise de conscience des syndicats professionnels) que les questions de maîtrise de la sécurité nécessitent une réflexion plus soutenue. Certes les technologies actuelles sont matures,



#4

Famille de risques	Paramètres d'entrée	Outils utilisés	Critères évalués
Risques liés au stockage et à l'utilisation de produits chimiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de danger du produit</li> <li>- Quantité de produit</li> <li>- Fréquence d'utilisation du produit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode HRP « modifiée »</li> <li>- Matrice RMR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau de risque de toxicité</li> <li>- Niveau de risque d'inflammabilité</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe d'inflammabilité du produit</li> <li>- Source d'allumage</li> <li>- Quantité de produit</li> <li>- Quantité de produit</li> <li>- État physique du produit</li> <li>- Classe de danger du produit</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacts environnementaux (déversement)</li> </ul>
Risques liés au stockage de la biomasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe d'inflammabilité du produit</li> <li>- Source d'allumage</li> <li>- Quantité de produit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode HRP « modifiée »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau de risque d'inflammabilité</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimension du contenant</li> <li>- Température ambiante</li> <li>- Géométrie du contenant</li> <li>- Paramètres M et N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèle de Frank-Kamenetskii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adéquation de la dimension du contenant</li> </ul>
Risques liés au stockage et à l'utilisation du biocarburant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Température du point d'éclair du biocarburant</li> <li>- Température d'ébullition du biocarburant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classification des liquides inflammables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau d'inflammabilité</li> </ul>
Risques procédés	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T_{0}</math>, température opératoire du procédé</li> <li>- MTSR, température maximale de la réaction de synthèse</li> <li>- <math>T_{TMRad&gt;24h}</math>, température à partir de laquelle le TMRad &gt; 24 h</li> <li>- <math>T_b</math>, température d'ébullition du milieu réactionnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagramme de Stoessel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de criticité du procédé chimique</li> </ul>
Risques liés au transport des produits	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distance parcourue</li> <li>- Fréquence des trajets</li> <li>- Mode de transport</li> <li>- Classe de toxicité du produit</li> <li>- Classe d'inflammabilité</li> <li>- Quantité libérable</li> <li>- Pression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode de Rhodia « modifiée »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacts humains</li> <li>- Impacts environnementaux (déversement)</li> <li>- Niveau de risque</li> </ul>

Tableau 3 : Synthèse des critères pris en compte selon les familles de risques examinés dans BIOSAFUEL®.



mais de multiples facteurs (technologiques, culturels, économiques) rendent la maîtrise des risques parfois incertaine. Par ailleurs, de véritables challenges de sécurité – non entièrement résolus à ce jour – ont bien été identifiés dans le cadre des développements espérés dans le futur (utilisation de mélanges éthanol/gasoil ou éthanol/biodiesel dans des moteurs diesel, utilisation de carburants biosourcés en solutions alternatives au kérosène, [Marlair *et al.*, 3]). Les grands feux d'éthanol constituent également un véritable challenge pour les services d'intervention (expérience de l'accident de Port Kembla, Australie, 2004), le développement d'émulseurs plus performants, voire dédiés aux biocarburants est à l'ordre du jour. La durabilité des filières, un temps remise en question passe naturellement par une parfaite maîtrise des questions de sécurité comme pour toutes les sources d'énergie renouvelable. Les actions futures de l'INERIS dans ce domaine (dont les programmes BIOMAP,

ALFA-BIRD...) s'inscrivent bien dans l'objectif de faire reconnaître que la sécurité constitue un véritable critère à part entière de la notion de développement durable.

Il conviendra en particulier d'être attentif aux développements technologiques tant attendus comme l'industrialisation des filières de production dites de seconde génération et à l'intégration inéluctable des filières de production de biocarburants (actuelles ou futures) au sein de bioraffineries.

Le modèle industriel de la bio-raffinerie dont les enjeux sont connus imposera un niveau d'intégration des procédés et des systèmes de gestion des énergies et autres utilités sans précédent, ainsi qu'une flexibilité extrême en matière de flux entrants (biomasses traitées) et sortants (biomatériaux, bioproduits, bioénergie). Le moindre dysfonctionnement non maîtrisé aura potentiellement des conséquences significatives sur l'ensemble des systèmes de production et son environnement.

## RÉFÉRENCES

Vincent R., Bonthoux F., *Évaluation du risque chimique*. Cahier de notes documentaires. Hygiène et sécurité du travail - N°178-2000.

Chastain J.W., Doerr W.W., Berger S., Lodal P.N., *Avoid chemical reactivity incidents in warehouses*, 2008.

Rivière C., Marlair G. *Use of multiple correspondence analysis and hierarchical clustering to identify biofuel related incidents typologies*. Accepté (sept. 2009) dans Biofpr- (Biofuels Bioproducts & Biorefining).

Marlair G. *Biofuels for transport: a topic of interest for IGUS experts?*, Proceedings of IGUS EOS meeting, 14-16 May 2008, Stockholm, Suède

Marlair G., Bourg D. *BIOSAFUEL® et HORIZON : two research initiatives for better sustainability of biofuels development*, Biotechnology Symposium, Brock's University, Ste Catharines (Ontario), Canada, 9 juillet 2006.

Narayanan D., Zhang Y., Mannan S. *Engineering for Sustainable Development (ESD) in bio-diesel production*. Process safety and environmental protection. 2007.

Papalexandrou M.A., Pilavachi P.A., Chatzimouratidis A.I. *Evaluation of liquid bio-fuels using the Analytic Hierarchy Process*. Process safety and environment protection 8 6 (2008) 360-374.

## ABSTRACT

The project BIOSAFUEL® (2006-2009) was conducted by INERIS with external partners (UPJV, ENSIB, or CERL) to provide a first overview of existing or potential safety issues.

Steps of the project comprised :

- literature review operations and exchanges of actors from the biofuel industry,
- analytical assessments of products and process driven hazards pertaining to 1G and 2G biofuels
- in depth analysis of accidents that struck the biofuel industry in the last decade (identification of major accident scenario typology by use of hierarchical clustering)
- experimental phases focusing on special safety issues, like the characterization of hazards pertaining to biodiesel catalysts
- development of a user-friendly computer-assisted tool. It allows a preliminary and evaluation of hazards pertaining to biofuels chains (biodiesel, bioethanol, and hydrotreated,) with a life cycle analysis perspective.

Although 1G biofuels rely on relatively mature technologies, the fast moving scene of biofuel development justify that attention keeps paid on safety issues. Favorable and unfavorable factors for safety management have been clearly identified, accidents do regularly occur, and some challenging issues are foreseen for peculiar applications like the promotion of brand new biofuels (like furanics), the use of ethanol rich fuel mixtures in diesel engines, or the use of biomass derived fuels in replacement or addition to kerosene for public aviation transport. It must be realized that safety management is actually a genuine component of sustainability of biofuels in the future.