



**HAL**  
open science

# La maîtrise des risques technologiques comme indicateur de développement durable des nouvelles filières énergétiques : une réflexion assise sur le cas des biocarburants

Guy Marlair, Patricia Rotureau, Anne-Lise Fevre

## ► To cite this version:

Guy Marlair, Patricia Rotureau, Anne-Lise Fevre. La maîtrise des risques technologiques comme indicateur de développement durable des nouvelles filières énergétiques : une réflexion assise sur le cas des biocarburants. 1. Congrès International sur l'ingénierie des risques industriels (CIRI 2007), Dec 2007, Montréal, Canada. pp.433-455. ineris-00976202

**HAL Id: ineris-00976202**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00976202>**

Submitted on 9 Apr 2014

**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.

# **LA MAÎTRISE DES RISQUES TECHNOLOGIQUES COMME INDICATEUR DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES NOUVELLES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES : UNE RÉFLEXION ASSISE SUR LE CAS DES BIOCARBURANTS**

*Marlair G.<sup>1</sup>, Rotureau P.<sup>1</sup>, Fèvre A-L.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>INERIS, Direction de la Certification, BP2, F60550 Verneuil-en-Halatte, France

<sup>2</sup>UTT-CREIDD, Troyes

[guy.marlair@ineris.fr](mailto:guy.marlair@ineris.fr)

## **ABSTRACT**

In all industrial sectors, putting industrial risks and environmental issues under appropriate control is essential, all over the lifetime of products and technologies. In particular, this goal is of prime importance for emerging technologies or for those technologies that are sharply moving forwards according to technical progress. It reveals even liable to condition sustainability of commercial development, as much as more traditional components usually integrated in the sustainable development concept. This paper is a contribution to justify this point of view, by an analysis of the booming biofuel industry, taking account of general background, technical and economical factors, and through a focus on the typology of safety issues pertaining to that sector. We also explain the advantages of electing safety criteria as component indices for the measurement of sustainability versus time.

## **RÉSUMÉ**

Dans tous les secteurs industriels, la maîtrise des risques technologiques ou environnementaux constitue un aspect essentiel de réussite, en tout point du cycle de vie des produits développés et tout au long des éventuelles évolutions techniques. Ceci est particulièrement crucial dans le cas des technologies émergentes ou en pleine mutation et peut même conditionner la durabilité d'un développement, tout autant que les enjeux classiques habituellement pris en compte dans la notion de développement durable. La présente contribution développe ce point de vue en s'appuyant essentiellement sur l'analyse du développement des biocarburants, qui comme chacun sait, connaît depuis quelques années un boom économique impressionnant. Cette analyse comporte un bref rappel de ce développement, en termes économiques et techniques, et focalise ensuite sur une analyse de la typologie des risques rencontrés dans ce secteur, en montrant que sa prise en compte serait idéalement réalisée en lui associant un véritable indicateur de développement durable.

## **1. INTRODUCTION**

Depuis le début de l'ère industrielle, l'accès à l'énergie dans les meilleures conditions d'approvisionnement possibles a constitué une préoccupation cruciale. De nos jours, les stratégies de développement de solutions alternatives aux combustibles d'origine fossile, notamment rendues nécessaire par l'échéance du "peak oil", s'appuient sur des études essayant d'établir sur le long terme (jusqu'à l'horizon 2050) les évolutions en matière de disponibilités des ressources et d'augmentation des besoins.

Le domaine des transports (terrestres, routiers, aériens, maritimes) devient de plus en plus stratégique. Il est gros consommateur en énergie et doit pérenniser de nouvelles ressources d’approvisionnement pour sécuriser son développement, bien que le secteur reste dominé encore aujourd’hui à plus de 95% par l’économie du pétrole.

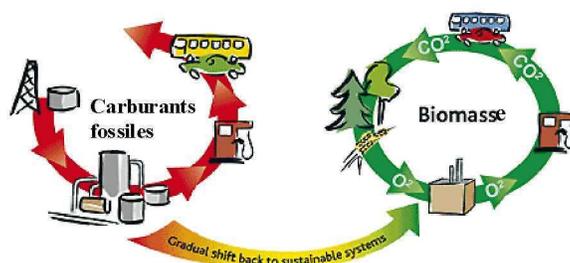


Figure 1 : Illustration du gain environnemental attribué à l'utilisation des biocarburants (réduction de l'émission de CO<sub>2</sub> (principal gaz à effet de serre))

Toutes les études récentes en matière d'évolution des marchés de l'énergie, des plus optimistes aux plus pessimistes, prédisent un avenir pérenne aux biocarburants. Le très net regain d'intérêt dont ils sont l'objet depuis les années 2000 n'est plus guère à démontrer. Les moteurs clés de leur développement sont la création de nouvelles économies rurales, la volonté de sécurisation ou de diversification des approvisionnements, ainsi que des préoccupations environnementales (notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre (figure 1), dont environ 25% sont dues en France aux transports). L'influence de ces facteurs conjoncturels sur le développement des biocarburants est bien sûr très variable d'un pays à l'autre, mais le fait est que celui-ci apparaît à présent inéluctable. Il est cependant intéressant de noter que l'intérêt potentiel des biocarburants comme carburants moteur avait été identifié dès le début de l'ère automobile et avait fait par le passé l'objet de quelques développements, vite occultés par l'émergence de l'industrie pétrolière.

Naturellement, développer l'utilisation des biocarburants ne peut plus se concevoir autrement qu'en intégrant la notion de développement durable. Il est du reste significatif de constater depuis quelque temps que la montée en puissance d'avis négatifs sur l'intérêt de développer des biocarburants n'est plus le seul fait des associations écologistes [1/2]. Aspects économiques, environnementaux et sociétaux constituent la trilogie de base du développement durable et doivent donc être intégrés avec soin et dans toutes leurs dimensions. L'efficacité de leur prise en compte doit si possible être mesurée, par des indicateurs adaptés.

Cet article vise à examiner un des aspects transversaux du développement durable pour les biocarburants : la maîtrise des risques technologiques.

Le sujet est vaste et ne peut guère être traité en profondeur dans un seul article. Néanmoins nous nous essayons ici à présenter un aperçu de ces risques et du contexte dans lesquels ils doivent être identifiés, évalués et gérés. Nous montrerons en particulier, par un examen succinct de quelques données techniques ou organisationnelles du développement des biocarburants, que la gestion de la sécurité n'est pas nécessairement une question triviale (réglée par exemple implicitement par la réglementation) et que l'objectif de maîtrise des risques associés au développement multifacettes des biocarburants gagnerait à être reconnu comme un véritable indicateur de développement durable.

## 2. QUELQUES DONNEES SUR LE CONTEXTE DU DEVELOPPEMENT DES BIOCARBURANTS

### 2.1. Biocarburants d'aujourd'hui et du futur

De très nombreux ouvrages, monographies, voire textes réglementaires définissent le contexte actuel et les perspectives de développement des biocarburants sous divers aspects. Nous recommandons en particulier les références [3] à [7] pour la précision des données fournies et/ou leur aspect pédagogique. En terme de définition, les biocarburants, encore désignés agrocarburants [ou *agrofuels* au lieu de *biofuels* en anglais [8]], terminologie jugée plus neutre par certains, sont des carburants liquides ou gazeux obtenus à partir de matières organiques d'origine végétale ou animale (biomasse).

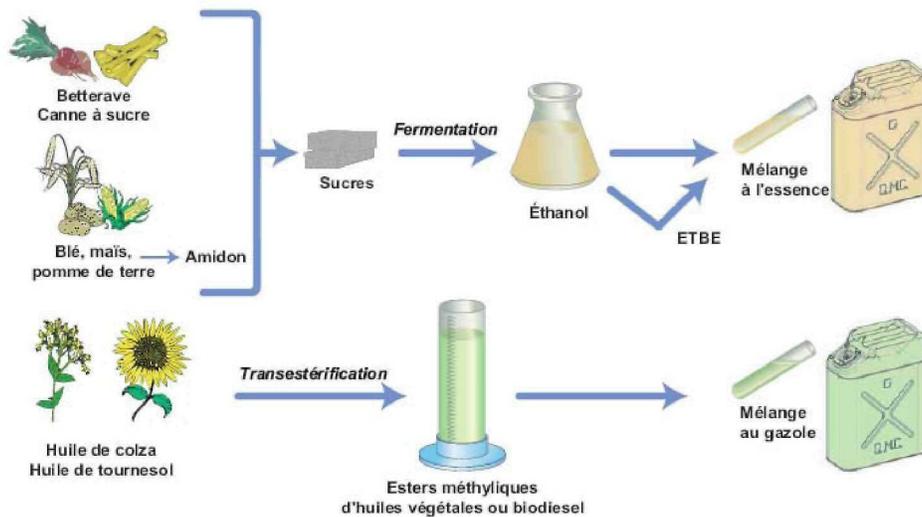


Figure 2 : carburants dits de première génération (source IFP)

Aujourd'hui, de 10 à 20 produits différents sont étudiés [9], développés ou utilisés comme substituts ou additifs aux carburants traditionnels. Pour l'instant, l'utilisation réelle des biocarburants se limite essentiellement aux biocarburants dits de première génération (figure 2), soit principalement à deux produits : l'éthanol (parfois introduit sous la forme d'ETBE), adapté au pool essence (moteurs à allumage commandé), et le biodiesel, forme estérifiée des acides gras contenus sous forme de triglycérides dans diverses ressources lipidiques (oléagineux, graisses animales...), compatible avec le gazole en toutes proportions et utilisables dans les moteurs diesel .

Tableau 1 : Agro-ressources valorisées ou susceptibles d'être valorisées dans le futur

Bioéthanol	⇐ BIORESSOURCES ⇐	biodiesel
<i>couramment utilisées :</i>	<i>au stade R&amp;D :</i>	<i>couramment utilisées :</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>canne à sucre, betterave sucrière</b> (et sous produits)</li> <li>- <b>blé, maïs, orge</b>, pommes de terre,</li> <li>- <b>manioc</b></li> <li>- paille de blé, de riz</li> <li>- excédents viticoles</li> <li>- résidus végétaux de la palme</li> <li>- coquilles de noix de coco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sorgho sucrier</li> <li>- patate douce, graine de sorgho</li> <li>- switchgrass , miscanthus</li> <li>- autres pailles (sorgho, coton, orge), résidus d'épis de maïs)</li> <li>- bois, sciure, résidus cellulosiques forestier</li> <li>- produits cellulosiques issus de cultures dédiées (eucalyptus, peuplier...)</li> <li>- bagasse de canne à sucre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>palme</b></li> <li>- <b>soja</b></li> <li>- <b>colza</b></li> <li>- <b>tournesol</b></li> <li>- olive, lin, <b>noix de coco</b> (Espagne)</li> <li>- <b>jatropha curcas</b> (Inde)</li> <li>- huiles de fritures recyclées</li> <li>- déchets d'équarrissage</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- végétaux marins : micro-algues, phytoplancton</li> <li>- graines de coton</li> <li>- palmiste, babassu</li> <li>- autres huiles comestibles (cacahouète, moutarde, ...)</li> <li>- huile de castor (momona)</li> <li>- autres huiles non comestibles : ricin, crambe, karanja, graisse de poulet</li> </ul>

Nota : en gras : agro-ressources les plus utilisées

L'éthanol est aujourd'hui produit à partir de deux grands types de cultures, dont l'utilisation aux fins de carburants est en concurrence avec les utilisations alimentaires : les plantes sucrières (betterave, canne à sucre, maïs, sorgho sucrier) et les céréales (blé, maïs, manioc ...). Ces différentes filières ont en commun, au niveau des procédés, une étape de fermentation des sucres et une étape de distillation plus ou moins sophistiquée pour séparer l'alcool de l'eau ; des procédés au demeurant très classiques. Les plantes amylacées nécessitent une étape de saccharification, pour transformer l'amidon, non directement fermentescible.

Il convient d'appréhender, dès à présent, que ce schéma très simple cache de nombreuses variantes, en terme de matières premières utilisées (cf. tableau 1), de variantes de procédés, mais aussi de gestion des apports d'énergie ou de valorisation des co-produits (par exemple les drèches de blés ou les « dried distillers grains » de la filière maïs).

Il est aujourd'hui admis que les possibilités de développement de ces filières de première génération demeurent limitées (notamment parce qu'une fraction réduite de la plante est valorisée. C'est pourquoi tous les espoirs d'une plus grande expansion des biocarburants reposent sur d'autres filières souvent dites de seconde génération, et parfois de troisième génération. Pour ces filières, des économies d'échelles et en matière de coûts de la biomasse valorisée sont attendues. Elles produiront des carburants de synthèse tels que le gazole Fischer Tropsch, obtenu dans un réacteur du même nom après traitement de déchets de biomasse ou d'autres ressources cellulosiques, ou encore l'éthanol ex-biomasse (lignocellulose), obtenu par la voie biochimique grâce à des techniques d'hydrolyse enzymatique pour fermenter les glucoses et les pentoses. On peut également citer les carburants obtenus par hydrogénation directe des matières végétales [10], opération possible soit sur des installations dédiées, soit en raffinerie classique, avec prémélange de flux de matières végétales et d'hydrocarbures d'origine fossile (procédés Neste Oil finlandais, procédé H-Bio brésilien). Il existe par ailleurs des marchés de niche pour l'utilisation de l'huile végétale pure (peu compatible avec les moteurs diesel de conception moderne) ou de combustibles gazeux tels que le biogaz, obtenu par méthanisation de déchets organiques (flottes captives). Selon des développements récents, le panel des biocarburants liquides ou liquéfiés offert à l'utilisation finale pourrait enfin s'étendre à d'autres carburants, tels que le butanol, le dyméthyl éther (DME), voire le 2,5 diméthyl

furane ( $C_6H_8O$ ), synthétisable à partir de ressources cellulosiques, et 40% plus dense énergétiquement que l'éthanol [11]. Enfin, les perspectives offertes par l'hydrogène en combustion directe ou dans le cadre de piles à combustible, même si des véhicules prototypes existent, semblent très lointaines et ne seront donc pas abordées dans cet article.

## **2.2. Indicateurs d'activité économique**

Tous les chiffres de production des biocarburants concourent à souligner un véritable boom économique, piloté par les motivations que l'on sait. La production mondiale d'éthanol carburant a atteint en 2006 38,2 milliards de litres, essentiellement issus du continent américain (89% de la production était assurée par les Etats-Unis et le Brésil, 4% seulement par l'Union européenne). La production mondiale de biodiesel en 2006 se limite quant à elle à 6,1 milliards de litres, mais est en revanche principalement réalisée en Europe (73% de la production dont 40% pour la seule Allemagne).

Les chiffres de 2006 résultent d'une expansion fulgurante des productions qui impliquent de plus en plus de pays : la production d'éthanol carburant a plus que doublé entre 2001 et 2006, tandis que celle de biodiesel été multipliée par un facteur voisin de 6 [4]. Tout ceci s'inscrit dans une dynamique continue d'évolution, du fait que presque tous les pays au monde [12] ont un plan de développement des biocarburants. Cette dynamique pourrait ainsi très rapidement encore modifier les évolutions de marchés qui pourraient, selon les dernières estimations [13], conduire l'Europe à commercialiser des volumes d'éthanol carburant équivalents à ceux du Brésil dès 2012.

Indépendamment de l'accroissement effréné de la production de biocarburants, de profondes mutations concernent leur utilisation. Partout sauf au Brésil (où le développement pionnier lié au programme Pro-alcohol du milieu des années 70 s'est traduit dans un premier temps par l'utilisation d'alcool hydraté dans des moteurs dédiés), les alcools (méthanol ou éthanol) ou leurs éthers dérivés (MTBE, ETBE) sont passés du rôle d'additifs oxygénés au statut de carburants à part entière. On les utilise aujourd'hui en toute légalité en mélange aux essences, jusqu'à 5% en Europe, 10% aux USA et 25% au Brésil (gasoline C), sans modifications des système de distribution et d'approvisionnement. L'introduction de carburants éthanolés dans les moteurs diesel est également devenue une réalité depuis quelques années (flottes de bus en Suède utilisant de l'E95). Le développement du carburant dénommé "E-diesel", désignant des gazoles additivés jusqu'à 15% d'éthanol, fait l'objet de recherches significatives dans plusieurs pays (USA, France) [14].

Le marché du biodiesel, longtemps limité au continent européen, s'ouvre lui aussi. Son développement devient significatif aux USA et au Brésil, où une politique extrêmement volontariste vient d'être mise en place par le président Lula, mais également dans les pays du sud-est asiatique, où il est favorisé par l'abondance de ressources lipidiques à hauts rendements de production et bon marché (huile de palme, de coco, jathropa curtas...).

## **2.3. Domaines d'utilisation**

Identifié par quelques visionnaires (Henry Ford, Rudolf Diesel) comme carburants idéaux à usage automobile dès le début du 20<sup>e</sup> siècle, les débouchés des biocarburants existent potentiellement dans tous les modes de transport. Ainsi, le biogazole marin est déjà une réalité. Des applications, certes encore limitées, existent également dans le ferroviaire (locomotives diesel). Enfin le Brésil, déjà utilisateur de carburants à base d'éthanol de canne à sucre pour l'aviation légère (usages agricoles tels que l'épandage de pesticides) est aussi l'inventeur du premier "bio-kérosène" ayant fait l'objet d'un vol d'expérimentation réussi (avion non pressurisé) entre Brasilia et Sao Paulo (1984). Devant

l'expansion du trafic aérien, la raréfaction des ressources fossiles et les enjeux environnementaux, de nombreux espoirs sont à présent placés dans le développement de carburants aviation alternatifs. Ainsi Boeing s'est-il récemment associé à la NASA et à Techbio (société brésilienne) pour développer un bio-kérosène opérationnel.

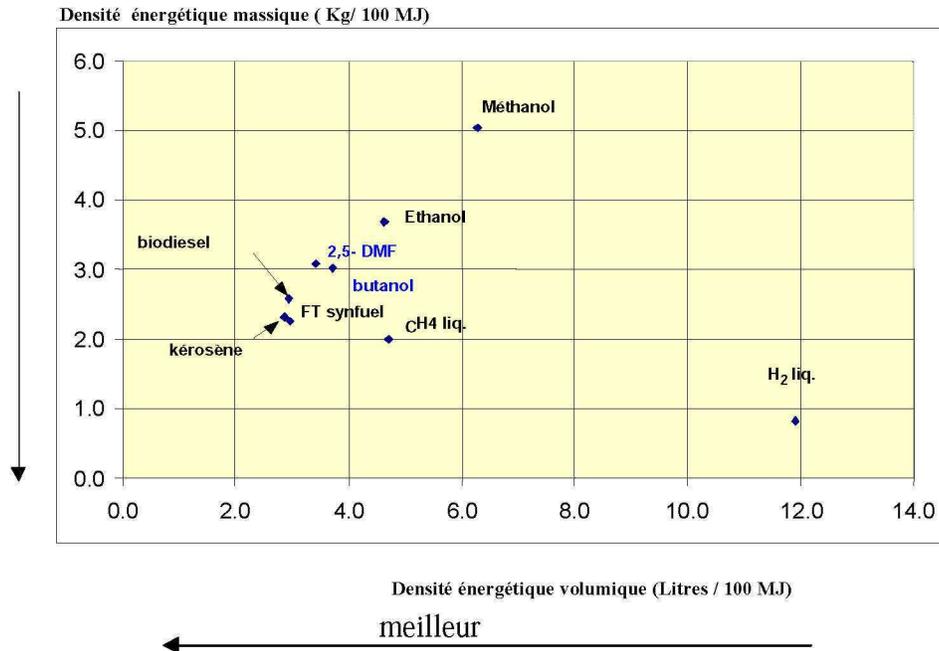


Figure 3 : Pertinence de carburants alternatifs au kérosène (adapté de la référence [15])

L'Union européenne a quant à elle prévu un soutien significatif aux travaux de R&D nécessaires à l'émergence de tels carburants dans le cadre de son 7<sup>e</sup> Programme Cadre de Recherches et de Développement (PCRD), intéressant notamment le consortium AIRBUS et nombre de ses partenaires, dont l'INERIS. Dans ce domaine d'utilisation, les questions de sécurité doivent être intégrées dès la recherche des substituts au kérosène issus de la biomasse, en sus de la recherche de produits à forte densité énergétique (cf. figure 3). Les critères de sécurité propres aux carburants aériens sont principalement constitués des points d'éclair (température au-delà de laquelle les vapeurs d'un liquide peuvent s'enflammer dans les plages d'inflammabilité), des limites inférieures et supérieures d'inflammabilité correspondantes et des points de solidification. Ce dernier critère est en particulier très contraignant pour les bio-kérosènes développés à partir de ressources lipidiques (huiles de palme, microalgues...), du fait des basses températures rencontrées aux altitudes de croisières des vols transcontinentaux (10000 m et plus) exigeant des carburants restant liquides en deçà de - 45°C (spécification jet A1).

### 3. UN APERCU DES DANGERS PRODUITS ET RISQUES TECHNOLOGIQUES ASSOCIES, DE LA PRODUCTION A L'UTILISATION

#### 3.1. Généralités

Devant la maturité atteinte par les technologies de production d'éthanol (plusieurs centaines de distilleries produisent de l'éthanol carburant...) et de biodiesel de première génération (EMHV), on peut raisonnablement penser que les questions de maîtrise des risques ne constituent pas réellement un frein potentiel au développement des biocarburants. Ce premier sentiment mérite cependant une

réflexion plus approfondie, justifiée par la prise en compte d'éléments techniques ou conjoncturels de ce développement. Cette réflexion doit être conduite en examinant de manière aussi exhaustive que possible toutes les problématiques de sécurité tout au long du cycle de vie des biocarburants (aspects techniques) et sur toute la chaîne de commercialisation des marchés correspondants (aspects économiques), depuis la production ou le prélèvement de la biomasse servant de matière première jusqu'à l'utilisation finale des carburants dans les moteurs. Certains aspects en rapport avec la sécurité sont identifiables rapidement (cf. propriétés comparées éthanol / essence et gazole / biodiesel au tableau 2), d'autres méritent des réflexions plus approfondies.

Tableau 2 : Propriétés physico-chimiques comparées de quelques carburants de référence (sources variées, principalement [3][7][13])

	gazole	Biodiesel (EMHV)	éthanol	Essence SP
PCI (MJ/Kg)	42,7	~40	26,8	42,7
PCS (MJ/l)	36,4	~37	21,3	32,0
Viscosité (mm <sup>2</sup> /s)	2.5	3 à 5	-	-
Densité (kg/m <sup>3</sup> à 15°C)	830-880	880	790	~750
Indice de Cetane	> 51	51-53		
Indice d'Octane (MON)	-	-	96-106	79-98
Tension de vapeur @ 38°C (kPa)	0.3	< 1	17	48-103
Point d'éclair (°C)	<b>55-65</b>	<b>120-170</b>	<b>13</b>	<b>-40</b>
Température d'ébullition (°C)	170-340	320-350	78	33-213
Chaleur de vaporisation kJ/Kg	-	-	842	<b>300</b>
Température d'autoinflammation (°C)	230-315	-	366	300-371
Limites d'inflammabilité (°C)	64-150	-	<b>13-42</b>	<b>(-40)-(18)</b>
Limites d'inflammabilité (% vol dans l'air)	0,6-5,6	-	<b>3,3-19</b>	<b>1,4 – 7,6</b>

### 3.2. Identification des produits présentant des dangers physico-chimiques

#### *Produits fabriqués*

Bien évidemment, de manière générale, le cycle de vie des biocarburants est confronté au danger d'incendie, puisque les produits élaborés, combustibles et/ou inflammables (selon les définitions conventionnelles retenues), sont par nature destinés à libérer de l'énergie dans des moteurs à combustion interne. Les coproduits et déchets, variables selon les filières (drèches de blés, tourteaux, glycérine, huiles de fusel...) présentent eux-aussi des dangers d'incendie à physionomie variable. On notera, paradoxalement, que l'intense activité de développement en matière de valorisation de ces co-produits peut indirectement fournir l'opportunité d'améliorer significativement la sécurité et les risques induits à l'environnement de certaines industries parallèles. On citera à titre d'exemple : le procédé Epicerol™, dans lequel on substitue par de l'acide chlorhydrique et de la glycérine, issue de la filière biodiesel (produit relativement banal sur le plan des risques industriels et environnementaux), deux matières dangereuses dans la synthèse de l'épichlorhydrine : le chlore et le propylène (en évitant de surcroît la formation du chloropropylène, hautement inflammable, très toxique pour l'homme et l'environnement). Dow Chemical développe un procédé similaire. D'autres exemples de valorisations potentielles du glycérol avec effet bénéfique sur le plan de la sécurité et de l'environnement sont identifiables dans la revue effectuée par S. Claude [16].

#### *Matières premières*

Tous les produits de la biomasse (céréales, pailles de céréales, oléagineux, déchets lignocellulosiques divers, graisses animales) et les produits de premières transformations tels que les

huiles, constituent des combustibles potentiels pouvant être mobilisés dans des explosions (risque en milieu confiné) ou des incendies accidentels (risque en milieu ouvert) selon divers processus connus (auto-échauffement, inflammation spontanée de liquides gras sur support poreux, explosion de poussières...). Il est important de souligner ici que les conditions de sécurité permettant de prévenir ou combattre ces risques, tant au niveau des procédés (broyage, cuisson, séchage, extraction d'huile...) que des systèmes de manutention et de stockage, dépendent de propriétés physico-chimiques et de caractéristiques de sécurité propres à chaque type de biomasse traitée. Or la diversité des produits susceptibles ou couramment valorisés en biocarburants de première génération est extrêmement importante et s'élargit régulièrement, notamment par l'introduction de variétés tropicales. Le tableau 1 donne une idée de cette variété.

### Utilisation de matières dangereuses

L'utilisation d'acides (principalement acide sulfurique) et de bases fortes (soude et potasse) est pratiquée pour diverses opérations dans la production d'éthanol carburant (par exemple pour empêcher la prolifération de bactéries dans les levures utilisées pour la fermentation des moûts) et de biodiesel (neutralisation, ...). Cela engendre des risques très classiques, notamment de corrosion et de libération de chaleur. Le recours à des solvants est également fréquent sinon indispensable dans les procédés conventionnels de fabrication de biodiesel. Ils sont employés pour la trituration des graines d'oléagineux (utilisation d'un solvant apolaire, traditionnellement de l'hexane, pour l'extraction des huiles en complément d'une extraction mécanique par pressage) mais aussi pour la réaction de transestérification, au cœur des procédés en batch ou en continu de fabrication des biodiesels (utilisation d'un alcool, le plus souvent du méthanol, inflammable et toxique).

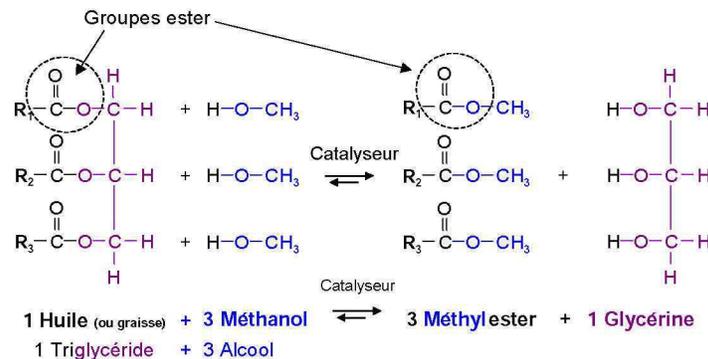


Figure 4 : Réaction de transestérification, au cœur de tout procédé de fabrication de biodiesel (ici : ester méthylique d'huile végétale (EMHV))

D'autres matières dangereuses sont également utilisées, telles que certains catalyseurs ou des agents de nettoyage (oxydants puissants). Ainsi, pour la fabrication de biodiesel, la substitution de la soude ou de la potasse par un alcoolate (méthylate) de potassium ou de sodium présente certains avantages techniques au niveau de la performance du procédé [17].

L'utilisation de tels alcoolates présente en revanche des dangers significatifs [18] en particulier dus aux fortes énergies dissipées lors de la mise en solution dans un solvant de type alcool. Des risques de présence d'atmosphères explosives hybrides (vapeurs + poussières) dans les réacteurs de production de biodiesel sont possibles et auraient été mises en cause dans plusieurs accidents en

Europe et aux Etats-Unis. L'INERIS caractérise actuellement ces dangers en partenariat avec le CANMET/LCRE (Laboratoire Canadien de Recherche sur les Explosifs).

Enfin, il convient aussi de prendre en compte les divers additifs dont l'utilisation intervient généralement lors des phases terminales de préparation des biocarburants, tels que les agents antimoussants, antioxydants, ou antigels ou les additifs émulsifiants. C'est essentiellement les produits compatibles avec les coupes gazoles qui sont ici concernés. Ces produits chimiques sont bien souvent désignés par des appellations commerciales propres à un fournisseur. Or de nouveaux référentiels ont été récemment développés en vue d'un contrôle plus performant des risques présentés par les produits chimiques (REACH, GHS...). Au vu des données disponibles sur les aspects inflammabilité ou toxicité de ces additifs, une révision de leurs classements conventionnels au regard des dangers qu'ils présentent est prévisible.

### 3.3. Risques procédés

Les procédés de production couramment utilisés aujourd'hui reposant sur la valorisation de cultures énergétiques et ceux faisant d'intenses recherches dans le cadre des filières dites de seconde génération [10] relèvent de technologies pour la plupart matures et a priori relativement robustes. Les risques que présentent chaque étape élémentaire de ces procédés (cf. figure 5) sont relativement bien connus en soi. Toutefois leur intégration dans de nouvelles usines de production de biocarburants (de plus en plus envisagée sous le concept de bioraffinerie) peut souffrir d'incertitudes quant aux facteurs d'échelle ou vis-à-vis de leur adaptation à la nécessaire flexibilité souvent dictée par les conditions économiques (la sûreté de fonctionnement des usines peut être conditionnée par des paramètres spécifiques aux agro-ressources à valoriser qui sont à intégrer dès la phase de conception).

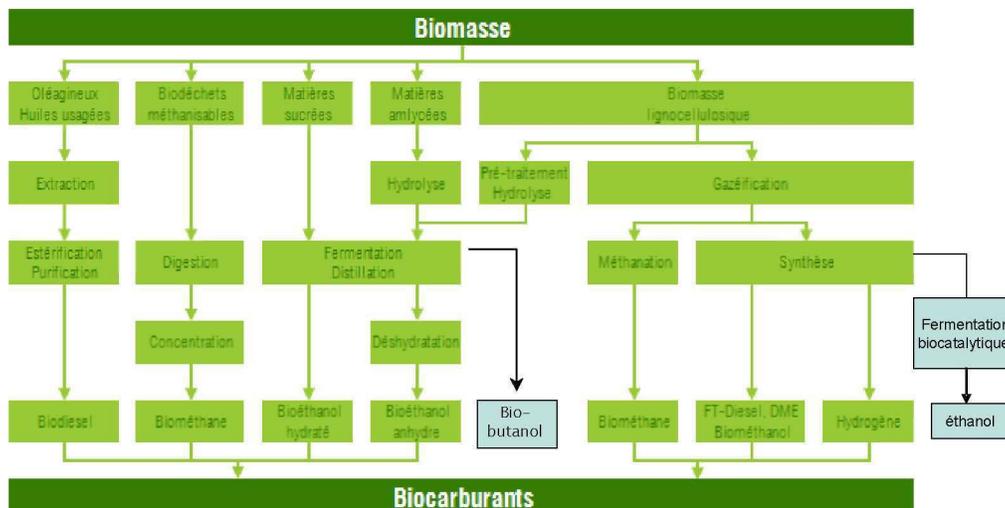


Figure 5 : Principales filières de production des biocarburants (adapté de la référence [21])

Une analyse plus approfondie, technologie par technologie serait bien évidemment de rigueur pour pondérer un avis détaillé sur la sûreté de fonctionnement des procédés de production actuels et en devenir. A titre d'illustration, il est courant d'avoir plus de 1200 systèmes instrumentés (éléments de contrôle-commande, capteurs...) pour gérer le bon fonctionnement d'une éthanolerie moderne (200000 à 300000 t/an de production).

Mais dans l'ensemble, l'avis du Health and Safety Executive exprimé dans un rapport [19] évaluant les risques (dangers physiques et pour la santé) présentés par les nouveaux développements en cours

étaient relativement bien identifiés et a priori gérables. Il est toutefois intéressant de noter que le même organisme, émettait en 2006 un avertissement alertant sur les risques significatifs que présentait la mode consistant à fabriquer du biodiesel (de qualité médiocre...) chez soi [20].

### 3.4. Risques lors du stockage, de la distribution et à l'utilisation des biocarburants eux-mêmes

Si le biodiesel et le bioéthanol constituent à ce jour les seuls biocarburants ayant une véritable réalité économique, l'analyse des questions de sécurité dans cette partie du cycle de vie des produits reste complexe, malgré les expériences accumulées au Brésil, aux USA ou en Suède par exemple. Les raisons de cette complexité sont multiples. Tout d'abord, ces expériences accumulées ne sont pas directement extrapolables pour de nombreuses raisons (culturelles, climatiques, choix technologiques différents...). De plus la réalité de terrain est complexe, une variété de carburants étant dans la pratique développée par mélange ou transformation nécessitant la conduite d'une réflexion de sécurité différenciée. Par ailleurs, pour certaines catégories de biocarburants, on manque encore de recul : tel est le cas par exemple du super-éthanol, utilisables dans les véhicules dits flexfuel. Enfin parce que, dans le cas de l'éthanol notamment, les propriétés influant sur les caractéristiques de sécurité des mélanges essences / éthanol sont complexes et variables en fonction du taux d'éthanol dans le mélange.

Le tableau 4 donne une indication de la variété des situations d'utilisations possibles (en usage courant ou en développement significatif) dans le seul cas de l'éthanol. La situation, tout en restant plus simple dans le cas du biodiesel comporte également diverses options d'utilisation, les plus courantes étant les carburants incorporant 5, 10 ou 30% de biodiesel dans une coupe gazole classique.

Tableau 4 : Aperçu des options d'incorporation du bioéthanol dans le pool carburants selon les pays (adapté des références [13] et [21])

Nature du carburant/ou du mélange	Description	Compatibilité / utilisation	Pays
ETBE	jusqu'à 15% vol. en mélange avec l'essence	tous moteurs à essence (moteurs à allumage commandé)	Espagne, France, Italie, Allemagne
E5	5% (vol) d'éthanol dans l'essence		tous pays, limite actuelle autorisée dans l'UE
E10 (gasohol)	10% (vol) d'éthanol dans l'essence	tous moteurs à essence aux États-Unis	Suède <sup>(a)</sup> , Canada, USA
E22 à E25 (gasoline C)	22 à 25% d'éthanol dans l'essence	tous moteurs à essence au Brésil	Brésil
E85 (superéthanol)	85% (vol) d'éthanol dans l'essence	véhicules dits flexfuel (FFV)	Brésil, États-Unis, Suède, France, Allemagne
E95	bioéthanol 93,5% (éthanol hydraté + additifs)	flottes captives (bus), moteurs à compression	Suède
E100	100% éthanol hydraté	Moteurs dédiés (en disparition) et FFV	Brésil
E-diesel et E-biodiesel (Esterol)	< 15% (vol) d'éthanol en mélange dans du gazole ou du biodiesel	Moteurs diesel (presque) standard	Suède, États-Unis

(a) : expérimenté, mais plus utilisé actuellement ; (b) niveau de maturité du développement non connu

Les contraintes de sécurité sont de fait très variables selon les options. L'une d'entre elles est liée à la stabilité des carburants ainsi élaborés, une autre est liée à la survolatilité des essences faiblement additivées en éthanol.

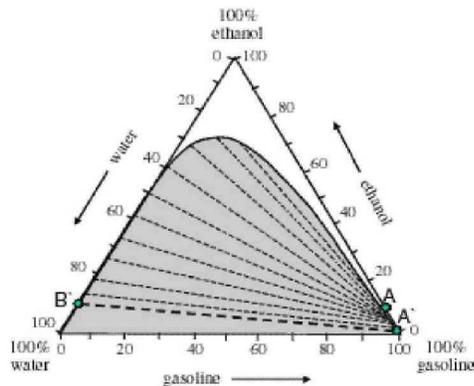


Figure 6 : Diagramme ternaire des mélanges éthanol, essences, eau

L'alcool est infiniment soluble dans l'eau. En revanche, dans les mélanges essences/alcools, un phénomène de démixtion de phases peut très facilement se produire, en cas de présence d'eau. Le diagramme ternaire de la figure 6 illustre cette problématique tout montrant que seuls les mélanges à forte teneur en alcool (au moins 65% en volume) sont en théorie exempts de ce type de risque. Autrement dit, il s'agit d'un faux problème pour l'E85 ou l'E100 brésilien [22], mais une réalité aiguë dans le cas de l'E5. En effet, c'est l'introduction banalisée de l'éthanol carburant à faible taux d'incorporation dans l'essence qui constitue la voie massive d'incorporation d'éthanol carburant (tout le parc automobile essence est impacté), mais c'est aussi la situation la plus critique du point de vue de ce risque, et également du point de vue des émissions de vapeurs à la distribution (survolatilité des essences faiblement éthanolées, par création d'azéotropes négatifs), d'où une préférence en Europe longtemps marquée pour la transformation de l'alcool en ETBE.

Une autre grande question qui doit être traitée au cas par cas est le risque d'explosion en milieu confiné, du fait des plages d'inflammabilité de l'éthanol (cf. tableau 2) : celles-ci sont plus larges que celles de l'essence et fortement décalées vers le haut en termes de plages de températures (13°C – 42°C), rendant même la présence d'atmosphères explosives possibles dans les installations de distributions (stations services) : une protection contre le risque d'explosion (par exemple par arrête-flammes) doit donc être envisagée aux endroits pertinents (La réglementation française relative aux stations services vient d'être modifiée en ce sens). La sécurité du véhicule doit également être assurée, une question qui peut devenir un challenge technique dans le cas des véhicules diesel modifiés pour utiliser du E-diesel (mélange d'éthanol dans du gazole). Des compléments d'informations sur la typologie du risque d'incendie et d'explosion présentés par les carburants eux-mêmes ont été publiés par ailleurs [23/24].

Le retour d'expérience commence à alerter les professionnels et cette thématique est à présent abordée dans certains congrès dédiés aux biocarburants [25]. Des accidents sont attribuables, dans le cas de la filière biodiesel, à une mauvaise gestion des risques déjà évoquée concernant l'inflammabilité du méthanol [26] (principal réactif de la réaction de transestérification) et d'une manière générale, du risque de présence d'atmosphères explosives au niveau des usines de transformation.

Dans le cas de l'éthanol, l'analyse des accidents récents fait surtout ressortir des problèmes de sécurité en termes de logistique (transport, stockage). L'accident de Port Kembla (explosion puis

incendie d'un bac d'alcool en Australie en 2004) [23] survenu dans un parc de stockage pétrolier, a souligné la difficulté d'intervention sur des feux d'alcools (identification du risque spécifique, nécessité d'avoir des émulseurs résistants aux solvants polaires).

L'expansion considérable de la production et de l'utilisation d'éthanol carburant, notamment aux Etats-Unis, a également largement intensifié les flux de transport routiers et ferroviaires, augmentant statistiquement le risque d'accident. Ainsi, deux accidents très spectaculaires se sont produits avec par chance des conséquences limitées (dégâts matériels) en octobre 2006 [23] et mai 2007 (les figures 7 et 8 illustrent la typologie de ce type d'accidents au transport terrestre). De nombreux accidents routiers ou ferroviaires, avec ou sans scénarios d'émissions de produit à l'environnement ou d'incendies se sont produits ces dernières années sur le continent nord américain. Ceci n'est bien entendu pas étranger au fait qu'une proportion de plus en plus considérable (on parle de 60% pour 2006) du maïs américain serait converti en éthanol.



Figure 7 : Accident de Baltimore, USA (Mai 2007)



Figure 8 : Accident de New Brighton, USA (Octobre 2007)

### 3.5. Vers une stratégie de maîtrise des risques

Nous venons d'illustrer que sans constituer de véritables challenges techniques (tout au moins pour les technologies de production de biocarburants connues ou en cours de développement), des risques existent bel et bien, et ce tout au long de la chaîne de valorisation de ces carburants alternatifs. Il est bon de tenir compte du retour d'expérience et des bases de connaissances acquises en matière d'identification et d'évaluation des dangers présentés par les produits et procédés associés à l'élaboration des biocarburants. Il convient cependant, à la lumière notamment des accidents recensés jusqu'ici, tant pour la filière bioéthanol que pour la filière biodiesel, de mettre en place une politique de développement et de suivi des questions de sécurité. Ceci permettra de rester maître de ces questions quelles que soient les évolutions techniques ou économiques qui conditionneront ce marché dans le futur. A cet effet, il nous semble utile de consolider ce qui vient d'être brièvement débattu en listant les facteurs favorables et ceux pouvant constituer des freins au contrôle des questions de sécurité. Une telle approche est proposée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Critères favorables ou défavorables a priori à l'objectif de maîtrise des risques associés aux biocarburants

Facteurs a priori favorables à la maîtrise des risques	Points de questionnement méritant des études ou réflexions approfondies
Maturité des technologies de production des biocarburants de première génération (éthanol / ETBE, biodiesel / EMHV)	Développement exponentiel des biocarburants (volumes produits, pays impliqués...) et intense diversification des filières (variantes de procédés, de matières premières, nouveaux catalyseurs de réaction...)
Expérience des pétroliers en matière d'élaboration et de distribution de carburants	Développement des technologies de seconde génération ne bénéficiant pas d'un réel retour d'expérience (intégration)
Etapes élémentaires de procédés (1 <sup>ère</sup> génération) relativement simples, opérées dans des gammes de températures et de pressions très modérées	Acteurs aux profils très diversifiés, très loin d'appartenir majoritairement aux groupes pétroliers (industriels du secteur agroalimentaire majoritaires)
Existence quasi universelle de réglementations sur les liquides inflammables	Implication du grand public (fabrication de biodiesel à domicile, comportement du consommateur...)
Expérience générale en matière de gestion des carburants	Retour d'expérience parfois ignoré, pas assez formalisé et peu exploité
Pas de sinistre majeur, à ce jour, comparable, en termes de conséquences, aux grands accidents enregistrés par l'industrie pétrolière (exemple Buncefield, novembre 2006)	Complexité des propriétés de l'éthanol et de ses mélanges aux essences (aspects logistique, transport, stockage, distribution et utilisation), résistance à l'oxydation des biodiesels
Recours aux réseaux de distribution classiques pour le bioETBE et le biodiesel B5 à B10	Dangers de produits spécifiques divers (exemple : alcoolates de Na et de K, permanganate de K...). Forte exothermicité des mécanismes réactionnels dans la synthèse FT
Synthèse Fischer-Tropsch (FT) bénéficiant d'une expérience en partie transférable des technologies CTL et GTL (carburants de synthèse obtenu à partir du charbon ou du gaz naturel)	Diversité des cultures et des pratiques en matière de sécurité et mondialisation des marchés
Opportunités de substitution de produits dangereux en synthèse chimique par des coproduits de l'industrie des biocarburants	Choix technologiques et organisationnels fortement conditionnés par des objectifs de réduction des coûts
Pas de sinistre majeur, à ce jour, comparable, en termes de conséquences, aux grands accidents enregistrés par l'industrie pétrolière (exemple Buncefield, novembre 2006)	Excès de confiance ?

#### 4. LA MAITRISE DES RISQUES : QUELS ENJEUX IN FINE ?

Le tableau que nous venons de dresser relatif aux questions de sécurité du développement des biocarburants peut laisser à penser que la tâche n'est pas si ardue pour assurer la maîtrise des risques. Faut-il donc en faire un point de focalisation ? Nous sommes tentés de répondre par l'affirmative.

En effet, divers exemples relatifs aux systèmes énergétiques ont démontré par le passé l'importance de ne pas sous-estimer les risques associés à une technologie, à un stade quelconque de son développement. Celui-ci peut passer par des phases critiques nécessitant des extrapolations ou des transferts de technologies parfois mal maîtrisés. Deux exemples viennent à l'esprit que nous développons ci-après.

##### 4.1. Incidence de la stratégie de sécurisation des moteurs GPL en France

Le développement de ce carburant (qui est un gaz combustible à l'état liquéfié sous pression) a longtemps végété en France alors qu'il connaissait un franc succès dans trois pays européens : Pays-Bas, Belgique, et Italie. Utilisable sur des véhicules équipés d'un moteur à bicarburant, deux

accidents significatifs survenus au début des années 2000 sont venus perturber fortement le démarrage de son développement en France [27]. A l'analyse, il est apparu une défaillance du système de « joint fusible » sensé assurer la protection du réservoir GPL contre les surpressions en cas d'incendie du véhicule. Or ce choix technologique de mise en sécurité des réservoirs de GPL retenu par la France ne s'est pas porté sur celui retenu dans les autres pays européens (une soupape de décharge en cas de surpression). Concours de circonstances peut-être malheureux, ces accidents sont survenus en France et la réglementation a évolué vers le choix technologique adopté ailleurs (soupape obligatoire sur véhicules de première monte ou transformés). A ce jour, le marché des véhicules GPL demeure très limité et la perception sociétale de leur intérêt reste relativement négative.

#### **4.2. L'alimentation en énergie des ordinateurs portables**

Le stockage d'énergie dans les batteries modernes de type Li-ion présente de nombreux avantages (rapport puissance /poids...). Des questions de sécurité ont émaillé leur développement, tant dans le contexte de leur transport que de celui de l'utilisation dans les ordinateurs portables : une demi-douzaine de feux d'ordinateurs survenus lors de l'utilisation dont l'origine est attribué à un dysfonctionnement ou à un échauffement anormal de leurs batteries a contraint plusieurs grands manufacturiers à rappeler des milliers d'unités, pour changer ou vérifier les batteries. La course à la puissance de traitement, qui elle-même nécessite plus de puissance électrique installée, combinée à la recherche d'une meilleure portabilité est vraisemblablement à l'origine des avatars de la microinformatique. N'a-t-on pas oublié à un moment de consolider les calculs de dissipation d'énergie au niveau des batteries intégrées dans ces ordinateurs portables, ou n'a-t-on pas su apprécier la marge de sécurité qu'elles présentaient par rapport à l'évolution constante des cahiers des charges des équipements informatiques ? Dans ce dernier cas d'un marché de masse, le mal est sans doute sans conséquence, au-delà des pertes financières supportées par les industriels concernés. Le développement d'application dans le secteur automobile pourrait en revanche bien davantage souffrir si des questions de ce type étaient mal maîtrisées.

### **5. ACCOMPAGNEMENT DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE A L'AIDE D'INDICATEURS DE DD : INTERET D'INTEGRER LA SECURITE**

#### **5.1. Les indicateurs de développement durable : des outils pour accompagner le développement des filières technologiques**

Le développement de nouvelles filières technologiques ne peut se faire en dehors d'un questionnement sur leur validité au regard des défis du développement durable. Ceux-ci sont porteurs de telles contraintes pour l'avenir des activités humaines que s'en affranchir est de plus en plus risqué, ne serait-ce que sur le plan économique. Nos sociétés doivent aujourd'hui faire face à un contexte mondial difficile, caractérisé par de nombreux défis, parmi lesquels changement climatique et épuisement des ressources naturelles non renouvelables ne sont pas les moindres.

Il importe donc de s'assurer qu'aucun enjeu essentiel n'a été oublié, d'être capable d'évaluer et de suivre la durabilité d'un procédé ou d'un produit, mais aussi d'éclairer la prise de décision en mettant en évidence les éventuelles dérives, les gisements de progrès et les alternatives envisageables. Comment y parvenir ?

En 1992, les chefs d'Etats réunis au Sommet de la Terre de Rio adoptent entre autres textes l'Agenda 21, qui détaille les principes de la Déclaration de Rio en définissant les objectifs et les moyens d'exécution à mettre en œuvre. Le dernier chapitre de l'Agenda 21 (le chapitre 40) marque

l'entrée en scène officielle des indicateurs de développement durable, en tant qu'outils conçus pour contribuer à « l'information pour la prise de décision » [29]. Ils s'inscrivent cependant dans une perspective historique plus longue.

D'abord conçus et utilisés dans le cadre de la recherche en sociologie, les indicateurs permettaient de traduire des concepts théoriques en variables observables, dans le but de valider des hypothèses scientifiques. C'est dans ce contexte qu'en 1958, P. Lazarsfeld met en évidence les étapes de la traduction des concepts en indicateurs puis en indices [30]. Le terme « indicateurs sociaux » apparaît peu de temps après, illustrant le passage d'un usage restreint à la recherche scientifique à une utilisation plus large, dans le cadre des politiques publiques. Le « mouvement des indicateurs sociaux » naît alors, sous l'influence notamment du rapport *Social Indicators* des Américains Bauer, Biderman & Gross [31]. Il se diffuse largement aux États-Unis et en Europe, témoignant d'une volonté de chercher à rationaliser le gouvernement par la connaissance, et de contrebalancer l'influence de la quantification économique sur les politiques publiques. Puis, suite aux crises économiques de 1974 et 1979, le mouvement des indicateurs sociaux et le projet de « *pilotage rationnel du progrès social* » déclinent progressivement, entraînant avec eux la notion d'indicateur social, mais laissant toutefois place au développement des statistiques sociales [32]. Les indicateurs sociaux reparurent cependant récemment, cette fois-ci dans le cadre théorique de la mesure du bien-être et du développement humain. On trouve dans ce renouveau des indicateurs sociaux le fondement théorique de la contestation de l'utilisation des seuls critères économiques (comme le Produit Intérieur Brut : PIB) comme instruments de pilotage et de mesure du « bon état » d'une société. Ces éléments sont également à la base des principes du développement durable.

Les indicateurs de développement durable, développés comme nous l'avons vu suite à la Conférence Internationale de Rio en 1992, sont ainsi fortement liés aux indicateurs sociaux développés actuellement et héritiers de la recherche en sociologie du 20<sup>ème</sup> siècle.

Depuis lors, l'usage des indicateurs de développement durable s'est répandu et beaucoup diversifié : de même que les indicateurs en général sont aujourd'hui largement dominants parmi les outils de management, les indicateurs de développement durable sont devenus presque omniprésents dans tout débat touchant au développement durable, et la littérature scientifique s'y rapportant est dense (on pourra par exemple se référer aux travaux de P.M. Boulanger [33] et J. Theys [34]).

Les indicateurs de développement durable sont utilisés principalement à des fins de communication ou de traitement de l'information pour la prise de décision. Leurs usages recouvrent des échelles et des applications si diverses que les comparaisons entre indicateurs ou listes d'indicateurs sont en général sans objet. Pour être efficace, un indicateur doit en effet être adapté à l'échelle ainsi qu'aux utilisateurs ou aux publics visés, mais aussi pertinent et spécifique par rapport à la problématique étudiée. On peut trouver des exemples d'utilisation très divers, comme l'évaluation ou le suivi d'entreprises, d'organismes, de secteurs industriels, mais aussi d'institutions ou de territoires (villes, régions, bassins versants, Etats, ...). Le champ d'utilisation est en réalité quasi-illimité.

Les indicateurs utilisés dans le cadre de l'aide à la décision apportent à leur utilisateur une information qui lui sera utile dans son action, avec plusieurs objectifs possibles :

- la définition de stratégies, orientations ou objectifs à plus ou moins long terme ;
- la comparaison de données dans le temps (pour suivre l'évolution des caractéristiques d'un système par exemple) ou dans l'espace (comparaison de différents systèmes entre eux) ;
- l'évaluation des performances d'une action, et le suivi de l'évolution de son contexte.

Ils constituent donc des outils bien adaptés au problème qui nous occupe ici : la prise en compte des enjeux du développement durable dans le développement de nouvelles filières technologiques.

Les indicateurs de développement durable, ou plus exactement les listes ou tableaux d'indicateurs de développement durable, peuvent être conçus de différentes manières. Ces différences sont induites par la « vision » du développement durable propre au concepteur. Beaucoup de listes d'indicateurs de développement durable présentent par exemple un classement en trois parties : les indicateurs économiques, les indicateurs sociaux et les indicateurs environnementaux. Cette organisation découle directement de la définition dite « des trois piliers », selon laquelle le développement durable serait un équilibre à rechercher entre les dimensions économiques, sociales et environnementales. Cette vision, bien que (ou parce que) assez consensuelle, connaît certaines limites, et notamment une difficulté à rendre compte des questions transversales ou situées à la frontière de deux piliers.

La construction d'indicateurs de développement durable selon une approche thématique (ou « par enjeux »), peut sembler plus pertinente. Elle permet en effet de sélectionner des indicateurs en les classant par thèmes, selon les différents enjeux qui caractérisent la durabilité de la filière étudiée. Ces thèmes sont sélectionnés pour leur pertinence et permettent de s'affranchir des trois piliers aux limites parfois floues, en essayant de prendre en compte au mieux les particularités du cas à l'étude.

## **5.2. Pour une approche intégrée Sécurité - Développement Durable.**

Le thème de la sécurité fait évidemment partie des enjeux à prendre en compte lors du développement de nouvelles filières technologiques : négliger la maîtrise des risques peut impacter lourdement le bilan de ce développement, en débouchant sur des conséquences graves. Il faut par ailleurs rappeler que dans le cas du développement d'une filière, l'absence de produits ou procédés nouveaux (c'est à dire peu connus) ne garantit pas l'absence de risques : la prise en compte de la sécurité reste nécessaire.

La maîtrise des risques figure encore trop souvent comme un sujet différent de celui du développement durable : un sujet bien sûr important, mais traité séparément. La sécurité est en réalité un aspect essentiel de la durabilité : ne pas maîtriser les risques peut conduire à des dégradations de l'environnement, de la santé et du bien-être humain, ainsi qu'à des pertes financières. Autant d'éléments nuisibles pour la durabilité d'un système !

Il est donc important, pour garantir une approche intégrée, d'inclure la maîtrise des risques de façon explicite comme composante des aspects de développement durable propres à une filière.

Cette démarche est encore rarement suivie. Si un groupe comme Air France – KLM identifie le thème « Sécurité, Sûreté et Santé » comme le premier des 5 enjeux majeurs du développement durable [35], beaucoup d'entreprises vont traiter d'un côté l'environnement et/ou le développement durable et d'un autre la sécurité. Dans son rapport *Analyse comparative d'indicateurs de développement durable* [36], l'Observatoire sur la Responsabilité Sociétale des Entreprises (ORSE) présente les résultats d'une étude réalisée pour le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (MINEFI) et visant à tester, comparer et valider les indicateurs de développement durable élaborés par le Centre d'études et de recherches sur le développement durable (Cer2d), le Global Reporting Initiative (GRI : initiative privée de standardisation mondiale des rapports de développement durable des entreprises), la loi NRE (loi du 15 mai 2001 sur les nouvelles régulations économiques) et quelques grandes entreprises. L'analyse a surtout porté sur la pertinence des indicateurs proposés par rapport aux objectifs de développement durable visés, ainsi que leur comparabilité et la faisabilité de l'évaluation. Dix objectifs de développement durable ont été

retenus, basés sur les trois thèmes centraux que sont la préservation de l'environnement global, l'économie (« la croissance soutenable ») et le développement sociétal soutenable (approche classique du type des « trois piliers »). Ces objectifs constituent en quelque sorte les enjeux majeurs du développement durable retenus par l'ORSE. La maîtrise des risques et la sécurité (notamment industrielle) n'y figurent pas, bien qu'il s'agisse ici de travaux destinés à des entreprises. Quant aux indicateurs analysés pour chaque objectif, les seuls pouvant être liés au thème de la sécurité sont ceux relatifs au suivi et à la maîtrise des accidents du travail et maladies professionnelles d'une part et des pollutions (eaux, sols, air) d'autre part. Si on peut difficilement soupçonner les entreprises (et notamment les grandes entreprises) de ne pas se préoccuper de sécurité, on constate donc qu'elles ne font pas systématiquement le lien entre maîtrise des risques et développement durable. Accompagner les activités des entreprises par des indicateurs de développement durable, en y intégrant les aspects de maîtrise des risques, permettrait pourtant d'assurer un suivi intégré et cohérent de ces activités et notamment du développement de nouvelles filières.

### **5.3. Exemple d'indicateurs de développement durable intégrant la sécurité**

Certaines initiatives intégrant la maîtrise des risques parmi les enjeux de développement durable existent cependant. On peut citer notamment les travaux de l'AICHE (American Institute of Chemical Engineers) sur l'AICHE Sustainability Index [28]. Cet indice de durabilité a été mis au point pour aider les dirigeants et les exécutifs à suivre et maîtriser tous les aspects des activités d'une entreprise. Conçu pour évaluer la performance d'une entreprise mais aussi de tout un secteur industriel (en commençant par le secteur de l'industrie chimique), il permet aux entreprises de ce secteur de comparer leurs performances respectives. Cet indice repose sur un ensemble de sept critères (cf. figure 9), qui constituent les sept enjeux de développement durable majeurs retenus, spécifiques aux activités étudiées.

Ces critères sont :

- Affichage stratégique
- Gestion de la sécurité
- Responsabilité sociale
- *Value-Chain Management*
- Innovation
- Politique produits
- Performance environnementale.

Chaque critère repose sur cinq ou six indicateurs, qualitatifs ou quantitatifs. On remarque ici que deux des sept critères sont directement relatifs à la maîtrise des risques : « Gestion de la sécurité », qui retient notamment des indicateurs portant sur la sécurité des procédés et la sécurité des employés, et « Politique produits » dont certains indicateurs traitent de la sécurité des produits et de l'anticipation face aux nouvelles réglementations (comme par exemple la réglementation européenne REACH (enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions relatifs aux substances chimiques)). Même si les activités de ce secteur (la chimie industrielle) ne sont sans doutes pas étrangères à cette prise en compte de la sécurité, cette initiative est assez innovante.

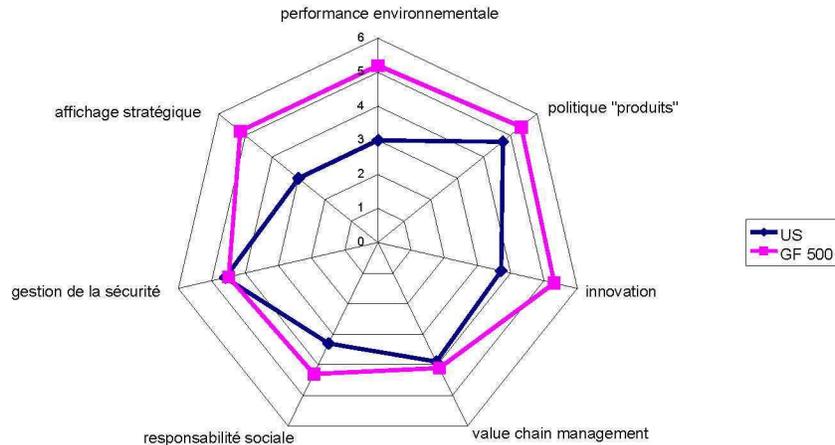


Figure 9 : comparaison des performances en matière de développement durable selon la grille à sept critères développée par l'AIChE [37]

Au Canada, l'étude « Cadre et Outil d'Évaluation de la Durabilité » (COED) réalisée par Five Winds International pour Environnement Canada et le Réseau Canadien d'Innovation dans la Biomasse (RCIB) propose un outil d'évaluation basé sur des indicateurs et portant sur la durabilité des programmes de R&D et d'investissement, dans le domaine des bioproduits et des biotechnologies [37]. Cet outil repose sur l'approche des « trois piliers », en identifiant pour chacun des trois thèmes une série de catégories d'impacts que le projet étudié peut engendrer. L'évaluation par le biais de l'outil permet de quantifier ces impacts potentiels (tableau 6).

Tableau 6: catégories d'impacts potentiels retenues pour les trois dimensions du développement durable  
Etude COED, Five Winds International, Environnement Canada, RCIB (2006)

Catégories d'impacts		
ENVIRONNEMENTAUX	ECONOMIQUES	SOCIAUX
Intégrité des écosystèmes	Retombées économiques	Acceptabilité sociale
Biodiversité et vie sauvage	Activité économique	Impacts sociaux et territoriaux
Qualité de l'air	Emploi	Santé humaine et sécurité
Gaz à effet de serre	Investissement	Qualité de vie
Qualité de l'eau	Pérennité	
Usage des sols et impacts		
Intensité de l'utilisation des ressources		
Déchets		

On ne trouve cette fois-ci pas de référence directe à la sécurité industrielle, bien que les secteurs d'activités des bioproduits et des biotechnologies soient évidemment concernés par les questions de maîtrise des risques, comme tous secteurs industriels. L'impact des activités étudiées sur la santé et la sécurité humaine est cependant un des thèmes clairement identifiés.

Enfin, dans le cadre d'une thèse actuellement en cours à l'Ineris et à l'Université de Technologie de Troyes (UTT), un nouvel outil d'évaluation de la durabilité est développé. Basé sur des indicateurs, il est conçu pour évaluer la durabilité de nouvelles voies de valorisation industrielles pour les ressources en biomasse et dédié aux activités du pôle de compétitivité français « Industrie et Agroressources » (IAR), basé sur le territoire des régions Picardie et Champagne-Ardenne. Cet outil

repose sur une approche par enjeux. Son utilisation permettra aux décideurs du pôle de compétitivité IAR d'évaluer la performance et les lacunes, en terme de durabilité, présentées par les projets industriels candidats à la labellisation du pôle IAR. La maîtrise des risques est donc un des aspects étudiés, notamment en terme d'impacts potentiels.

## **6. CONCLUSIONS**

Malgré toute l'expérience accumulée en matière de gestion de production et d'utilisation d'énergie, les questions de sécurité demeurent un enjeu important du développement des énergies renouvelables, que tout le monde souhaite pérenne.

Le cas des biocarburants nous a servi ici d'exemple –très actuel- pour examiner les paramètres qui sont susceptibles de conditionner la nécessaire maîtrise des risques associés à leur développement exponentiel.

Au-delà du simple constat que les carburants alternatifs (éthanol, biodiesel, ...) restent par nature des combustibles et présentent bien évidemment des risques d'incendie et d'explosion, une analyse plus complète du cycle de vie des produits, depuis la production des agro-ressources traitées jusqu'à l'utilisation finale dans les moteurs, est requise pour mener une réflexion pertinente et exhaustive. Une projection dans l'avenir (avènement des technologies de production dites de seconde génération, utilisation possible dans les autres modes de transport...) est également nécessaire pour cerner le rôle que peut jouer la maîtrise de ces risques dans la durabilité des filières existantes ou en cours de développement.

Au bilan, et malgré un secteur d'activité en perpétuelle mutation et très conditionné par les paramètres d'environnement économique, les questions de sécurité –dans le cas des applications relatives au transport terrestre- ne devraient pas constituer des obstacles majeurs. Le cadre réglementaire- très variable d'un pays à l'autre- n'est cependant pas une garantie pour la maîtrise des risques identifiés et dont l'évaluation n'est pas forcément achevée. Une problématique concernant les questions de logistique est par ailleurs clairement soulevée : l'intensification des flux d'éthanol carburant transportés a déjà conduit à une augmentation significative des incidents et accidents de transport.

Pour s'inscrire dans la démarche indispensable de développement durable, il semble nécessaire enfin de reconnaître que la maîtrise des risques en constitue un volet incontournable, dont le caractère par trop implicite demeure bien souvent un frein au progrès. Une reconnaissance plus formelle de l'importance de la maîtrise des questions de sécurité pourrait être obtenue en l'introduisant comme composante mesurable dans les indicateurs de développement durable au même titre que des composants beaucoup plus traditionnels (aspects économiques, sociétaux ou environnementaux).

Un bref historique concernant l'avènement de ce concept de développement durable nous a amené à montrer que l'intérêt d'intégrer une composante « maîtrise des risques » dans les indicateurs de développement durable en cours d'expérimentation a déjà été identifié dans le secteur des industries chimiques. Nous encourageons les parties prenantes du secteur des biocarburants à suivre cet exemple, et à intégrer cette démarche à la certification des filières au regard de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

## **7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. A. Robert, (2007), « L'OCDE met en garde contre les biocarburants », extrait de presse, cf <http://lesaffaires.com> (dernier accès le 26/07/2007)

2. L. Chauveau et R. Mulot, (2007), « Biocarburants, les questions qui fâchent », Sciences et Avenir, n° 726, p 8-14
3. D. Ballerini (Editeur), 2006, Les biocarburants. Etat des lieux, perspectives et enjeux du développement, IFP Publications, Technip, Paris.
4. L. Mastny (Editeur), S. Hunt (Chef de Projet Worldwatch Institute), 2007, Biofuels for transport. Global Potential and Implications for sustainable energy and agriculture, Earthcan (UK & USA)
5. IEA (OECD), 2004, Biofuels for Transport, an International Perspective, CHIRAT (France)
6. M. Mittelbach, C. Martin, 2004, Biodiesel, the comprehensive handbook, Martin Mittelbach, Gratz, Autriche
7. X.Montagne, (2005), « Biocarburants – Les carburants liquides », chapitre 15 de l'ouvrage (Ed. P. Colonna) La Chimie verte, Lavoisier, Paris
8. Collectif, (2007), « Agrofuels special issue », Seedling, July 2007, ISBN 1002-5154
9. R. Van Ree, (2003), « ECN activities Concerning Biofuels », FSV Fachtagung 2003, pp 294-301
10. S. His, (2007), « Panorama 2007 – Le point sur les nouvelles filières biocarburants », document IFP, téléchargeable sur internet.
11. Y. Roman-Lethkov et al, (2007), Production of dimethylfuran for liquid fuels from biomass-derived carbohydrates », Nature, vol 447, pp 982-985
12. D.C. Berg (Editeur), (2007), F.O. Licht Word Ethanol & Biofuels Report, Vol.6, n°1, S1-S26
13. D. Chiaramonti (2007), Bioethanol : role and production technologies, chapitre 8 de l'ouvrage Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses (Ed. P. Ranelli), Springer, 209-251
14. L.R. Waterland et al, (2003), Safety and Performance Assessment of Ethanol/Diesel Blends (E-Diesel), NREL report SR-540-34817, septembre 2003
15. Documentation Chevron (2006), « alternative jet fuels », [http://www.chevronglobalaviation.com/docs/5719\\_Aviation\\_Addendum\\_webpdf.pdf](http://www.chevronglobalaviation.com/docs/5719_Aviation_Addendum_webpdf.pdf)
16. S. Claude, (1997), « Lipochimie – La valorisation du glycérol : quelques perspectives », Oléagineux, corps gras, lipides, Vol. 4, n°4, 250-2, juillet -Août
17. J. Ruwwe, (2007), « Catalyst Selection in Biodiesel Process », World Biofuelsmarket, Brussels, March 8
18. A. H. Mebarek et al, (2003), « Thermal Effect of solvation processes on alkali metal alcoxide formation and stability, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol 74 293-307
19. G. Podger CB, « The Health and Safety Risks and Regulatory Strategy Related to Energy DEvelopments », 2006
20. HSE, « Domestic Production of biodiesel: health and safety warning », 2006, <http://www.hse.gov.uk/pubns/biodiesel.htm> (dernier accès 25 septembre 2007)
21. Collectif, (2007), « Plate-forme Biocarburants » site web de la société ENERS, <http://www.eners.ch/plateforme/info>
22. P. Cazzola, (2006), « Biofuels for transport – An International Perspective », Seminar for the Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, document OECD/IEA
23. G. Marlair, P. Rotureau & H. Breulet (2007), « Biofuels for Transport in the 21<sup>st</sup> Century: Why fire safety is a real issue », communication présentée à *Fire and Materials 2007*, 29<sup>th</sup> – 31<sup>st</sup> Jan. 2007
24. G. Marlair, P. Rotureau, Hervé Breulet & S. Brohez, (2007), « Booming industry of biofuels for transport : is fire safety of concern », soumis à publication à *Fire and Materials* (25 juillet 2007)
25. D. Nilles, (2006), « Handle with Care », Ethanol Producer Magazine, [www.ethanolproducer.com](http://www.ethanolproducer.com)
26. J. Ebert, « Playing it Safe with methanol », Biodiesel Magazine, [www.biodieselmagazine.com](http://www.biodieselmagazine.com)
27. Anna Musso, (2007), « Le GPL peine à prendre son essor », Développement durable le journal, <http://www.developpementdurablejournal.fr> (dernier accès 24 septembre 2007)
28. C. Cobb et al, (2007), « Benchmarking sustainability », Chemical eng. Progress, Vol 103, n°6, p 38-42
29. ONU, 1992, Action 21 : Chapitre 40 : L'information pour la prise de décision, document accessible sur le site <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/french/action40.htm> (dernier accès le 27 septembre 2007).
30. P. Lazarsfeld, 1958, Evidence and inference in social research, Daedalus, 87(4), p. 99-109.

31. R.A. Bauer, A. Biderman & B. Gross, 1966, Social Indicators, Cambridge, Mass., the MIT Press.
32. B. Perret, 2002, Indicateurs sociaux. Etat des lieux et perspectives, Conseil de l'Emploi, des Revenus et de la Cohésion sociale: Paris. p. 37.
33. P.-M. Boulanger, 2005, «Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique», Chaire développement durable EDF - Ecole Polytechnique, Cahier n° 2005-010, p. 25.
34. J. Theys, 1997, A la recherche du développement durable : un détour par les indicateurs, dans l'ouvrage *Le développement durable, de l'utopie au concept : De nouveaux chantiers pour la recherche*, p. 269-279.
35. Air France – KLM, 2006, Rapport de développement durable 2005-06.
36. ORSE, 2003, Analyse comparative d'indicateurs de développement durable, MINEFI.
37. Environnement Canada et RCIB, 2006, Cadre et outil d'évaluation de la durabilité des bioproduits et des biotechnologies, document accessible sur le site [http://cbin.gc.ca/Docs/french/final\\_saft\\_f.pdf](http://cbin.gc.ca/Docs/french/final_saft_f.pdf) (dernier accès le 27 septembre 2007).

## 8. BIOGRAPHIES

**Guy MARLAIR**, délégué scientifique de la direction de la Certification à l'INERIS est titulaire du diplôme d'ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines de Douai (France). Il mène des études et recherches à l'échelle nationale et internationale depuis près de 25 ans lesquelles se rattachent au domaine de la combustion et des transferts associés de matières et d'énergie dans le cadre de processus contrôlés (combustion en lit fluidisé...) ou résultant d'aléas (incendies, explosions...). Expert reconnu des diverses composantes du risque d'incendie, spécialiste des incendies industriels. Par ailleurs responsable à l'INERIS ([www.INERIS.fr](http://www.INERIS.fr)) des programmes relatifs aux matériaux énergétiques, ses centres d'intérêt du moment concernent notamment l'évaluation des explosifs accidentels, les effets thermiques et chimiques des matériaux des compositions pyrotechniques (ex.poudres fumigènes) et l'évaluation des risques associées aux technologies émergentes de production et d'utilisation d'énergie dans le domaine des transports (biocarburants pour l'automobile, carburants alternatifs au kérosène...).

**Patricia ROTUREAU** est ingénieur d'études et de recherche dans le Laboratoire d'Evaluation des Matières Dangereuses au sein de la Direction de la Certification de l'INERIS depuis 2 ans. Ingénieur diplômée en 2001 de l'Ecole National Supérieure de Chimie de Mulhouse, elle a obtenu son doctorat de chimie en 2004. Ses domaines de recherches actuels portent sur l'évaluation et le classement des matières dangereuses au transport et au stockage (y compris les biocarburants) et sur le développement de méthodes QSAR pour la prédiction à l'échelle moléculaire de l'explosibilité de substances chimiques. Elle est membre du réseau d'experts internationaux sur les matériaux énergétiques IGUS EOS (cf. [www.oecdigus.org](http://www.oecdigus.org)).

**Anne-Lise FEVRE** réalise à l'INERIS et à l'UTT une thèse visant à développer des indicateurs de développement durable pour évaluer la durabilité de projets de valorisation d'agroressources, en particulier la production les biocarburants. Elle est ingénieur en Génie des Systèmes Industriels, diplômée de l'Université de Technologie de Troyes (UTT) en 2004. Elle y a également suivi un Master en management environnemental et développement durable en 2005. Ses travaux de recherche sont dédiés au pôle de compétitivité Industrie et Agroressources des régions Picardie et Champagne-Ardenne, qui a pour mission d'encourager l'innovation et les projets de R&D dans le domaine de la valorisation de la biomasse.