

Typologie du risque d'incendie et d'explosion associée au cycle de vie des biocarburants

Guy Marlair

▶ **To cite this version:**

Guy Marlair. Typologie du risque d'incendie et d'explosion associée au cycle de vie des biocarburants. Rapport Scientifique INERIS, 2007, 2006-2007, pp.70-73. ineris-01869094

HAL Id: ineris-01869094
https://ineris.hal.science/ineris-01869094

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.

Typologie du risque d'incendie et d'explosion associée au cycle de vie des biocarburants

Guy Marlair



1

Essai à niveau constant de combustion d'huile de maïs au calorimètre de Tewarson.

Le développement des biocarburants, dénommés également agrocarburants, (filières bioéthanol et ETBE, filière biodiesel...) [1] connaît un vif regain d'intérêt depuis quelques années notamment en France, mais aussi en Europe [2], ou aux États-Unis comme presque partout dans le monde [3]. Répondant à sa mission générale d'accompagnement au développement durable explicitement entérinée dans son nouveau Contrat d'objectifs 2006-2010, l'INERIS a lancé, dès 2006, un programme de recherche dénommé BIOSAFUEL® [4, 5]. L'objectif premier de ce programme est d'actualiser et de compléter les connaissances validées scientifiquement sur les aspects de sécurité potentiellement associés à la chaîne de valorisation des biocarburants et de mettre au point un outil d'évaluation de l'importance de ces questions de sécurité pour un projet donné. Le fil conducteur du projet est de consolider les connaissances sur les questions de sécurité à partir de l'identification et de la caractérisation des dangers présentés par l'ensemble des produits intervenant dans le cycle de vie des biocarburants : agro-ressources, réactifs, catalyseurs, produits utilisés dans les opérations de prétraitement des agroressources ou dans le raffinage des produits finis, produits finis, additifs divers de formulation, coproduits et autres matières impliquées dans la valorisation de ces co-produits. Les actions menées par l'INERIS, en 2006, ont essentiellement porté sur la réflexion analytique (bibliographie, échanges avec les acteurs des filières, examen du retour d'expérience) et des premiers résultats expérimentaux (essais de combustion d'huiles végétales notamment). Ces travaux permettent de consolider un premier aperçu de la typologie des risques présentés par les biocarburants liés aux propriétés de combustibilité ou d'inflammabilité des principaux produits impliqués dans l'industrie des biocarburants.

DÉVELOPPEMENT DES CARBURANTS ADDITIVÉS D'ÉTHANOL ET QUESTIONS DE SÉCURITÉ ASSOCIÉES

Produit de manière conventionnelle par fermentation de sucres (betterave, canne à sucre...) extraits directement ou après prétraitement (par hydrolyse) de l'amidon contenu dans certaines plantes amylacées (maïs, blé, pomme de terre, orge), l'utilisation de bioéthanol à usage de carburant en addition à l'essence bénéficie déjà d'une solide expérience, notamment outre-Atlantique sur des filières spécifiques et même en France (filière betterave).
Démarrée de manière spécifique au Brésil avec l'instauration du programme Proalcool dès 1973, l'incorporation d'une phase éthanol en substitution ou en mélange à l'essence a fait l'objet de nombreux travaux et de réalisations pratiques depuis plus de 20, voire 30 ans (Brésil). Différentes voies ont été explorées, on retiendra notamment :
- l'utilisation de l'éthanol hydraté sur véhicules dédiés, au Brésil, dont la commercialisation a pratiquement disparu en 2006 ;
- l'utilisation, dans de nombreux pays, de mélanges en proportions diverses avec l'essence où cette dernière reste le composé majoritaire (E5 en Europe, E10 en Amérique du Nord, « essence C » au Brésil incorporant selon les années de 20 à 25 % d'éthanol à l'essence sans plomb...) ;

- l'incorporation – banalisée pour le consommateur – d'ETBE, en France notamment ;
- et surtout, depuis le début des années 2000, le développement du « superéthanol ou E85 », contenant en théorie 85 % d'éthanol pour 15 % d'essence, mais dont l'usage n'est rendu possible que par l'utilisation d'une nouvelle génération de véhicules dits « flexibles » ou « flexfuel », introduite sur le marché en 2003 (au Brésil et aux États-Unis) et plus récemment en France (2006). Cette question est tout particulièrement d'actualité en France. En effet, le superéthanol n'y connaît d'existence administrative en tant que carburant que depuis le 1er janvier 2007, alors que l'ambition gouvernementale est de développer un réseau de distribution très rapidement (objectif de 500 à 600 points de vente dès la fin de l'année 2007).

Le tableau 1 récapitule la situation du développement de l'éthanol carburant dans les principaux pays concernés.

Si très tôt, un certain nombre de problèmes techniques liés à la sécurité des carburants additivés d'éthanol ont pu être identifiés lors des développements initiaux et en grande partie traités, comme les problèmes de compatibilité de l'éthanol avec les matériaux polymères (circuits d'alimentation en carburant ou de corrosivité de l'éthanol avec certains métaux (notamment l'aluminium), notre revue attentive de la littérature et nos échanges avec nos collègues étrangers, suédois notamment (SP, National Swedish Rescue Service), montrent que des études sont encore nécessaires pour faire converger les points de vue des experts, notamment dans le cas de l'E85, avant de maîtriser parfaitement le danger d'incendie et d'explosion associé à l'incorporation d'éthanol dans le pool carburant essence en Europe et en France. En effet, l'évaluation du danger réel d'incendie et d'explosion associé au cycle de vie de l'éthanol carburant (sous ses diverses déclinaisons) est bien plus complexe que le simple constat de limites d'inflammabilité de l'éthanol élargies (comparativement à l'essence) et décalées vers des températures plus élevées (tableau 2).

Parmi les autres paramètres à prendre en compte pour évaluer et maîtriser les scénarios accidentels résultant du danger (direct ou indirect) d'explosion et d'incendie de l'éthanol carburant, il convient notamment d'intégrer :
- les caractéristiques différentes pour chaque mélange essence/éthanol considéré ;
- la propriété de l'éthanol de former divers azéotropes négatifs avec les composés légers des essences, à l'origine d'une « survolatilité » des mélanges éthanol/essence, variable selon les proportions du mélange, lorsque l'essence reste le composé majoritaire ;
- *a contrario*, une volatilité plus faible de l'éthanol et de l'E85 (comparativement à l'essence) générant des adaptations au niveau des véhicules ;
- le risque de séparation des phases essence et éthanol selon la teneur en eau et en éthanol ;
- le risque de fuite lié au problème de corrosivité de l'éthanol avec certains métaux et à l'incompatibilité avec de nombreuses matières plastiques ;
- la conductivité électrique très sensiblement plus élevée de l'éthanol et de l'E85 comparativement à l'essence ;
- la vitesse de flamme plus élevée ;
- le caractère polaire de l'éthanol en tant que solvant.

Des questions de sécurité se posent notamment au niveau logistique : mise en place de dépôts de ravitaillement en supercarburant, stockage et distribution de carburants de type essences additivées et de superéthanol dans les stations-services, positionnement des équipements au regard du risque d'atmosphères explosibles et aspects environnementaux associés, pour lequel nous manquons de recul. L'expérience acquise et la mondialisation des marchés des biocarburants ne doivent, par ailleurs, pas occulter le fait que les solutions techniques à mettre en place pour développer les technologies de mise en œuvre des biocarburants dans les transports ne sont pas systématiquement généralisables, sans adaptation au contexte local. Ainsi, une solution est développée au Brésil pour résoudre les démarrages à froid rendus difficiles

1 - ÉTAT DU DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION DU SUPERÉTHANOL

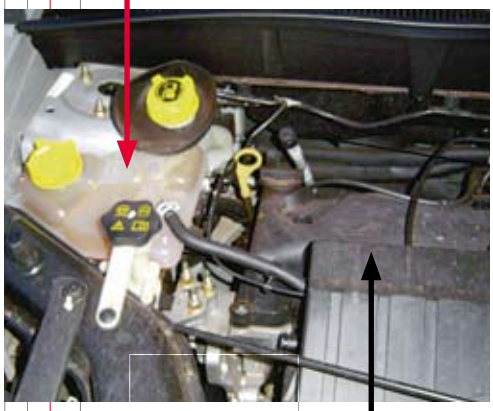
Pays	Nombre de points de distribution de superéthanol	Commentaires
Brésil	> 30 000 (E100 déshydraté)	
États-Unis	> 1000 (E85)	Données décembre 2007
Suède	> 600 (E85)	Estimation décembre 2006
Allemagne	~ 70 (E85)	Estimation janvier 2007
Suisse	4 (E85)	Prévision 50 à fin 2007
France	17 (E85)	Février 2007

2 - PARAMÈTRES D'ENTRÉE DE CARACTÉRISATION DU RISQUE D'INCENDIE ET D'EXPLOSION DES CARBURANTS ÉTHANOLÉS [6, 7]

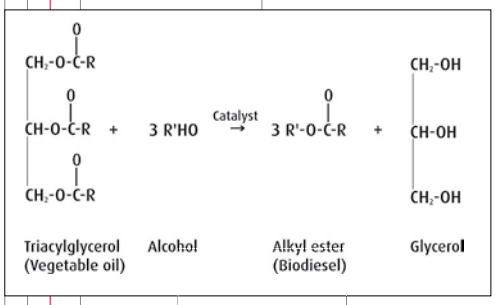
		Éthanol	E85	Essence SP
Point d'ébullition	°C	78	35 - 80 (a)	33 - 213
Tension de vapeur	kPa	17	35 - 95	45 - 100
Point d'éclair	°C	12	< -30	< -40
Limites d'inflammabilité	% dans l'air	3.3 - 19	1.4 - < 19 (a)	1 - 8
Limites d'inflammabilité	°C	(+13) - (+42)	(a)	(-40) à (-18)(a)
Température d'auto-inflammation	°C	363	(a)	250 - 280
Rapport stœchiométrique air/combustible	Kg/kg	9.0	10.0	14.6

(a) données non disponibles ou à consolider, variable en fonction de la saison

Emplacement du réservoir auxiliaire d'essence sous le capot moteur d'un véhicule Flex-fuel brésilien. [7]



2



3

Réaction de transestérification.



4

Comparaison du comportement en feu de nappe.

dans les motorisations à allumage commandé du fait de la faible volatilité de l'éthanol. On ajoute un réservoir auxiliaire à essence placé sous le capot moteur (figure 2) dont le remplissage périodique est géré par les pompistes locaux. Cette solution n'est bien évidemment pas envisageable en Europe car ne répondant pas à des principes élémentaires de sécurité compte-tenu du contexte européen de distribution de carburants automobiles.

Enfin, en prévision de la gestion du risque d'incendie dans les circuits de distribution et utilisation, il est utile de rappeler que les feux d'éthanol (et donc des essences additivées de manière significative en éthanol), se comportent de manière très différente des feux d'hydrocarbures et d'essence en particulier (figure 5).

Aux avantages (communs avec la combustion en moteurs) d'un moindre potentiel de pollution comparé aux essences, le comportement de solvant polaire de l'éthanol nécessite la mise en œuvre de moyens d'extinction spécifiques. À ce titre, le risque de transport banalisé de carburants additivés d'éthanol a été pris en compte lors de la réunion ONU, en décembre 2006, à Genève, des experts en matière de transport des matières dangereuses, par la création d'un numéro ONU spécifique, initiative que l'INERIS a soutenue. Ce numéro apparaîtra bientôt dans les règlements modaux, tel le règlement européen ADR.

DANGERS PROPRES À LA FILIÈRE « BIOGAZOLE » ENCORE APPELÉ BIODIESEL

Le caractère « non inflammable » souvent évoqué dans les documents grand public du biogazole (du fait d'un point d'éclair élevé de ce biocarburant – de l'ordre de 180 °C) ne doit pas occulter la réalité des dangers d'explosion et d'incendie qui apparaît rapidement à l'analyse du cycle de vie des biocarburants depuis la production des agroressources (nombreuses) valorisables jusqu'à l'utilisation dans les véhicules à moteurs diesel.

Pour l'illustrer, il suffit de rappeler que le biogazole reste un carburant, donc un combustible en soi, et surtout de considérer les dangers intrinsèques aux produits intervenant en quantités significatives dans la réaction dite de transestérification (figure 3), au cœur de la technologie actuelle de production du biogazole (appelé Diester® en France).

Cette réaction qui consiste à transformer les acides gras (95 % au moins des constituants des sources lipidiques valorisables, présents sous forme de triglycérides) en esters méthyliques ou éthyliques directement compatibles avec les gazoles d'origine fossile :

a) se fait en utilisant un solvant (du méthanol généralement, produit toxique et inflammable, lorsque le biogazole obtenu est un ester méthylique d'huile végétale) ;

b) est une réaction catalytique. Les catalyseurs, homogènes ou hétérogènes, de nature alcaline ou acide, engendrent un risque d'incendie et/ou d'explosion variable, notamment avec les alcoolates de sodium ou de potassium, parmi les plus utilisés.

D'autres produits inflammables ou présentant des dangers d'incendie ou d'explosion interviennent au cours du cycle de vie des biogazoles, par exemple dans les unités de trituration des graines (extraction finale), ou dans les stockages de co-produits d'origine végétale (risques d'autoéchauffement, également présents dans les filières éthanol).

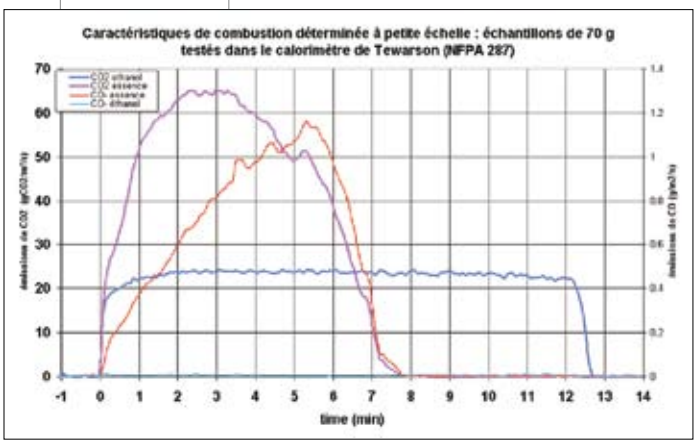
Autre point commun avec les filières bioéthanol, le développement programmé des carburants compatibles avec le pool diesel dits de seconde génération (gazoles de synthèse obtenus par hydrogénation ou par synthèse Fischer-Tropsch…) génère d'autres enjeux de sécurité. Ils sont liés à des plages de température et de pression significativement plus élevées, à l'apparition de flux d'oxygène ou d'hydrogène dans les procédés de fabrication, ou à des effets d'échelle notamment.

ESSAIS DE COMBUSTION D'HUILES VÉGÉTALES

L'opportunité de démarrer une phase de caractérisation de la combustion en nappe des huiles végétales à l'aide du calorimètre de Tewarson [8, 9] a été saisie, pour les raisons suivantes :

a) Il s'agit des matières premières principales impliquées dans la production des biogazoles, dont d'importantes quantités sont susceptibles d'être stockées en divers endroits (sites de trituration des graines oléagineuses, usines de production de biodiesel, terminaux de stockage).

5 *Comparaison « feu de nappe d'éthanol et d'essence ».*



b) Le retour d'expérience a largement démontré que dans certaines situations (milieu confiné…), la combustion incontrôlée de matières grasses, produites à haute densité énergétique, peut conduire à des scénarios d'incendies difficiles à maîtriser et particulièrement dévastateurs (ex. incendie d'une huilerie à Lichtervelde en Belgique [10]). Des essais de combustion de diverses huiles et de glycérine (autre corps gras représentant le principal co-produit des biogazoles) ont été réalisés au cours d'une première campagne d'orientation où les principaux paramètres de l'étude ont été :

- la nature de l'huile (arachide, tournesol, soja, colza, maïs) ;
- le flux thermique incident imposé lors de l'essai et simulant un niveau donné d'agression thermique.

Les résultats obtenus permettent d'éclairer le débat d'experts qui s'est récemment instauré à la suite des travaux de Koseki [11] faisant état de vitesses de combustion des huiles étonnamment faibles. Nos essais confortent le point de vue exprimé dans la même revue scientifique par Jones (qui s'étonne des très faibles valeurs obtenues par l'auteur et non commentées) tout en soulignant que les vitesses de combustion réelles demeurent extrêmement dépendantes des conditions réelles de déroulement d'un scénario accidentel. Nos essais montrent, tout comme le retour d'expérience, qu'une fois en régime établi, de tels incendies libèrent des quantités significatives d'énergie et sont très fumigènes.

PERSPECTIVES

Afin de caractériser expérimentalement les dangers spécifiques présentés par les catalyseurs de type alkoxydes (alcoolates de P et de Na), de plus en plus couramment employés pour la catalyse de la réaction de transestérification (fabrication de biodiesel), une collaboration est en cours de mise en place avec le laboratoire Canadien de Recherche sur les Explosifs (Énergie et Ressources Canada) et Degussa, l'un des principaux fournisseurs de tels produits chimiques. Les autres axes de travail visent à consolider les connaissances acquises et, en particulier, à organiser les données d'entrées nécessaires à la hiérarchisation des questions de sécurité dans un projet de développement de biocarburants donné.

RÉFÉRENCES

[1] Ballerini D. (2006). « Les biocarburants – États des lieux, perspectives et enjeux du développement », IFP Publications, édition TECHNIP, 2006.
[2] Prieur A. & His S. (2006). « Panorama 2007. Le point sur les biocarburants en Europe », document public IFP, 20 décembre 2006.
[3] Zarrilli S. (2006). "The Emerging Biofuels Market: Regulatory, Trade and Development Implications." UNCAD report, United-Nations, N-Y and Geneva.
[4] Marlair G. & Rotureau P. (2006). "Automotive biofuels: The INERIS project 'BIOSAFUEL'", Communication at the IGUS-EOS meeting, Washington DC (USA), 4-6 April 2006 (see www.oecdigus.org).
[5] Marlair G. & Bourg D. (2006). "'BIOSAFUEL' & 'HORIZON': Two Research Initiatives for Better Sustainability of Biofuels Development", Biotechnology Symposium, Brock University, St-Catharines (Ontario), Canada, 9 July 2006.
[6] Landhal G. & Sunnerstedt E. (2006). "Safety aspects with E85 as a fuel for vehicles", delivrable du programme européen BEST, October 2006.
[7] Marlair G., Rotureau P., Breulet H. & Brohez S. (2007)."Biofuels for Transport in the 21st Century: Why fire safety is a real issue," Proceedings of the 10th International Conference on Fire and Materials, San-Francisco, USA, 29th to 31st January 2007, Interscience Comm. Ltd.
[8] Brohez S., Marlair G. & Delvosalle C. (2006). "Fire calorimetry relying on the use of the fire propagation apparatus. Part I: Early learning from use in Europe," *Fire and Materials*, 2006
[9] Brohez S., Marlair G. & Delvosalle C. (2006). "Fire calorimetry relying on the use of the fire propagation apparatus. Part II: Burning Characteristics of selected chemical substances under fuel rich conditions," *Fire and materials*, 2006.
[10] Base G., « Incendie d'une huilerie à Lichtervelde, » *Fireforum magazine*, avril 2006 – n°1, pp. 45-49.
[11] Koseki et al, (2001). "Evaluation of the burning characteristics of vegetable oils in comparision with fuels and lubricating oils", *Journal of Fire Sciences*, vol. 19, n° 1, pp. 31-44.

COLLABORATIONS (2006)

UPJV, UTC, École des Mines de Douai, Faculté Polytechnique de Mons, ISSeP, FPRF (États-Unis), Énergie et Ressources Canada/CERL.

SUMMARY

TYPOLOGY OF THE FIRE AND EXPLOSION RISKS ASSOCIATED WITH THE LIFE CYCLE OF BIOFUELS

As proven by current events, biofuel development is becoming of worldwide interest as a result of emerging international markets, driven by a number of key factors such as the need for diversification of energy resources or combating climate change. Technically, the development of biofuels is faced with many challenges, focusing on the rapid consolidation of the production of first generation biofuels (ethanol, biodiesel) for the automotive market, whereas R&D increasingly emphasizes the industrialisation of 2G-biofuels (from "natural" biomass). This article presents the R&D initiative known as BIOSAFUEL, launched by INERIS in January 2006 to accompany the sustainable development of biofuels, while focusing on safety issues that could act as "non-technical barriers", if not properly identified and dealt with in due time. The work undertaken so far comprises analytical paperwork, which has enabled a preliminary analysis of the typology of the fire risk for conventional biofuels, whereas some experiments have dealt with studying fire scenarios involving vegetable oils, used as bioresources for the production of biodiesel. Plans for the coming years are briefly described as well.