

# Lubrifiants d'origine végétale



*Étude du Groupe de Travail "Lubrifiants d'origine végétale" de ValBiom coordonnée par M.H. Novak en collaboration avec la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux*

Janvier 2003

## Préambule

L'asbl ValBiom, née en janvier 2002 de la fusion de Valonal et de Belbiom, a pour objet la promotion et le développement des filières de la biomasse. L'association regroupe des agriculteurs et leurs associations, des négociants agricoles, des industriels et des scientifiques. Plusieurs démonstrations d'utilisation de biolubrifiants ont été mises en place dans le cadre de projets soutenus par la Région wallonne et par l'Europe.

Le présent rapport, émanant du groupe de travail "lubrifiants d'origine végétale" animé par ValBiom dans le cadre du projet FARR-Wal (Filières Agriculture et Ressources Renouvelables en Wallonie) est largement issu de la mise à jour du rapport du même nom, approuvé en 2002 par le Ministre de l'Environnement.

En effet, en 1998 le Ministre commanditait une telle étude à la DGRNE, qui chargeait le projet Valonal (Valorisation non alimentaire des produits agricoles) d'en faire rapport. Le groupe composé de trente-trois personnes, spécialistes de la question, s'était organisé en quatre sous-groupes se proposant d'étudier respectivement les aspects techniques, économiques, environnementaux et promotionnels des lubrifiants d'origine végétale.

Néanmoins, les évolutions notées au cours de ces dernières années nécessitaient d'apporter certaines modifications au document original afin d'une part de l'étoffer des récents résultats pratiques résultant des démonstrations mises en place en Belgique, et d'autre part de faire état des développements actuels du secteur.

## Table des matières

<b>PREAMBULE</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>3</b>
<b>1 LECTURE RAPIDE</b>	<b>6</b>
<b>2 INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
2.1 QU'EST-CE QU'UN LUBRIFIANT ?	7
2.2 QUELS SONT LES TYPES DE LUBRIFIANTS ?	7
2.3 COMMENT PRODUIT-ON UN LUBRIFIANT A BASE MINERALE ?	7
2.4 COMMENT PRODUIT-ON UN LUBRIFIANT A BASE VEGETALE ?	9
<b>3 ASPECTS TECHNIQUES DES LUBRIFIANTS A BASE VEGETALE</b>	<b>11</b>
3.1 LES HUILES DE CHAÎNE DE TRONÇONNEUSE	11
3.1.1 <i>Articles publicitaires</i>	11
3.1.2 <i>Recherches au Canada</i>	12
3.1.3 <i>Essais en France</i>	12
3.1.4 <i>Essais Valonal en laboratoire</i>	12
3.1.5 <i>Expérimentation de Valonal sur le terrain</i>	13
3.2 LES FLUIDES HYDRAULIQUES	13
3.3 LES LUBRIFIANTS MOTEUR	16
3.4 LES GRAISSES	18
3.5 LES HUILES DE DECOFFRAGE	19
3.6 CONCLUSIONS	20
<b>4 ASPECTS ECONOMIQUES DES LUBRIFIANTS A BASE VEGETALE.</b>	<b>21</b>
4.1 ASPECTS MICRO-ECONOMIQUES	21
4.1.1 <i>Les huiles de chaîne de tronçonneuse</i>	21
4.1.2 <i>Les fluides hydrauliques</i>	22
4.1.3 <i>Les lubrifiants moteur</i>	23
4.1.4 <i>Les graisses</i>	24
4.1.5 <i>Les huiles de décoffrage</i>	24
4.1.6 <i>Conclusions</i>	25
4.2 ASPECTS MACRO-ECONOMIQUES	27
<b>5 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DES LUBRIFIANTS A BASE VEGETALE</b>	<b>29</b>
5.1 LA BIODEGRADABILITE	29
5.2 LA TOXICITE	31
5.3 L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE	31
5.3.1 <i>référence Hollandaise (HOEFNAGELS, 1997)</i>	32
5.3.2 <i>référence allemande (REINHARDT)</i>	32
5.3.3 <i>référence britannique (WHIGHTMAN, 1998)</i>	32
5.3.4 <i>Les unités fonctionnelles</i>	33
5.3.5 <i>Discussion</i>	33
5.4 LES ECOLABELS	33
5.5 LES AUTRES INITIATIVES	35
<b>6 CONCLUSIONS GENERALES</b>	<b>36</b>
<b>7 PROPOSITIONS D' ACTIONS EN FAVEUR DES LUBRIFIANTS D'ORIGINE VEGETALE</b>	<b>37</b>
<b>8 BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>39</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de production des lubrifiants à base d'huile minérale.....	8
Figure 2 : Schéma de production des lubrifiants à base de polyalphaoléfine. ....	8
Figure 3 : Schéma de production des lubrifiants à base d'huile végétale (colza).....	9
Figure 4 : Schéma de la transformation d'un triglycéride (huile végétale) en un ester de triméthylolpropane par transestérification.....	10
Figure 5 : Prix moyen HTVA/litre en Euro pour une commande de 208 litres. ....	22
Figure 6 : Biodégradabilité de différentes huiles dans l'eau selon le test CEC L33-T-82 (21 jours). ....	30
Figure 7 Evolution de la dégradation des fluides hydrauliques au cours du temps (test CEC L33-T-82). Source: Convention RW 2174 "Étude des propriétés lubrifiantes des huiles biodégradables d'origine végétale", rapports d'activité 02/96 et 11/97, présentés par le laboratoire de tribologie EMT/U.Lg »	30

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Données économiques relatives aux huiles de chaîne de tronçonneuse. ....	22
Tableau 2: Données économiques relatives aux fluides hydrauliques.....	23
Tableau 3 : Données économiques relatives aux graisses. ....	24
Tableau 4 : Données économiques relatives aux huiles de décoffrage. ....	25
Tableau 5 : Liste des principales applications en lubrification perdue et potentiel de substitution des huiles minérales par des huiles végétales en Belgique. ....	27
Tableau 6 : Propriétés éco-toxicologiques de quelques huiles (EC50 en mg/l). D'après Van Dievoet, 2001 .....	31

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 et Photo 2 : essais d'huiles de chaîne végétale avec les bûcherons découpant les billons au parc à bois du site de Cellardennes en Gaume.....	13
Photo 3 : Tracteur dont le système de transmission hydraulique fonctionne avec une huile biodégradable à base d'huile végétale, garantie par le constructeur.....	15
Photo 4 : Vidange d'un bus du TEC : un essai avec une huile moteur additivée d'esters végétaux ne tient pas ses promesses.....	17
Photo 5 : la péniche Libertas.....	18
Photo 6 : une des écluses de la Dendre près de Ath .....	18
Photo 7 : câbles du plan incliné de Ronquière.....	18
Photo 8 : galets du plan incliné de Ronquière .....	18

## Lecture rapide

Le marché des huiles lubrifiantes est actuellement dominé par les huiles minérales, d'origine pétrolière. Leur stabilité, leurs bonnes propriétés lubrifiantes et leur prix compétitif ont assuré un développement florissant à ces huiles dans de très nombreuses applications.

Depuis une quinzaine d'années, les lipochimistes ont redécouvert les propriétés lubrifiantes des huiles végétales (meilleur comportement en lubrification limite, bonne adhésion aux surfaces métalliques,...). Une gamme étendue de lubrifiants à base végétale a vu le jour dans les applications suivantes :

- ◆ huiles de chaîne de tronçonneuse;
- ◆ fluides hydrauliques;
- ◆ lubrifiants moteur;
- ◆ graisses;
- ◆ huiles de décoffrage du béton.

Ces lubrifiants allient des atouts technologiques recherchés par les formulateurs industriels, et constituent un débouché important pour l'agriculture. Renouvelables, ils trouvent aussi logiquement leur place dans la mise en place de politiques de développement durable.

Sur le plan technique, la structure polaire des huiles et esters d'origine végétale leur confère un excellent pouvoir lubrifiant. Les huiles végétales non transformées conviennent pour les applications à faible température (< 70°C). Les esters végétaux offrent une bonne résistance à l'oxydation, même à des températures plus élevées, et peuvent donc être utilisés comme huiles de base pour fluides hydrauliques ou comme additifs dans les huiles moteur. Les aspects techniques des lubrifiants à base végétale sont repris, par type d'application, dans le chapitre 3.

Les propriétés lubrifiantes intéressantes des huiles et esters végétaux, la longévité supérieure des esters végétaux et d'autres avantages plus difficilement chiffrables (usure moindre des pièces en mouvement,...) ont fait l'objet d'une analyse économique simplifiée présentée au chapitre 4.

En Belgique, le marché des lubrifiants était en 2000 de 175 000 tonnes parmi lesquelles 44 % sont des lubrifiants perdus, non-collectables (huiles de décoffrage, huiles de chaîne de tronçonneuse, fuites des circuits hydrauliques,...). Une partie non négligeable de cette quantité finit probablement dans la nature, notamment dans les eaux de surface.

De par leur taux de dégradation élevé, les lubrifiants d'origine végétale présentent une alternative qui permettrait de réduire l'impact environnemental lié aux pertes de lubrifiants dans le milieu. En outre, les huiles d'origine végétale sont généralement moins inflammables et ne causent pas d'irritations cutanées contrairement à certaines huiles minérales. Les aspects "santé" et "environnement" sont développés au chapitre 5, ainsi qu'une synthèse des écobilans, des écolabels et des législations relatives aux lubrifiants d'origine végétale.

Des propositions d'actions sont faites en fin de rapport. Elles portent notamment sur la nécessité d'encourager la réalisation d'études environnementales et de cycle de vie de ces produits, et de soutenir leur promotion par des mesures d'accompagnement appropriées.

## Introduction

Jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, les huiles et graisses d'origine végétale ou animale étaient la matière première de la majorité des préparations lubrifiantes. Depuis que l'huile minérale a été découverte et commercialisée pour un rapport qualité/prix très compétitif, elle a conquis une part largement majoritaire du marché. L'évolution des exigences techniques et des contraintes environnementales en cette fin de 20<sup>ème</sup> siècle a eu pour conséquence un retour aux huiles et aux esters végétaux comme additifs ou comme bases pour la préparation de lubrifiants "haute performance". Ce retour à des matières premières renouvelables techniquement performantes et biodégradables permet de s'inscrire dans une logique de développement durable.

### *Qu'est-ce qu'un lubrifiant ?*

Un lubrifiant est une matière onctueuse qui a pour but de réduire les frottements entre des pièces en mouvement en vue de faciliter le fonctionnement des machines ou le décoffrage du béton.

Les fonctions essentielles des lubrifiants sont :

- ◆ réduire les pertes d'énergie mécanique des machines;
- ◆ réduire l'usure des organes en frottement;
- ◆ protéger les organes contre la corrosion;
- ◆ diminuer la température de régime des machines;
- ◆ accroître l'étanchéité;
- ◆ évacuer les poussières et impuretés.

### *Quels sont les types de lubrifiants ?*

Dans le cadre de ce travail, les lubrifiants considérés peuvent être présentés en deux grandes familles en fonction de la composition de leur huile de base (hors additifs) :

Les huiles de base d'origine végétale :

- ◆ huile végétale
- ◆ esters d'huile végétale.

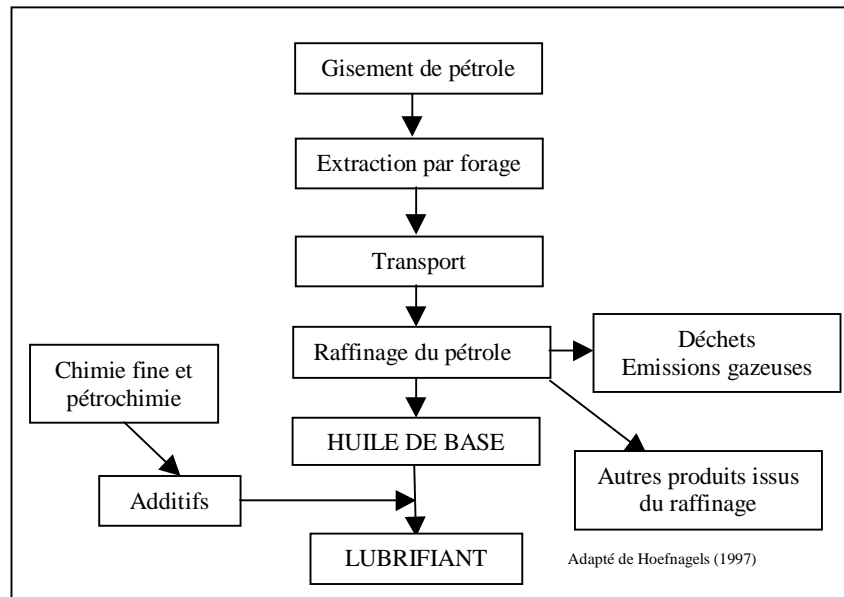
Les huiles de base d'origine pétrochimique :

- ◆ huile minérale
- ◆ esters d'huile minérale (esters synthétiques, mono-esters, di-esters, polyols-esters)
- ◆ polymères (polyalphaoléfines, polyglycols,...).

Des matières grasses animales peuvent également servir de base pour des préparations lubrifiantes. Il existe par ailleurs d'autres types d'huiles de base d'origine pétrochimique : les molécules plus complexes (fluorures, esters d'acide phosphorique,...). Ces molécules ont été développées pour des applications pour lesquelles les exigences tribologiques (qualités lubrifiantes) sont plus élevées. Le processus de production étant plus complexe, leur prix est aussi nettement plus élevé et leur utilisation plus limitée.

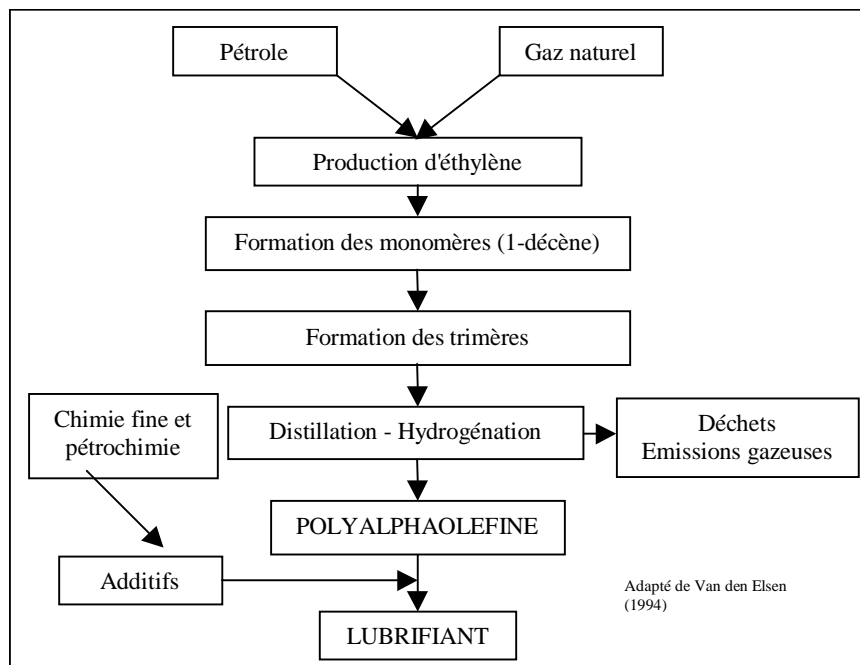
### *Comment produit-on un lubrifiant à base minérale ?*

Dans le cas des lubrifiants à base d'huile minérale, l'huile de base consiste en une des fractions issue du raffinage du pétrole. Le processus de production d'un lubrifiant à base d'huile minérale est schématisé à la [figure 1](#).



**Figure 1 : Schéma de production des lubrifiants à base d'huile minérale.**

Dans le cas des huiles synthétiques (polyalphaoléfines, polyglycols,...), l'huile de base est synthétisée à partir de précurseurs chimiques dérivés du pétrole et du gaz naturel. Pour illustrer la production des lubrifiants à base d'huiles synthétiques, la synthèse du lubrifiant le plus rencontré dans cette classe, les polyalphaoléfines, est schématisée à la [figure 2](#).



**Figure 2 : Schéma de production des lubrifiants à base de polyalphaoléfine.**

Les additifs représentent jusqu'à 10 à 25 % du volume du lubrifiant dans le cas des huiles moteur. Dans le cas des graisses, une part du produit est constitué du « savon » qui donne sa consistance au produit final. Dans les autres applications, les additifs représentent moins de 5 % du volume du lubrifiant. Il s'agit en fait d'un mélange de plusieurs produits issus de la pétrochimie et de la chimie fine (composés de zinc, de soufre, de phosphore,...) dont le but est d'améliorer les qualités du lubrifiant et de garantir certaines prestations techniques (résistance à la corrosion, extrême pression, modification

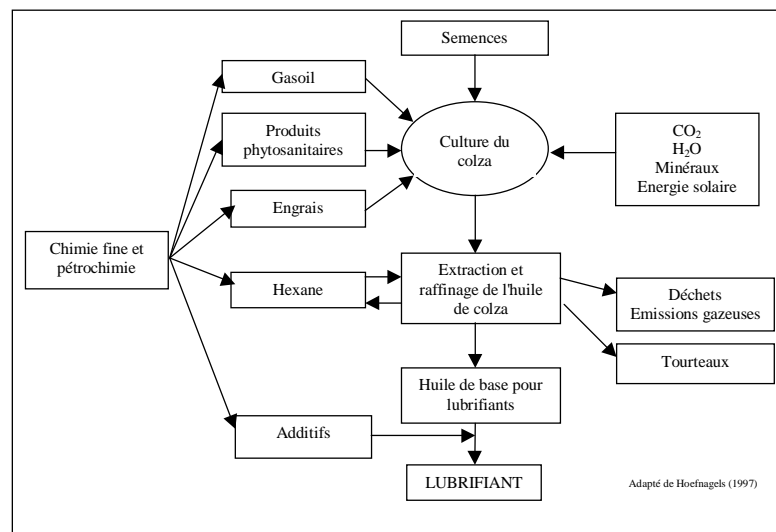
de la viscosité, anti-mousse,...). La composition du *package* d'additifs dépend fortement de la fonction du lubrifiant et des exigences qui y sont liées. Le choix d'une huile de base adaptée et du panel d'additifs adéquats détermine la qualité du produit fini. Étant donné les exigences techniques élevées en lubrification, la tendance est à l'augmentation des performances des additifs utilisés.

### ***Comment produit-on un lubrifiant à base végétale ?***

Contrairement au cas des lubrifiants à base d'huile minérale pour lesquels la production de l'huile de base résulte d'un processus d'exploitation du pétrole, les lubrifiants à base d'huile végétale utilisent les huiles issues de la culture de plantes oléagineuses : huile de colza, de tournesol, de palme, de coprah,... A partir de l'énergie solaire, ces plantes oléagineuses transforment par photosynthèse le CO<sub>2</sub> atmosphérique, l'eau et les éléments minéraux du sol en une huile végétale qualifiée dès lors de renouvelable (puisque le processus de la photosynthèse peut à tout moment produire des plantes, des graines et donc de l'huile, l'énergie solaire étant considérée comme renouvelable).

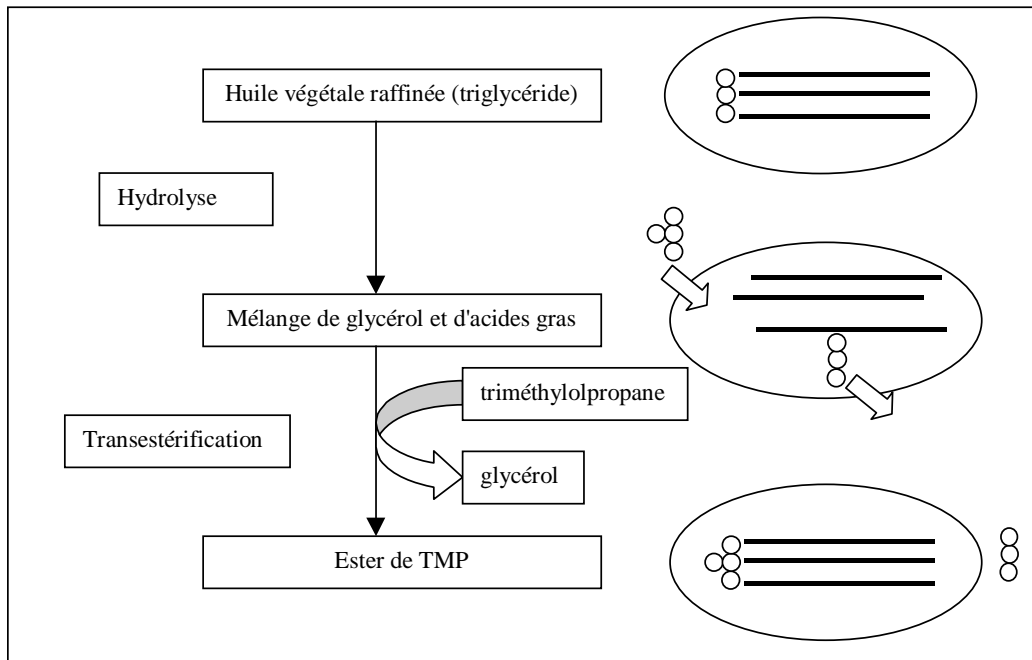
Il s'agit donc d'un processus de transformation plus complexe et faisant appel à diverses matières premières issues, elles aussi, d'une activité humaine (semences, engrais, produits phytosanitaires,...). Les activités en amont de la production (pré-production) de la matière première, les graines oléagineuses, seront donc plus importantes dans ce cas. La trituration des graines et le raffinage de l'huile sont à mettre en relation avec le raffinage du pétrole.

Dans le cas des lubrifiants à base d'huile végétale non transformée, c'est l'huile extraite des graines oléagineuses qui est utilisée. Cette huile, constituée de triglycérides, n'a pas subi de modifications structurales ([figure 3](#)).



**Figure 3 : Schéma de production des lubrifiants à base d'huile végétale (colza).**

Dans le cas des lubrifiants à base d'esters végétaux, les triglycérides ont subi une modification structurale qui leur confère des propriétés plus avantageuses telle qu'une meilleure résistance à l'oxydation. Cette modification consiste en une substitution du glycérol originel par un polyol de synthèse, issu de la pétrochimie tel un pentaerythritol (PE) ou un triméthylolpropane (TMP). Le schéma explicatif de l'estérification est repris à la [figure 4](#).



**Figure 4 : Schéma de la transformation d'un triglycéride (huile végétale) en un ester de triméthylolpropane par transestérification.**

Le recours à des additifs est aussi nécessaire dans le cas des lubrifiants d'origine végétale, et ce dans les mêmes proportions que pour les lubrifiants d'origine pétrochimique. Etant donné les propriétés des huiles végétales, les constituants des additifs sont différents. On retrouve par exemple plus d'additifs anti-oxydants dans ceux-ci. Dans le cas des huiles moteur à base d'huile de tournesol oléique, la quantité d'additifs est aussi plus élevée que pour une huile minérale. Par contre, d'autres additifs sont moins nécessaires.

## Aspects techniques des lubrifiants a base vegetale

Les lubrifiants sont une composante essentielle de nombreuses machines. Ils ont pour fonction de réduire les frottements des pièces en mouvement, de réduire la corrosion des parties métalliques en les préservant du contact de l'air, de contribuer au refroidissement, d'aider à l'étanchéité des joints, de transmettre les pressions, de neutraliser et de disperser les particules en suspension. La durée de vie de l'engin, ses coûts d'entretien et sa consommation en lubrifiant et en carburant dépendent de la qualité du lubrifiant utilisé.

Concernant les aspects mécaniques des lubrifiants à base d'huile végétale, l'Université de Liège, Département d'Éléments de Machines et de Tribologie du Professeur J. Bozet, a réalisé un rapport intitulé "Etude des propriétés lubrifiantes des huiles biodégradables d'origine végétale". Dans cette étude, plusieurs aspects mécaniques avantageux des huiles végétales sont présentés.

Les huiles végétales sont d'excellents agents d'onctuosité, ou encore, de bons lubrifiants limites, c'est-à-dire que leurs propriétés interviennent avantageusement dans les applications où la charge est élevée et la vitesse de glissement faible. Cette propriété est mise en évidence dans les différents essais réalisés et se traduit par une usure réduite des parties métalliques en contact.

L'indice de viscosité des huiles végétales est plus élevé que celui des huiles minérales, ce qui signifie que la viscosité des huiles d'origine végétale est moins fortement dépendante des variations de température. Cet avantage permet d'utiliser une viscosité plus basse pour une large gamme de température, en réduisant ainsi l'usure et la consommation d'énergie. Par exemple, une huile HLP 46 peut être remplacée par un ester HEES 32 au lieu d'un grade HEES 46.

Ce rapport conclut aussi que les huiles végétales conviennent pour toutes les applications où les températures de fonctionnement restent inférieures à 70°C. Le développement d'additifs anti-oxydants et résistants à l'hydrolyse, le recours à des huiles végétales contenant une grande quantité de triglycérides dérivés des acides tels que érucique et oléique, mais surtout l'estérification des huiles végétales permettent d'augmenter la résistance à l'oxydation et à l'hydrolyse. Ces lubrifiants à base d'esters végétaux résistent en effet à des températures de l'ordre de 120°C.

### ***Les huiles de chaîne de tronçonneuse***

Les constructeurs de tronçonneuses n'imposent pas de caractéristiques techniques particulières aux huiles de lubrification de la chaîne. Le produit n'est en effet pas soumis à des contraintes importantes et ne répond pas à des exigences de longévité puisqu'il est éliminé aussitôt après son utilisation. L'utilisateur n'est donc pas tenu d'utiliser une marque ou un type d'huile précis.

Lors du choix de l'huile par le consommateur, l'accent est mis sur le pouvoir filant de l'huile, c'est-à-dire sa capacité à ne pas être éjectée par la force centrifuge de la chaîne en mouvement et à être entraînée sur toute la longueur du guide.

*L'unité fonctionnelle est définie pour cette application comme étant la quantité d'huile utilisée par m<sup>3</sup> de bois produit.*

Les données sur les essais relatifs aux huiles végétales sont principalement issues des fournisseurs d'huile eux-mêmes et de publications de centres de recherche (par exemple au Canada, en France, en Belgique).

### *Articles publicitaires*

Des firmes commercialisant des huiles à base végétale (Husqvarna, Plantoil Ltd, Raisio,...) avancent comme argument en faveur de leur produit, une réduction de 50 % de la consommation d'huile par

rapport aux huiles traditionnelles. La société Stihl qui commercialise des tronçonneuses rapporte une réduction de l'usure du guide de chaîne suite à l'utilisation des huiles à base végétale.

#### *Recherches au Canada*

A l'Institut Canadien de Recherches en Génie Forestier, MAKKONEN (1994) résume les avantages et désavantages des huiles à base végétale. Leurs propriétés lubrifiantes supérieures assurent d'aussi bonnes performances que l'huile minérale habituelle mais avec une réduction de la consommation allant jusqu'à 40 %. Leur utilisation dans des conditions de températures extrêmes ne pose pas de problème jusqu'à -25°C. A des températures élevées et lors d'ensoleillement important (UV), une polymérisation peut se produire sur les surfaces chaudes de la machine, ce qui rend le nettoyage difficile.

Pour les abatteuses-façonneuses, les "graisseurs" de chaîne ont évolué de manière à permettre une baisse de la consommation d'huile allant jusqu'à 80 % grâce à l'utilisation d'huiles à base végétale.

#### *Essais en France*

Durant deux ans (1998 à 2000), des essais menés en exploitation forestière ont comparé des huiles minérales classiques à des huiles de chaîne à base végétale<sup>1</sup>. Quatre marques d'huile de chaîne ont été testées (FINA, IGOL, Tecnol et STIHL) sur douze tronçonneuses réparties en trois équipes de bûcherons. Cette expérience a montré :

- ◆ aucune différence significative sur la consommation d'huile de chaîne liée au lubrifiant;
- ◆ une réduction possible des consommations jusqu'à 30 %, par réglage du débit quel que soit le lubrifiant (huile minérale ou végétale)
- ◆ dans ces conditions de faible consommation, aucune usure prématurée de la chaîne n'est décelée
- ◆ la consommation en huile ne dépend pas de la viscosité ni de la "filance", mais une viscosité trop élevée peut causer un mauvais graissage.

Des mesures de l'état des chaînes au laboratoire ne permettent pas non plus de mettre en évidence une différence de profil d'usure entre chaîne lubrifiée à l'huile de vidange ou à l'huile végétale ? Ces résultats confirment ceux obtenus par Valonal.

#### *Essais Valonal en laboratoire*

Des essais ont été menés en laboratoire<sup>2</sup> en Belgique. Ils n'ont pas pu démontrer une différence de consommation d'huile végétale par rapport à l'huile minérale, tant à débit maximum qu'à débit minimum.

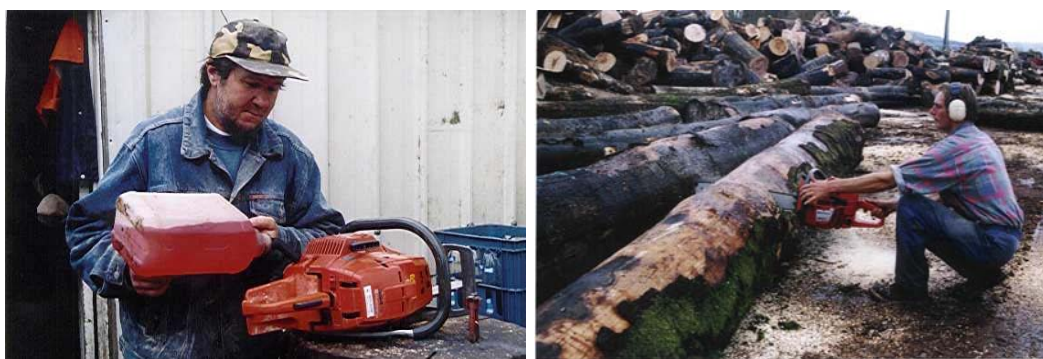
1 DE CARO P., NGUYEN N., 2000. Utilisation de lubrifiants à base végétale en exploitation forestière. Rapport final. Programme Agricole. ENSCT et AFOCEL. 60 pages.

2 BIESWAL M., DEBOUCHE C., VAN BELLE L., Comparaison de l'usage d'huiles d'origine végétale ou minérale pour la lubrification de chaîne de tronçonneuses. *Silva Belgica* **107** n°2. 2000, 18-21.

### Expérimentation de Valonal sur le terrain

Dans cet essai, Valonal a montré que<sup>3</sup> :

- ◆ L'abaissement de la consommation n'est pas réalisable sur le terrain car les bûcherons ne ressentent pas l'utilité de diminuer le débit d'huile ;
- ◆ Les huiles végétales ne présentent pas de problèmes techniques quant à leur utilisation et semblent de mieux en mieux appréciées une fois les réticences estompées (effet « nouveau produit ») ;
- ◆ Les huiles végétales conviennent également pour des abatteuses-ébrancheuses ;
- ◆ Les huiles végétales les moins chères du marché sont satisfaisantes (voire meilleures).



**Photo 1 et Photo 2 : essais d'huiles de chaîne végétale avec les bûcherons découpant les billons au parc à bois du site de Cellardennes en Gaume.**

### Les fluides hydrauliques

Dans le cas des fluides hydrauliques, l'utilisateur choisira un produit répondant aux exigences édictées par le constructeur de la machine. Ces **recommandations** sont exprimées de différentes manières :

- ◆ soit par un ensemble de critères (tests de viscosité, stabilité,...) auxquels le fluide doit satisfaire;
- ◆ soit par une norme de type ISO, DIN,... qui se base sur une série de tests standardisés pour lesquels des niveaux d'exigence sont spécifiés;
- ◆ soit par une norme établie par le constructeur lui-même sur base de tests standardisés pour lesquels des niveaux d'exigence propre au constructeur sont repris. C'est, par exemple, le cas des normes JDM J20 de John Deere pour les huiles de transmission de tracteur ou de la norme BF-1 de Caterpillar pour les fluides hydrauliques biodégradables.

Pour faciliter le choix de l'utilisateur, une série d'huiles qui satisfont aux tests imposés et qui ont été testées par le constructeur sont reprises dans une liste d'huiles compatibles avec la machine (**approbations**). Ce sont aussi les huiles que le constructeur fournit d'origine dans la machine dès le premier remplissage (huiles *first fill*). Etant donné que le coût des essais est à charge du constructeur et que celui-ci préfère garder une uniformité des huiles utilisées, cette liste des *first fills* est limitée à quelques huiles. Certaines sociétés reprennent parmi leurs *first fills* des huiles à base végétale. Le fait de choisir un fluide hydraulique répondant aux approbations du constructeur est nécessaire pour éviter des problèmes de garantie.

<sup>3</sup> DEBOUCHE C. NOVAK M.H. et SONNEVILLE G., 2002 Évaluation d'huiles de chaîne à base végétale, Forêt wallonne n°58, cahier technique n°20 pp 2-5

De son côté, le fournisseur d'huile décrit son huile (**spécifications**) en terme de normes minimales ou par ses principales caractéristiques (viscosité,...). En ce qui concerne les fluides hydrauliques biodégradables, les autorités allemandes (*Verbands Deutscher Maschinen Anlagenbau*) ont fixé une norme technique minimale (VDMA 24-568) pour les huiles végétales, les esters végétaux et les huiles minérales biodégradables. Cette norme reprend des exigences de viscosité, de gonflement des joints, de diminution de l'usure,... Elle sert de référence aux producteurs de lubrifiants à base végétale, mais ses exigences sont cependant inférieures à celles des constructeurs en terme de résistance à l'oxydation notamment. Elle n'est donc pas utilisable directement. Cette norme, complétée par des spécifications environnementales, permet l'obtention de l'écolabel "Ange Bleu".

Etant donné la complexité des recommandations, vérifier l'adéquation d'un fluide hydraulique à une machine donnée nécessite un accompagnement technique du constructeur ou de l'importateur d'une part et du fournisseur d'huile d'autre part. MAKKONEN (1995) donne un aperçu complet des points critiques lors du passage d'un fluide hydraulique à base d'huile minérale à un fluide à base végétale :

- ◆ Les huiles végétales sont plus sensibles à l'oxydation et à la scission hydrolytique que les huiles minérales. La température du réservoir ne devrait pas dépasser 70°C pendant des périodes prolongées. L'utilisation d'esters végétaux permet d'éviter ce type de problèmes puisqu'ils peuvent être utilisés dans des applications à température plus élevée (jusqu'à 120°C).
- ◆ La présence d'eau doit être maintenue à un minimum.
- ◆ Les huiles à base végétale ont une filtrabilité légèrement moins bonne que les huiles minérales.
- ◆ Les huiles à base végétale se désaèrent plus lentement que les huiles minérales. Des réservoirs d'huile trop petits ne laissant pas le temps aux bulles d'air de remonter à la surface peuvent rendre cette caractéristique problématique.
- ◆ Les huiles végétales attaquent et peuvent faire gonfler le caoutchouc naturel, de même que les caoutchoucs butyl et butadiène-styrène. Ce n'est pas le cas de joints plus modernes en nitrile, résine acrylique,... De même, les flexibles peuvent se détériorer lorsque l'huile atteint un niveau d'oxydation trop élevé.

Ces points délicats sont pris en compte par les fournisseurs d'huile qui ajoutent les additifs nécessaires ou se tournent vers des esters végétaux qui offrent une meilleure longévité et une plus grande stabilité à l'oxydation et aux températures élevées.

Par prudence, il faudra être attentif à plusieurs points lors du passage à l'huile végétale. Les principaux sont :

- ◆ l'âge de la machine. En effet une machine ancienne ne sera pas pourvue de joints et de flexibles adaptés aux huiles végétales. De plus, des laques et des sédiments peuvent s'être déposés dans le circuit hydraulique et ils risquent d'être dissous avec la nouvelle huile.
- ◆ Le suivi de l'évolution de la propreté de l'huile, la teneur en eau et en métaux d'usure, la performance et la capacité du filtre.
- ◆ La température de fonctionnement du système : il convient de la mesurer et de connaître le niveau de température au-delà duquel le témoin de surchauffe s'allume.
- ◆ Le reniflard du réservoir d'huile devrait comporter un filtre pour réduire la contamination causée par l'échange d'air (apport de vapeur d'eau qui se condense).
- ◆ La purge complète du système hydraulique en vue d'éviter le mélange d'huiles minérale et végétale. Plusieurs rinçages peuvent être nécessaires.

Ces précautions portent essentiellement sur l'emploi d'huiles végétales. L'utilisation d'esters végétaux dont les performances techniques sont supérieures permet de prévenir certains des problèmes mentionnés ci-dessus.

Dans le cas des tracteurs agricoles, deux précautions devront être prises :

- ◆ Si le fluide hydraulique sert aussi de lubrifiant pour la boîte de transmission et/ou pour un système de freins immergés (John Deere, Ford New Holland, Massey Ferguson, Case,...), il faudra alors s'assurer que le produit conviendra pour ces deux fonctions.
- ◆ Les machines qui seront accouplées au système hydraulique d'un tracteur devront contenir le même fluide hydraulique que celui du tracteur si une incompatibilité est à craindre.

Concrètement, de nombreux essais ont déjà été réalisés dans divers pays. Au Canada, MAKKONEN (1997) décrit un essai d'utilisation d'huile de transmission Bio Hy-Gard (John Deere) pendant 1558 heures dans une abatteuse-groupeuse. En Angleterre, ADAMCZEWSKA (1997) rapporte des essais réalisés avec trois types de tracteurs utilisant des fluides hydrauliques à base d'huile de colza à faible teneur en acide érucique. Il conclut que ce type d'huile répond aux exigences d'un fluide UTTO (Universal Tractor Transmission Oil) et permet d'allonger considérablement les intervalles de vidange (plus de 2665 heures au lieu de 1500 heures).

ValBiom suit actuellement deux tracteurs John Deere équipés d'un fluide UTTO biodégradable à base d'huiles végétales afin de valider ces résultats. (photo 3).



**Photo 3 : Tracteur dont le système de transmission hydraulique fonctionne avec une huile biodégradable à base d'huile végétale, garantie par le constructeur.**

En Allemagne, REMMELE (1998) rapporte l'utilisation d'huile de colza dans 37 machines (tracteurs, camions "unimog", chargeurs sur pneus,...) du *Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* pendant 6 ans. De même, le passage à des lubrifiants à base végétale a aussi été réalisé sur 13 machines par le même Ministère dans le *Lander Brandenburg* (BAGANZ, 1997).

En Belgique, deux cantonnements du Ministère de l'Équipement et des Transports (MET) ont utilisé des esters végétaux dans plusieurs machines (épandeurs de sel, bras de levage, tracteurs,...) pendant 4 ans. Quatre déchiqueteuses de branches livrées par la société MENART au MET, avec un fluide hydraulique biodégradable sont actuellement suivies de près. Le fluide hydraulique biodégradable équipant un tracteur de la DNF à Vielsalm est également suivi depuis plusieurs années par ValBiom. De plus en plus d'entrepreneurs forestiers s'équipent de machines comportant de telles huiles biodégradables, suite à l'opportunité que cela offre pour l'obtention de certains marchés.

Pour les fluides hydrauliques, PESSIK (1996) prend comme unité fonctionnelle la quantité d'huile nécessaire à 2000 heures de fonctionnement d'une pelle hydraulique. Etant donné qu'une huile minérale fait fonction pendant 2000 heures et qu'un ester végétal peut servir jusqu'à 10.000 heures, il considère que l'unité fonctionnelle est inférieure de 5 fois dans le cas de l'ester végétal. Encore faut-il que des fuites accidentelles ne se produisent pas trop souvent.

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ces articles et démonstrations concernant les huiles végétales :

- ◆ Les huiles végétales s'avèrent compatibles avec la plupart des équipements dans lesquels elles ont été testées.
- ◆ L'usure des pièces en mouvement a été suivie dans des tests et s'avère inférieure ou égale à celle observée avec des huiles minérales.
- ◆ Les intervalles de vidange ne peuvent pas être allongés avec les huiles végétales car l'oxydation de celles-ci est un facteur limitant. Avec ces huiles, les températures d'utilisation doivent être inférieures à 70°C.

Les esters à base d'huile végétale sont encore peu utilisés dans les essais repris ci-dessus. Il est cependant reconnu que les esters d'huile végétale sont moins sensibles à l'oxydation. Ils sont donc plus stables à des températures élevées et ont une durée de vie plus longue.

### ***Les lubrifiants moteur***

Dans cette application, le lubrifiant est soumis à des températures élevées. Pour des raisons d'oxydation et de polymérisation des huiles végétales à ces températures, les fournisseurs de lubrifiants ne peuvent pas simplement substituer une huile végétale à une huile de base minérale. Deux types de lubrifiants contenant des huiles d'origine végétale existent :

- ◆ Une première approche, développée en France, consiste à utiliser de l'huile de tournesol à haute teneur en acide oléique à laquelle une quantité importante d'anti-oxydants puissants est ajoutée. Ce type de produit est toujours au stade de développement.
- ◆ L'autre approche consiste à utiliser des esters d'origine végétale dans la formulation de lubrifiants synthétiques.

Les caractéristiques des esters, liées à leur polarité, sont leur pouvoir anti-friction et leur pouvoir dispersant supérieurs à ceux des lubrifiants moteur traditionnels à base d'huile minérale ou synthétique. Des frictions réduites au niveau du moteur ont pour corollaire une diminution de la consommation de carburant (annoncée de 6.4 % par FUCHS avec sa TITAN HYD GT1 formulée avec une huile de base synthétique-renouvelable) et une moindre usure du moteur. Cette propriété est également confirmée par le test Mack T8.

La réduction des métaux d'usure dans l'huile maintient également sa stabilité. Le pouvoir dispersant conduit à une réduction du phénomène d'épaississement de l'huile, causé par les suies dans les moteurs diesel. Cet épaississement réduit permettrait une économie d'énergie complémentaire et un allongement des espacements de vidange.

*Dans le cas des lubrifiants moteur, l'unité fonctionnelle peut être définie comme la quantité de lubrifiant moteur nécessaire à un bus pour rouler 100 000 km. Cette quantité peut être réduite dans le cas d'huile synthétique par rapport aux autres huiles.*

Dans un essai sur 4 bus du TEC 4, ValBiom a comparé deux huiles synthétiques, l'une contenant en partie des esters d'huile végétale et l'autre vendue comme lubrifiant synthétique haute performance. L'huile additivée d'esters végétaux a montré une plus haute teneur en suies et en métaux d'usure et ce dès les premières analyses après 10.000 km. Le bain est resté en place jusqu'à 60 000 km. L'huile synthétique haute performance était encore valable après 20 000 km, durée normale de l'intervalle de vidange pour une huile minérale classique, mais elle n'a pas été poussée plus loin. Pour les deux huiles, on n'a pas noté de modification de la consommation de carburant.

<sup>4</sup> Rapport ValBiom – TEC – ANAC (en cours de rédaction)



*Photo 4 : Vidange d'un bus du TEC : un essai avec une huile moteur additivée d'esters végétaux ne tient pas ses promesses.*

## ***Les graisses***

Les graisses sont composées de l'huile de base, d'un savon (qui lui donne la consistance) et d'additifs. D'un point de vue technique, le passage à des huiles d'origine végétale ne pose pas de problème majeur. De par leur propriété "haute-pression", ces produits conviennent bien pour cette utilisation. Leur polarité, et donc leur affinité pour le métal, contribuent à une meilleure adhésion du produit sur les surfaces à lubrifier. Des applications moins fréquentes peuvent donc être recommandées dans certains cas. Komatsu, un constructeur de machines de génie civil, recommande des fréquences de graissage 5 fois moindre lors de l'utilisation de certaines graisses d'origine végétale.

L'unité fonctionnelle est définie par PESSIK (1996) comme la quantité de graisse utilisée par an pour le tube d'étambot d'un bateau de plaisance. PESSIK considère toutefois que cette quantité est équivalente dans le cas des graisses végétales et minérales. La littérature concernant les graisses est peu étoffée.

En Belgique, des graisses à base d'huiles végétales ont donné satisfaction aux gestionnaires de plusieurs installations :

- ◆ tube d'étambot de la péniche-école *Libertas* (consommation environ 20 kg par an (un bâtiment marchand du même type consomme davantage de graisse) ([photo 5](#)))
- ◆ systèmes mécaniques de manœuvre des portes d'écluse de Ath ([photo 6](#)).
- ◆ câbles reliant bacs et contrepoids au plan incliné de Ronquière ([photo 7](#))
- ◆ galets du plan incliné de Ronquière ([photo 8](#))
- ◆ portes de l'écluse de Molenbeek.



**Photo 5 : la péniche *Libertas***



**Photo 6 : une des écluses de la Dendre près de Ath**



**Photo 7 : câbles du plan incliné de Ronquière**



**Photo 8 : galets du plan incliné de Ronquière**

---

## ***Les huiles de décoffrage***

---

En pratique, aucune norme n'est d'application lors du choix d'une huile de décoffrage. Le choix de ce produit est généralement laissé à l'appréciation du conducteur de chantier pour qui la plupart des corps gras peuvent convenir. Certaines exigences techniques sont cependant prises en compte : la protection des moules métalliques contre la corrosion, la résistance au lessivage par la pluie, la résistance aux températures élevées dans le cas d'un processus à chaud et surtout l'absence de taches sur le béton principalement lorsque celui-ci sera apparent. Dans ce cas, l'utilisateur choisit une ou plusieurs huiles suite à une série d'essais.

Pour les chantiers importants, le cahier des charges stipule qu'un dossier devra être remis concernant l'huile de décoffrage, l'approbation de cette dernière étant laissée à l'appréciation du maître d'œuvre. Il faut remarquer que, dans la construction de certaines stations d'épuration, l'utilisation d'un film régulateur de l'eau appliqué à l'intérieur du coffrage permet de faire l'économie d'une huile de décoffrage.

*L'unité fonctionnelle dans le cas des huiles de décoffrage est la quantité d'huile nécessaire à couvrir un mètre carré de coffrage. Cette quantité peut être réduite d'un facteur 2 au moins avec les huiles végétales et de 3 à 6 lorsqu'elles sont utilisées en émulsion* (HOEFNAGELS, 1997).

Peu de résultats d'essais sont publiés dans la littérature, mais une réduction de l'ordre du tiers de la dose utilisée avec les huiles minérales est avancée par les sociétés commercialisant ces produits. En Hollande, un cas d'utilisation chez un fabricant d'articles en fibrociment rapporte une diminution de 90 % de la quantité d'huile utilisée par unité de surface. En Allemagne, une société de construction de tuiles (Braas GmbH) a réduit de 50 % la quantité d'huile utilisée par unité de surface. En France, sous l'impulsion de AGRICE (AGRIculture pour la Chimie et l'Energie), plusieurs entrepreneurs de la région de Toulouse ont testé ces produits. La moitié de ces sociétés sont passées de la phase expérimentale à la phase d'achat des produits de décoffrage d'origine végétale.

En Belgique, plusieurs sociétés de génie civil et usines de démoulage de pièces en béton ont déjà choisi les huiles d'origine végétale pour la qualité du démoulage et le fini du béton. En Europe, le projet SUMOVERA a proposé à plusieurs sociétés européennes d'utiliser des agents de décoffrage d'origine végétale. Les résultats en terme de qualité du béton obtenu étaient satisfaisants.

## **Conclusions**

D'après les données de la littérature et les démonstrations mises en place dans notre Région, les hypothèses suivantes peuvent être énoncées :

Le passage à des lubrifiants de chaîne de tronçonneuse à base végétale ne semble pas poser de problème technique.

Pour les applications comme les fluides hydrauliques, les avantages sont une moindre usure des éléments de la pompe et un allongement des intervalles de vidange dans le cas des esters végétaux. Certains critères techniques peuvent cependant limiter le champ d'application des huiles végétales. Le recours à des esters végétaux permet d'éviter la problématique de l'oxydation et de l'hydrolyse jusqu'à des températures de l'ordre de 120°C. Le principal obstacle sur le plan technique est la multiplicité des exigences existantes pour un fluide hydraulique. Il est donc souvent difficile pour l'utilisateur de prévoir si un lubrifiant à base d'huile végétale conviendra à sa machine si bien que le remplissage d'origine (*first fill*) est vivement conseillé. Pour des équipements fixes de grande taille, le passage d'un fluide classique à un fluide de type différent n'est recommandé qu'à l'occasion d'une opération de maintenance ou d'un remplacement.

Pour les lubrifiants moteur, le recours à des esters végétaux permettrait de réduire les frictions et l'épaississement de l'huile. Néanmoins, dans l'essai mené en Belgique avec le TEC, cela n'a pu être confirmé. Des produits nouvellement arrivés sur le marché mériteraient toutefois d'être testés.

Les graisses végétales peuvent être utilisées dans la plupart des applications mais les spécifications de l'huile doivent correspondre aux exigences de l'application.

Sur le plan des huiles de décoffrage, les huiles et esters d'origine végétale permettent d'importantes réductions des quantités de produit utilisées et donnent parfois un résultat supérieur en terme de qualité du fini du béton.

Les huiles végétales non transformées conviennent donc bien pour la plupart des applications de lubrification perdue, pour lesquelles l'huile fait fonction pendant un temps restreint et sans augmentation de la température (huile de chaîne, certaines graisses, certaines huiles de décoffrage).

Les esters végétaux peuvent remplacer les huiles minérales comme huile de base pour fluides hydrauliques jusqu'à des températures de 120°C. Les esters d'acides gras sont également utilisés dans la formulation d'huiles moteur « biodégradables ».

## Aspects économiques des lubrifiants à base végétale.

### ASPECTS MICRO-ECONOMIQUES

Pour l'utilisateur de lubrifiants, il est important de reprendre les éléments entrant en ligne de compte dans le calcul du coût du lubrifiant. L'intérêt premier de l'utilisateur est en effet de savoir ce qu'un produit de substitution aux lubrifiants d'origine minérale lui coûte et lui rapporte. Deux éléments par type d'application ont donc été repris :

- ◆ une comparaison des prix des lubrifiants à base végétale et minérale;
- ◆ un inventaire des bénéfices liés à l'utilisation de lubrifiants à base végétale.

Les prix qui sont repris ici sont donnés à titre indicatif étant donné les écarts relevés entre marques commerciales. Ces prix sont donnés par litre de produit en conditionnement important. La quantité prise en compte pour établir le prix de vente est reprise pour chaque type d'application.

#### *Les huiles de chaîne de tronçonneuse*

Dans le cas des huiles de chaîne de tronçonneuse, le produit de substitution à l'huile de base d'origine minérale (huile neuve, huile recyclée ou huile de vidange) est une huile végétale. Les bénéfices liés à l'utilisation d'huile végétale sont les suivants :

- ◆ pouvoir répondre à certains appels d'offre spécifiant l'utilisation d'huiles de chaînes biodégradables et non toxiques ;
- ◆ répondre éventuellement à certaines exigences dans des démarches de management environnemental (ISO 14 001 par exemple).

Le prix apparaît comme le frein le plus important à l'utilisation d'huile de chaîne par les bûcherons. L'analyse (fin 2001) de 11 offres de prix reçues montre notamment ([figure 5](#), sur lequel la fourchette de prix est représentée par le trait vertical noir)<sup>5</sup>:

- ◆ Que les huiles végétales sont en moyenne entre 23 et 30 % plus chères que les huiles minérales (de 0,5 à 0,6 Euro/litre hors TVA) ;
- ◆ Qu'il est possible de trouver en Belgique de l'huile de chaîne végétale à partir de 1,31 euro/litre hors TVA.

<sup>5</sup> DEBOUCHE C. NOVAK M.H. et SONNEVILLE G., 2002 Évaluation d'huiles de chaîne à base végétale, Forêt wallonne n°58, cahier technique n°20 pp 2-5

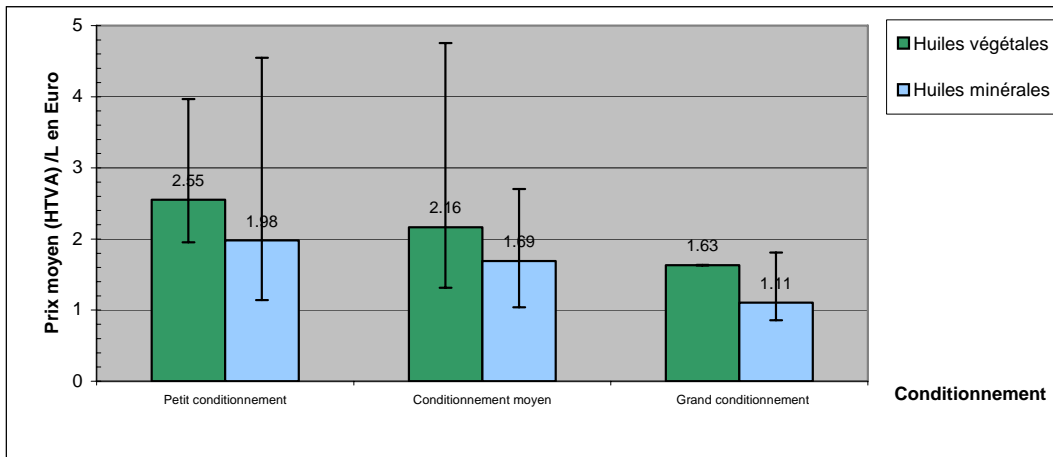


Figure 5 : Prix moyen HTVA/litre en Euro pour une commande de 208 litres.

Les prix cités dans le tableau ci-dessous correspondent à une commande de 208 litres par mois d'huile de chaîne de tronçonneuse. Pour 1 000 m<sup>3</sup> de bois scié, la quantité d'huile minérale nécessaire à la lubrification de la chaîne est de 56 litres. Un exploitant forestier moyen utilise 3 litres d'huile de chaîne par jour (21 tonnes de bois coupé), soit 780 litres par an.

Selon le prix auquel il se fournit en huile minérale et en huile végétale, il verra son budget huile évoluer entre :

- ◆ une augmentation de 480 % (2 964 €/an)
- ◆ et une réduction de 215 % (1 170 €/an) !

Tableau 1: Données économiques relatives aux huiles de chaîne de tronçonneuse.

Type de lubrifiant	Prix €/litre	Rapport de prix
Base minérale	1.0 – 2.8	1 – 2.8
Base végétale	1.3 – 4.8	1.3 – 4.8

### Les fluides hydrauliques

Deux types de fluides hydrauliques d'origine végétale sont envisageables : les huiles végétales pour les applications moins exigeantes, à des températures inférieures à 70°C, et les esters végétaux pour les applications plus exigeantes en terme de résistance à la température et de longévité de l'huile.

Les bénéfices liés à l'utilisation de lubrifiants d'origine végétale sont les suivants :

- ◆ un éventuel allongement des intervalles de vidange qui permet de compenser le prix d'achat initial. L'intervalle de vidange peut atteindre :
  - ⌚ 2 000 heures en base huile minérale;
  - ⌚ 2 000 heures en base huile végétale;
  - ⌚ 6 000 heures en base esters insaturés d'origine végétale;
  - ⌚ 10 000 heures en base esters saturés d'origine végétale ou pétrochimique;
- ◆ des vidanges moins fréquentes permettent de réduire l'immobilisation de la machine et les frais d'entretien;

- ◆ pouvoir répondre à certains appels d'offre spécifiant l'utilisation d'huiles hydrauliques biodégradables et non toxiques ;
- ◆ répondre éventuellement à certaines exigences dans des démarches de management environnemental (ISO 14 001 par exemple).
- ◆ en cas de fuite sur un site sensible, les frais de traitement de la terre contaminée peuvent être évités ou réduits.

Les prix cités dans le tableau ci-dessous correspondent à une commande de 2 000 litres par mois de fluide hydraulique. Le coût par unité fonctionnelle (UF) est calculé pour une unité fonctionnelle définie comme étant la quantité d'huile nécessaire au fonctionnement du système hydraulique d'une grue pendant 2 000 heures. Dans ce tableau, le coût par UF a été calculé pour une grue dont le réservoir est de 500 litres.

*Tableau 2: Données économiques relatives aux fluides hydrauliques.*

Type de lubrifiant	Prix (€/litre)	Rapport de prix	Intervalle de vidange (h)	Coût par UF (€)	Rapport de coût par UF
Base huile minérale	0.75 – 1.5	1 - 2	2 000	375 - 750	1 - 2
Base huile végétale	1.5 – 2.25	2 - 3	2 000	750 - 1125	2 - 3
Base esters végétaux insaturés	2.25 - 3	3 - 4	6 000	375 - 500	1 - 1,3
Base esters végétaux saturés	3	4	10 000	300	0,8
Base esters pétrochimiques saturés	3.5	4,7	10 000	350	0,9

Conclusions :

- ◆ Le bilan économique du passage d'une base huile minérale à une base huile végétale est donc négatif pour l'utilisateur.
- ◆ Le recours à des fluides hydrauliques sur base d'esters d'origine végétale est économiquement justifié si l'utilisateur effectue la vidange de son système hydraulique au moment opportun. Un suivi analytique peut s'avérer utile pour optimiser l'intervalle de vidange.
- ◆ Les fluides hydrauliques à base d'esters végétaux sont compétitifs vis-à-vis des esters pétrochimiques.

#### *Les lubrifiants moteur*

Les huiles moteur sont majoritairement élaborées à base d'huile minérale. Les huiles synthétiques, contenant des esters (végétaux ou non) comme additifs ou comme bases, sont peu répandues. Il est donc difficile de définir le prix et les caractéristiques techniques de ces produits.

Les huiles moteur synthétiques « biodégradables » à base d'esters d'huile végétale, doivent être comparés aux lubrifiants synthétiques de haute performance.

Les bénéfices liés à l'utilisation de cette huile moteur haute performance, annoncés par les fabricants sont les suivants :

- ◆ l'usure du moteur est réduite et sa durée de vie peut être allongée.
- ◆ La réduction de l'usure entraîne un moindre encrassement de l'huile par des particules métalliques, l'espacement des vidanges peut donc être allongé. De ce fait, les interventions d'entretien du véhicule nécessitant son immobilisation sont moins fréquentes.
- ◆ Des frictions réduites au niveau du moteur ont pour corollaire une moindre consommation de carburant.

La société De Lijn a observé une réduction de consommation de 2,1 % pour une huile contenant des esters végétaux par rapport à une huile minérale. FUCHS annonce 6.4 % de réduction de la consommation avec son huile biodégradable FUCHS TITAN HYD GT1.

Dans les essais menés au TEC, les huiles synthétiques testées n'ont pas montré de différence de consommation en carburant.

Les huiles synthétiques (contenant des esters végétaux ou non) ne sont actuellement pas compétitives par rapport aux huiles minérales conventionnelles si on ne prend en compte que le prix d'achat. L'impact de la différence de qualité des produits est cependant difficile à appréhender sur le comportement du moteur à long terme. La possible réduction de consommation de carburant doit être vérifiée selon le produit et le cas échéant être prise en compte dans ce bilan économique.

#### *Les graisses*

Étant donné la meilleure adhésion des graisses végétales sur les parties métalliques, la fréquence de graissage peut, dans certains cas, être réduite de 2 à 5 fois avec pour conséquence un gain de temps et de consommation et donc une réduction de coût pour l'opérateur.

Les prix cités dans le tableau 3 correspondent à une commande de 24 cartouches de graissage par mois. Le rapport de coût par unité fonctionnelle est donné pour une réduction de moitié de la fréquence de graissage.

**Tableau 3 : Données économiques relatives aux graisses.**

Type de lubrifiant	Prix (€/cartouche)	Rapport de prix	Fréquence de graissage	Rapport de coût par UF
Base minérale	1.25 – 2.25	1 – 1.8	1	1 – 1.8
Base végétale	2.25 – 2.75	1.8 – 2.2	0,5	0.9 – 1.1

Ce rapport de coût en faveur des huiles végétales n'est bien sûr obtenu qu'avec un changement des habitudes de graissage de l'opérateur de la machine ou un réglage du graisseur automatique.

Dans certaines applications de graissage surtout en lubrification perdue (étambot, galets de Ronquière, écluses de Ath) il n'est pas possible de réduire la fréquence ni la quantité de graisse appliquée (habitudes, réglages du système, ...), si bien que le surcoût de la graisse se répercute directement sur le coût global.

#### *Les huiles de décoffrage*

Dans le cas des huiles de décoffrage, l'huile de base du produit de substitution aux huiles de décoffrage d'origine minérale est soit une huile végétale, soit un ester d'huile végétale.

Les bénéfices liés à l'utilisation d'huile végétale sont les suivants :

- ◆ La réduction des quantités à appliquer peut être importante : d'un facteur 2 au moins (HOEFNAGELS, 1997) mais, dans certains cas, jusqu'à 10 fois moins (Eternit - Hollande).
- ◆ Du fait de la meilleure adhésion des huiles végétales aux moules métalliques, la corrosion de ceux-ci est réduite.
- ◆ La réduction des quantités utilisées et la moindre toxicité du produit permettent d'éviter des nuisances pour le personnel (dermatose, irritations des voies respiratoires,...) et l'absentéisme.
- ◆ Ces produits sont moins inflammables, il y a donc une diminution du risque d'incendie et la possibilité éventuelle de réviser les primes d'assurance.
- ◆ Pouvoir répondre à certains appels d'offre spécifiant l'utilisation d'huiles de démoulage biodégradables et non toxiques ;
- ◆ Répondre éventuellement à certaines exigences dans des démarches de management environnemental (ISO 14 001 par exemple).

Les prix cités dans le tableau 4 correspondent à une commande de 1000 litres par mois d'huile de décoffrage. L'unité fonctionnelle est définie comme étant la quantité d'huile nécessaire à couvrir 1 m<sup>2</sup> de coffrage. Le coût par unité fonctionnelle de l'huile végétale est donné pour une réduction d'au maximum la moitié de la quantité d'huile de décoffrage appliquée, soit un passage de 40 à 20 g/m<sup>2</sup>.

**Tableau 4 : Données économiques relatives aux huiles de décoffrage.**

Type de lubrifiant	Prix €/litre	Rapport de prix	Quantité relative par UF	Coût par UF (1000 €)
Base minérale	0.5 – 1.25	1 – 2.5	1	25 - 156
Base huile végétale	1.25	1 – 2.5	0,5 - 1	12.5 –62.5
Base esters végétaux	1.75	1.4 - 3.5	0,1 - 0,8	3.5 -70

Mais d'après une récente étude économique<sup>6</sup>, une contrainte majeure est le coût de transfert élevé qui caractérise le passage d'huile éprouvée à un nouveau produit.

#### *Conclusions*

Pour les utilisateurs, le principal obstacle du passage des huiles traditionnelles (minérales) aux huiles à base végétale et d'esters est le prix au litre supérieur de ces nouveaux produits.

Dans le cas des huiles de décoffrage et des graisses, ce handicap est parfois compensé par une moindre consommation de produit si la réduction de consommation est possible. L'allongement de l'intervalle de vidange pour les fluides hydrauliques à base d'esters végétaux permet une réduction du coût d'utilisation par rapport aux bases minérales. L'utilisation d'huile de chaîne de tronçonneuse d'origine végétale peut se faire à coût égal dans certains cas, mais exigera le plus souvent un budget supplémentaire.

Les lubrifiants moteur synthétiques, d'origine végétale ou non, sont plus coûteux au kilomètre que les lubrifiants classiques. Il faut cependant vérifier si des réductions de consommation de carburant sont réellement possibles avec d'autres produits que ceux testés jusqu'à présent.

<sup>6</sup> LEDROIT, P., 2002 **Étude de marché des produits de décoffrage à base végétale en Belgique**. In Minutes de la Journée de conférences "L'Agriculture, productrice de matières premières renouvelables" du 30 mai 2002, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.

Les huiles d'origine végétale ont en outre des impacts bénéfiques mais difficilement chiffrables pour l'utilisateur : moindres frais de maintenance si les vidanges sont plus espacées, réduction du volume d'huiles usagées, diminution des risques pour la santé et la sécurité, prévention des pollutions,...

## **ASPECTS MACRO-ECONOMIQUES**

Un plus grand recours à des lubrifiants à base végétale montre aussi des impacts macro-économiques. En effet, ces produits résultent d'une activité de production locale avec des activités en amont et en aval de l'agriculture. L'utilisation de matières premières produites et transformées dans nos régions présente un bénéfice socio-économique non négligeable tant au niveau rural que pour les entreprises.

En Europe, le marché des lubrifiants, toutes applications confondues, était en 1997 de 4 958 000 tonnes. Les lubrifiants d'origine végétale représentent moins de 2 % de ce volume, les taux d'utilisation de lubrifiants d'origine végétale de l'Allemagne, l'Autriche et la Suède étant supérieurs à la moyenne européenne. On estime que de ce marché total, au moins 20 % des lubrifiants d'origine pétrochimiques pourraient être remplacés par des lubrifiants d'origine végétale. Cela nécessiterait une production d'huile végétale représentant 20 % de la superficie des cultures oléagineuses cultivées en Europe.

En Belgique, le marché des lubrifiants est de 175 000 tonnes. Actuellement, ce marché est conquis, pour une très forte majorité, par les lubrifiants d'origine pétrochimique. De ce marché 25 000 tonnes sont utilisées dans des applications pour lesquelles des lubrifiants à base végétale peuvent convenir (tableau 5). La quantité de lubrifiants d'origine végétale nécessaire à la substitution de ces lubrifiants pétrochimiques est de 8 500 tonnes. Ce qui signifie un marché d'environ 16 millions d'euros en valeur de produit fini.

La filière de production des produits à base d'huile de colza présente l'avantage de pouvoir être mise sur pied en Belgique depuis le stade de la production jusqu'à celui de la transformation finale. La superficie agricole nécessaire à cette filière est de 5000 hectares, à comparer à la superficie de colza sur jachère agro-industrielle emblavée en Belgique ces dernières années, soit 3000 hectares environ. Pour des raisons agronomiques, plus de 90 % du colza belge est cultivé en Wallonie. Les principales régions de production sont le Condroz et la Famenne où la culture du colza représente une diversification intéressante comme tête de rotation. Cette filière représente un chiffre d'affaire potentiel de 2.6 millions d'euros pour l'agriculture à comparer à un chiffre d'affaire total pour les activités agricoles en Région wallonne de 1.5 milliards d'euros.

Développer et structurer cette filière des lubrifiants à base végétale représente donc une opportunité réaliste pour l'agriculture mais aussi pour les activités de transformation en aval.

**Tableau 5 : Liste des principales applications en lubrification perdue et potentiel de substitution des huiles minérales par des huiles végétales en Belgique.**

	Quantité P (tonnes)	Substituable (%)	Réduction (facteur)	Quantité V (tonnes)	Colza (ha)
Huile de chaîne de tronçonneuse	1 050	100	0,60	630	450
Huile de circuits hydrauliques	17 000	75	0,33	4 208	3 006
Huile de moteur 4-temps (*)	86 000	8	0,22	1 500	0
Graisse	2 875	80	0,50	1 150	821
Huile de décoffrage	2 000	100	0,50	1 000	714
Autres applications	71 000	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>180 000</b>			<b>8 488</b>	<b>4 991</b>

- Quantité P (tonnes) : quantité de lubrifiants pétrochimiques actuellement utilisés dans les différentes applications
  - Substituable (%) : pourcentage d'huile pétrochimique substituable par une huile d'origine végétale
  - Réduction (facteur) : facteur de réduction des quantités utilisées lors du passage à un lubrifiant d'origine végétale
  - Quantité V (tonnes): quantité de lubrifiant d'origine végétale potentiellement utilisable
  - Colza (ha) : superficie de culture de colza nécessaire à la production des lubrifiants d'origine végétale.
- (\*) Les esters végétaux utilisés dans les huiles de moteur 4 temps sont souvent issus d'huiles exotiques (ricin, coco,...) car leur résistance à l'oxydation à de hautes températures est supérieure à celle des huiles de colza qui ne conviennent actuellement pas à ce type d'application. C'est la raison pour laquelle le potentiel de substitution des huiles moteur n'a pas été retenu pour le développement des superficies de colza. Néanmoins, certains types de colza génétiquement modifiés pourraient convenir dès lors que ce type de culture serait accepté en Europe.

## Aspects environnementaux des lubrifiants a base vegetale

En Europe, le marché total des lubrifiants était en 1997 de 4 958 000 tonnes. Ce marché est relativement stable, car l'augmentation du nombre de machines est compensée par la diminution générale des consommations suite à une meilleure performance des systèmes lubrifiés. On estime que la quantité d'huile qui pourrait être collectée est de 2 600 000 tonnes (53% du total). De ces 2 600 000 tonnes, 57% ont été collectés, soit environ 1 500 000 tonnes (30% du total). De cette quantité récoltée, 33% sont raffinés en vue d'être réutilisés, 33% sont utilisés comme combustibles en cimenteries ou dans des incinérateurs de déchets ménagers, 33% sont brûlés après avoir subi un premier traitement.

Le marché belge des lubrifiants était en 2000 de 175 000 tonnes.. De cette quantité:

- ◆ 43 % sont « collectables » (34 % sont effectivement récupérés),
- ◆ 13 % sont des huiles de procédé ou sont éliminées par combustion,
- ◆ 44 % sont des lubrifiants perdus (huiles de décoffrage, huiles de chaîne de tronçonneuse, fuites des circuits hydrauliques,...). Une partie non négligeable de cette quantité finit probablement dans la nature, notamment dans les eaux de surface.

Ce qui justifie amplement l'intérêt porté aux lubrifiants « éco-compatibles », soit des lubrifiants qui présentent :

- ◆ une teneur élevée en ressources renouvelables et/ou leurs dérivés ;
- ◆ des additifs peu nocifs ;
- ◆ une faible volatilité ;
- ◆ aucune substance dangereuse (absence de R-phrases<sup>7</sup> selon la Directive 92/32/CEE) ;
- ◆ une biodégradabilité élevée ;
- ◆ une faible éco-toxicité ;
- ◆ une absence de risque pour la santé humaine (absence d'irritation cutanée).

### La biodégradabilité

La biodégradabilité est la faculté que présente une substance à se dégrader par décomposition biologique sous l'action de micro-organismes. En Europe, les deux méthodes les plus utilisées pour mesurer la biodégradabilité d'une huile sont la méthode CEC qui permet de mesurer la *biodégradabilité primaire*, et la méthode OCDE qui mesure la *biodégradabilité ultime*. La biodégradabilité primaire est la mesure la plus pratiquée, car moins coûteuse à mettre en œuvre. Cependant, la méthode CEC ne prend en compte ni les fractions hydrosolubles du lubrifiant, ni le niveau de biodégradabilité des métabolites (substances résultant du processus de dégradation). En général cependant, la corrélation entre les résultats de ces deux méthodes est bonne, la méthode OCDE livrant des résultats légèrement inférieurs.

L'Université de Liège a inclus dans son étude (KABUYA, 1995) des mesures de biodégradabilité de divers lubrifiants. Le test CEC, qui consiste à placer le lubrifiant dans une solution d'eau, de sels nutritifs et de bactéries pendant 21 jours à 25°C, et à évaluer la quantité d'huile restant au bout de ce laps de temps, a été employé. Le graphique suivant ([figure 6](#)) met en évidence le fort potentiel de dégradation des huiles végétales et des esters d'huile végétale. La différence majeure entre ces

<sup>7</sup> La Directive 92/32/CEE définit pour la manipulation des substances "dangereuses pour l'environnement" une classification en "phrases de Risques et de Sécurité" notées "R-" ou "S-", le chiffre qui suit indiquant une phrase répertoriée. Depuis 1996, cette directive s'applique aux produits pétroliers y compris les lubrifiants minéraux. De plus, les substances classées comme (très) toxiques pour l'environnement doivent être étiquetées avec un « N » et le pictogramme « poisson mort, arbre mort ».

derniers est la vitesse à laquelle ils se sont dégradés. En effet, seuls trois jours ont suffi pour que les huiles végétales se dégradent à 90 %.

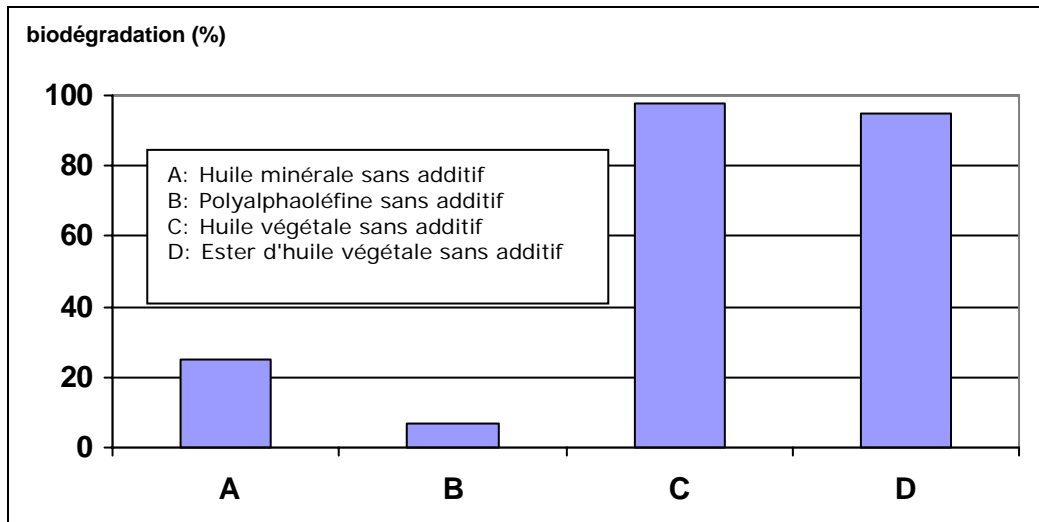


Figure 6 : Biodégradabilité de différentes huiles dans l'eau selon le test CEC L33-T-82 (21 jours).

L'évolution du pourcentage de dégradation de l'huile a été mesurée pour un ester et une huile minérale (JAHAN, 1997) (figure 7). La phase finale du processus de biodégradation étant asymptotique, on constate que le temps nécessaire à la disparition du produit est très long. L'impact négatif sur l'environnement reste présent et est cumulatif.

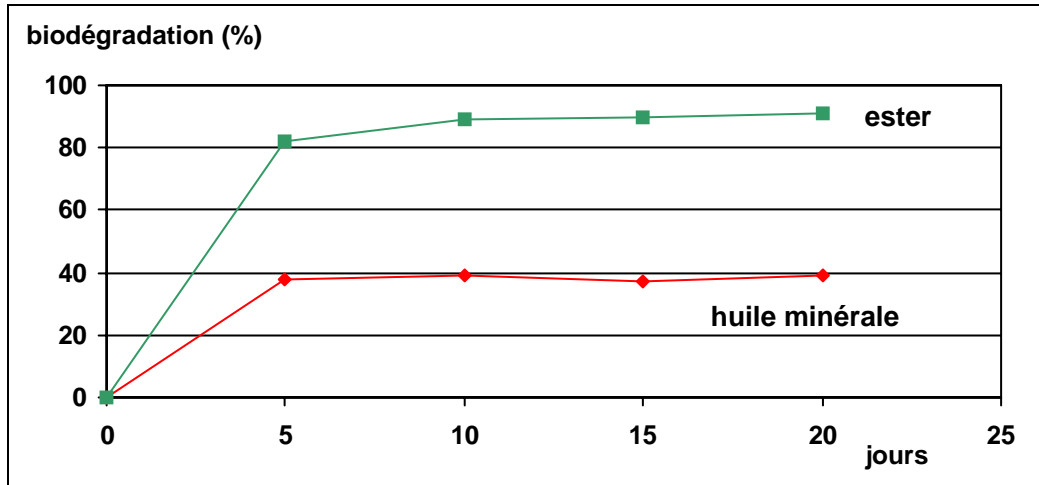


Figure 7 Evolution de la dégradation des fluides hydrauliques au cours du temps (test CEC L33-T-82). Source: Convention RW 2174 "Étude des propriétés lubrifiantes des huiles biodégradables d'origine végétale", rapports d'activité 02/96 et 11/97, présentés par le laboratoire de tribologie EMT/U.Lg »

En matière d'huiles moteur, le paramètre de la biodégradabilité ne doit pas faire oublier que les huiles usagées sont des déchets toxiques, astreints à un devoir de collecte et de retraitement par des organismes agréés. Il faut cependant noter que les huiles synthétiques incluant 20 % d'esters végétaux ont une biodégradabilité de l'ordre de 60 % par rapport à 40 % pour les bases minérales ou synthétiques. La biodégradabilité de l'huile neuve FUCHS TITAN HYD GT1, formulée à base d'ester est supérieure à 80 % selon le test CEC L-33A-93.

## **La toxicité**

Les lubrifiants dérivant de la pétrochimie présentent des risques pour les écosystèmes, la qualité de l'eau potable, la qualité des aliments et la santé des personnes travaillant régulièrement en présence de ces produits. Cela est dû à la présence de chaînes d'hydrocarbures ramifiées et/ou cycliques (dérivés aromatiques) difficilement attaquables par les microorganismes et souvent même toxiques lorsqu'ils sont accompagnés de métaux lourds, de dérivés chlorés ou nitrés (Chimie Végétale, 1995).

Selon l'INASEP, « le déversement d'hydrocarbures est une grave menace pour les eaux douces et pour l'environnement marin car un grand nombre d'organismes vivants, liés par une chaîne alimentaire complexe, sont endommagés. (...) Tandis que beaucoup d'animaux et de plantes peuvent être gravement atteints ou détruits très tôt après le contact avec le déversement d'hydrocarbures, d'autres effets sont plus pernicioseux et persistent souvent longtemps. (...) Les modifications, moins visibles, de la tension superficielle de l'eau et la formation de films en surface limitant les échanges avec l'atmosphère sont aussi très dommageables.

Lorsqu'un réseau d'assainissement pourvu d'une station d'épuration reçoit un rejet d'hydrocarbures, celui-ci non seulement ne sera pas épuré par la station d'épuration (au mieux, il peut être intercepté physiquement s'il est peu important) mais l'huile minérale ou le mazout risque bien de perturber le fonctionnement des processus biologiques de la station. A moyen terme, celle-ci verra sa performance diminuée et la conséquence en sera une pollution organique supplémentaire. (...) En l'absence d'accident " notoire ", ils [les rejets de produits chimiques et d'hydrocarbures] contribuent à la pollution diffuse des eaux lorsqu'ils se produisent "à bas bruit"».

Faisant suite à l'A.R. du 28.3.1969 paru au M.B. du 04.04.1969, les maladies professionnelles provoquées par des agents chimiques comme les hydrocarbures aliphatiques ou alicycliques, constituants de l'éther de pétrole et de l'essence, ainsi que leurs dérivés halogénés sont reconnus par le Fonds des Maladies Professionnelles depuis le 01 juillet 1969. Il en est de même pour les maladies professionnelles de la peau (affections cutanées et cancers cutanés) dues aux huiles minérales. Les secteurs les plus concernés sont les industries de décoffrage, de démoulage, métallurgiques avec le travail des métaux et tous les secteurs où interviennent la pulvérisation d'huile minérale.

L'évaluation toxicologique d'une substance se réalise en testant le comportement d'espèces « standard » en présence d'une concentration donnée de substance. Les espèces généralement utilisées pour évaluer les lubrifiants sont les bactéries, les poissons, les algues et les daphnies. Dans la proposition de label européen, des essais sur plantes sont également préconisés. Les analyses les plus couramment effectuées respectent des normes OCDE et ISO. Les analyses montrent que les lubrifiants à base d'huiles végétales sont moins toxiques que les lubrifiants classiques (tableau 6).

En Allemagne, une loi sur l'eau prévoit un système de classification de l'éco-toxicologie sur l'eau (WGK).

**Tableau 6 : Propriétés éco-toxicologiques de quelques huiles (EC50 en mg/l). D'après Van Dievoet, 2001**

	Bactéries	Poissons	Daphnies	Algues
Huile minérale vierge de base	20	500	5000	2500
Huile minérale blanche de grade alimentaire	> 100	> 1000	> 10000	5000
PAO	> 100	> 1000	> 10000	5000
Ester méthylique de colza	> 200	> 10000	> 10000	5000
Huile végétale	> 1000	> 10000	> 10000	5000

## **L'analyse du cycle de vie**

Pour évaluer l'impact d'un produit sur l'environnement, l'analyse du cycle de vie (LCA, *life cycle assessment*) d'un produit s'impose de plus en plus comme une méthode objective et complète. Le principe de ce type d'analyse est de répertorier les différents stades de la vie d'un produit, de la production, y compris la production des précurseurs du produit étudié, jusqu'à l'utilisation et l'élimination de celui-ci. Pour chaque stade, les différentes catégories d'impacts sur l'environnement

sont prises en compte et quantifiées de manière à obtenir une valeur. Celle-ci servira à comparer les produits.

Ce type d'étude a été réalisé pour divers produits (emballages, biocarburants,...). Les analyses comparatives du cycle de vie des lubrifiants à bases végétale et minérale sont plus récentes.

L'étude réalisée dans le cadre du groupe de travail s'apparente plus à un inventaire des impacts sur l'environnement de chaque filière (LCI, *life cycle inventory*) qu'à une analyse de cycle de vie (LCA). Les impacts respectifs des filières de production des lubrifiants à bases végétale et minérale n'ont donc pas été quantifiés dans le présent rapport. Des conclusions peuvent cependant être tirées des points énumérés ci-dessus et de la bibliographie consultée.

*référence Hollandaise (HOEFNAGELS, 1997)*

HOEFNAGELS (1997) conclut que les impacts sur l'environnement de la production d'huile à base végétale sont plus importants que pour l'huile minérale dans les domaines suivants :

- ◆ émission de gaz à effet de serre ;
- ◆ émissions de composés acides;
- ◆ émissions de composés eutrophisants (nitrates, phosphates,...);
- ◆ émissions de matières toxiques pour l'homme, pour la faune et la flore;
- ◆ quantité de déchets produits.

Pour les domaines suivants, les impacts sur l'environnement des huiles minérales sont plus importants :

- ◆ consommation de ressources non renouvelables;
- ◆ consommation d'énergie (celle-ci est défavorable pour les huiles minérales et les esters d'huile végétale mais nettement favorable pour les huiles végétales);
- ◆ pollution de l'air par des agents à effet "smog" (photo-oxydants, ozone,...).

La phase d'utilisation est favorable pour les huiles biodégradables dont les impacts sur l'environnement et la santé humaine sont généralement réduits par rapport à leurs homologues d'origine minérale. C'est d'autant plus le cas pour les lubrifiants bénéficiant d'un éco-label puisque les additifs utilisés ont alors aussi un impact réduit sur la santé et l'environnement.

*référence allemande (REINHARDT)*

REINHARDT en Allemagne a comparé le LCA de lubrifiants basés sur l'huile de colza et les lubrifiants conventionnels. Il conclut que les avantages des biolubrifiants se situent au niveau de :

- ◆ l'effet de serre
- ◆ l'utilisation de ressources énergétiques (fossiles).

Mais il trouve des désavantages en ce qui concerne :

- ◆ l'acidification
- ◆ l'eutrophisation
- ◆ la couche d'ozone.

Il souligne par ailleurs que l'utilisation des huiles végétales est plus avantageuse en lubrification perdue qu'en cas d'utilisation finale énergétique.

*référence britannique (WHIGHTMAN, 1998)*

Les études menées par l'équipe britannique de Madame WHIGHTMAN démontrent les avantages de l'huile végétale sur l'huile minérale en ce qui concerne tous les impacts environnementaux considérés :

- ◆ l'effet de serre
- ◆ le potentiel de création de précurseurs photochimiques
- ◆ le potentiel d'acidification
- ◆ l'eutrophisation
- ◆ l'utilisation d'énergie
- ◆ la toxicité humaine

◆ l'éco-toxicité.

Cette différence de résultats s'explique par la manière dont le LCA est réalisé, et notamment les « allocations ». En effet, les Britanniques considèrent la différence d'impact entre la culture du colza et celle de blé qui serait semé à la place, et ils n'attribuent que 70 % des effets à l'huile, le reste étant reporté sur le tourteau.

*Les unités fonctionnelles*

Dans certains domaines d'applications, les quantités de lubrifiants à base végétale à utiliser sont réduites par rapport à l'utilisation d'huiles minérales.

Ces données sont primordiales pour les conclusions d'un LCA. En effet, si la quantité d'huile végétale à utiliser est moindre par rapport à la quantité d'huile minérale à utiliser pour une même fonction de lubrification, les impacts sur l'environnement lors de la production et de l'utilisation du lubrifiant seront réduits dans la même proportion.

*Discussion*

Les Analyses de Cycle de Vie relatives à la production et l'utilisation d'huiles minérale et végétale semblent assez divergentes, selon l'objectif qu'elles poursuivent et les hypothèses de départ.

Certaines sont en faveur des huiles végétales pour certains points : moindre utilisation de ressources non-renouvelables, moindre utilisation d'énergie (esters végétaux exclus) et moindre pollution de l'air, en indiquant un désavantage pour les huiles végétales dans les domaines de la pollution des eaux et des sols, des déchets, et de l'impact sur la santé principalement en lien avec l'utilisation d'engrais et de pesticides pendant la culture.

Ces points sont cependant à nuancer suite aux progrès agronomiques effectués en terme de réduction des intrants, et en prenant aussi en compte les avantages agronomiques du colza par rapport à d'autres cultures (bonne tête de rotation) et environnementaux (couverture du sol pendant l'hiver, piège à nitrates,...). Sur le plan agronomique en effet, le colza est implanté dès le mois d'août. Le sol est donc couvert de végétation durant l'hiver ce qui réduit fortement l'érosion et le lessivage des nitrates car la plante joue un rôle de pièges à nitrates. Si la culture suivant celle du colza est bien menée, l'azote présent dans le sol peut être valorisé.

Les bénéfices que retirent l'utilisateur et la société lors de la phase d'utilisation des lubrifiants d'origine végétale (moindre toxicité, moindre écotoxicité et biodégradabilité rapide, pas de dégagement de CO<sub>2</sub>) semblent contrebalancer dans une certaine mesure les points faibles observés dans la phase de production de ces lubrifiants. D'autres études LCA tendent à démontrer les avantages environnementaux des huiles végétales en substitution aux produits pétroliers, et ce dans certaines conditions pour l'ensemble des critères considérés.

Si de plus les quantités utilisées par unité fonctionnelle sont plus faibles lors de l'utilisation d'un lubrifiant d'origine végétale, ce qui n'est pas toujours le cas, les impacts sur l'environnement sont alors d'autant plus réduits.

Quoi qu'il en soit, le cycle du carbone étant fermé pour les végétaux, il est évident que remplacer des ressources fossiles par des huiles végétales permet d'éviter l'émission du CO<sub>2</sub> contenu dans le pétrole.

*Les écolabels*

Depuis 1991, les autorités allemandes ont mis en place un écolabel spécifique aux huiles de chaîne de tronçonneuse, aux huiles de décoffrage et aux fluides hydrauliques. Cet écolabel "Ange bleu" exprimait, à l'origine, principalement des exigences en terme de biodégradabilité de l'huile de base (>80 % CEC ou >70 % OCDE). Progressivement, des exigences complémentaires sont venues compléter cet écolabel :

- ◆ toxicité du lubrifiant vis-à-vis de l'homme;
- ◆ écotoxicité du lubrifiant;

- ◆ exigences concernant les additifs :
  - ❖ interdiction de certains composés (chlorés, sels métalliques,...);
  - ❖ biodégradabilité des additifs;
  - ❖ absence de polymères solubles dans l'eau;
  - ❖ ...

En Norvège, un écolabel "Nordic Swan" a été mis au point pour tous les lubrifiants, sur le modèle des éco-points. La quantité de composants non renouvelables, mais aussi non biodégradables ou écotoxiques est liée à un nombre de points. Au-delà d'un maximum, l'écolabel n'est pas attribué. D'autres exigences sont posées pour l'obtention du label, notamment concernant la performance du produit comparativement à d'autres produits concurrents présents sur le marché.

Au Canada, aux USA et au Japon, des écolabels existent aussi pour les lubrifiants.

Ces écolabels ont pour objectif d'informer le consommateur quant aux propriétés du lubrifiant qui lui est vendu. Ils permettent aussi aux pouvoirs publics, lorsqu'ils le jugent opportun, d'imposer une catégorie de produits répondant à des critères objectifs.

Actuellement, suite aux démarches entreprises à l'initiative de ERRMA <sup>8</sup> en collaboration avec la DG Entreprise de la Commission Européenne, les huiles hydrauliques figurent sur la liste des produits pouvant prétendre à l'obtention de l'éco-label européen « Euro-Marguerite ». Les critères y afférant sont en discussion mais on peut espérer que le caractère renouvelable d'une fraction du produit sera exigé.

---

<sup>8</sup> European Renewable Raw Material Association, dans laquelle ValBiom représente l'agence belge.

---

### ***Les autres initiatives***

---

Des exemples d'initiatives prises en faveur de l'utilisation des produits biodégradables dans divers pays européens sont repris ci-dessous :

- ◆ En Autriche, l'utilisation d'huiles de chaîne de tronçonneuse d'origine non-renouvelable est interdite depuis 1990.
- ◆ En Allemagne, certaines villes et Landers imposent l'emploi d'huiles de chaîne de tronçonneuse, d'huiles de démoulage et d'huiles hydrauliques biodégradables dans les zones sensibles ou même d'une manière générale.
- ◆ En Hollande, le gouvernement autorise un amortissement accéléré du matériel de génie civil utilisant des huiles hydrauliques biodégradables. Cette mesure, le « VAMIL », a été élargie aux fluides hydrauliques et de transmission utilisés dans le matériel agricole.
- ◆ En Scandinavie, l'usage de lubrifiants biodégradables est recommandé sinon imposé en forêt et aux alentours des eaux de surface. Ce sont les grands propriétaires qui, de leur initiative, imposent ces produits.
- ◆ En Suisse et au Portugal, seuls les lubrifiants biodégradables sont autorisés sur les lacs et voies navigables.
- ◆ En Tchéquie, les huiles de chaîne de tronçonneuse biodégradables sont recommandées.
- ◆ En Allemagne, à l'initiative du Ministère de l'Agriculture, un programme d'appui à l'introduction sur le marché des biolubrifiants est mis en place depuis deux ans. Ce projet rembourse les surcoûts liés à l'utilisation de lubrifiants comprenant au moins 50 % de base végétale. Un impact sur le marché est déjà ressenti par les firmes commerciales en Allemagne.

En Région wallonne, à l'heure actuelle, les huiles de chaîne de tronçonneuse sont recommandées à proximité des forages de la Société Wallonne de Distributions d'Eau. La Région wallonne oblige leur usage dans les périmètres de protection des captages, mais aucun contrôle n'est effectué. A proximité des cours d'eau non navigables, les huiles de chaîne et de décoffrage d'origine végétale sont imposées dans les cahiers des charges. L'imposition de biolubrifiants en forêt est en examen dans le cadre de la révision du code forestier.

## Conclusions generales

Les lubrifiants d'origine végétale représentent actuellement une fraction minime (inférieure à 1 %) du marché des lubrifiants en Belgique. Pourtant, les lubrifiants d'origine végétale présentent des avantages techniques intéressants, tels qu'une moindre consommation d'huile dans certains cas, un allongement possible des intervalles de vidange et une réduction de l'usure des pièces en mouvement.

Au point de vue environnemental, l'allongement des intervalles de vidange permet de réduire les quantités d'huile usées. La biodégradabilité et la moindre toxicité de ces produits en font des candidats idéaux pour les applications de lubrification perdue, en cas de contact rapproché avec les utilisateurs et pour les travaux dans des zones naturelles sensibles.

Deux obstacles à l'expansion de l'utilisation des lubrifiants d'origine végétale sont leur prix d'achat plus élevé mais aussi la mauvaise image de marque due au manque de connaissance par les utilisateurs des avantages techniques et économiques liés à l'utilisation de ces produits.

## Propositions d'actions en faveur des lubrifiants d'origine végétale

### **Renforcer la recherche en tribologie**

Actuellement, les lubrifiants d'origine pétrochimique bénéficient des résultats de plus de 100 années de recherches et de collaboration entre les fournisseurs d'huile et les constructeurs de machine. Les lubrifiants d'origine végétale n'ont bénéficié de l'intérêt des formulateurs que depuis 15 ans... Il reste donc un potentiel important à exploiter dans ce domaine<sup>9</sup>.

En Belgique, le laboratoire du Professeur Bozet, Département d'Eléments de Machines et de Tribologie de l'Université de Liège, a réalisé entre 1993 et 1995 de nombreuses études fondamentales sur la comparaison du pouvoir lubrifiant de quelques huiles végétales et minérales. C'est ce type de résultats d'études qui permettra de présenter aux utilisateurs les propriétés des lubrifiants d'origine végétale et de renforcer le partenariat entre les fournisseurs de lubrifiants d'origine végétale et les constructeurs d'engins.

### **Etudier les impacts environnementaux de la culture du colza**

Une meilleure évaluation de la filière colza permettrait d'estimer le coût environnemental de la production d'huile de colza. Une charte environnementale avait été rédigée par des associations représentant les agriculteurs et le négoce, notamment l'APPO. Ce travail mérite d'être actualisé, dans le sens de l'établissement d'un cahier des charges garantissant une culture respectueuse de l'environnement, (application d'azote raisonnée, produits phytopharmaceutiques autorisés, variétés, garanties non-OGM, ...).

### **Approfondir les analyses du cycle de vie**

Plusieurs pays européens (Pays-Bas, Angleterre, Allemagne,...) ont entrepris de réaliser un écobilan de certains lubrifiants à base végétale comparativement aux produits pétrochimiques. En Belgique, un écobilan du diester a été réalisé en 1996. Néanmoins, les résultats semblent assez controversés et varient selon les conditions. Le LCA de la culture de colza en Région wallonne mériterait d'être établi, afin d'y préciser les atouts et/ou les contraintes que présente cette spéculation pour notre région.

### **Soutenir la mise en place de l'écolabel européen pour les lubrifiants**

Les utilisateurs sont demandeurs de ce type d'écolabel qui permet de savoir si le produit vendu comme étant biodégradable présente vraiment une garantie de protection de l'environnement. Les fournisseurs d'huiles sont eux aussi demandeurs d'un tel label qui permet de distinguer les produits reconnus comme éco-compatibles. Ils sont cependant opposés à la multiplication des labels nationaux en tous genres. Il s'agit donc de rester présent dans les discussions menées par ERRMA et de soutenir la création d'un éco-label européen, d'abord pour les fluides hydrauliques et ensuite pour les autres catégories de lubrifiants.

<sup>9</sup> Même si aujourd'hui, plus de 500 produits sont disponibles sur le marché européen

### **Mettre en place des mesures d'accompagnement**

Aux Pays-Bas, le règlement "Vamil" offre des avantages fiscaux (déduction de l'investissement au moment choisi par l'acheteur,...) aux entreprises utilisant des machines favorables à la qualité de l'environnement et à la santé des utilisateurs (moins d'émissions, moins de bruit, utilisation de lubrifiants biodégradables,...). Ce règlement pousse les constructeurs à développer des machines moins nuisibles et adaptées aux lubrifiants d'origine végétale.

En Allemagne, un projet d'introduction sur le marché des biolubrifiants (soutien financier pour les surcoûts engendrés par le passage au lubrifiant à base végétale) est actuellement en cours à l'initiative du Ministère de l'Agriculture.

### **Appliquer des mesures légales ou contraignantes notamment dans les acquisitions publiques**

En Allemagne, les différentes législations et réglementations mises progressivement en place depuis 1989 ont permis le développement d'un marché de 50 000 tonnes de lubrifiants biodégradables (4 % du marché). Les cahiers de charges des travaux publics ou des acquisitions publiques pourraient mentionner des recommandations en faveur des biolubrifiants.

La révision du Code Forestier est également une occasion pour le Gouvernement wallon de se positionner sur la question des lubrifiants éco-compatibles dans nos forêts.

### **Promouvoir l'introduction des biolubrifiants dans l'implantation de système de management environnemental**

L'utilisation de biolubrifiants, et de toutes les matières premières renouvelables en général, devrait être stimulée dans l'implantation de systèmes de management environnemental (type certification ISO 14 0001, enregistrement EMAS) ou de sécurité alimentaire (HACCP).

### **Soutenir des initiatives telles que le présent groupe de travail "lubrifiants d'origine végétale"**

Actuellement, le groupe de travail "lubrifiants d'origine végétale" a collecté des informations de sources diverses, synthétisées dans ce rapport. Des participants au groupe de travail souhaitent cependant que l'étude de certains points soit approfondie. Il est donc proposé de prolonger le mandat du groupe de travail – élargi entre temps – afin de poursuivre les études, les expérimentations et les démonstrations et de faire ensuite des propositions d'actions au Gouvernement Wallon.

## Bibliographie

- ◆ ADAMCZEWSKA J, WILSON D (1997). **Development of Ecologically responsive Lubricants.** *Journal of Synthetic Lubrication* 14, 2 : 129-142.
  - ◆ ANAND O.N, MEHTA J., TSR RAO PRASADA (1998). **Lubricant Components from Vegetable Oils of Indian Origin.** *Journal of Synthetic Lubrication* 15, 2 : 97-106.
  - ◆ BAGGOT E. **Biodegradability of Lubricating Oils : A Case Study.** Institute of Petroleum.
  - ◆ BAILLON JM (1995). **La réduction d'intrants dans le cadre des mesures agri- environnementales.** *OCL* 2, 6 : 461-462.
  - ◆ BARBIER A (1995). **Élargir l'application de la Charte pour l'Environnement.** *OCL* 2, 6 : 462-464.
  - ◆ BARTZ W (1996). **Lubricants and the Environment.** Presented at the 1996 AGM – Rome, Italy.
  - ◆ BERCI SZABO J. **Test Methods to Judge the Eco-Compatibility of Lubricants.** *Journal of Synthetic Lubrication* 14, 4 : 331-345.
  - ◆ BERGANS, J., NANGNIOT S., 2000 **Chimie végétale et biologie industrielle.** Rapport final. Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Ministère de la Région wallonne, Direction Générale de l'Agriculture. 160 p.
  - ◆ BLACKBURN G (1998). **Assessing the Carcinogenic potential of Lubricating Base Oils.** *Lubrication Engineering* 54,8 : 17-22.
  - ◆ CARRUTHERS SP, WALKER KC, BENNETT RM, BATCHELOR SE (1995). **A cost-benefit analysis, including LCA, of replacing mineral oils with vegetable oils for industrial purposes.**
  - ◆ CHIMIE VEGETALE, 1995 **Santé, environnement et lubrifiants.** Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Unité d'Economie rurale. 29 pages + annexes.
  - ◆ CLOESEN C, KABUYA A, BOZET JL(1998). **The Optical EHD Method applied to the Study of Ageing of Biodegradable Oils.** *Journal of Synthetic Lubrication* 15, 1 : 3-12.
  - ◆ CREUSOT A (1995). **Pollution par les nitrates provenant des activités agricoles.** *OCL* 2, 6 : 435-437.
  - ◆ DEBOUCHE C., NOVAK M.H., SONNEVILLE, G., 2002 **Évaluation d'huiles de chaîne à base végétale.** Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Centre d'Évaluation Environnementale. Forêt wallonne n°58 Mai-Juin 2002 - Cahier technique n°20.
  - ◆ DENBY-WILKES V (1995). **L'Ademe.** *OCL* 2, 6 : 459-461.
  - ◆ DENOROY P, JUSTES E. (1995). **Modélisation du fonctionnement d'une culture de colza.** État de l'art. *OCL* 2, 6 : 440- 441.
- ◆ DGRNE, 1998 **Rapport final du groupe de travail « Lubrifiants d'origine végétale »**, travail demandé par le Ministre Wallon de l'Environnement à la Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE). Rapporteur VALONAL, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Subventionné par la Direction Générale de l'Agriculture.
- ◆ DRESCHSLER W, KRAUS K, LANDGREBEJ (1994). **Life Cycle Assessment of Rapeseed Oil or Rapeseed Oil Methyl Ester as Substitute for Diesel Fuel.** *Erdol Erdgas Kohle* 6 : 244-247.
  - ◆ EAVIS R M, WIGHTMAN PS, WALKER KC, BATCHELOR SE, CARRUTHERS SP, n.d. **A comparative LCA of chainsaw bar lubricants made from mineral oil and rapeseed oil (UK)**
  - ◆ ERHAN Z (1998). **USDA is Designing Vegetable Basestocks.** *Lubrication Engineering* July 1998: 21-23.
  - ◆ ERRMA, octobre 2002 **Thought starter criteria document for EU Eco label for environnementally préférable hydraulic fluids - Draft**
  - ◆ GABRIELLE B, DENOROY P, REAU R (1995). **Dynamique de l'azote dans une culture de colza, modélisation des écobilans.** *OCL* 2, 1 : 8-10.
  - ◆ GABRIELLE B, GOSSE G.(1995). **Bilan environnemental du colza : premiers résultats expérimentaux.** *OCL* 2, 6 : 443-444.
  - ◆ GOYAN R, MELLEY E, WISSNER P, ONG W (1998). **Biodegradable Lubricants.** *Lubrication Engineering* 54,7 : 10-23.
  - ◆ GUILMOT F (1995). Mémoire : **Comparaison des propriétés mécaniques et physiques de deux esters, d'une polyalphaoléfine et d'une huile minérale pure.** *Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées.*

- ◆ HOEFNAGELS F, WESTRA J., VOLLEBERG L. (1997). **Nader en Vervolgonderzoek Milieukeur Verliesmeermiddelen en Hydraulische Olie**. Concept eindrapport.
- ◆ HONARY L, BOEKENSTEDT R (1998). **Making a Case for Soy-Based Lubricants**. *Lubrication Engineering* July : 18-20.
- ◆ INASEP **Réponses aux situations d'urgence. Quelles sont les pollutions graves ? Effets des pollutions accidentelles**. Site <http://morzine.ciger.be/inasep/chap7/rep71.shtml> le 22.11.2002.
- ◆ JACKSON M (1995). **Environmentally Compatible Lubricants : Focusing on the Long-term**. NLGI Volume 59 n°2: 16-20.
- ◆ JAHAN A (1997). **Lubrifiants biodégradables – "La solution du futur ?"**. *Pétrole et Techniques* n°407; 42-45.
- ◆ JOKAI R (1995). **Use of Vegetable-Based Hydraulic Oil in forestry operations : An Evaluation**. *FERIC Special Report* n°SR-103.
- ◆ JOSSART J.M., VANHEMELRIJCK JL, LEDENT JF (1995). **Impact environnemental de trois cultures énergétiques et bilan d'énergie**. *Cahier Agriculture* ; 4: 377-382.
- ◆ KABUYA A, HAESSEN C (1995). **Analyse comparative du pouvoir lubrifiant de quelques huiles végétales par rapport à une huile minérale pure de même grade ISO**. *Matériaux & Techniques* n° 1-2; 31-38.
- ◆ KABUYA A, HAESSEN C, BOZET J. , n.d. **La position des huiles végétales dans les processus de lubrification à basse température**.
- ◆ LANDGREBE MJ., n.d. **Les risques pour l'environnement des moteurs fonctionnant aux biocarburants**.
- ◆ LEDROIT, P., 2002 **Étude de marché des produits de décoffrage à base végétale en Belgique**. In Minutes de la Journée de conférences "L'Agriculture, productrice de matières premières renouvelables" du 30 mai 2002, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.
- ◆ LEGISA I, PICEK M, NAHAL K(1997). **Some Experience with Biodegradable Lubricants**. *Journal of Synthetic Lubrication* : 347-360.
- ◆ LEPAGE R, REAU R, (1996). **Charte Environnement - Un bilan satisfaisant**. *Oléoscope* 34 : 23-25.
- ◆ LEPAGE R, REAU R, WAGNER D (1997). **Charte Environnement - Les conclusions de l'enquête 1996**. *Oléoscope* 37 : 25-27.
- ◆ LJUBIC D., CHINN G. (1998). **La sélection des huiles lubrifiantes : un moyen de réduire les coûts de fonctionnement des camions grumiers**. *FERIC* Fiche technique FT-119 : 1-8.
- ◆ MAKKONEN I (1994). **Collecte des huiles usées sur les machines forestières** . *FERIC* Communiqué Technique n°37.
- ◆ MAKKONEN I (1995). **Conversion d'une machine forestière en vue de l'utilisation d'huiles hydrauliques compatibles avec l'environnement**. *FERIC* Fiche technique FT-234 : 1-12.
- ◆ MAKKONEN I (1996). **Performance des huiles hydrauliques saisonnières et toutes saisons dans la machinerie forestière**. *FERIC* Fiche technique FT-251 : 1-10.
- ◆ MAKKONEN I (1997). **Fluide Hydraulique Bio HY-GARD - Compatibilité avec l'Environnement, Essai dans une abatteuse-groupeuse**. *FERIC* Communiqué Technique n°54.
- ◆ MAKKONEN I (1997). **Huiles compatibles avec l'Environnement**. *FERIC* Communiqué Technique n°39.
- ◆ MESSEAN A (1995). **Plus de recherches, moins d'intrants**. *OCL* 2, 6 : 457.
- ◆ MILES P.(1998). **Synthetics versus Vegetable Oils : Applications, Options, and Performance**. *Journal of Synthetic Lubrication* 15, 1 : 43-52 .
- ◆ Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1998). **VAMIL-afschrijving**. Milieu-investeringen.
- ◆ MORIN L, DRONNE Y, REQUILLART V (1994). **La demande non alimentaire des huiles et graisses**. *OCL* 1, 3 : 189-191.
- ◆ Nordic Ecolabelling (1997). **Ecolabelling of Lubricating oils – version 2.0**
- ◆ NOVAK M.H., 2002 **Huiles de tronçonneuses biodégradables: pourquoi pas ?** Valonal, Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. *Foret wallonne* n°55-56, jan-fév. 2002 pp 17-21.
- ◆ PAULUS P, HERREMANS G (1994). **La biodégradabilité dans l'industrie de la lubrification**. *Technique & Management* n°21-22; 23-30.

- ◆ PESIK PJ, VAN DER VEN BL, HOOFFMAN RN, PALSMA AJ (1996). **LCA Smeermiddelen**. Publikatiereeks produktenbeleid.
- ◆ PIERRE JG (1995). **Herbicides du colza et qualité de l'eau**. *OCL 2*, 6 : 453- 456.
- ◆ POUZET A (1995). La Charte Environnement. *OCL 2*, 6 : 458.
- ◆ RAJNCHAPEL-MESSAÏ J (1997). **Des Oléagineux adaptés à la demande**. *Oléoscope* 41 : 12-14.
- ◆ REAU R (1995). **Les risques de pollution par l'azote dans les cultures de colza**. *OCL 2*, 6 : 445-448.
- ◆ REAU R, PAILLARD C, WAGNER D, JUNG L (1994). **Un outil pour raisonner la fertilisation azotée du colza**. *Oléoscope* 19 : 22-23.
- ◆ REAU R, WAGNER D, CHABOT G. (1997). **Charte Environnement 1993-1996. Évolution des pratiques agricoles pour la jachère énergétique**. Charte Synthèse 93-96 : 1-17.
- ◆ REAU R., VAN PAEMEL H (1998). **Fertilisation azotée du colza. Prendre en compte l'absorption automnale**. *CETIOM - Perspectives Agricoles* 233: 75-79.
- ◆ REICH A, MENDOZA E (1997). **Can Fatty Esters Exhibit Extreme Pressure Behaviour When Used as Boundary Additives in Hot Rolling Aluminium Metal ?** *Lubrication Engineering* 54, 8 : 10-16.
- ◆ REINHARDT GA, HERBENER R, GARTNER SO, UHLEIN A, n.d. **Life cycle analysis of lubricants from rapeseed oil in comparison to conventional lubricants** (Germany)
- ◆ REINHARDT G (1998). **First Total Ecological Assessment of RME (biodiesel) Versus Diesel Oil. Biomass for Energy and Industry**. 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition, Würzburg Germany.
- ◆ REMERY FJ (1998). **Milieuvriendelijkere smeermiddelen en hydraulische oliën**. *Otar* 1; 2-4.
- ◆ REMMELE A, WIDMANN B (1998). **Schmierstoffe und Hydrauliköle auf Basis Rapsöl**. *Raps*, 16 Jg (4); 142-145.
- ◆ REMMELE E, WIDMANN B (1998). **Biodegradability and ecotoxicity of hydraulic fluids based on rapeseed oil used in agricultural machinery**. Biomass for Energy and Industry. 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition, Germany.
- ◆ SCHIAVON M, MOREL JL (1995). **Propriétés physico-chimiques des sols et dégradation des pesticides**. *OCL 2*, 6 : 451- 452.
- ◆ SCHIEPPATI R (1995). **Collecte et recyclage des huiles usagées en Europe**. 9<sup>ème</sup> Congrès International de l'UEIL, Bruxelles.
- ◆ SCRARMER K, 2001 **Biodiesel : Energy and environmental Evaluation – Rapeseed oil methyl ester. Union zur Förderung von oel-und proteinpflanzen**
- ◆ SEBILLOTTE J (1995). **Agriculture, eau et nitrates : l'approche française**. *OCL 2*, 6: 438- 439.
- ◆ SIMONIN P, REAU R (1998). **Fertilisation PK du colza. Ne pas confondre besoins et exportations**. *Oléoscope* 43 : 14-16.
- ◆ SPIRINCKX C, CEUTERICK D (1996). **Comparative Life-Cycle Assessment of diesel and biodiesel**. International Conference on Application of Life Cycle Assessment in Agriculture, Food and Non-Food Agro-Industry and Forestry : Achievements and Prospects, Brussels 4 and 5 April 1996 : 213-238.
- ◆ TERWOERT J, 1995. **Vegetable Release Agents. A pilot study on the Substitution of Mineral-Oil based concrete mould release agents by non-toxic, readily biodegradable Vegetable-oil based Release Agents in the construction industry** (SUMOVERA).
- ◆ TERWOERT J., VOLLENERGT LHM, LE FEBER M. **LCA of vegetable oil based cleaning agents versus mineral oil based organic solvents**, Chemiewinkel.
- ◆ THEISSEN H., **Experiences with the German market introduction program for biolubricants**, conférence "Biolubricants, from market to development", VTI, LLINCWA, TEKNIKER, Eibar, Espagne, 15 janvier 2003.
- ◆ Umweltbundesamt (Ministère Allemand de l'environnement) Ecolabel "Ange Bleu" (1998). **Umweltzeichen nach RAL-UZ 48, 64 und 79. Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe**, Schalöle und Hydraulikflüssigkeiten.
- ◆ VALONAL, 1997-2001 **Rapports d'activités**. Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Ministère de la Région wallonne, Direction Générale de l'Agriculture.
- ◆ VAN DIEVOET, 2001 **Comparison of base oils and fluids from an ecological point of view**. In 7<sup>th</sup> International LFE Congress « are your lubricants ready for the Third Millennium, Bruxelles, 20-22 juin 2001.
- ◆ VITO-FTU Milieubalansen. **Analyse de cycle de vie de l'huile de colza et du méthyl ester d'huile de colza comme substituts du carburant diesel**, réalisé pour l'Agence Fédérale allemande de l'Environnement (UBA). Eindrapport voor de Koning Boudewijnstichting : 42-58.

- ◆ VOGEL M (1998) **Bioschmierstoffe in getrieben** *Aus Praxis und Forschung Tribologie und Schmierungstechnik*, 3 : 25-28.
- ◆ VÖLTZ M. **Life Cycle Analysis for Engine Oils-A Target**. BP Oil Deutschland GmbH, Hambourg, Bundesrepublik Deutschland.
- ◆ WAGNER D, REAU R. (1998). **Colza : Évaluation des pratiques de gestion de l'azote**. *Oléoscope* 43 : 33-34.
- ◆ WIDMANN B, REMMELE E, MAIER L (1998). **Technical suitability of hydraulic oils based on rapeseed oil – Results of a six years test in the field**. 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition, Würzburg Germany.
- ◆ WIGHTMAN P.S., EAVIS R.M., BATCHELOR S.E., WALKER K.C., CARRUTHERS S.P. (1998). **Environmental benefits to be derived from the use of vegetable oils in place of existing petrochemical materials**. SAC Agronomy department, Aberdeen.
- ◆ WIGHTMAN PS, EAVIS R M, WALKER KC, BATCHELOR SE, CARRUTHERS SP, n.d. **A comparative LCA of hydraulics lubricants made from mineral oil and rapeseed oil** (UK)
- ◆ ZEMAN A, EBENHOCH M, MULLER M (1998). **Biologisch abbaubare Hydraulikflüssigkeiten**. *Aus Praxis und Forschung* 3 : 4-13.