



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/25544>

To cite this version:

Cecutti, Marie-Christine  *Impact des lubrifiants sur l'environnement. Une alternative : les biolubrifiants.* (2005) *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, Hiver (7). 23-27. ISSN 1763-6442

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Impact des lubrifiants sur l'environnement. Une alternative : les biolubrifiants

Différents tests de laboratoire peuvent être utilisés pour caractériser le devenir des lubrifiants dans l'environnement. Après avoir expliqué en quoi consistent ces tests, et quelles sont leurs limites d'interprétation, l'auteur présente les principaux résultats obtenus en étudiant la dégradation de différentes catégories de lubrifiants et leur écotoxicité, dans le cadre d'un protocole expérimental.

Une grande partie des lubrifiants utilisés en exploitation forestière est susceptible d'être dispersée dans l'environnement et peut être source de pollution des sols, des eaux de ruissellement et des nappes phréatiques.

Dans le cas des huiles qui assurent la lubrification permanente des chaînes de tronçonneuses, des gouttes d'huiles tombent sur le sol continuellement : il s'agit là d'une lubrification perdue. D'après les estimations françaises de consommation de ces lubrifiants (voir l'article de S. Cornu page 20), on s'aperçoit que les quantités d'huiles déversées dans l'environnement sont non négligeables : environ 10 000 tonnes d'huile de chaîne sont ainsi perdues en France chaque année.

Les mêmes problèmes de pollution se posent avec les fluides hydrauliques : dans ce cas il ne s'agit plus de lubrification perdue mais de dispersion des lubrifiants dans le milieu ambiant à la suite de fuites ou de ruptures accidentelles des flexibles qui sont inhérentes au fonctionnement des machines. Les estimations (voir l'article de S. Cornu page 20) montrent que les pertes accidentelles de fluides hydrauliques peuvent conduire au rejet annuel de 150 à 300 tonnes de lubrifiant dans le sol, ce qui représente là encore un impact écologique très important.

Les biolubrifiants, des produits issus de ressources renouvelables et respectueux de l'environnement

L'utilisation de nouveaux lubrifiants formulés sur base végétale en substitution des fluides traditionnels d'origine pétrolière, peut répondre au souci de protec-

tion de l'environnement en permettant de réduire les risques de pollution du sol, des eaux souterraines et des eaux de ruissellement (voir encadré repères). En effet ces lubrifiants appelés encore biolubrifiants, sont connus pour être rapidement biodégradables et non toxiques pour l'environnement et pour l'homme. De plus, ils possèdent l'avantage d'être issus de ressources renouvelables contrairement aux produits classiquement utilisés qui sont eux d'origine fossile.

De nombreux formulateurs ont ce type de produits dans leurs catalogues et annoncent des seuils de biodégradabilité supérieurs à 95 % selon le test CEC L33 T 94 (voir paragraphe suivant) pour des huiles de chaîne ou des fluides hydrauliques. Il est cependant indispensable de s'assurer que ces propriétés environnementales sont maintenues tout au long du cycle d'utilisation des lubrifiants. Autrement dit, il convient de vérifier que les fluides gardent leurs propriétés de biodégradabilité et de non toxicité malgré les contraintes thermiques, mécaniques et chimiques auxquelles ils sont soumis durant leur utilisation normale.

Comment évaluer l'impact environnemental des lubrifiants ?

L'impact environnemental des lubrifiants est évalué à l'aide des deux paramètres clés : la biodégradabilité et l'écotoxicité.

La biodégradabilité

La biodégradabilité d'une substance est son aptitude à être dégradée, c'est-à-dire décomposée, par les micro-

organismes présents dans le milieu naturel. En présence d'oxygène, la dégradation se déroule jusqu'à un stade ultime qui est la transformation de la substance en eau, dioxyde de carbone et biomasse (micro-organismes).

On peut évaluer la biodégradabilité en suivant la disparition du composé parent : il s'agit là de la *biodégradabilité primaire*. Un test couramment utilisé pour mesurer cette biodégradabilité primaire est le test CEC L33 T 94 réalisé en milieu aqueux. C'est la méthode la plus simple à mettre en œuvre, et de ce fait la plus utilisée par les fournisseurs de produits chimiques. Mais de par son principe, cette méthode ne traduit pas réellement l'impact environnemental des substances étudiées car elle ne se préoccupe pas du devenir des métabolites formés lors de la décomposition du composé parent ; or il peut y avoir un grave danger environnemental au niveau de la toxicité et de la persistance de ces métabolites. Ainsi les taux de biodégradabilité mesurés à l'aide de cette méthode sont-ils souvent supérieurs à ceux donnés par la méthode de *biodégradabilité ultime* qui elle, prend en compte la dégradation des composés parents, mais aussi des métabolites formés. Le taux de biodégradabilité ultime est évalué via la quantité de dioxyde de carbone émis en stade final des processus de dégradation du composé parent et des métabolites formés au cours de la dégradation. Cette mesure rend compte précisément de toute la quantité de matière qui est transformée en éléments chimiques inoffensifs



R e p è r e s

Les huiles ont des propriétés différentes selon leur origine

- **Parmi les huiles dont la matière première est d'origine pétrolière** (on peut dire aussi minérale ou fossile), il faut distinguer les huiles minérales qui proviennent de la distillation du pétrole brut et les huiles de synthèse qui sont obtenues par réaction chimique. Dans cette dernière catégorie on trouve les esters synthétiques et les hydrocarbures synthétiques.
- *Les huiles minérales* sont constituées de chaînes moléculaires qui sont en partie insaturées (doubles liaisons chimiques entre les atomes de carbone) et qui contiennent des composés cycliques ou encore aromatiques toxiques (le benzène est l'hydrocarbure aromatique le plus simple chimiquement mais aussi le plus dangereux). Cette composition chimique particulière fait que ces composés résistent à l'action des bactéries et ne sont donc que très peu biodégradés.
- *Les hydrocarbures de synthèse* ont subi des traitements chimiques pour éliminer les impuretés et les groupements aromatiques toxiques, mais ils contiennent des insaturations (notamment les polyalphaoléfinés). Leurs taux de biodégradabilité OCDE peuvent atteindre 60 à 70 %.
- *Les esters synthétiques* sont les dérivés pétroliers les moins toxiques. Leur biodégradabilité est très variable et peut être du même niveau que celle observée pour les esters d'origine végétale.
- **Les huiles d'origine végétale** sont réparties en deux grandes catégories : les huiles végétales non modifiées et les esters oléochimiques obtenus par synthèse chimique. Dans les deux cas, les qualités environnementales sont optimales, tant en biodégradabilité qu'en écotoxicité. Les composés d'origine végétale sont également moins toxiques pour la santé humaine (par contact dermique et par inhalation).
- *Les huiles végétales brutes* sont utilisées pour des applications ne nécessitant pas de conditions d'utilisations dures (températures inférieures à 70 °C) car elles sont sensibles à l'oxydation. Néanmoins l'ajout d'additifs peut atténuer ce défaut.
- *Les esters oléochimiques* ont des propriétés techniques comparables voire supérieures aux lubrifiants d'origine minérale et possèdent les meilleures qualités environnementales.

pour l'environnement (dioxyde de carbone, eau et biomasse) au cours de la dégradation. Le test OCDE 301B, basé sur ce principe, est le test de référence. Il est réalisé en milieu aqueux avec des micro-organismes provenant de boues de stations d'épuration. Plus les processus naturels de biodégradation sont rapides, et moins la substance est polluante envers le milieu environnant. La biodégradabilité s'exprime donc en pourcentage de substance dégradée durant un temps déterminé, généralement 28 jours.

L'écotoxicité

L'écotoxicité caractérise l'impact des substances sur le développement et la survie des organismes vivants. Elle est mesurée au moyen de tests normés qui mettent en œuvre des organismes représentatifs de la

chaîne alimentaire. Les tests d'écotoxicité qui font référence pour évaluer l'impact environnemental d'une substance sont les lignes directrices OCDE 201, 202 et 203 qui représentent le milieu aquatique à travers les algues, les daphnies et les poissons. On mesure les doses seuil qui provoquent chez ces être vivants des perturbations dans leur comportement (inhibition de croissance pour les algues, immobilisation pour les daphnies) ou leur mort (dose létale pour les poissons). Plus les seuils d'écotoxicité sont bas, plus les produits testés sont toxiques.

Impact environnemental des lubrifiants utilisés en exploitation forestière

Lors de la dispersion des lubrifiants dans l'environnement, que ce soit les huiles

de chaîne ou les fluides hydrauliques lors d'incidents techniques, les différents compartiments du milieu naturel sont touchés : le sol avec tous les organismes vivants qu'il contient, est touché en premier ; puis dans un deuxième temps, les nappes d'eau souterraines peuvent être polluées via la migration des produits au travers du sol ; enfin les eaux de rivière sont susceptibles d'être souillées via les eaux de ruissellement qui emportent avec elles les agents polluants.

Pour évaluer l'impact environnemental d'une substance lorsqu'elle est perdue dans le milieu naturel, outre les paramètres de biodégradation et d'écotoxicité en milieu aqueux, on doit prendre également en compte le paramètre de migration au travers des différentes couches de sol : un suivi spatio-temporel permet de contrôler la dégradation du polluant dans le temps et dans l'espace ; une migration trop rapide du produit avec les eaux de drainage conduit à une pollution des eaux souterraines et des nappes phréatiques. Dans le cas contraire si le produit reste adsorbé sur les particules de sol et dans la mesure où il est biodégradable, il peut être transformé par les micro-organismes du sol et ne causera pas de dégâts environnementaux.

Les tests reconnus pour l'évaluation de la biodégradabilité (tests CEC et OCDE précédemment évoqués) mesurent la biodégradabilité dans l'eau. Or les lubrifiants utilisés en exploitation forestière sont au départ dispersés sur le sol et du fait de la nature différente de ce milieu, les tests réalisés en milieu liquide ne sont pas forcément adaptés. En effet, la biodégradabilité peut être différente dans le sol car c'est un milieu solide : les substrats peuvent s'adsorber aux particules du sol et sont donc beaucoup moins disponibles et accessibles envers les micro-organismes responsables de la dégradation. De plus le sol est moins bien oxygéné que l'eau, or les processus de dégradation sont aérobies, c'est-à-dire qu'ils font appel à l'oxygène. Enfin les micro-organismes contenus dans le sol sont différents de ceux que l'on peut trouver en milieu aqueux ou dans les stations d'épuration et qui sont utilisés dans les tests de biodégradabilité en milieu liquide.

Dans le programme AGRICE (voir encadré protocole), on a étudié toutes les probabilités de pollution des fluides hydrauliques des machines forestières, dans l'eau et dans le sol :

■ dans l'eau, la *biodégradabilité ultime* et l'*écotoxicité* envers les organismes aquatiques, algues, daphnies et poissons ont été évaluées selon des tests OCDE ;

■ dans le sol, un suivi de la migration et de la biodégradabilité des lubrifiants dans des colonnes de sol, appelées aussi lysimètres a permis de mesurer la *biodégradabilité primaire*. La *biodégradabilité ultime* a également été évaluée à l'aide d'une nouvelle méthode de laboratoire qui est en cours de normalisation. Cette méthode basée sur le principe du test OCDE 301 B, permet d'évaluer la biodégradabilité ultime de substances déposées dans un bioréacteur contenant du sol naturel avec les micro-organismes d'origine, par dosage du dioxyde de carbone formé au cours des processus de biodégradation.

Afin de simuler des situations réelles d'utilisation des biolubrifiants en foresterie, les expériences ont été menées sur des sols de forêts : sol sableux de tendance acide sur lequel sont cultivés des conifères et sol argileux légèrement basique portant des feuillus.

On a choisi une quantité d'huile correspondant à la quantité déversée sur le sol suite à la rupture accidentelle des flexibles : 10 l/m².

Suivi de la biodégradabilité primaire dans des colonnes de sol

La figure 1 (p 26) montre à titre d'exemple la migration et la disparition dans le temps d'un des biolubrifiants dans le sol sableux. Le même type d'analyse a été réalisé dans les différents sols pour chacun des lubrifiants testés.

Aucun des composés étudiés n'a migré dans le sol au delà de 60 cm de profondeur après 120 jours d'expérimentation et c'est dans le sol sableux que l'on observe les plus grands déplacements : autour de 50 cm de profondeur pour les biolubrifiants et 60 cm pour le fluide d'origine minérale. Dans les conditions de l'expérimentation, on voit donc qu'il n'y a pas de risque majeur de pollution des eaux souterraines.

Un programme AGRICE pour étudier le comportement environnemental des biolubrifiants

Le projet « Impact environnemental de lubrifiants d'origine végétale utilisés dans l'exploitation forestière » a été financé par le groupement d'intérêt scientifique AGRICE (agriculture pour la chimie et l'énergie), et coordonné par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'ONIDOL (Organisation nationale interprofessionnelle des oléagineux) et l'Institut national polytechnique de Toulouse (Cecutti, 2001).

Ce travail vient en complément d'un premier programme « Faisabilité technique et économique des huiles végétales » (de Caro, 2000).

Évaluation de la biodégradabilité

Elle a été évaluée dans deux compartiments du milieu naturel, le sol et l'eau, selon des tests différents, dont l'un qui fait l'objet de travaux de normalisation (préprojet au stade d'essais circulaires).

Dans le sol

- sur des colonnes de terre : biodégradabilité primaire,
- dans des réacteurs (récipients en verre contenant 1 kg de sol) : biodégradabilité ultime (préprojet de norme AFNOR NF X31-222 – AFNOR : Association française de normalisation).

Dans l'eau

- dans des réacteurs : biodégradabilité ultime (ligne directrice OCDE 301B – OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques).

Tests d'écotoxicité

- algues (ligne directrice OCDE 201)
- daphnies (ligne directrice OCDE 202)
- poissons (ligne directrice OCDE 203).



C. Cecutti, ENSIACET

Test en milieu liquide OCDE 301 B



C. Cecutti, ENSIACET

Test en milieu sol : test expérimental

Ces données expérimentales ont permis de calculer les taux de biodégradabilité primaire qui correspondent à la somme des quantités de lubrifiants mesurées dans chaque tranche de sol sur les 70 cm de profondeur des lysimètres : on observe une forte diminution de la concentration en lubrifiants dans le sol durant les 30 premiers jours

de l'expérimentation. Puis entre 30 jours et 120 jours les lubrifiants migrent un peu plus en profondeur (déplacement des pics de concentration vers la droite des graphiques) et continuent à être dégradés pour atteindre des taux de biodégradation primaire de l'ordre de 85 % pour les biolubrifiants et 70 % pour le fluide minéral. Ces diffé-

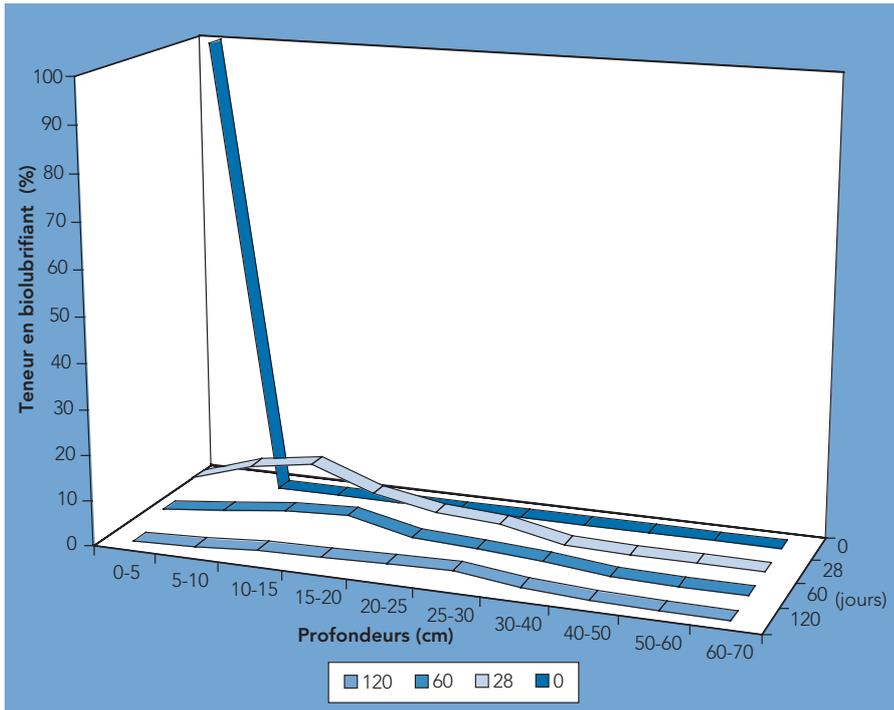


Fig. 1 : suivi spatio-temporel de la biodégradation primaire du biolubrifiant 2 (sur base végétale colza et tournesol oléique) dans le sol sableux

rences sont significatives et reproductibles sur un ensemble de huit analyses réalisées sur deux sols différents.

Évaluation de la biodégradabilité ultime

Les études de biodégradabilité ultime ont été réalisées sur les fluides usagés après 1000 heures d'utilisation afin d'évaluer l'impact environnemental des produits à n'importe quel moment de leur utilisation. En effet, on peut

craindre une baisse des qualités environnementales lorsque les fluides contiennent des métaux d'usure (principalement du fer, du cuivre et du plomb) ou ont subi des modifications chimiques du fait de leur utilisation à des hautes températures.

La figure 2 montre les cinétiques de biodégradation des fluides hydrauliques après usage dans le sol sableux. On observe que les biolubrifiants présentent

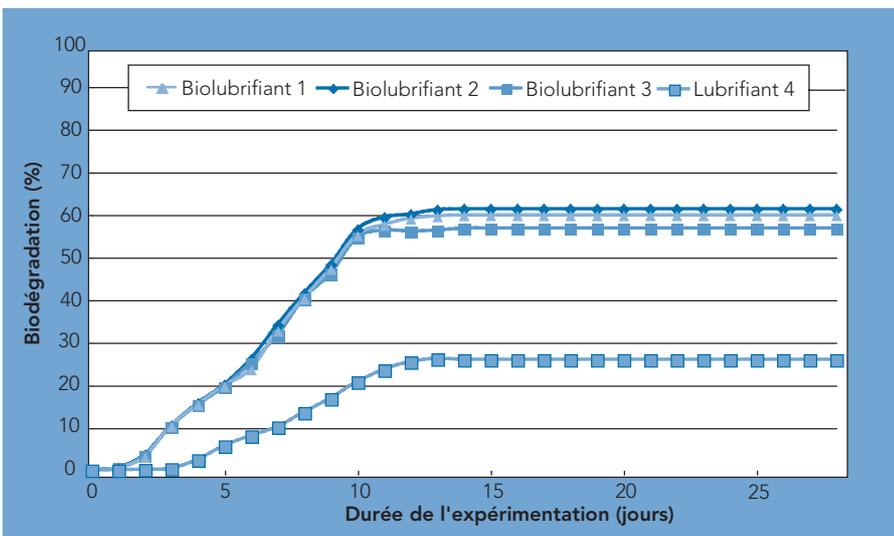


Fig. 2 : biodégradation ultime des fluides hydrauliques après usage dans le sol sableux

des cinétiques de dégradation très proches et dans tous les cas plus rapides que celle du lubrifiant d'origine minérale. Ceci conduit à des taux de dégradation supérieurs pour les biolubrifiants : de l'ordre de 60 % après 28 jours d'expérimentation, alors que le lubrifiant d'origine minérale n'atteint pas 30 %.

L'écart des taux de biodégradation ultime entre les deux catégories de lubrifiants est moindre lorsque l'expérimentation est menée en milieu aqueux, comme le montre le tableau 1. On remarque également que dans ce cas, les taux de biodégradabilité sont supérieurs à ceux mesurés en milieu sol. On explique cette tendance au lissage et à la surévaluation des résultats de biodégradabilité en milieu liquide, par la nature même du milieu qui présente à la fois une meilleure disponibilité du substrat et une meilleure oxygénation, favorisant ainsi les processus aérobies de la biodégradation.

L'ensemble de ces mesures de biodégradabilité montre l'intérêt de réaliser les expérimentations dans des conditions les plus proches possible des situations réelles de rejet dans le milieu naturel. Dans le cas des lubrifiants forestiers les études en milieu sol permettent de mieux évaluer les risques de pollution des eaux souterraines et du sol, tout en différenciant nettement les lubrifiants selon leur capacité à être dégradé par les micro-organismes présents dans le milieu.

Mesure des seuils d'écotoxicité envers les organismes aquatiques

Les tests d'écotoxicité ont été réalisés à partir des mêmes fluides usagés et également sur les fluides neufs. Le tableau 2 rassemble les résultats.

On voit à la lecture de ce tableau que le lubrifiant d'origine minérale (lubrifiant 4), qu'il soit neuf ou usagé, est toxique à des doses nettement plus faibles que les biolubrifiants et ceci envers tous les organismes étudiés.

De façon générale, ces résultats confirment bien que la toxicité augmente avec l'usure des fluides, mais cette détérioration reste moindre pour les biolubrifiants puisque l'on observe pour ceux-ci des seuils de toxicité élevés, supérieurs à 1800, excepté pour le biolubrifiant 3

	Biodégradabilité ultime en sol sableux (%) - Préprojet AFNOR NF X31-222	Biodégradabilité en milieu aqueux (%) Test OCDE 301 B
Biolubrifiant 1	60	75
Biolubrifiant 2	61	79
Biolubrifiant 3	57	69
Lubrifiant 4	25	78

Tab. 1 : taux de biodégradabilité ultime des fluides hydrauliques après 28 jours

testé sur les algues : dans ce cas le seuil de toxicité est assez bas, de l'ordre de 100, après 1000 heures d'utilisation. On peut imputer cette toxicité à la présence dans le biolubrifiant de Sélénium, élément apporté par les additifs et qui est très toxique envers les être vivants.

Il semble que le test sur les algues soit le plus sensible et dans le cas présent il permet de classer les biolubrifiants les uns par rapport aux autres.

On voit donc que pour bien évaluer l'écotoxicité des produits il est préférable de disposer de l'ensemble des trois tests car l'interprétation d'un seul test isolé peut conduire à des conclusions erronées.

Conclusion et perspectives

Le bilan environnemental réalisé dans ce programme de recherche montre que l'utilisation de biolubrifiants en foresterie semble être une excellente opportunité pour participer activement à la protection de l'environnement car ces produits grâce à leur caractère facilement biodégradable ne présentent pas de risque de pollution des sols ou des eaux souterraines et les tests écotoxicologiques de référence montrent

qu'ils ne sont pas nocifs envers les organismes environnants. Cette étude sur l'aspect environnemental complète les données techniques recueillies dans différents programmes antérieurs qui montraient les capacités des huiles d'origine végétale à remplacer les huiles pétrolières traditionnelles, que ce soit pour des huiles de chaîne ou pour des fluides hydrauliques. À qualités techniques équivalentes, il semble donc naturel de se pencher vers ces « bioproduits » qui présentent en supplément des qualités pour la protection de notre environnement.

Le programme détaillé dans cet article a été axé sur l'étude des fluides hydrauliques en conditions réelles d'utilisation : fluides chargés de métaux d'usure après 1000 heures d'utilisation, déversés sur des sols de forêts et en grandes quantités. Toutes ces conditions réunies vont dans le sens d'une situation maximale de pollution du milieu environnant et permettent d'extrapoler les résultats aux autres lubrifiants, notamment les huiles de chaînes de tronçonneuses : en effet, ces huiles sont utilisées en grandes quantités mais leur grande

dispersion dans le milieu environnant ne permet pas d'analyse environnementale telle que celle décrite dans cet article. À l'état neuf, cette catégorie de lubrifiants forestiers présente des taux de biodégradabilité primaire supérieurs à 95% selon le test CEC L33 T 94. Or ils sont soumis à beaucoup moins de contraintes mécaniques et thermiques que les fluides hydrauliques. On peut donc avancer sans risquer de se tromper, que ces lubrifiants garderont leurs propriétés environnementales après utilisation, et quand on sait les quantités énormes d'huiles de chaîne qui sont répandues sur le sol, on voit bien la nécessité d'utiliser ces produits « verts », issus de ressources renouvelables si l'on veut protéger notre environnement. Les pays nordiques ont bien compris ce message puisqu'ils imposent à travers leurs réglementations, l'utilisation d'huiles de chaîne d'origine végétale dans les zones sensibles et qu'ils vont même pour certains comme l'Autriche jusqu'à interdire les huiles de chaîne qui ne sont pas biodégradables.

Christine CECUTTI

École nationale supérieure
des ingénieurs
en arts chimiques et technologiques
Toulouse
christine.cecutti@ensiacet.fr

Bibliographie

CECUTTI C., 2001. Impact environnemental de lubrifiants d'origine végétale utilisés dans l'exploitation forestière. Rapport final de la convention AGRICE n° 0001013. 50 p.

de CARO P., NGUYEN THÉ N., 2000. Utilisation de lubrifiants à base végétale en exploitation forestière. Rapport final de la convention AGRICE n° 9801025. 60 p.

CECUTTI C., 2003. Un nouveau test d'évaluation de la biodégradabilité dans le sol : travaux de normalisation en cours. Oléagineux, corps gras, lipides, vol. 10, n° 5-6, pp. 354-359

Lubrifiant		Algues (EC50-72h) OCDE 201	Poissons (LC50-48h) OCDE 203	Daphnies (EC50-48h) OCDE 202
Biolubrifiant 1	neuf	2800	>10 000	>10 000
	usagé	1800	>10 000	>10 000
Biolubrifiant 2	neuf	5400	>10 000	>10 000
	usagé	5600	>10 000	5 900
Biolubrifiant 3	neuf	4800	>9 900	>9 900
	usagé	100	>10 000	2 500
Lubrifiant 4	neuf	1300	390	5400
	usagé	790	380	2450

Tab. 2 : évaluation de l'écotoxicité des lubrifiants sur les organismes aquatiques