



HAL
open science

Débouchés actuels et futurs du tournesol produit en France - Critères de qualité

Marie-Elisabeth Borredon, M. Berger, S. Dauguet, F. Labalette, A. Merrien, Zephirin Z. Mouloungui, Y. Raoul

► **To cite this version:**

Marie-Elisabeth Borredon, M. Berger, S. Dauguet, F. Labalette, A. Merrien, et al.. Débouchés actuels et futurs du tournesol produit en France - Critères de qualité. Innovations Agronomiques, 2011, 14, pp.19-38. hal-02645863

HAL Id: hal-02645863

<https://hal.inrae.fr/hal-02645863>

Submitted on 29 May 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Débouchés actuels et futurs du tournesol produit en France - Critères de qualité

Borredon M.E.^{1,2}, Berger M.³, Dauguet S.⁴, Labalette F.⁵, Merrien A.⁴, Mouloungui Z.^{1,2}, Raoul Y.⁶

(1) Université de Toulouse, INP-ENSIACET, LCA (Laboratoire de Chimie Agro-industrielle), F-31030 Toulouse, France

(2) INRA, UMR 1010 CAI, F-31030 Toulouse, France

(3) EIP (Ecole d'Ingénieurs de Purpan), BP 57611, 75 voie du Toec, 31076 Toulouse, France

(4) CETIOM (Centre d'Etudes Techniques Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains), 12 Avenue Georges V, 75008 Paris, France

(5) ONIDOL (Organisation Nationale Interprofessionnelle des Oléagineux), 12 avenue George V, 75008 Paris, France

(6) SOFIPROTEOL (Société Financière de la filière française des huiles et protéines végétales), 12 avenue George V, 75 008 Paris, France

Correspondance : marieelisabeth.borredon@ensiacet.fr

Résumé

Cet article fait un bilan des domaines d'utilisation du tournesol produit en France (graines, huile, tourteaux) aussi bien dans les domaines alimentaires que non alimentaires et fait état des perspectives pour les prochaines décennies. Cette production répond à des critères de qualité qui sont contrôlés, suivis et améliorés par les professionnels de la filière oléagineuse française. Les résultats obtenus lors la détermination des paramètres influençant le taux en huile, l'équilibre entre les acides oléiques et linoléiques est présenté.

Mots-clefs : tournesol oléique, huile, tourteaux, graines, critères de qualité, alimentation, oléochimie, biocarburants.

Abstract: Present and future markets for sunflower produced in France – Quality criteria

This article reviews the use of sunflower produced in France (seeds, oil, cake) in both food and non-food areas and outlines the prospects for the coming decades. This production meets quality criteria that are controlled, monitored and improved upon by professionals of French oleaginous industry. The results obtained in the determination of parameters influencing the oil content, the balance between oleic and linoleic acids are presented.

Keywords: oleic sunflower, oil, cake, seeds, quality criteria, food, oleochemicals, biofuels

Introduction

La graine de tournesol se caractérise par une teneur en huile élevée (44% de la graine brute) qui en fait son atout majeur, un contenu protéique intéressant (18%) et une relative richesse en cellulose (environ 15%). Sur l'ensemble des 3 dernières campagnes, plus de 80 % du volume de graines produites en France (1,634 millions de tonnes en 2010) est utilisé sur le territoire. Une petite partie (moins de 100 000 tonnes) est destinée à des usages en graines entières (tournesol de bouche et oisellerie) tandis que la grande majorité (plus de 90 %) est triturée pour délivrer du tourteau et de l'huile.

Si le tourteau produit ne suffit pas tout à fait à couvrir les besoins annuels des élevages français (importations nettes de près de 300 000 tonnes en 2010), l'huile peut faire l'objet, selon les années d'exportations nettes comme en 2010 (214 000 tonnes) ou plus rarement d'importations nettes comme en 2006 (68 000 tonnes). La production française d'huile se segmente en parts quasiment égales en deux marchés: celui de l'huile oléique (teneur moyenne en acide oléique de 82%) et celui de l'huile linoléique (encore appelée classique avec un contenu en acide linoléique proche de 60 %). Leurs débouchés le plus souvent complémentaires restent résolument alimentaires avec seulement 50 000 tonnes par an environ d'huile de tournesol destinée aujourd'hui à des usages non alimentaires soit moins de 10% de la production annuelle. L'ensemble de ces utilisations repose tout naturellement sur des critères de qualité des graines et des produits que les acteurs de la filière oléagineuse française observent et contribuent à améliorer avec attention. Ces valorisations sont en pleine évolution. De nouvelles voies de transformation et de débouchés sont à l'étude et devraient se développer dans un futur proche à la faveur des innovations en cours. Nous nous attacherons à développer ces différents points dans cet article.

1. Les applications actuelles du tournesol

1.1 Les tourteaux de tournesol : une source de protéines polyvalente et souple d'utilisation

La consommation de tourteaux de tournesol en France a fluctué sur les dernières années entre 600 000 et 900 000 tonnes par campagne avec un record de 915 000 tonnes pour 2009-2010, représentant ainsi de 7 à 15 % de l'ensemble des tourteaux utilisés (source : Huileries de France). La coque, très riche en composés pariétaux (cellulose, lignine...), constitue une part importante de la graine de tournesol (25 à 30 % en moyenne en masse) et se retrouve dans la fraction tourteau après extraction de l'huile. La conséquence en est un contenu énergétique et une teneur en protéines relativement faibles (autour de 29 % de la matière brute), au regard du tourteau de soja, principale source de protéines en alimentation animale (CETIOM, 2002) (Tableau 1). Pour améliorer ces paramètres et relever le taux protéique aux alentours de 33 %, les triturateurs peuvent pratiquer un décortiquage partiel des graines (semi-décortiquage) qui consiste à enlever mécaniquement de 15 % à près de 50 % des coques (Autran, 1986). Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps en Argentine et s'est généralisé en Europe et dans le monde (75 à 80 % de décortiquage au niveau mondial) tandis qu'en France il restait minoritaire jusqu'à il y a peu.

Tableau 1 : Composition des tourteaux de tournesol et de soja (source : Tables INRA/AFZ 2004)

/ MB	Tourteau soja 48	Tourteau de tournesol pailleux (non décortiqué)	Tourteau tournesol semi décortiqué
MS %	88	89	90
Protéines brutes %	45.3	27.7	33.4
Cellulose brute %	6.0	25.5	21.2
Matières grasses %	1.9	2.0	1.7
Lysine g/kg	27.8	10.0	11.8
Méthionine+Cystine g/kg	13.1	11.2	13.4
Tryptophane g/kg	5.9	3.4	4.1
Thréonine g/kg	17.7	10.0	12.0

Au niveau de la composition en acides aminés, le tourteau de tournesol se caractérise par une faible teneur en lysine. En revanche, il ne contient pas de facteurs antinutritionnels ce qui rend son utilisation possible par tous les animaux monogastriques (porcs, volailles) et ruminants (bovins) à des niveaux liés à leurs besoins.

Son incorporation est limitée en raison de la teneur maximale en cellulose autorisée dans les rations. Si le volume total consommé et la ventilation des débouchés varient selon les campagnes en fonction de son prix relatif vis-à-vis du tourteau de soja, les grandes lignes de son utilisation restent elles assez stables. Ainsi, il est incorporé en premier lieu dans les aliments destinés aux animaux qui nécessitent des fibres dans la ration, à savoir bovins viande (entre 30 et 50 % des utilisations) en tête suivis des autres animaux notamment des lapins (au moins 20 à 30 %) (Figure 1). Il est aussi une source intéressante de fibres pour les truies (ONIDOL, 2007) et peut être utilisé dans des aliments pour volailles (notamment poules pondeuses). En revanche, il est en général peu présent dans les formulations destinées à des animaux requérant de fortes concentrations énergétiques et azotées comme les vaches laitières, les poulets et les porcs en croissance (ONIDOL, 2007).

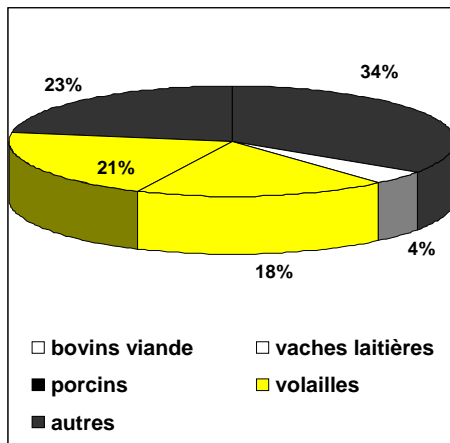


Figure 1 : Utilisation du tourteau de tournesol dans les différents types d'aliments - Moyenne des simulations pour les campagnes 2008-2009 et 2009-2010 (CEREOPA, 2009 et 2010).

1.2 L'huile de tournesol : toujours en tête des consommations alimentaires en France

La consommation totale pour tous usages d'huile de tournesol en France s'établit sur la dernière période entre 380 000 et 470 000 tonnes par an, ce qui lui confère le 2 ou 3^{ème} rang des huiles utilisées en France (avec environ 15 % du total). L'huile de tournesol classique se distingue par une teneur élevée en un acide gras insaturé indispensable pour l'être humain : l'acide linoléique C18 :2 dit aussi oméga-6, complétée d'un acide gras mono-insaturé l'acide oléique C18 :1 dit oméga-9. Ces deux acides gras totalisent plus de 85 % de la composition de l'huile (Figure 2). De plus, elle contient une quantité remarquablement élevée d'alpha-tocophérols ou vitamine E (50 à 60 mg pour 100 g d'huile) aux propriétés anti-oxydantes in vivo (chez l'homme) reconnues mais aussi des phytostérols à des niveaux significatifs (200-300 mg pour 100 g d'huile) (Wagner et al.,1990 ; Tabee et al., 2008) et bénéfiques pour la santé (effet anti cholestérol). Sa relative neutralité organoleptique une fois raffinée, l'absence d'acide gras très sensible à l'oxydation comme l'acide alpha-linolénique ainsi que l'action anti-oxydante de ses tocophérols en font une huile « multi-usage » facile à utiliser à froid pour l'assaisonnement comme à chaud pour la cuisson.

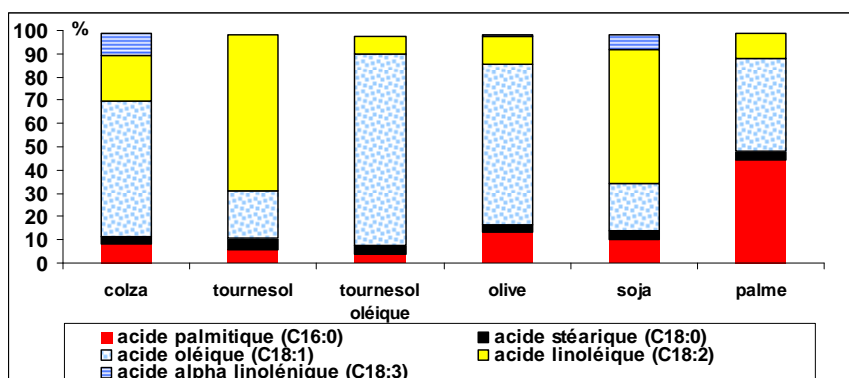


Figure 2 : Composition en acides gras des principales huiles consommées en Europe en alimentation humaine. Source : ONIDOL à partir de références de l'Institut des Corps Gras.

Des années 1970 à 1995, l'huile de tournesol a régné sans partage, s'installant comme la principale huile consommée par les français. Dans cette même période, les margarines (émulsion d'huile dans l'eau) ont connu aussi un développement significatif en offrant une alternative aux graisses saturées d'origine animale. Conjuguant la bonne perception du public et des propriétés technologiques adaptées au procédé de fabrication, l'huile de tournesol s'est avérée une matière première de choix pour les industriels (en 2000, environ 17 000 tonnes étaient utilisés pour la margarine en France). Sous forme d'huile ou de margarine, le tournesol a été alors largement mis en avant pour sa richesse en acides gras polyinsaturés susceptibles de contribuer à réduire le cholestérol sanguin et à prévenir les maladies cardio-vasculaires dans le contexte alimentaire de l'époque. La décennie 2000-2010 marque une évolution sensible du marché. D'une part, on observe une diminution des achats d'huiles par les ménages y compris de l'huile de tournesol (Figure 3) au profit d'une consommation hors foyer et de plats préparés. D'autre part, on assiste à une diversification accrue de l'offre en huiles et matières grasses auprès du consommateur portée par un souhait d'améliorer l'équilibre des apports en acides gras et de varier les goûts.

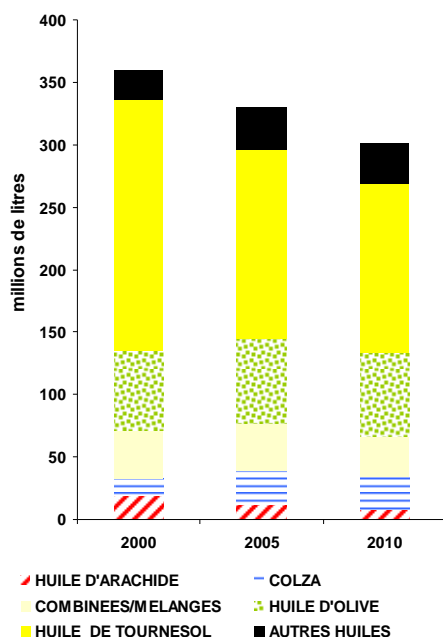


Figure 3 : Evolution de la consommation des huiles de ménage en GSM (grandes et moyennes surfaces) et Hard discount (2000 : sans le hard discount) en France. Source : Panel Nielsen

Aussi, aux côtés du tournesol classique toujours en tête aujourd'hui des huiles de table, l'huile de tournesol oléique, de par sa teneur élevée en oméga-9, est devenue un ingrédient important (autour de 10 à 12 %) des huiles de mélange ou combinées ainsi que des huiles destinées à la friture (Figure 3). En parallèle, grâce à sa faible sensibilité à l'oxydation et à l'hydrolyse liée à la haute teneur en un acide gras mono-insaturé (acide oléique), l'huile de tournesol oléique est apparue comme une alternative aux matières grasses hydrogénées potentiellement génératrices d'acides gras dits trans aux effets néfastes pour la santé mis en exergue durant la dernière décennie. Ainsi, l'huile de tournesol oléique a-t-elle commencé à substituer d'autres sources (telles que les huiles de soja ou de palme hydrogénées) dans le cadre d'utilisations en friture en agro-alimentaire ou en restauration hors domicile. Ce mouvement s'est accentué ces dernières années en France mais aussi en Europe. Au total, l'émergence des deux types de tournesol classique et oléique a apporté une complémentarité de propriétés qui a permis à l'huile de tournesol de conserver aujourd'hui une place de leader en alimentation humaine que ce soit en industrie agro-alimentaire et en restauration hors domicile (probablement autour de 180 000 tonnes d'huile consommée par an) comme en consommation directe (environ 140 000 tonnes/an). (Figure 4).

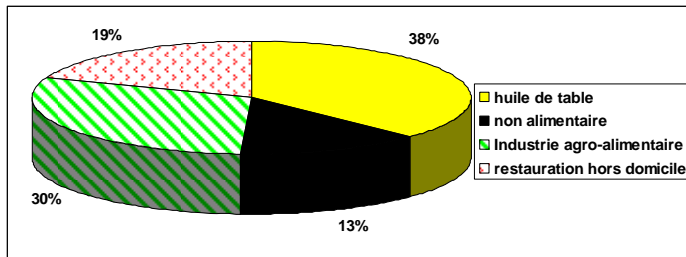


Figure 4 : Estimation des utilisations de l'huile de tournesol en France en 2010. Source : ONIDOL

1.3 Des débouchés non alimentaires minoritaires mais prometteurs pour le marché de l'huile

Au niveau non-alimentaire, les principaux secteurs de valorisation de l'huile de tournesol sont l'énergie avec la production de biocarburants et l'oléochimie avec la production de bioproduits élaborés à partir de l'huile ou ses dérivés. Ils représentent au total environ 13 % des utilisations d'huile de tournesol en France (Figure 4).

Les biocarburants ou biodiesels issus d'huile végétale sont essentiellement constitués d'esters produits par un procédé de transestérification de l'huile avec le méthanol pour fournir les esters méthyliques correspondants. Leur fabrication est assurée majoritairement à partir d'huiles de colza, tournesol et soja. Ces esters sont utilisés pour additiver et compléter le gazole routier ou le fioul de chauffage. Aujourd'hui en France, le biodiesel est incorporé au gazole routier, de manière banalisée, avec un taux maximum de 7 % en volume (B7). La teneur dans le biodiesel en esters dérivés d'huile de tournesol fluctue aujourd'hui entre 2 et 5 % du mélange selon les conditions notamment de disponibilité, de qualité, de prix des autres matières premières possibles. Les proportions d'huiles de tournesol classique et oléique utilisées sont globalement équivalentes, l'huile de tournesol oléique permettant sur le plan technique d'améliorer les caractéristiques du mélange : correction de la tenue à froid, de l'indice d'iode et de la stabilité à l'oxydation notamment. Sur le plan environnemental, l'ester méthylique d'huile de tournesol entrant dans la composition du biodiesel permet de réduire de 68% la consommation d'énergie non renouvelable par rapport aux carburants fossiles sur l'ensemble de leur cycle de vie et de 73% l'émission de gaz à effet de serre (GES) par rapport à ces mêmes carburants fossiles (sans prise en compte des effets de changement d'affectation des sols et par allocation au prorata énergétique) (ADEME/BIOIS, 2010). En ce qui concerne l'oléochimie, le tonnage actuel d'huiles classique et oléique de tournesol destinées aux applications industrielles, principalement peintures, encres, biolubrifiants est estimé à 14 000 tonnes par an (Figure 5).

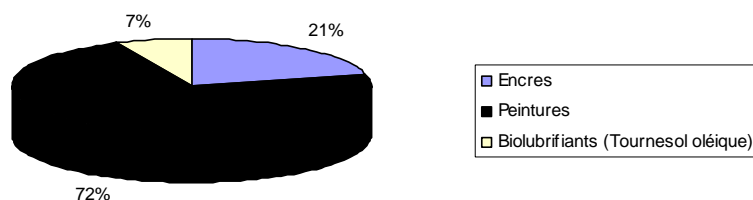


Figure 5 : Répartition des débouchés des huiles de tournesol en oléochimie en France. Source : ONIDOL

Dans le secteur des peintures, les huiles végétales sont traditionnellement incorporées au sein des résines alkydes glycérophtaliques, ainsi qu'au sein de résines styrènes acryliques en phase aqueuse. L'huile de tournesol classique est privilégiée dans la fabrication de peintures sur base végétale et fait partie des trois principales huiles végétales utilisées dans la confection de résines alkydes à part égale avec l'huile de soja et le tall oil (résidu du traitement du bois résineux en papeterie). Ces huiles sont dites semi-siccatives (indice d'iode compris entre 110 et 150) en raison de la présence d'acides gras insaturés tels que l'acide linoléique.

De plus, la faible proportion d'acide linoléique dans la composition de l'huile de tournesol (Figure 2) évite le jaunissement dû à la plus grande sensibilité à l'oxydation des espèces polyinsaturées, phénomène qui peut être observé avec des huiles dites siccatives telles que l'huile de lin comportant 56-71% d'acide α -linoléique. La consommation française en huile de tournesol pour la confection de peintures est estimée à 10 000 tonnes par an. Elle est encouragée par un cadre réglementaire fort, notamment au travers des Directives sur les composés organiques volatils (COV) (Directives 1999/13/CE et 2004/42/CE) favorisant une dynamique d'incorporation d'huiles végétales au sein des alkydes en émulsion, ainsi qu'au sein des peintures dites « naturelles » contenant 100% de matières premières végétales.

Le domaine des encres est également encadré par une réglementation forte. Les différentes directives : COV (Directive 1999/13/CE), substances dangereuses (Directives 67/548/CE et 99/45/CE) et impression des emballages alimentaires (Directive 2004/19/CE) ont permis aux huiles végétales de faire leur place. Elles substituent les huiles minérales dans 50 % des cas en tant que biosolvants (solvants d'origine renouvelable) au sein des encres utilisées dans les secteurs de l'emballage et de l'édition (offset sheetfed). La consommation annuelle en huile de tournesol à cet usage est ainsi estimée à 3 000 tonnes en France, principalement sous forme d'esters méthyliques. Enfin, pour ce qui concerne les biolubrifiants, rappelons que le pouvoir lubrifiant des huiles végétales et de leurs dérivés a été exploité depuis les temps anciens pour diverses applications ; leur fonction étant de réduire les frottements entre deux surfaces en contact et les effets qui en découlent. Les corps gras utilisés pour la confection de biolubrifiants varient en fonction de l'utilisation visée :

- Huile (triglycéride) pour des utilisations modérées en température (<70°C) ; ces produits ont généralement des performances comparables aux lubrifiants d'origine minérale,
- Esters dérivés de l'huile pour des utilisations à des températures plus élevées (<120°C). Dans ce cas, de meilleures performances sont observées par rapport aux lubrifiants minéraux.

L'huile de tournesol oléique est particulièrement adaptée et la lubrification augmente de manière exponentielle avec la teneur en acide oléique qui confère également à la formulation une moindre susceptibilité à l'oxydation et une meilleure tenue à froid. On voit ainsi apparaître sur le marché des formulations lubrifiantes établies à partir d'huile de tournesol oléique contenant 90 % d'acide oléique dans l'huile et une faible teneur en acide linoléique (< 5 %). La tenue de ces formulations au vieillissement reste cependant un point à améliorer et le coût de la matière première peut être un frein au développement de leur utilisation pour des applications à faible valeur ajoutée. Le marché français des lubrifiants en 2010 s'établit à 612 000 tonnes par an (Source CPL), avec un taux de pénétration à ce jour très faible (< 1%). Au niveau européen, il est estimé à 5 millions de tonnes et le taux de pénétration à 2%.

2- Les principaux critères et déterminants de la qualité

2.1 Observatoire de la qualité

Tableau 2 : Comparaison des qualités moyennes des récoltes au cours des 10 dernières années (Source CETIOM-ONIDOL). Les écarts types sont donnés entre parenthèse. Normes : 9% d'eau et 2% d'impuretés. MSD : matières sèches déshuilées.

Paramètre mesuré	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Impuretés (%)	2,8 (1,8)	2,8 (1,4)	2,5 (0,9)	2,9 (1,1)	3,2 (2,2)	3,3 (1,5)	3,5 (1,8)	2,5 (1,2)	2,5 (1,5)	2,3 (1,6)
Teneur en eau	7,8 (0,9)	7,5 (0,9)	7,3 (1,0)	7,5 (0,8)	7,6 (1,9)	7,9 (1,2)	8,0 (1,4)	7,7 (1,1)	7,2 (1,4)	7,6 (2,4)
Huile (% aux normes)	44,9 (1,6)	45,1 (1,8)	44,2 (1,7)	45,2 (1,9)	45,2 (1,9)	44,7 (1,5)	45,5 (2,4)	46,1 (1,8)	44,8 (2,7)	46,0 (3,0)
Protéines (% MSD)	31,4 (5,4)	33,7 (3,1)	33,7 (3,1)	32,6 (3,2)	33,0 (2,6)	33,0 (3,1)	33,3 (2,6)	32,8 (2,4)	31,7 (3,6)	34,4 (5,4)
Acidité Oléique (%)	1,3 (1,9)	1,1 (1,2)	0,7 (0,3)	1,9 (1,0)	0,9 (0,5)	0,8 (0,8)	2,0 (0,9)	1,0 (0,6)	0,7 (0,9)	0,7 (0,3)

Les taux d'impuretés sont un axe d'amélioration de la qualité : le respect de la norme de 2% pour la commercialisation des graines nécessite quasi systématiquement un nettoyage des échantillons. Les conditions de récolte (tardives, réglage de machine...) sont imputables à ce critère « hors normes ». Les teneurs en eau en revanche ne dépassent jamais la norme de 9%. La teneur en huile a fait l'objet d'amélioration au niveau génétique. Ces dernières années, la teneur moyenne de la collecte a atteint 46% (exprimée aux normes de commercialisation à 9% d'eau et 2% d'impuretés).

La teneur en protéines (exprimée sur graine déshuilée) a marqué un léger recul depuis 2007. L'année 2010 renoue avec des teneurs en protéines satisfaisantes (supérieures à 34 %) pour la valorisation du tourteau. La richesse en protéines sur la fraction délipidée des graines n'est pas un critère considéré pour l'inscription des variétés à ce jour. Il n'a donc pas fait l'objet d'amélioration au niveau génétique comme l'huile. Cela serait toutefois intéressant pour améliorer la qualité des tourteaux ou du moins éviter une dérive vers des variétés qui pourraient être plus pauvres en protéines.

L'acide oléique traduit la présence d'acides gras libres dans l'huile liée à de mauvaises conditions de récolte ou de stockage des graines. Elle doit être contractuellement inférieure de 2 %, ce qui est le cas dans le panel de l'enquête. Au niveau de la richesse en acide oléique des huiles issues de tournesols oléiques et dans les échantillons de l'enquête (Tableau 3), on constate que le seuil de 82 % (le plus souvent contractualisé) est facilement atteint dans les collectes depuis 5 ans. En effet, 95 % des échantillons satisfont ce critère.

Tableau 3 : Comparaison des teneurs moyennes en acide oléique des récoltes au cours des 5 dernières années. Source CETIOM-ONIDOL. *Les écarts types sont donnés entre parenthèses.*

	2006	2007	2008	2009	2010
Teneur moyenne en acide oléique	86.5 (3.2)	85.4 (3.5)	86.7 (4.2)	89.3 (2.5)	82 (4.3)

Concernant le tournesol classique, l'équilibre en acides gras des graines est sujet à fluctuation en lien avec les conditions climatiques. Toutefois, le seuil de 55 % de richesse en acide linoléique dans l'huile destinée à la production de margarine est toujours atteint. Des différences existent cependant entre variétés.

Pour les tourteaux, les résultats présentés dans le Tableau 4 proviennent d'analyses effectuées par le CETIOM sur des échantillons issus de l'ensemble des usines françaises triturant des graines de tournesol. La qualité est relativement stable, avec des variations pour la teneur en protéines qui peuvent être expliquées par la qualité de la récolte : richesse en protéines des graines en premier lieu et teneur en impuretés qui a un effet défavorable sur la richesse en protéines des tourteaux (année 2007 en particulier). Des différences existent entre procédés. Dans le cas du semi-décorticage, les tourteaux présentent une plus grande richesse en protéines (+ 3.5%) et une moindre teneur en cellulose (- 3.5%). Dans ce cas, l'industriel effectue un réglage du taux de coques extraites sur la masse totale de graines. Celui-ci peut varier d'une année à l'autre (entre 4 et 9% pour l'usine concernée), ce qui va se répercuter également sur la qualité obtenue du tourteau.

Tableau 4 : Evolution de la qualité moyenne des tourteaux de tournesol produits, par année de récolte sur les 5 dernières années (entre parenthèse écart-type). Source : CETIOM-ONIDOL.

Année de récolte		2006	2007	2008	2009	2010
Non-décortiqué	Matière Sèche (% matière brute)	88,6 (0,8)	89,0 (0,8)	88,6 (0,7)	88,3 (0,7)	88,4 (0,8)
	Protéines (% MS)	31,3 (2,2)	30,6 (1,6)	31,4 (1,6)	30,1 (1,0)	31,1 (1,6)
	Cellulose Brute (% MS)	28,5 (2,2)	30,2 (1,8)	29,5 (1,8)	30,4 (1,1)	29,6 (1,7)
	Huile (% MS)	2,4 (0,8)	2,5 (1,0)	2,0 (0,7)	1,8 (0,6)	2,1 (0,6)
	Solubilité des protéines à la soude (%)	77,8 (4,3)	75,2 (5,1)	75,0 (2,9)	77,5 (2,3)	76,6 (2,4)
Semi-décortiqué	Matière Sèche (% matière brute)	89,0 (0,5)	88,4 (0,5)	88,9 (0,6)	88,9 (0,3)	88,4 (0,3)
	Protéines (% MS)	36,1 (2,5)	33,4 (1,9)	33,6 (1,4)	33,5 (1,3)	35,3 (1,9)
	Cellulose Brute (% MS)	24,2 (2,0)	27,1 (2,5)	26,2 (1,4)	25,1 (1,3)	25,3 (1,8)
	Huile (% MS)	1,9 (0,3)	1,9 (0,3)	1,8 (0,4)	1,6 (0,3)	1,3 (0,3)
	Solubilité des protéines à la soude (%)	79,3 (2,8)	77,6 (2,9)	79,4 (4,1)	80,3 (2,4)	80,1 (2,3)

2.2 Cinétique d'accumulation

Dans le cas de l'huile, la teneur maximale de la graine est atteinte assez tôt : 30 jours après la fin de la floraison (Figure 6).

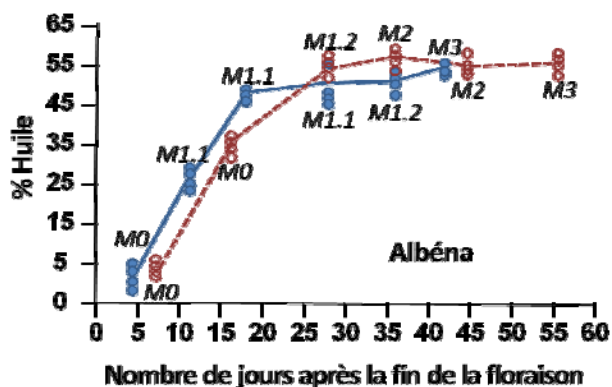


Figure 6 : Cinétique d'accumulation de la teneur en huile (exprimée en % sur MS) chez Albena au-delà de la floraison. (Les 2 courbes correspondent à 2 conditions différentes de températures : températures basses et hautes). Mi = stade phénologique de maturité. Source : Champolivier et Merrien (1996)

Les travaux d'Aguirrezabal et al. (2003) ont montré que la teneur en huile, exigeante énergétiquement, est assez bien liée à l'interception de l'énergie lumineuse au cours de la phase de maturité (Figure 7). Ceci rejoint également les observations de Merrien et al. (1981) qui ont montré une relation entre la persistance des feuilles vertes en post floraison et la richesse en huile de la graine.

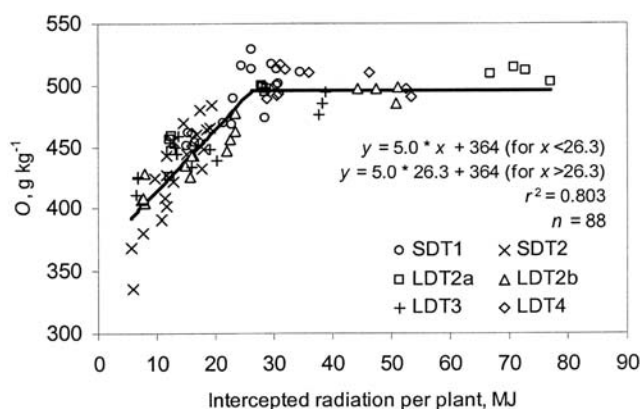


Figure 7: Relation entre le rayonnement intercepté par la plante et la richesse en huile de la graine selon différentes conditions de cultures. Source : Aguirrezabal et al. (2003)

La cinétique d'accumulation (Champolivier et Merrien, 1996) pour 2 acides gras (C18 :0 et C18 :1) et pour les 2 types variétaux, classique (Albena) et oléique (Lipo), durant la phase de remplissage de la graine est présentée dans la Figure 8. Pour le tournesol classique, on assiste bien à une décroissance des teneurs en acide stéarique puis en acide oléique, au profit d'un enrichissement en linoléique à mesure de l'activité croissante des désaturases. Par contre, pour la variété riche en oléique, la teneur en C18 :1 apparaît déterminée précocement et reste stable. On note également que le scénario de températures basses en fin de cycle (ligne pointillée) abaisse la teneur en acide oléique pour les 2 types de tournesol.

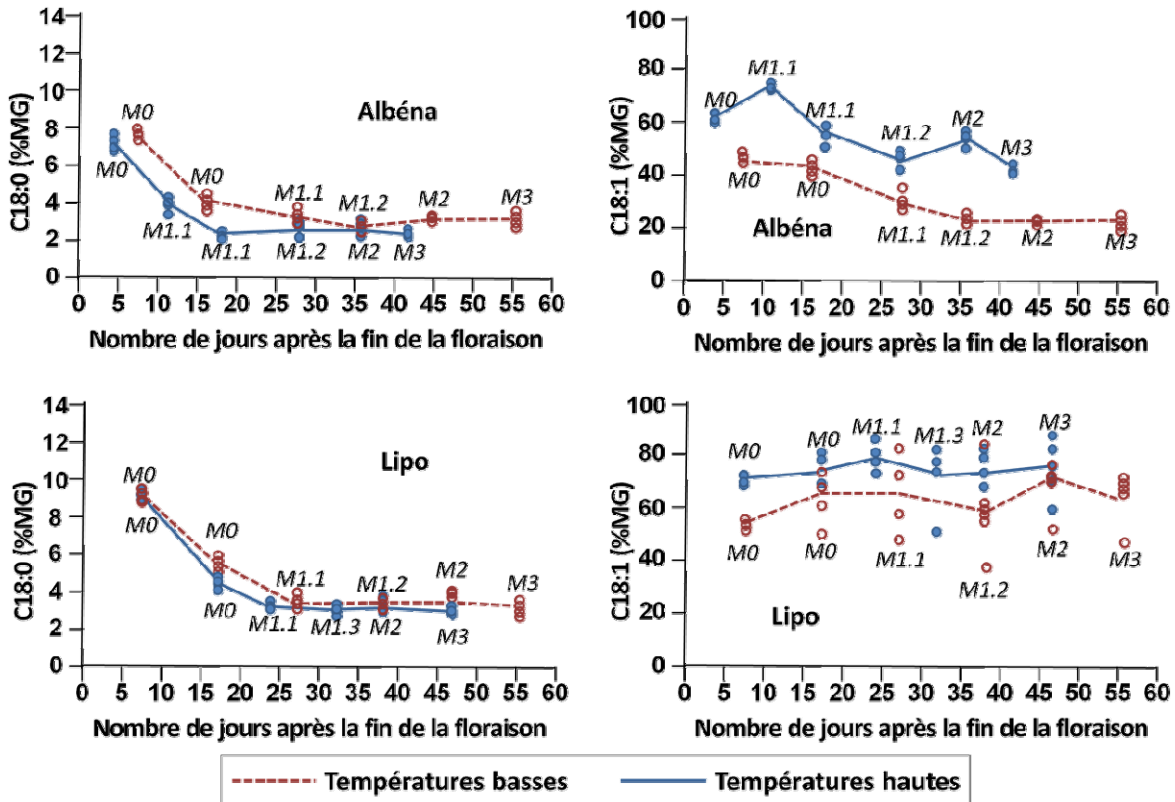


Figure 8 : Cinétique d'accumulation de l'acide stéarique (C18 :0) et de l'acide oléique (C18 :1) chez une variété oléique (Lipo) et une variété classique (Albena) après la floraison (les 2 courbes correspondent à 2 conditions différentes de températures). Mi = Stade phénologique de la maturité. Source : Champolivier et Merrien (1996)

2.3 Principaux facteurs de variations de la teneur en huile

D'après la compilation des données acquises par le CETIOM sur les facteurs affectant la richesse en huile d'une graine de tournesol, cinq facteurs se distinguent par ordre d'importance décroissante : la variété, l'alimentation en eau post floraison, elle-même liée à la persistance des feuilles vertes, le peuplement, en raison principalement de son impact sur la taille de l'amande et sur le rapport coque/amande et enfin le statut azoté. (Tableau 5).

Tableau 5 : Hiérarchisation des principaux facteurs de variation en points d'huile.

Facteur	Variation (en points d'huile)
Variété	± 5
Alimentation en eau	± 2 à 2.5
Persistance des feuilles vertes post	± 2 à 2.5
Peuplement	± 2
Azote	± 0.5 à 1
Sclerotinia capitule	± 1
Date de récolte	± 1
Bore	± 0.5

L'équilibre en acides gras de l'huile, au-delà des différences génétiques est principalement affecté par la température. Il est ainsi bien connu que les scénarii de températures élevées favorisent la richesse de l'huile en acide oléique, au détriment du linoléique. Izquierdo et al. (2006) ont précisé cet effet en démontrant que ce sont surtout les températures nocturnes (basses) qui impactent l'activité des désaturases. Merrien et al. (2006) ont confirmé cette hypothèse avec un cultivar classique : plus les températures minimales (nocturnes) sont basses, plus élevée est la teneur en C18:2 de l'huile et plus basse la teneur en C18:1 (Figure 9). Les situations extrêmes (températures minimales <16°C) correspondent à l'année 2004 (septembre particulièrement frais). Les données de températures minimales de 22°C ont été obtenues sur des plantes en conditions contrôlées.

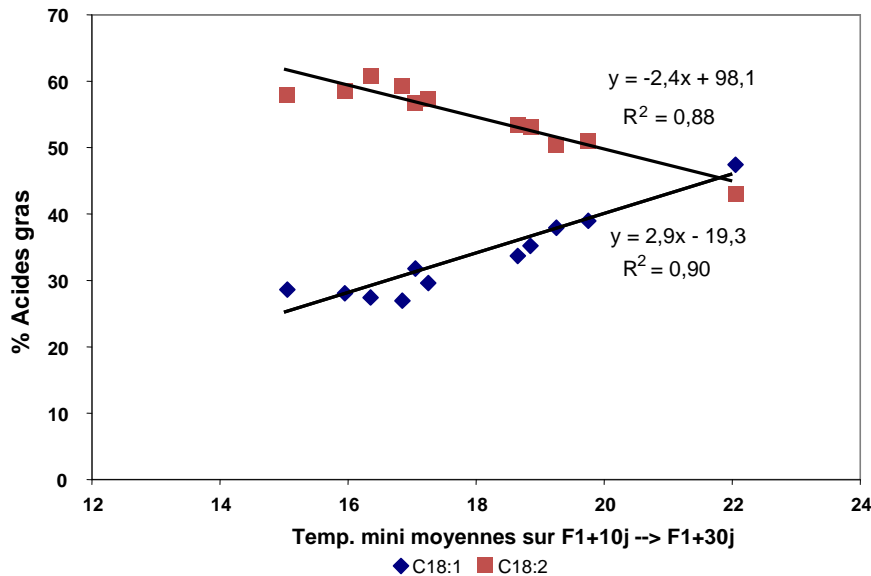


Figure 9 : Effet des températures minimales en post floraison (période floraison + 10 jours à floraison + 30 jours) sur l'équilibre en acides gras chez le tournesol classique. Source : Merrien et al. (2006).

Des résultats analogues ont été obtenus avec les variétés oléiques (Figure 10). D'après les données issues du réseau expérimental pluriannuel mis en place par le CETIOM, on confirme bien que les températures minimales durant la fenêtre de sensibilité (floraison+10 jours à floraison+30 jours) expliquent les fluctuations observées entre le lieu et l'année sur la composition en acide oléique de l'huile d'une graine de tournesol oléique.

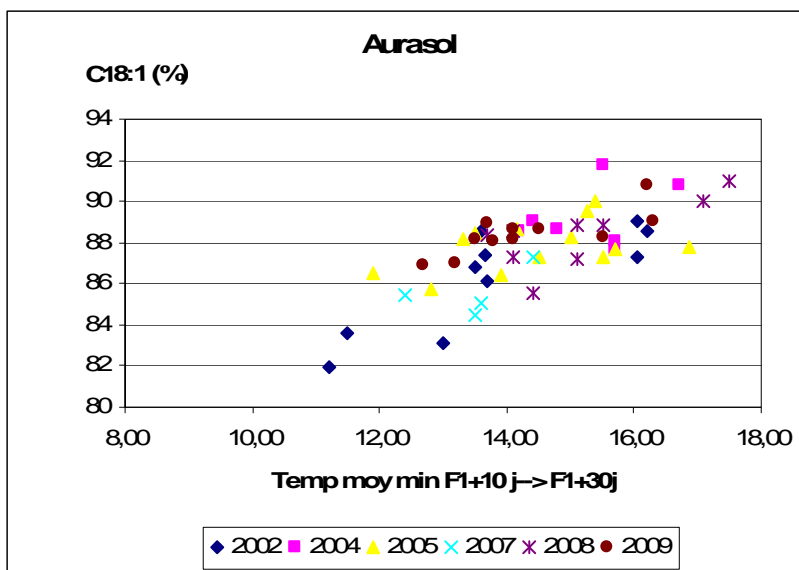


Figure 10 : Effet des températures minimales en post floraison (période floraison +10 jours à floraison + 30 jours) sur la composition en acide oléique (C18:1) chez le tournesol oléique (variété Aurasol).

2.4 Effet de l'isolement

Le caractère oléique est dû à un allèle dominant, mais cette dominance peut varier selon le fond génétique dans lequel il s'exprime. Bien que la plupart des hybrides oléiques commercialisés actuellement soient issus de parents tous les deux oléiques et donc homozygotes, il est préconisé une distance d'isolement afin de protéger les parcelles d'une pollinisation éventuelle par du tournesol classique. D'après la Figure 11, la variabilité des teneurs en acide oléique est plus faible quand la distance avec la parcelle potentiellement contaminante dépasse 150 mètres (Lagravère et *al.*, 1998).

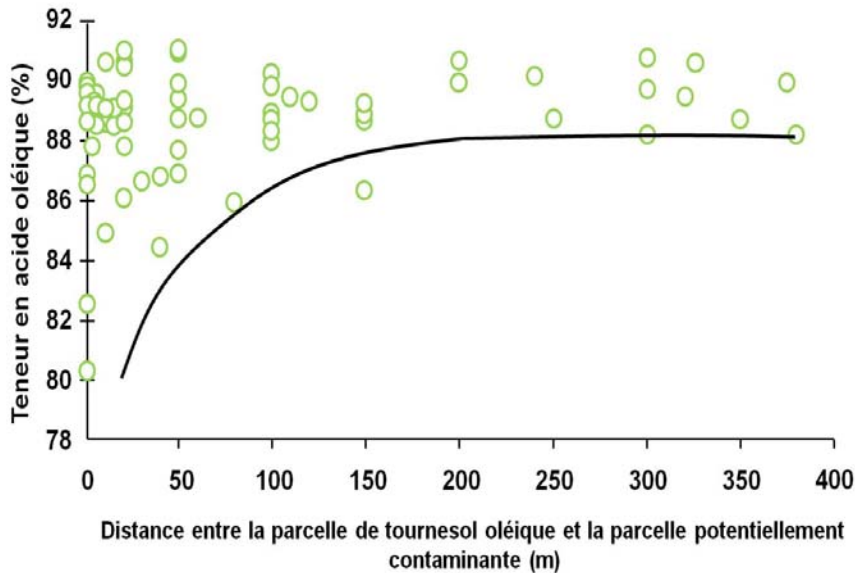


Figure 11 : Influence de la distance d'isolement sur la teneur en acide oléique. Courbe enveloppe des teneurs en acide oléique minimales en fonction de la distance (85 parcelles étudiées entre 1995 et 1997, variété HOC4). Source : Lagravère et *al.* (1998)

2.5 Qualité sanitaire

La production française de tournesol bénéficie d'un plan de surveillance de la qualité sanitaire des oléagineux (PSO) qui contribue à contrôler la qualité des graines, des tourteaux et des huiles, dont le tournesol, dans un cadre interprofessionnel. Ce PSO est piloté par le CETIOM, l'ONIDOL et l'ITERG. Il repose sur une base de données d'analyses de contaminants mutualisées, qui est alimentée par les autocontrôles des industriels et des organismes stockeurs partenaires. Tous les contaminants potentiels sont concernés, en particulier résidus de produits phytopharmaceutiques, éléments traces métalliques, mycotoxines, toxiques organiques, salmonelles, impuretés botaniques. Le PSO confirme que la quasi-totalité des produits oléagineux sont conformes à la réglementation en vigueur. Les contaminants le plus fréquemment détectés sur graines sont les résidus d'insecticides utilisés en post-récolte et se retrouvant de manière fortuite sur les graines de tournesol par contact avec des parois traitées ou des circuits ayant véhiculé des céréales traitées. Ces résidus, qui sont à des teneurs très basses, proviennent donc de « contaminations croisées », et non pas d'application directe sur le tournesol. Le raffinage des huiles les élimine et les huiles de tournesol mises sur le marché sont exemptes de résidus de produits phytosanitaires. Dans les graines et les tourteaux de tournesol, le cadmium est particulièrement contrôlé : aucun dépassement du seuil réglementaire de l'alimentation animale n'est détecté à ce jour, mais certaines valeurs s'en approchent. Un seuil plus bas en cadmium devrait être fixé pour l'alimentation humaine, mais il ne devrait concerner que les graines consommées directement (graines de bouche, boulangerie) et non pas les graines destinées à la transformation en huile. Les seules mycotoxines réglementées dans le tournesol à ce jour sont les aflatoxines : les teneurs retrouvées sont nulles à très faibles dans le contexte de la production française, mais un contrôle est maintenu. Le PSO souligne la bonne maîtrise de la qualité microbiologique des tourteaux de tournesol, puisque depuis quelques années ceux-ci sont quasiment tous exempts de salmonelles. Ainsi, le PSO joue son rôle de surveillance au niveau de la filière oléagineuse et contribue à la maîtrise de la qualité sanitaire.

3. Les évolutions du marché et innovations

3.2 *Le tournesol bien placé pour répondre aux marchés alimentaires de demain*

L'huile de tournesol devrait bénéficier de la croissance attendue de la demande mondiale en lipides d'origine végétale à horizon 2015-2020 ainsi que d'une prise en compte renforcée des critères de durabilité au niveau de la production. Le tournesol dont la culture bénéficie d'atouts agro-environnementaux indéniables, devrait contribuer à y répondre en conservant voire en améliorant ses parts de marchés, du moins dans sa zone privilégiée de plantation et de consommation allant du Proche Orient à l'Union Européenne (UE) en passant par la Russie, l'Ukraine et le bassin méditerranéen. Le débouché alimentaire devrait rester prépondérant pendant de nombreuses années encore en raison de son image positive bien établie et d'évolutions liées à des considérations nutritionnelles. En effet, au niveau des usages croissants en agro-alimentaire et en restauration hors domicile (friture surtout), l'huile de tournesol oléique demeure une très bonne alternative nutritionnelle aux huiles hydrogénées et/ou à l'huile de palme à laquelle peuvent être reprochés des apports en acides gras saturés et des conditions de production pas toujours compatibles avec le respect de l'environnement. Pour le cas spécifique de la France, les apports nutritionnels conseillés (ANC) de 2010 n'ont à vrai dire rien bouleversé par rapport à ceux de 2001 mais proposent des clarifications et des ajustements visant à mieux conjuguer besoins physiologiques et effets préventifs de l'ensemble des acides gras présents dans notre alimentation. Ainsi, pour aller dans le sens d'un meilleur équilibre entre les acides gras polyinsaturés, l'AFSSA⁽¹⁾ a légèrement augmenté l'ANC pour l'acide alpha-linolénique (absent dans le tournesol) à 1 % de l'apport énergétique journalier contre 0,8 % en 2001 tandis qu'il a conservé une cible de 4 % de l'apport énergétique journalier pour l'acide linoléique, l'apport énergétique journalier ayant cependant été revu à la baisse (2000 kilocalories par jour contre 2200 en 2001) (AFSSA, 2010). L'acide oléique se voit quant à lui désormais traité de manière indépendante avec un objectif de 15 à 20 % de l'apport énergétique journalier. L'ensemble de ces éléments, transposé à l'échelle des zones traditionnellement consommatrices d'huile de tournesol, plaide pour les années futures en faveur d'une augmentation relative de la part du tournesol oléique par rapport au tournesol classique.

Pour le tourteau, la généralisation en cours du décorticage dans les usines françaises permettra d'en améliorer la valeur protéique et donc la valorisation auprès des fabricants d'aliments pour animaux. Cette évolution des procédés n'en sera que plus bénéfique si elle est accompagnée d'un maintien voire d'une amélioration de la teneur en protéines de la collecte de graines via le double levier de l'offre génétique et d'un respect plus systématique du taux d'impuretés en dessous de la norme à 2%. Dans ce contexte une augmentation de la disponibilité des tourteaux de tournesol semi-décortiqué devrait trouver des débouchés sur les marchés français et éventuellement de l'UE qui en sont régulièrement importateurs nets. Enfin, en France, comme partout en Europe, la demande en huile comme en protéines issues de l'agriculture biologique (Bio) est en hausse significative sous l'impulsion des engagements du Grenelle de l'environnement (objectif de triplement des surfaces Bio en France entre 2007 et 2012). De plus, à partir de janvier 2012, les filières animales Bio devront s'assurer du caractère Bio de la totalité des matières premières utilisées, y compris donc de l'ensemble des tourteaux de la ration (tolérance actuelle d'une proportion de 5 % non Bio pour les monogastriques). Ceci devrait se traduire par un accroissement des besoins en tourteaux Bio. Une opportunité s'offre par conséquent pour le tournesol, déjà en tête de la sole oléagineuse en Bio en France (12 321 ha en 2009 pour le total Bio et conversion) (Agence Bio, 2010), pour croître sur ce créneau à condition que les capacités de trituration des procédés par pression suivent en proportion (tourteaux d'extraction à l'hexane sont bannis en Bio).

(1) Agence française de sécurité sanitaire des aliments

3.3 Des potentiels de développement de l'huile sur le marché du non alimentaire sous-tendus d'une part par les évolutions incitatives et réglementaires et d'autre part par les innovations en cours.

Au niveau incitatif, un écolabel Européen a été mis en place : il repose sur des critères environnementaux (biodégradabilité, écotoxicité, matières premières renouvelables) et de performance. Le projet Européen IBIOLAB qui s'est terminé en 2009 a cherché à développer des biolubrifiants à partir d'huiles végétales et particulièrement à partir d'huile à haute teneur en acide oléique (VHOSO 85-90 % en oléique), ceci pour chacune des familles d'usage couvertes par l'écolabel Européen. Ce programme va se poursuivre avec le projet VOSOLUB afin d'accompagner la réalisation de trois chantiers expérimentaux.

Sur un plan réglementaire, l'Union Européenne, dans le cadre de l'initiative «Marchés porteurs» préconisant une coordination des politiques par l'intermédiaire de plans d'action ambitieux en faveur notamment du marché des bioproduits, a adressé en 2008 des mandats de normalisation au Comité européen de normalisation (CEN) portant sur les bioproduits (UE, 2008), ceci dans le but d'apporter un encadrement réglementaire et standardisé afin d'accroître le taux de pénétration des bioproduits. D'autre part, l'étude menée par l'ADEME /ALCIMED en 2007 (Tableau 6) pointe le secteur des biopolymères et des intermédiaires chimiques comme ayant le plus fort taux de croissance aux horizons 2015/2030 (en se basant sur un scénario de fort développement des bioproduits reposant sur une augmentation substantielle du prix du baril de pétrole, une pression sociétale s'exprimant pour les bioproduits et une grande mobilisation de la recherche en faveur des bioproduits).

Tableau 6 : Perspectives d'évolution du marché des bioproduits en France (ADEME/ALCIMED 2007).

Bioproduit (en kT)	2005	2015	2030
Intermédiaires de synthèse	≈ 0	4500	11250
Biotensioactifs	110	184	205
Biolubrifiants	1	95	145
Biosolvants	9	46	84
Pigments, encres, peintures, vernis	29	109	198
Biopolymères	10	2334	4623

Les innovations qui suivent vont dans ce sens, avec notamment l'utilisation du tournesol oléique dont la présence très largement majoritaire d'un seul acide gras, l'acide oléique, permet de limiter la formation de sous-produits indésirables et de faciliter la purification des produits obtenus. Intéressons-nous d'abord aux composés mineurs de la graine de tournesol qui suscitent un intérêt croissant, autant pour l'alimentation humaine que pour une utilisation industrielle. Parmi ces composés, les tocophérols et les phytostérols ont un intérêt potentiel important. Les tocophérols, collectivement appelés Vitamine E, sont en fait un ensemble de molécules de structure similaire : un noyau : 2-méthyl-6-chromanol et une chaîne latérale de 16 atomes de carbone (DellaPenna et Pogson, 2006). La chaîne carbonée existe sous deux formes : une forme insaturée qui caractérise les tocotriénols et une forme saturée pour les tocophérols. Pour chacune de ces catégories, on trouve quatre composés (α, β, γ et δ) selon la position et le nombre de substitutions méthyl sur la tête chromanol (Figure 12).

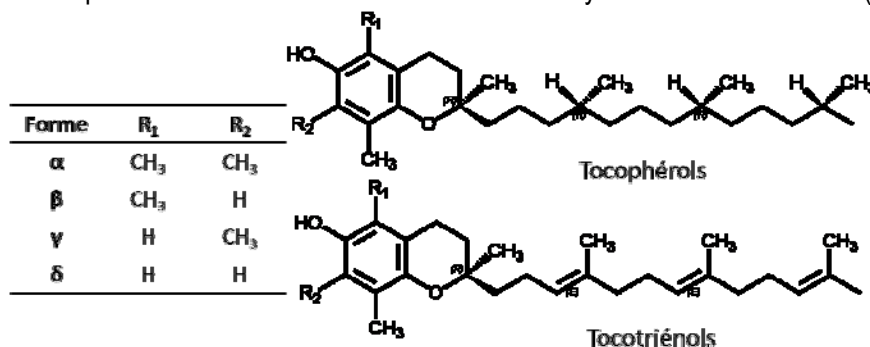


Figure 12 : Structure des tocochromanols (tocophérols + tocotriénols). Tous les isomères naturels ont la même configuration stéréochimique (RRR). Le tournesol ne contient pas ou quasiment pas de tocotriénols

Lors de l'extraction, l'huile de tournesol contient une forte teneur en tocophérols (généralement entre 400 et 800 mg/kg d'huile) avec un profil très spécifique puisque chez cet oléagineux, il s'agit à 95% de la forme alpha (α), seule à présenter l'activité vitaminique. Bien qu'une partie plus ou moins importante (de 25 à 75 %) puisse être perdue selon le procédé de raffinage utilisé (Tasan et Demirci, 2005), cette particularité lui apporte un grand intérêt pour l'alimentation humaine. Le profil en tocophérols est assez peu variable selon la variété, et le type (oléique ou classique). Par contre, les lignées présentent des teneurs totales allant jusqu'à 1800 mg/kg d'huile, avec une forte héritabilité (Ayerdi-Gotor, 2008). L'effet de l'environnement, en particulier les hautes températures durant la maturation des graines, ou les températures et durées de stockage peuvent fortement diminuer les teneurs des akènes. La teneur en tocophérols diminue d'autant plus rapidement que la graine est décortiquée ou endommagée (Zacheo et al., 2000 ; Wagner et al., 2003). Les tocophérols peuvent protéger l'huile de l'oxydation, mais l'effet antioxydant n'est pas forcément lié à l'activité vitaminique. Ainsi, à température ambiante et à faible concentration (400 ppm), l' α -tocophérol peut être plus antioxydant que les autres formes, puis rapidement devenir faiblement actif, voire nettement plus prooxydant que les autres formes à forte concentration (1000 ppm et plus) (Seppanen, et al., 2010). Des mutants avec des teneurs élevées en γ -tocophérol (85%), en β -tocophérol (jusqu'à 77 %) ou en δ -tocophérol (jusqu'à 73 %) ont été obtenus par combinaison de mutations dans les voies de synthèse (Velasco et al., 2004 ; Garcia-Moreno et al., 2006 ; Berger et al. 2010). On peut alors imaginer dans un avenir assez proche la production de variétés de tournesol oléiques avec des profils modifiés afin d'améliorer la stabilité de l'huile à forte température pour un usage industriel.

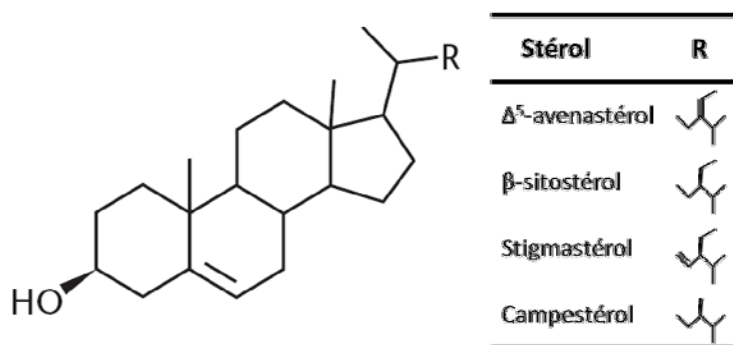


Figure 13 : Structure des phytostérols

Les stérols des plantes, ou phytostérols, sont des alcools stéroïdes, membres de la famille des terpènes dont la structure chimique est assez similaire au cholestérol (Figure 13). Les principaux phytostérols des plantes sont le β -sitostérol, le stigmastérol et le campesterol. La majorité des huiles végétales contiennent de 1 à 5 g de stérols/kg d'huile. L'huile de tournesol est particulièrement riche puisque les extraits par pression à froid peuvent contenir jusqu'à 0,5 ou 1 % de phytostérols (Piironen et al., 2000 ; Ayerdi-Gotor, 2008). L'huile de tournesol contient majoritairement du β -sitostérol devant le campesterol et le stigmastérol. Contrairement au colza, elle ne contient pratiquement pas de squalène qui participe à la synthèse des graisses et à la formation du cholestérol, ce qui lui confère des atouts nutritionnels. Comme pour les tocophérols, une partie non négligeable des phytostérols peut être perdue lors du raffinage. La teneur en phytostérols totaux semble moins variable que la teneur en tocophérols. Une étude biannuelle portant sur la comparaison de trois hybrides de tournesol (Santiago, Proléic 204 et Ichraqles) montre que la date de semis influe sur le remplissage de l'akène mais également qu'un apport en eau entraîne une diminution de la teneur en phytostérols (Roche et al., 2010 ; Roche et al., 2006). La teneur en phytostérols totaux apparaît significativement augmentée par les fortes températures chez certains hybrides de tournesol (Ayerdi-Gotor, 2008). Peu d'études traitent des modifications de composition des phytostérols sur la culture du tournesol. La composition en phytostérols varie significativement, avec une augmentation du pourcentage en campesterol et une

faible diminution des teneurs en stigmastérol et en β -sitostérol, lorsque la température augmente (Ayerdi-Gotor et *al.*, 2008). Chez le colza, le rapport sitostérol/campestérol semble influencé par l'apport en azote (Gul et *al.*, 2007).

Lors des opérations de transformation industrielle, il est possible de récupérer la fraction insaponifiable de l'huile qui contient les tocophérols et phytostérols. Elle constitue alors un coproduit fortement valorisable en industrie cosmétique et pharmaceutique. Cette fraction fournit de l' α -tocophérol naturel pratiquement purifié, ingrédient de choix pour la conservation des produits cosmétiques (Thiele et *al.*, 2005), ainsi que des phytostérols, utilisés comme émulsifiants (Folmer, 2003). De plus, on peut espérer un développement futur de l'usage de ces derniers en tant qu'additifs alimentaires, étant donné la demande croissante en produits enrichis en stérols végétaux. Le marché actuel est dominé par les phytostérols extraits à partir de tall oil (Svetlana et Segal, 2007) dont l'acceptabilité par les consommateurs n'est pas garantie (Stern et *al.*, 2009).

Par ailleurs, on observe aussi une valorisation croissante des coques de tournesol en énergie. En effet, outre l'amélioration de la qualité du tourteau, qui reste un facteur dominant en faveur du décorticage, ce dernier présente un certain nombre d'avantages pour l'industriel triturateur et notamment une possibilité de valorisation énergétique des coques par combustion en chaudière et production de vapeur (Autran, 1986). C'est l'option retenue notamment en France sur le site de Lezoux et bientôt sur d'autres sites. Le décorticage partiel produit environ 10 % de coques (mélange riche en coques, mais contenant néanmoins une faible fraction d'amandes) rapporté au poids de graines mis en œuvre. Leur pouvoir calorifique est de 4200 Kilocalories/kg, soit 40 % du fuel lourd n°2 (Beal, 1981). Le décorticage partiel des graines et la combustion des coques en chaudière fournissent une autonomie thermique pour la trituration et le raffinage. Un décorticage poussé produit environ 18 à 20 % du poids initial de graines en coques (Sisson, 1984a & b ; Leibovitz et *al.*, 1982). Cela permet d'envisager une autonomie plus large, voir totale, de l'unité de trituration en énergie calorifique et électrique. Des excédents de coques par rapport aux besoins énergétiques (électricité en apport extérieur ou rythme d'activité élevé) peuvent se produire, ce qui a conduit à l'étude de voies alternatives de valorisation des coques :

- Farines de coques après broyage (250 kg/m³ au lieu de 70 à 100 kg/m³) : marché relativement réduit pour l'alimentation animale,
- Et la production de méthane et de compost par fermentation.

La viabilité de ces valorisations alternatives repose sur la capacité de transformation *in situ* des coques car le transport en l'état est trop coûteux (trop faible densité) et la compaction très exigeante en énergie (Beal, 1981). Les coques de tournesol représentent enfin une source potentielle de matière lignocellulosique pour la production de biocarburants de 2^{ème} génération ou de sucres pour la production de lipides par voie fermentaire.

En outre, quelques débouchés non alimentaires du tourteau se développent. Des études sont actuellement menées pour les utiliser comme base de matériaux pour l'horticulture (pots de repiquage). De plus, une colle végétale à l'eau à base d'extrait protéique de tourteau de tournesol a été mise au point par la coopérative agricole ARTERRIS en collaboration avec un laboratoire universitaire de l'ENSIACET (Brevet 1999). Les assemblages testés pour lesquels l'adhésif à base d'extrait protéique végétal donnent des valeurs de contrainte à la rupture comparables à celles obtenues avec un adhésif de référence sont le contreplaqué, l'aggloméré, le MDF, le carton souple, le carton ondulé, le papier kraft et la moquette sur aggloméré. Les études de faisabilité technico-économique du processus de fabrication de l'extrait protéique se poursuivent. D'autres parties de la plante présentent des potentialités d'applications dans le domaine des matériaux. Il s'agit en particulier de la moelle contenue dans la tige. En effet, sa densité est comparable à celle du polystyrène expansé et sa résistance à la compression supérieure (Marechal et *al.*, 1999). Ce matériau fait actuellement l'objet d'études complémentaires en tant qu'isolant extérieur pour la construction.

En ce qui concerne les procédés, à partir des graines de tournesol (graines de tournesol standard, tournesol oléique 86-87 % en oléique et tournesol très haut oléique : $\geq 90\%$ en oléique) bon nombre de stratégies de recherche ont été abordées pour étudier et mettre au point des procédés d'expression, de raffinage et de transformation des huiles de tournesol. Nous citerons les procédés :

- D'expression de l'huile oléique par simple pressage de graines entières en réacteur thermo-mécanique bi-vis (Dufaure et al., 1999a).
- D'extraction assistée d'huile en milieu solvanté lipophile en réacteur bi-vis soit :
 - par injection de l'ester méthylique de tournesol, le pressage de graines de tournesol est couplé alors avec une étape de séparation solide/liquide. Ceci permet avantageusement l'extraction d'huile en continu (Kartika et al., 2005, 2010).
 - ou bien par alimentation des graines de tournesol oléique et injection concomitante d'un alcool lipophile (2-éthylhexanol) et d'acide phosphorique. On réalise alors l'extraction réactive de l'huile et sa transformation en esters gras. La formation directe d'oléate de 2-éthylhexyle est observée *in situ* en un temps de réaction très court de l'ordre de la minute (Dufaure et al., 1999b).
- D'extraction aqueuse de l'huile de tournesol par le biais d'une émulsion. Cette étape est préliminaire à la valorisation des tourteaux lipidiques en agromatériaux (Evon et al., 2009).
- De préparation directe d'émulsions fluides simples « huiles dans eau » (huile = triglycérides) ou d'émulsions fluides complexes « eau/huile/eau » (huile = acides gras libres) obtenues par hydrolyse enzymatique *in situ* (Brevet 2003, 2006). Il a été prouvé que les émulsions fluides sont stabilisées par action synergique entre les phospholipides et les protéines membranaires natifs (Deleu et al., 2010). Ces émulsions peuvent être transformées en émulsions sèches par lyophilisation ou atomisation tout en conservant l'activité biologique intrinsèque des constituants mineurs des tocophérols et des phytostérols.

Le dernier procédé qui mérite d'être cité concerne le procédé de raffinage « doux » des huiles de tournesol de première pression appelé « soft raffinage ». C'est une alternative au raffinage conventionnel. Il présente des avantages concurrentiels en matière de réduction d'intrants chimiques. L'ensemble de ces procédés engendre des matières premières oléochimiques propices aux usages industriels dans les domaines de la lubrification, peinture, cosmétiques, tensioactifs,... Ce sont également des bases oléochimiques pour la lipochimie. Grâce à la présence de la liaison monoinsaturée (ou des liaisons polyinsaturées) de la chaîne grasse oléique (ou des chaînes grasses) de l'huile de tournesol oléique (ou classique) et de leurs dérivés acides ou esters, des réactions chimiques sur les doubles liaisons ou au voisinage de ces doubles liaisons sont susceptibles d'élaborer des structures chimiques fonctionnalisées d'intérêt (Figure 14). Par le biais de réactions d'oxydation, de la métathèse,... on peut former des époxy et/ou hydroxy acides gras, des α,ω -composés dibasiques gras etc..... (Behr et al., 2010). Aujourd'hui, les recherches s'intensifient pour trouver des procédés adaptés à la synthèse de ces composés multifonctionnels à partir de bases oléochimiques issues de tournesol oléique dans un but de développer leurs débouchés en tant que polyoléfines, polyesters, polyamides, tensio-actifs,... Le secteur des polymères biosourcés en particulier, est en plein essor (ADEME/ALCIMED, 2007) et demandeur de synthons (molécules intermédiaires) biosourcés. Aujourd'hui, peu sont produits à partir de matières premières oléagineuses. Les procédés indiqués précédemment vont permettre de diversifier et d'élargir l'offre en synthons biosourcés en offrant une gamme de monomères de longueur de chaîne différente et avec des fonctionnalités diverses. La recherche et le développement de procédés par voie fermentaire concernent aussi ces substrats et viennent donc en complémentarité à la voie chimique en visant une meilleure sélectivité (cas notamment des α,ω -composés dibasiques gras) et un moindre impact environnemental.

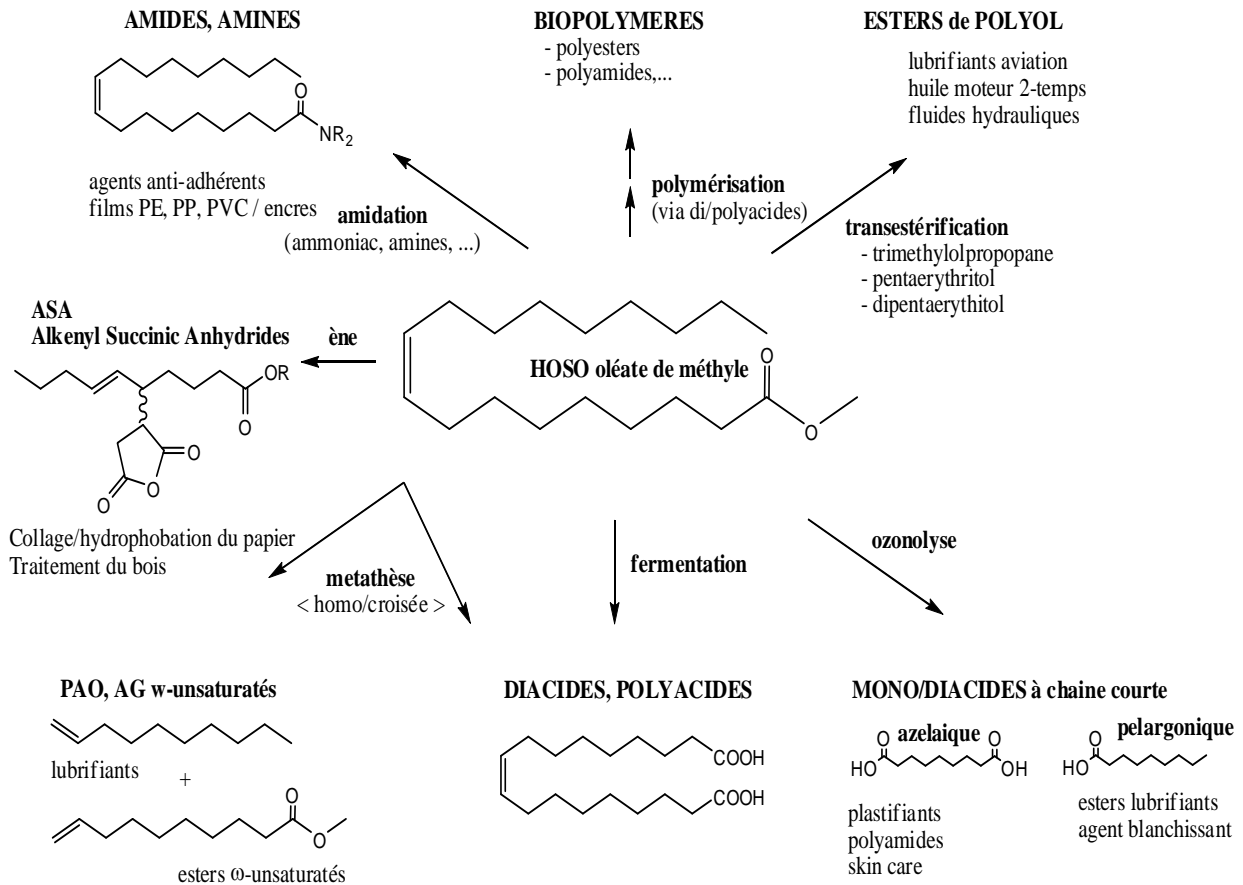


Figure 14 : Débouchés potentiels à partir du tournesol oléique dans le domaine de l'oléochimie

Conclusions

La production de tournesol en France permet non seulement de répondre à la consommation en huile alimentaire où elle se retrouve en tête des huiles de table mais aussi de fournir une partie des besoins en protéines de l'élevage sous forme de tourteaux. Grâce à l'observatoire de la qualité mis en place par le CETIOM et l'ONIDOL, il est possible de contrôler entre autres les teneurs en impuretés, en protéines et en acide oléique dans les graines et les tourteaux. La variété, l'alimentation en eau après la floraison et l'azote sont les paramètres les plus influents sur la richesse en huile dans la graine. Les températures élevées favorisent quant à elles la quantité d'acide oléique au détriment de l'acide linoléique. Les débouchés non alimentaires pour l'huile (oléique ou classique) restent minoritaires même si on note ces dernières années un développement de son utilisation dans le secteur de l'énergie (biodiesel, chaleur) et de l'oléochimie (peintures, encres, lubrifiants). Par contre, les contraintes réglementaires et les incitations gouvernementales laissent présager un développement des bioproduits à l'horizon des prochaines décennies. C'est ainsi que le tournesol oléique, grâce à son acide gras majoritaire et avec l'appui du travail de chercheurs pour mettre au point des procédés d'extraction, de purification et de transformation de plus en plus performants, respectueux de l'environnement et capables d'exploiter tous les organes de la plante, devrait devenir une matière première de choix pour répondre à ces nouveaux besoins du marché.

Références bibliographiques

- ADEME/ALCIMED, 2007. Marché actuel des bioproduits énergétiques et industriels & évolutions prévisibles à échéance 2015/2030, Synthèse, 55 p.
- ADEME/BIOIS, 2010. Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France, Rapport final, Direction Production et Energies Durables (DEPD), 236 p.
- Agence BIO : L'agriculture biologique, chiffres clés, édition 2010
- Aguirrezabal L.A.N., Lavaud Y., Dosio G.A., Izquierdo N.G., Andrade F. H., Gonzalez L.M. 2003. Weight per seed and oil concentration in a sunflower hybrid are accounted for by intercepted solar radiation during a definite period of seed filling. *Crop Science* 43,153-161.
- Autran E., 1986. Multi-valorisation industrielle du tournesol, Chambre régionale d'agriculture du Centre , 160 p.
- Ayerdi-Gotor A., 2008. Étude des variations des teneurs et de la variabilité des compositions en tocophérols et en phytostérols dans les akènes et l'huile de tournesol (*Helianthus annuus* L.). Thèse de doctorat, INPT. Toulouse, France, 196p.
- Ayerdi-Gotor A., Berger M., Labalette F., Centis S., Eychenne V., Dayde J., Calmon A. 2008. Variability in the content and composition of minor components of sunflower oil from flowering to full maturity. Part II - Phytosterols. *OCL - Oleagineux Corps Gras Lipides* 15, 400-406.
- Beal L., 1981. Valorisation des sous-produits de l'industrie des corps gras -II- Les coques de tournesol. *Revue Française des Corps Gras* 4, 56-57.
- Behr A., Gomes J.P., 2010. The refinement of renewable resources: New important derivatives of fatty acids and glycerol. *Eur. J. Lipid Sci. and Technol.* 112, 31-50.
- Berger M., Ayerdi-Gotor A., Sarrafi A., Maury P., Daydé J., Calmon A. 2010. Que sait-on du déterminisme de la qualité des huiles de tournesol face aux nouvelles attentes? *OCL - Oleagineux, Corps Gras, Lipides* 17, 171-184.
- Brevet EP 0 997 513 (1999): Colle à l'eau à base d'extrait protéique végétal et procédé de préparation. Déposant: Toulousaine de Recherche et Développement.
- Brevet FR 0302636 (2003) – Brevet EP 032769562 (2006) : Procédé et préparation d'acides gras par hydrolyse *in situ* des lipides contenus dans les graines d'une plante. Co-déposants: INRA – Institut National Polytechnique de Toulouse.
- CEREOPA 2009 et 2010 : tableaux de bord juin et décembre 2009, juin et décembre 2010
- CETIOM. 2002 : Graines oléagineuses : du stockage à l'alimentation animale
- CETIOM. 2011 : Qualité des graines-récolte tournesol 2010. Fiche téléchargeable depuis www.cetiom.fr
- Champolivier L., Merrien A. 1996. Évolution de la teneur en huile et de sa composition en acides gras chez deux variétés de tournesol (oléique ou non) sous l'effet de températures différentes pendant la maturation des graines. *OCL - Oleagineux Corps Gras Lipides* 3, 140-145.
- Deleu M., Vaca- Medina G., Fabre J.F., Roiz J., Valentin R., Mouloungui Z. 2010. Interfacial properties of oleosins and phospholipids from rapeseed for the stability of oil bodies in aqueous medium. *Colloids and Surfaces B : Biointerfaces* 80, 125-132
- DellaPenna D., Pogson B.J., 2006. Vitamin synthesis in plants: Tocopherols and carotenoids. *Annual Review of Plant Biology* 57, 711-738.
- Dufaure C., Leyris J., Rigal L., Mouloungui Z., 1999a. A twin screw extruder for oil extraction. I. Direct expression of oleic sunflower seeds. *Journal of American Oil Chemist Society* 76, 1073-1079
- Dufaure C., Mouloungui Z., Rigal L., 1999b. A twin screw extruder for oil extraction. II. Alcohol extraction of oleic sunflower seeds. *Journal of American Oil Chemist Society* 76, 1081-1086
- Evon P., Vandenbossche V., Pontalier P.Y., Rigal L., 2009. Aqueous extraction of residual oil from sunflower press cake using a twin-screw extruder: feasibility study. *Industrial Crops and Products* 29, 455-465

- Folmer, B. M. 2003. Sterol surfactants: from synthesis to applications. *Advances in Colloid and Interface Science* 103, 99-119.
- Garcia-Moreno M.J., Vera-Ruiz E.M., Fernandez-Martinez J.M., Velasco L., Perez-Vich B., 2006. Genetic and molecular analysis of high gamma-tocopherol content in sunflower. *Crop Science* 46, 2015-2021.
- Gul M.K., Egesel C.O., Tayyar S., Kahrman F., 2007. Changes in phytosterols in rapeseed (*Brassica napus* L.) and their interaction with nitrogen fertilization. *International Journal of Agriculture and Biology* 9, 250-253.
- Izquierdo N.G., Aguirrezabal L.A.N., Andrade F. H., Cantarero M. 2006. Modelling the response of fatty acid composition to temperature in a traditional sunflower hybrid. *Agronomy Journal* 98, 451-461.
- Kartika I., Pontalier P.Y., Rigal L., 2005. Oil extraction of oleic sunflower seeds by twin screw extruder: influence of screw configuration and operating conditions. *Industrial Crops and Products* 22, 207-222
- Kartika I., Pontalier P.Y., Rigal L., 2010. Twin-screw extrudeur for oil processing of sunflower seeds: Thermo-mechanical pressing and solvent extraction in a single stepp. *Industrial Crops and Products* 32, 297-304
- Lagravere, T., Kleiber D., Dayde J., 1998. Cultural practices and sunflower oilseed agronomic performance: facts and the future. *OCL-Oleagineux Corps Gras Lipides* 5, 477- 485.
- Leibovitz Z., Ruckenstein C., 1982. Considerations regarding storage and decortication of sunflower seed and practical methods executed in a modern sunflower factory. *Seifen Ole Fette Wachse* 14, 419-422.
- Marechal V., Rigal L. 1999. Characterization of by-products of sunflower culture- Commercial applications for stalk and heads. *Industrial Crops and Products* 10, 185-200.
- Merrien A., Blanchet R., Gelfi N. 1981. Relationships between water supply, leaf area development and survival, and production in sunflower. *Agronomie* 1, 917-922
- Merrien A., Pouzet A., Krouti M., Dechambre J., Garnon V., 2006. Contribution à l'étude de l'effet des températures basses sur la composition en acide gras de l'huile des akènes de tournesol (oléique et classique). *OCL - Oleagineux Corps Gras Lipides* 12, 455-458
- Merrien A., Garnon V. 2011. Comptes rendus enquête qualité des graines de Tournesol produites en France. Edition CETIOM-ONIDOL, 5 p.
- ONIDOL, 2007, Les tourteaux de colza et de tournesol, sources de protéines de qualité pour les porcs.
- Piironen V., Toivo J., Lampi A.M., 2000. Natural sources of dietary plant sterols. *Journal of Food Composition and Analysis* 13, 619-624.
- Roche J., Alignan M., Bouniols A., Cerny M., Mouloungui Z., Vear F., Merah O., 2010. Sterol content in sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) as affected by genotypes and environmental conditions. *Food Chemistry* 121, 990-995.
- Roche J., Bouniols A., Mouloungui Z., Barranco T., Cerny M., 2006. Management of environmental crop conditions to produce useful sunflower oil components. *European Journal of Lipid Science and Technology* 108, 287-297.
- Seppanen C.M., Song Q.H., Csallany A.S., 2010. The Antioxidant Functions of Tocopherol and Tocotrienol Homologues in Oils, Fats, and Food Systems. *Journal of the American Oil Chemists Society* 87, 469-481.
- Sisson WH., 1984a. Innovations in sunflower crushing. *Oil Mill Gazetteer* 35-36.
- Sisson WH., 1984b. Innovations in sunflower crushing. *Oil Mill Gazetteer* 49-50.
- Stern T., Haas R., Meixner O., 2009. Consumer acceptance of wood-based food additives. *British Food Journal* 111, 179-195.
- Svetlana P.L., Segal R., 2007. Researches on solvent extraction of phytosterols from tall oil in a view of functional food supplementation. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca* 63, 529-533.

- Tabee E., Azadmard-Damirchi S., Jägerstad M., Dutta P.C., 2008. Effects of α -tocopherols on oxidative stability and phytosterols oxidation during heating in some regular and high-oleic vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists Society* 85, 857-867.
- Tasan M., Demirci M., 2005. Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. *European Food Research and Technology* 220, 251-254.
- Thiele J.J., Hsieh S.N., Ekanayake-Mudiyanselage S., 2005. Vitamin E: Critical review of its current use in cosmetic and clinical dermatology. *Dermatologic Surgery* 31, 805-813.
- UE, 2008: Mandate 52/2008 for the programming of standards for all types of bio-based products, Mandate 53/2008 for the rapid elaboration of pre-standards for bio-lubricants and bio-polymers.
- Velasco L., Perez-Vich B., Fernandez-Martinez J. M., 2004. Novel variation for the tocopherol profile in a sunflower created by mutagenesis and recombination. *Plant Breeding* 123, 490-492.
- Wagner K.H., Isnardy B., Elmadfa I., 2003. Effects of seed damage on the oxidative stability of poppy seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology* 105, 219-224.
- Wagner K., Mounts T.L., 1990. Analysis of Tocopherols and Phytosterols in vegetable oils by HPLC with evaporative light-scattering detection. *Journal of the American Oil Chemists Society* 67, 827-931
- Zacheo G., Cappello M.S., Gallo A., Santino A., Cappello A.R., 2000. Changes associated with post-harvest ageing in almond seeds. *Food Science and Technology* 33, 415-423.