

## II.1. RHEOLOGIE ET AGRO-ALIMENTAIRE :

De nombreuses recherches à caractère expérimental surtout mais aussi théorique ont été entreprises depuis plusieurs décennies dans le domaine de la caractérisation rhéologique des produits agro-alimentaires. Depuis quelques années les travaux dans ce domaine se sont multipliés à cause de la multiplication des gammes de produits et le développement des procédés technologiques, de conservation ainsi que la substitution des produits par d'autres.

Pour ne donner comme exemple que le dernier procédé, un exemple tout à fait et d'actualité est celui de l'insuffisance nutritionnelle en protéines dans les pays en développement et spécialement chez les enfants. La protéine animale comme la viande est très chère et l'approvisionnement dans la majorité des pays en développement est très faible, pour cela beaucoup d'études rhéologiques aident d'autres études dans d'autres spécialités pour trouver une autre source de protéines. A présent les protéines des huiles végétales attirent beaucoup d'intérêt pour se substituer à la protéine animale, RIVACE et SHERMAN [18], ont étudié le comportement des émulsions d'huile de maïs dans l'eau stabilisée par fractions de protéine de soja et de viande. Dans le même contexte JOST et COLL [37], ont étudié les émulsions d'huile dans l'eau et ils ont utilisé comme émulsifiant les protéines d'une huile végétale, il y a aussi le travail de VERNON et COLL [16] qui consiste à analyser l'effet des différentes concentrations des protéines d'haricot sur les propriétés rhéologiques d'une émulsion de viande.

L'analyse rhéologique des produits agro-alimentaires se développe à la fois dans les laboratoires industriels et dans les laboratoires scientifiques et ces développements sont surtout réalisés pour améliorer les procédés de fabrication et de conservation. L'étude par exemple de SHILIU et COLL [38] qui donne des indications nécessaires pour conception des installations pour la stérilisation. Dans ce terrain d'étude parfois les chercheurs sont même obligés à concevoir du matériel spécial pour l'étude rhéologique des produits agro-alimentaires comme exemple la conception d'un nouveau rhéomètre en ligne pour mesurer la viscosité de produit de base d'amidon extrudé [17].

La rhéologie des produits agro-alimentaires est une vaste étude qui nécessite non seulement des connaissances en rhéologie mais dans d'autres disciplines ce qui permet une bonne caractérisation rhéologique du produit et un bon profit dans l'utilisation des résultats

## II.2. LES HUILES VEGETALES :

### II.2.1. Définition d'une huile végétale :

L'huile est une substance grasse obtenue à partir de graines et de fruits de diverses plantes oléagineuses, par pression, ou par extraction par solvant.

### II.2.2. Composition des huiles végétales :

L'huile ne se compose que de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'un peu d'oxygène (O), dans les proportions variables (exemple le triglycéride d'acide oléique mono-insaturé :

$C_{57}H_{104}O_6$  soit :  $3 \cdot C_{18}H_{33}O_2 + C_3H_5^{+3}$ ). [24]

Les huiles végétales sont des triglycérides (combinaison entre trois acides gras et une molécule de glycérol, dont la composition dépend de la nature de la plante, de ses conditions de culture, du sol et de la saison. Le mot « huile » se rapporte aux triglycérides qui se trouvent dans leur état liquide à température ambiante. Les paramètres qui différencient les huiles et affectent leurs propriétés physiques et chimiques sont le nombre de carbones qui composent les acides gras, le degré d'in-saturation et enfin, la stéréochimie des doubles liaisons. [9]

#### II.2.2.1. Composition des huiles alimentaires :

Les huiles alimentaires sont constituées à 100 % de lipides (environ 99 % de triglycérides, le reste étant composé principalement de lécithines - suivant l'huile - et de vitamine E), elles ne contiennent pas d'eau et sont très caloriques. Les huiles sont un mélange de triglycérides différents dont la composition moyenne est connue. Leur teneur élevée en acides gras mono-insaturés ou poly-insaturés est bénéfique pour la santé. Chaque huile a une composition en acides gras différente. [20-31]

### II.2.3. Qualité des huiles :

Il existe les huiles vierges qui n'ont subi aucun raffinage et sont de première pression à froid (pressées à moins de 40° c). Il existe aussi les huiles pures extraites à froid mais généralement désacidifiées avec de la soude caustique ou un mélange d'huiles vierges ou raffinées. [27]

#### II.2.3.1. Huiles végétales pures :

L'huile végétale HVP (HVP = huile végétale pure ou PPO = Pure Plant Oil) est "renouvelable", très favorable pour son bilan énergétique et son bilan CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) et exempte de soufre, de métaux lourds et de radioactivité. et est totalement sans danger pour la nappe phréatique, les mers et l'air, lors de son transport ou de son stockage. [24]

Les huiles végétales peuvent être classées en 3 grandes catégories :

Les huiles saturées dans lesquelles on trouve les huiles de Coprah, de Palme et de Palmiste ; ces huiles sont résistantes à l'oxydation, présentent un bon indice de cétane, mais sont souvent très visqueuses, voire pâteuses aux températures moyennes (ce qui imposera un dispositif de pré-réchauffage pour les utiliser).

Les huiles semi-siccatives, les plus nombreuses avec l'huile d'olive, d'arachide, de purghère, de colza, moyennement visqueuses et les huiles de tournesol, soja, maïs, coton, carthame, plus fluides.

Les huiles siccatives comprenant les chaînes carbonées les plus longues telles que l'huile de lin et les huiles de poisson qui s'avèrent, à l'expérimentation, difficiles à assurer une combustion correcte dans le moteur. [9]

#### **II.2.4. Propriétés des huiles végétales :**

L'huile végétale possède la plus haute valeur énergétique obtenue par la photosynthèse. Avec une valeur énergétique d'environ 9,2 kWh par litre, elle se trouve entre l'essence 8,6 kWh et le gazole 9,8 kWh. L'hydrogène, même liquéfié à  $-253\text{ °C}$ , a une densité d'énergie de 2,3 kWh par litre soit qu'un quart de celle de l'huile végétale (9,2 kWh/l) à  $20\text{ °C}$ . Ce n'est à l'évidence pas une solution optimale. [24]

### **II.3. UTILISATION DES HUILES VEGETALES :**

#### **II.3.1. Utilisation des huiles végétales dans l'alimentation :**

##### **II.3.1.1. Alimentation humaine :**

L'huile est extraite des graines, dont la teneur dans les variétés améliorées varie de 45 à 50 %. L'huile de tournesol est appréciée pour son équilibre en acides gras : elle contient 12 % seulement d'acides gras saturés et beaucoup d'acides gras mono ou poly-insaturés, acide oléique, acide palmitique et surtout acide linoléique, qui est un acide gras essentiel. D'après les nutritionnistes, cette huile a d'excellentes qualités diététiques, par exemple pour combattre le diabète. C'est également une bonne source de vitamine E. L'huile de tournesol entre dans la composition des margarines. Elle sert aussi à la fabrication de savon et de cierges. On consomme aussi les graines torrifiées.

##### **II.3.1.2. Alimentation animale :**

La plante entière récoltée avant maturité est utilisée comme fourrage. De plus, les résidus de trituration, appelés tourteaux, sont riches en protéines, dont un acide aminé très recherché dans l'alimentation du bétail, la méthionine.

### **II.3.2. Utilisation des huiles végétales dans l'industrie :**

#### **II.3.2.1. Les usages énergétiques des huiles végétales hors carburant automobile :**

On distingue trois grandes applications possibles :

- les moteurs fixes,
- la combustion directe,
- la cogénération.

L'huile de tournesol utilisée dans des moteurs permet d'obtenir des performances équivalentes (puissance, rendement, émissions atmosphériques) à celles du fioul domestique. Cependant, les modifications de moteurs standard sont délicates et coûteuses et il vaut mieux recourir à des moteurs spécialement adaptés au produit, ou opérer des transformations indispensables (kit de bicarburant).

En combustion directe, il est indispensable d'avoir un brûleur adapté à l'huile, proposé actuellement par des constructeurs allemands ou italiens. La combustion des huiles dans des brûleurs industriels de forte puissance adaptés à du fioul lourd ne semble pas poser de problème particulier, moyennant des réglages adéquats.

Lorsque les tourteaux ne peuvent pas être valorisés en alimentation animale, on peut envisager leur combustion. Toutefois, le taux de composés azotés dans les fumées ne permet pas de respecter les normes en vigueur. On suggère donc une voie de recherche technologique : l'extraction des protéines utilisables dans l'alimentation animale afin de ne brûler qu'un composé ligno-cellulosique pauvre en azote.

La cogénération industrielle a été développée dans plusieurs pays européens grâce à des prix d'achat de l'électricité renouvelable élevée, mais essentiellement à partir d'huile de palme importée d'Indonésie ou de Malaisie. En petite puissance (5 à 100 kW) des constructeurs proposent des groupes électrogènes pouvant fonctionner en cogénération. Ce type de matériel est plutôt adapté aux sites isolés nécessitant une autonomie énergétique. [28]

#### **II.3.2.2. Utilisation des huiles végétales pures dans des moteurs diesels fixes, à régime constant ou variable :**

Les moteurs diesels à injection indirecte ne nécessitent que peu d'adaptations pour accepter les HVP comme carburant, quel que soit le taux de mélange avec des fiouls. En revanche, les moteurs diesels à injection directe présentent des encrassements des chambres de combustion lors de l'utilisation d'HVP, sauf dans les zones de charge (puissance délivrée) élevée. Des « kits de bicarburant », basculant du fioul à l'HVP sur une information puissance, peuvent être utilisés quand une part significative de la « vie » du moteur a lieu dans des zones de puissance

élevée. Sinon, il faut soit modifier les moteurs, soit utiliser des moteurs spécialement conçus pour les HVP. Lorsque les moteurs diesels sont adaptés aux HVP, Les performances sont identiques à celles observées au fioul et la pollution à l'échappement est en faveur des huiles végétales. Par ailleurs, la longévité des moteurs est accrue quand ils utilisent les huiles végétales pures. Utilisation des huiles végétales pures dans les brûleurs.

Les caractéristiques énergétiques des huiles végétales sont suffisamment proches de celles du fioul pour que l'on puisse s'attendre à une substitution aisée dans les brûleurs. Il apparaît que le réchauffage de l'huile pure, ou des mélanges avec du fioul, est indispensable pour se rapprocher de la viscosité du fioul seul. Ceci est nécessaire pour permettre l'allumage de la flamme.

L'augmentation de la pression de pulvérisation permet l'amélioration de la combustion des HVP avec, dans certains cas observés, l'absence d'imbrûlés et de très bons résultats en rendement et taux de polluants dans les fumées.

Les brûleurs de grosses puissance (> 1000 kW) et ceux de moyenne puissance (entre 50 et 1000 kW) qui sont équipés pour des fiouls lourds, peuvent être adaptés pour les HVP sans surcoûts significatifs. En revanche, les petits brûleurs (< 50 kW) doivent être équipés de réchauffeurs et de systèmes de pulvérisation compatibles avec les HVP qui amènent le plus souvent à des surcoûts de 100 %.

Enfin, si les initiatives semblent nombreuses, il y a peu d'exemples d'utilisation d'HVP en brûleurs présentant des bilans complets exploitables. [28]

## **II.4. L'HUILE D'OLIVE :**

### **II.4.1. Définition d'huile d'olive :**

L'huile d'olive est tirée du fruit de l'olivier (*oleaeuropaea*). C'est l'unique huile susceptible d'être consommée directement telle qu'elle sort du fruit.

L'huile d'olive occupe parmi les huiles végétales alimentaires une place particulière. [14]

### **II.4.2. Composition chimique de l'huile d'olive :**

La composition de l'huile d'olive dépend de la variété du fruit, de la région de culture et des conditions climatiques. L'huile d'olive a une basse teneur en acides gras saturés. [21]

### **II.4.3. Utilisation d'huile d'olive :**

Suivant leurs qualités, les huiles obtenues sont utilisées pour :

- L'alimentation : consommation directe (Huiles d'olive vierge et extra vierge).
- L'industrie : fabrication des produits cosmétiques (huiles courante et lampante). [21]

**II.4.4. Caractéristiques d'huile d'olive : [21]**

Densité relative	0,910 – 0,916 (20°C/eau à 20°C)
Indice de réfraction	1,467 - 4705 (nd20)
Indice de saponification	184 - 196 (mg KOH/g d'huile)
Indice d'iode	75 - 94 (Wijs)
Acidité libre	0,3 - 1 % (g d'acide Oléique libre/100g d'huile)
Indice de peroxyde	≤20 - ≤15 (Milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile)
Absorbance dans l'ultraviolet	2,50 - 2,60 (à 232 nm).

Tableau. II.1 : caractéristiques de l'huile d'olive.

**II.5. L'HUILE DE TOURNESOL :****II.5.1. Caractéristiques de l'huile de tournesol :****II.5.1.1. Caractéristiques chimiques:**

L'huile de tournesol est un mélange composé à 95% de triglycérides (formule  $C_xH_yO_z$ ) et de 5% d'acides gras libres, de stérols, de cires, de diverses impuretés. - C'est une huile di-insaturée (dite semi-secative), caractérisée par un indice d'iode de 132 et d'acidité de 0,05. Il n'y a pas de polluants dangereux comme le benzène, le plomb, ni aucun métaux lourds.

**II.5.1.2. Caractéristiques physiques:**

Densité à 20°C	0,92
Viscosité (CST) à 20°C	55-61
Point de fusion	-16°
Point de trouble	-5°
Point éclair	316°
PCI (Kcal/ Kg)	9032
Indice de cétane	30

Tableau. II.2 : caractéristiques physiques de l'huile de tournesol.

L'indice de cétane (mesure d'aptitude à l'auto-inflammation) est très faible dans le cas de l'huile de tournesol (48-50 pour le gasoil).

L'huile de pression à froid s'oxyde lors d'un stockage prolongé, et voit donc son indice de cétane augmenter, ce qui reste un avantage.

Elle ne subit pas de raffinage, de dégommeage, de neutralisation, ni de décoloration.

La miscibilité est excellente avec le gasoil, et on peut à tout moment s'approvisionner avec ce dernier. [25]

### **II.5.2. Compositions de l'huile de tournesol :**

Elle est composée à 98% de triesters d'acides gras. Le reste contenant entre autres des stérols et du tocophérol (vitamine E). La composition en acides gras de l'huile de tournesol utilisée pour l'alimentation humaine est la suivante (en pourcentage massique): Acide linoléique (C18:2  $\omega$ -6 polyinsaturé) : 67 % Acide oléique (C18:1  $\omega$ -9 mono-insaturé) : 20 % Acide palmitique (C16:0 saturé) : 6 % Acide stéarique (C18:0 saturé) : 5 % Autres : 2 % L'huile de tournesol est donc l'huile végétale la plus riche en acide gras essentiel oméga-6. On note cependant sa pauvreté en acide gras essentiel oméga-3.

## **II.6. L'HUILE DE SOJA :**

### **II.6.1. Définition de l'huile de soja :**

L'huile de soja est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée d'haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel alpha-linolénique. Elle est recommandée pour les assaisonnements.

Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales, sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer. [11]

### **II.6.2. Origine de l'huile de soja :**

#### **II.6.2.1. La plante :**

Le soja [*Glycine max* (L.) Merrill] appartient à la famille des Fabacées, sous-famille des Faboideae, tribu des Phaseoleae, sous tribu des Glycininae, genre *Glycine*. [33]

La plante est annuelle, herbacée, dressée, et peut atteindre une hauteur de 1,5 m. La gousse est droite ou légèrement courbée, d'une longueur de deux à sept cm. Elle est formée par les deux moitiés du carpelle, soudées le long de leurs bords dorsal et ventral.

### II.6.2.2. La graine :

A l'issue de la floraison et de la nouaison, se développe une gousse contenant, selon les cas, entre 1 et 4 graines [32]. Comme chez les autres légumineuses, la graine se compose essentiellement d'une enveloppe lisse (la coque) et d'un embryon. Sa taille varie généralement entre 5 et 10 mm de diamètre et son poids (selon les variétés) oscille entre 50 et 400 mg. La forme de la graine varie selon les cultivars. [32]

La graine de soja contient aussi des glucides non structurels, pour environ 10 % du poids de la graine, avec principalement des sucres solubles (sucrose, stachyose et raffinose) et peu d'amidon (moins de 3 % du poids des graines) [32].

### II.6.3. Composition de l'huile de soja :

La principale différence de l'huile de soja par rapport aux autres huiles végétales, se situe au niveau de la forme d'insaturation et de la présence d'acide linoléique (C18:3) en quantité appréciable. Cet acide gras étant très sensible à l'oxydation, il conviendrait d'éviter au maximum le contact de l'huile avec l'oxygène de l'air.

L'huile brute de soja est définie en termes d'humidité, impuretés, teneur en phosphatides, en acides gras libres et aussi en termes de couleur, caractéristiques d'oxydation et traces métalliques [30].

Humidité et impuretés volatiles	0,3 % maximum
Acides gras libres	0,75 % maximum
Phosphatides (exprimés en Phosphore)	0,02 % maximum
Matières insaponifiables	1,5 % maximum
Point d'éclair	121°C minimum

Tableau. II.3: Spécifications de l'huile de soja dégommée brute [30].

#### II.6.3.1. Composition en acides gras :

La composition moyenne en acides gras de l'huile de soja est donnée dans le tableau suivant.

Types d'acides gras	Pourcentage
Acide palmitique (C16: 0)	11,5
Acide stéarique (C18: 0)	4,0
Acide oléique (C18: 1, cis)	25,0
Acide linoléique (C18: 2, cis : cis)	51,5
Acide linoléique (C 18: 3)	7,5
Acide arachidique (C20: 0)	0,5

Tableau. II.4 : Composition de l'huile de soja en acides gras [30].

La teneur en acides gras insaturés de l'huile de soja étant très élevée, les molécules de triglycérides contiennent au moins deux acides gras insaturés et les glycérides di et tri-saturés sont pratiquement absents ou en très faibles quantités [33].

## II.7. L'HUILE DE COLZA :

### II.7.1. Le colza :

Le colza est surtout cultivé pour ses graines, qui contiennent environ 50% d'une huile de bonne qualité nutritive (riche en acides gras insaturés). Une fois celle-ci extraite, ce qui reste de la graine, le tourteau, riche en protéines (40% de la matière sèche) est utilisé en alimentation animale. Il existe également des variétés fourragères, à croissance rapide, utilisées en culture dérobée pour l'affouragement en vert, le pâturage ou l'ensilage; ces mêmes variétés peuvent également servir d'engrais vert.

### II.7.2. Utilisation industrielle d'huile de colza :

L'huile de colza a aussi des applications industrielles : un adjuvant destiné à l'application d'herbicides est par exemple commercialisé depuis 1989. Par ailleurs, le diester est un carburant à base d'huile de colza estérifiée par du méthanol. Directement utilisable en mélange avec le gazole par les moteurs diesel, il ne contribue pas à l'effet de serre et émet moins de suies que le gazole classique. Une première production expérimentale de 20 000 tonnes a débuté en 1992. Les surfaces consacrées à ce débouché industriel ont ensuite rapidement crû jusqu'en 1995, essentiellement sur des parcelles en « jachère industrielle » dans le cadre du programme européen de gel des terres. Après une baisse de 1995 à 1999, les surfaces ont retrouvé leur niveau de 300 000 ha en 2000. D'autres débouchés (limités aujourd'hui à quelques milliers de tonnes) sont en cours d'étude : agents anti-poussières dans les silos à grains, lubrifiants (démoulage du béton, fluides hydrauliques), lipochimie. Afin d'offrir un produit qui permette de faire face à de multiples

utilisations, les sélectionneurs ont cherché à obtenir des variétés différant par la composition en acides gras de leur huile :

- basse teneur en acide linoléique pour éliminer l'odeur de friture en alimentation humaine,
- haute teneur en acide palmitique pour la fabrication de margarine, haute teneur en acide érucique, oléique ou gamma-linolénique pour des utilisations industrielles spécifiques.

## II.8. L'HUILE DE MAÏS :

### II.8.1. Définition :

L'huile de maïs est une huile végétale extraite du grain de maïs qui contient 3,5 à 5 % de lipides, 80 % se trouvent dans le germe. C'est une huile alimentaire qui peut être utilisée directement en cuisine ou entrer dans la composition de margarines. Elle est également utilisée dans l'industrie pharmaceutique. Elle a une bonne valeur diététique grâce à sa composition : 59,6 % d'acides gras polyinsaturés, 27,4 % d'acides gras mono-insaturés et 12,9 % d'acides gras saturés. 3 % sont sous forme d'acides gras libres. Elle a une teneur élevée en acide linoléique.

### II.8.2. Composition et propriétés : [25]

Acide linoléique	53.515
Acide oléique	27.333
Acide palmitique	10.579
Acide stéarique	1.848
Acide $\alpha$ -linoléique	1.161
Acide érucastique	0.129
Acide palmitoléique	0.114
Acide myristique	0.024

Tableau. II.5 : composition et propriétés de l'huile de maïs.

**II.8.3. Propriétés d'huile de maïs :****II.8.3.1. Propriétés chimiques :**

Indice d'iode	109 – 1331
Indice de saponification	187 – 1961
Matières non saponifiables	1,3 – 2,0 %
Acides gras libres Brute :	3 %

Tableau. II.6 : propriétés chimiques d'huile de maïs.

**II.8.3.2. Propriétés optiques :**

Indice de réfraction  $n_{D}^{40}$  1.465 – 1.4661

Unités du SI et CNTP, sauf indication contraire.

L'huile de maïs contient de l'acide oléique (27 %), de l'acide linoléique (54 %), et de l'acide linoléique (1 %). C'est une source naturelle importante d'acides gras insaturés des familles des oméga-6. Elle présente, selon l'AFSSA, un ratio oméga-6/oméga-3 beaucoup trop élevé (environ 46), le taux idéal étant proche de 5. [34]

Aux États-Unis, c'est une huile végétale alimentaire assez utilisée

**II.9. L'HUILE D'ARACHIDE :****II.9.1. Définition :**

L'huile d'arachide est une huile végétale préparée et extraite à partir d'arachide (arachides, arachis hypogaea) au moyen d'une presse hydraulique. Il s'agit d'une huile alimentaire d'apparence très limpide et idéale pour les cuissons à haute température. Particulièrement appropriée pour faire frire les aliments, elle peut aussi être employée pour la préparation de mayonnaises ou encore de vinaigrettes pour assaisonnement. L'huile d'arachide industrielle étant hautement raffinée, elle ne contient plus de protéine allergénique et n'est généralement pas déconseillée aux personnes allergiques aux cacahuètes. [29]

**II.9.2. Composition d'huile d'arachide :**

La composition en acides gras de l'huile d'arachide utilisée pour l'alimentation humaine est la suivante :

Composé	Série métabolique	Teneur pour 100g
Acide myristique (saturé)		0,1 g
Acide palmitique (saturé)		9,5 g
Acide stéarique (saturé)		2,2 g
Acide arachidique (saturé)		1,4 g
Acide béhénique (saturé)		2,8 g
Acide lignocérique (saturé)		0,9 g
Acide érucastique (mono-insaturé)	$\omega$ -9	1,3 g
Acide oléique (mono-insaturé)	$\omega$ -9	44,8 g
Acide palmitoléique (mono-insaturé)	$\omega$ -7	0,1 g
Acide linoléique (poly-insaturé et essentiel)	$\omega$ -6	32 g
Acides gras trans		-
Total acides gras saturés		16,9 g
Total acides gras mono-insaturés		46,2 g
Total acides gras poly-insaturés		32 g
Vitamine E		33,43 mg
Vitamine K		0,7 $\mu$ g

Tableau II.7 : composition d'huile d'arachide.

Pour 100 g d'huile d'arachide en provenance d'Amérique du Sud, on a en moyenne :

- Acides gras mono-insaturés : 39 g (essentiellement de l'acide oléique)
- Acides gras essentiels Oméga-6 : 38 g
- Acides gras saturés : 23 g (palmitique, stéarique, béhénique, arachidique)
- Moins de 0.1 g d'acides gras essentiels oméga-3. [36]

### II.9.3. Origine de l'huile d'arachide :

L'huile d'arachide est une huile largement utilisée en cuisine. Elle provient de l'arachide, une plante originaire d'Amérique du Sud.

Du fait de la lenteur de sa croissance sous les climats frais, l'arachide est peu propice à la culture dans le Nord et, aujourd'hui, elle est produite dans toutes les régions tropicales et sud-tropicales du monde.

L'huile est tirée des graines d'arachides (ou cacahuètes) contenues dans les gousses (qui en contiennent entre deux et quatre, généralement). Chaque graine peut contenir jusqu'à 50 % d'huile.

La fabrication de l'huile d'arachide a longtemps été artisanale. Aujourd'hui on réalise industriellement les étapes de nettoyage, broyage, chauffage et pressage des graines pour en extraire l'huile qui sera ensuite raffinée.

## **II.10. TRAVAUX ANTERIEURES (NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE) SUR LA RHEOLOGIE DES HUILES VEGETALES :**

### **II.10.1. Mesures de viscosité des bitumes fluxés aux huiles végétales : [15]**

La mesure de viscosité est un paramètre essentiel pour le classement des bitumes fluxés dans le cadre du marquage CE de ces liants, actuellement en cours de mise en place au niveau européen. Les bitumes purs et les bitumes modifiés aux polymères fluxés aux huiles végétales présentent souvent des comportements rhéologiques complexes aux températures recommandées pour les essais standardisés de pseudo-viscosité.

Les objectifs de cette étude des bitumes fluxés aux huiles végétales sont multiples. Il s'agit de classer ces produits à haute viscosité ( $>10$  Pa.s à  $60$  °C), sur la base des spécifications stipulées par la norme NF EN 15322 d'avril 2010, afin de mener une analyse critique de l'essai de mesure de viscosité dynamique (procédure et limites), et d'évaluer quelles méthodes de mesure sont les plus faciles à transposer dans les usines pour un contrôle quotidien.

Cette étude est faite par : Laurence Boulange, Alain Perrot, Magali Terrisse (Eiffage Travaux Publics), Frédéric Delfosse, Bernard Eckmann, Marie Laure Pierre (Eurovia), Graziella Durand, Michel Robert (Colas).

### **II.10.2. Stabilité et comportement rhéologique en écoulement d'émulsions huile dans l'eau : [25]**

La stabilité et le comportement en écoulement d'émulsions huile dans eau stabilisées par la lécithine de soja sont étudiés pour des fractions volumiques comprises entre 0.01 ET 0.76 et les effets de modifications de la phase aqueuse (augmentation de la force ionique, modification du ph, addition de saccharose ou de polymère) sont caractérisés. Les variations des étendues des différents domaines rhéologiques (newtonien, rhéofluidifiant et plastique) en fonction de la fraction volumique en huile et de l'âge des émulsions traduisent à l'échelle macroscopique des variations dans la structure des émulsions sous l'effet de déstabilisation vis-à-vis de la coalescence, de la floculation ou de crémage.

Cet essai a pour conclusion la suite :

Les modifications du comportement rhéologique des émulsions correspondent à l'expression à l'échelle macroscopique de changements dans la structure des émulsions (crémage, floculation, coalescence) sous l'effet de modifications de la phase aqueuse ou au cours du stockage. Cette étude est faite par : Chantal castelain et michel laroche, Inra, laboratoire d'étude des interactions des molécules alimentaires.

### **II.10.3. Emulsion de l'huile d'olive dans l'eau : [10]**

Le comportement rhéologique d'émulsions d'huile d'olive dans de l'eau a été étudié en variant le ratio entre l'huile et l'eau ainsi que la concentration en surfactant. La propriété viscoélastique des émulsions d'huile d'olive a été étudiée à l'aide d'un système cône-plateau en utilisant un rhéomètre Bohlin C-VOR. Les résultats obtenus indiquent que les émulsions contenant le plus d'huile et de surfactant sont des systèmes hautement compacts avec des interactions entre gouttes plus grandes ainsi que des déformations critiques plus grandes. La propriété viscoélastique des émulsions peut être améliorée en augmentant la concentration en huile. Le module élastique des émulsions est toujours prédominant par rapport au module visqueux, soulignant ainsi le caractère élastique des émulsions ci-dessus mentionnées.

L'émulsion possédant la plus grande composition en huile montre une élasticité plus grande, ce qui implique une forte rigidité dynamique des émulsions. Une grande composition en huile améliore également l'intégrité structurale ainsi que les interactions entre les gouttes de l'émulsion.

### **II.10.4. Etude des propriétés rhéologiques et des structures de mayonnaises a une valeur biologique augmentée : [12]**

La composition des huiles végétales (tournesol et pépins de raisin) dans une proportion 80/20 (% w/w), utilisée pour la préparation de la fraction de graisses de l'émulsion de la mayonnaise se distingue par un rapport optimal des acides gras polyinsaturés  $\omega 3:\omega 6$ .

Elle permet de fournir, en synergie avec les vitamines E, C et  $\beta$ -carotène, un effet anti-scléreux et de conférer la stabilité à l'oxydation du produit fini. Sur la base des compositions d'huiles végétales obtenues ont été préparés différents échantillons de mayonnaise. On constate que les émulsions de la mayonnaise obtenues se distinguent par des indicateurs physico-chimiques et organoleptiques élevés. L'influence de la quantité d'huile de pépins de raisin ajoutée sur les caractéristiques rhéologiques (viscosité effective et contrainte tangente de cisaillement) des émulsions de la mayonnaise a été étudiée. Les résultats expérimentaux obtenus indiquent que l'échantillon de la mayonnaise contenant 20 % de l'huile de pépins de raisin conserve mieux ses propriétés rhéologiques lors de l'augmentation de la vitesse de cisaillement. Il convient de noter que

l'augmentation du contenu d'huile de pépins de raisin à 30 % diminue la viscosité de l'émulsion de la mayonnaise à 12,8 Pa.s.

En étudiant la microstructure des échantillons des émulsions de la mayonnaise on a constaté que pour l'échantillon contenant 20 % d'huile de pépins de raisin est caractéristique un arrangement plus dense et homogène des globules gras sphériques de l'émulsion.

Les résultats de l'analyse par la spectroscopie infrarouge ont montré que pour tous les échantillons de la mayonnaise, indifféremment de la quantité d'huile de pépins de raisin ajoutée, existent des intervalles communs d'adsorption et la présence des groupes fonctionnels semblables. La comparaison de la qualité organoleptique des échantillons des émulsions de la mayonnaise permet de confirmer que les émulsions de la mayonnaise contenant 20 % d'huile de pépins de raisin se distingue par la meilleure apparence et consistance, et aussi par la couleur la plus prononcée et son goût agréable, ce qui lui confère une attractivité complémentaire.

#### **II.10.5. Modele de prédiction du comportement rhéologique pour des émulsions complexes de l'huile de colza avec un contenu variable des acides grasses libres et d'eau.[23]**

La mesure des propriétés rhéologiques des émulsions permet de prévoir leur comportement mécanique au cours des différentes étapes de l'élaboration de l'aliment. Les émulsions concentrées de type W/O ont un comportement de type rhéofluidifiant, c'est-à-dire qu'elle ont la propriété réversible de ce fluidifier progressivement lorsqu'ils sont soumis à des action mécanique. Leur viscosité diminue en fonction de l'action mécanique appliquée par l'extérieur. Après une période de repos, sa structure se désorganise peu à peu et sa viscosité apparente décroît avec le temps.

Les émulsions du type W/O se définissent ensuite par leur possibilité de reformer leur structure quand on revient au repos après une période prolongée. Dans le comportement rhéofluidifiant les mécanismes d'extraction ou de retour des particules vers leur position initiale ou d'équilibre local dépend de paramètres de l'écoulement et de leur composition chimique.

Les émulsions concentrées de type W/O formées avec l'huile brut de colza (C1) sont plus stables avec l'accroissement de la contrainte de cisaillement en comparaison avec les émulsions formées avec l'huile raffiné de colza (C2). L'augmentation de la température pendant l'action mécanique sur ces émulsions accentue le comportement de type rhéofluidifiant.

L'huile de colza, avec un contenu élevé des acides grasses C6 - C12, génère des émulsions avec un degré plus important de miscibilité entre les phases, ce qui augmente leur stabilité avec le temps. L'effet de stabilisation est plus important si le contenu en acides gras libres de type C6 - C12 est plus élevé. L'eau libre joue le rôle d'amorçage de la formation d'un réseau tridimensionnelle stable dans l'émulsion concentrée. A partir d'un état de référence des émulsions complexé W/O on peut déterminer la loi d'évolution de la viscosité au cours du temps.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

- [9] **AURELIE BOYER**, design de nouveaux synthons dérivés de l'acide oléique : application à la synthèse de polyuréthanes, thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat, université de bordeaux, soutenu le 10 Décembre 2010.
- [10] **CHANTAL CASTELAIN** et **MICHEL LAROCHE**, Inra, laboratoire d'étude des interactions des molécules alimentaires.
- [11] **COSSUT ET AL**, 2002.
- [12] **CRISTINA POPOVICI, TATIANA CAPCANARI, OLGA DESEATNICOVA, RODICA STURZA**, Etude des propriétés rhéologiques et des structures de mayonnaises à une valeur biologique augmentée, revue de génie industriel, Université Technique de Moldova, Chisinau, Moldova Révisé et accepté : le 10 novembre 2011 / Disponible sur Internet : le 31 janvier 2012.
- [13] **D.BOURGOIN** « président du GFR », 24<sup>ème</sup> colloque annuel du groupe français de rhéologie, rhéologie et industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, paris, 21-22/11/1989.
- [14] **DJADOUN SADIA**, Influence de l'hexane acidifié sur l'extraction de l'huile de grignon d'olive assistée par micro-ondes, mémoire de magister, université de mouloud MAMMERI, TIZI-OUZOU.
- [15] **E&E**, les liants : durabilité et performances, session 7,2012.
- [16] **E.J.VERNON, A.ANZALDUA.MORALES, C.LEVER**, "Viscoelasticity properties of meat emulsions" ix congress on rheology, MEXICO, 1984.
- [17] **G.DELLE VALLE, B.VERGNES, J.TAYEB**, « mesure de la viscosité d'amidons fondus faiblement hydratés dans un nouveau rhéomètre en ligne », journal entropie, n]169, 1992.
- [18] **H.J RIVAS AND P.SHERMAN** "soy and meat protein as food emulsion stabilizers-viscoelastic properties of corn oil-in-water emulsions incorporating soy or meat proteins" journal of texture studies, vol 14, p 251-265, 1983.
- [19] **H.W. TAN, M. MISRAN ET S.K. KHOO**, Emulsion Stabilized By Sucrose Fatty Acid Esters, Colloid and Surface Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, Received: 13.10.2010.
- [20] <http://www.iterg.com>.
- [21] <http://www.caque.org/huiled'olive>.
- [22] <http://www.lanutrition.fr/aliment>.

- [23] **I. VINTILA, A. GAVRUS, P. ALEXE, C. VIZIREANU**, Université «Dunărea de Jos» Galați, Faculté de Science et Génie d'Aliments, Galați, Roumanie, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, Accepté après révision le 19/06/2008.
- [24] **J LAMBERT**, Les huiles végétales, institut français des huiles végétales pures, mise à jour le 10/12/2005.
- [25] L'HUILE DE TOURNESOL: BIO-CARBURANT, ASPECTS ALIMENTAIRES, BIOMATERIAUX. [2eme édition révisée en 2003].
- [26] **LAURENCE BOULANGE, ALAIN PERROT, MAGALI TERRISSE** (Eiffage Travaux Publics), **FREDERIC DELFOSSE, BERNARD ECKMANN, MARIE LAURE PIERRE** (Eurovia), **GRAZIELLA DURAND, MICHEL ROBERT** (Colas).
- [27] **PASCAL LABOURET**, Vegetal oils: the different advantage of different oils on health, 2005.
- [28] Perspectives d'utilisation des HVP (hors carburant), DEBAT/CIRAD, juin 2006.
- [29] «PEANUT OIL » dans la base de données HAZARDOUS Substances Data Bank, consulté le 24 octobre 2009.
- [30] **PLATON**, 1988 (article).
- [31] Proposition de classement des sources végétales d'acides gras en fonction de leur profil nutritionnel. Revue OCL
- [32] **POUZET**, 1992 (article).
- [33] [http:// www.afssa.fr/documents/nut-ra-omega3:Rapport AFSSA sur l'intérêt nutritionnel des oméga-3](http://www.afssa.fr/documents/nut-ra-omega3:Rapport AFSSA sur l'intérêt nutritionnel des oméga-3).
- [34] **RASOLOHERY**, 2007 (article).
- [35] Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires, partagé par Joël SCHER, publié le 10/12/2006.
- [36] USDA National Nutrient Data base for Standard Reference.
- [37] **R.JOST, R.BAECHLER AND G.MASSON** "heat gelation of oil-in-water emulsions stabilized by whey protein" journal of food sciences, vol 51, n°2, p440-449, 1986.

[38] **SHILIU, J.P.PAIN AND P.J FRYER**, “écoulement et profils de vitesse de particules dans les liquides: application aux procédés agro-alimentaires”, journal entropie, n° 170,1992.