



**HAL**  
open science

## Comportement rheologique en ecoulement et stabilite d'emulsions concentrees huile-dans-eau. Effets de l'addition d'amidon modifie dans la phase aqueuse

Chantal Castelain, I. Bronnec, Claude Genot, Michel Laroche

► **To cite this version:**

Chantal Castelain, I. Bronnec, Claude Genot, Michel Laroche. Comportement rheologique en ecoulement et stabilite d'emulsions concentrees huile-dans-eau. Effets de l'addition d'amidon modifie dans la phase aqueuse. 6. Journees d'Etudes Sciences des Aliments Association Francaise de Nutrition, May 1989, Nantes, France. hal-02849697

**HAL Id: hal-02849697**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02849697>**

Submitted on 7 Jun 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.

Inventaire *DUB*  
N° *851*

SCIENCES DES ALIMENTS, 10(1990) 453-463

## COMPORTEMENT RHÉOLOGIQUE EN ÉCOULEMENT ET STABILITÉ D'ÉMULSIONS CONCENTRÉES HUILE-DANS-EAU

### EFFETS DE L'ADDITION D'AMIDON MODIFIÉ DANS LA PHASE AQUEUSE

#### FLOW BEHAVIOUR AND STABILITY OF CONCENTRATED OIL-IN-WATER EMULSIONS EFFECTS OF MODIFIED STARCH IN AQUEOUS PHASE

Chantal CASTELAIN, Isabelle BRONNEC, Claude GENOT, M. LAROCHE (1)

#### RÉSUMÉ

La stabilité à 10°C et le comportement rhéologique à 20°C d'émulsions huile-dans-eau (fraction massique en huile comprise entre 0,37 et 0,75) stockées à 10°C ont été caractérisés pour des âges variant de 45 minutes à 28 jours. L'existence d'un seuil d'écoulement apparent associé à des propriétés d'écoulement non-linéaires a été observée pour les émulsions les plus concentrées (fraction massique 0,75 et 0,66) ; les valeurs des seuils d'écoulement et des viscosités apparentes diminuent avec l'âge des émulsions. Les émulsions de fraction massique 0,37, 0,50 et 0,60 présentent un comportement purement visqueux de type rhéofluidifiant ; les valeurs des viscosités apparentes augmentent puis diminuent avec l'âge.

Les effets de l'addition dans la phase aqueuse de l'émulsion de fraction massique 0,5 d'un amidon modifié gélifiant à froid ont été étudiés pour deux concentrations en amidon de part et d'autre de la concentration critique de gélification (7,5 et 16 %). L'addition d'amidon améliore la stabilité de l'émulsion vis-à-vis de la coalescence. L'addition de 7,5 % d'amidon entraîne une augmentation de la viscosité apparente de l'émulsion mais ne stabilise pas l'émulsion vis-à-vis des phénomènes de floculation-crémage. A l'inverse, l'addition de 16 % d'amidon, par le biais de la formation d'un "gel" dans la phase aqueuse, stabilise l'émulsion vis-à-vis du crémage et conduit à l'obtention d'un produit de comportement rhéologique plus complexe.

**Mots clés :** *émulsion, comportement rhéologique, stabilité, amidon modifié.*

(1) Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire d'Etude des Interactions des Molécules Alimentaires, rue de la Géraudière, B.P. 527, 44026 Nantes cedex 03, France.

*DUB 851*

## SUMMARY

Stability at 10°C and rheological behaviour at 20°C of oil-in-water emulsions (oil weight fractions from 0.37 to 0.75) were investigated after storage at 10°C for 45 minutes to 28 days. Emulsions with 0.75 or 0.66 oil weight fraction exhibited an apparent yield stress and non linear flow properties; aging led to decreases in yield stress and apparent viscosity. For emulsions with oil fractions 0.37, 0.5 and 0.60, no yield stress was observed and flow properties were shear rate dependent. Aging resulted first in increasing then in decreasing apparent viscosity.

Modified starch was added to the emulsion with oil weight fraction 0.50 at two different concentrations (7.5 and 16% in the aqueous phase). Addition of starch improved stability of emulsion versus coalescence. For 7.5% modified starch in the aqueous phase (concentration lower than critical gelling concentration) an increase in apparent viscosity was observed and stability versus creaming was not improved. For 16% modified starch in the aqueous phase, rheological behaviour was more complex. 45 minutes old emulsion exhibited a greater increase in apparent viscosity than emulsion with 7.5% modified starch. More aged emulsion (1 day to 28 days) presented high stresses at low shear rates and thixotropy: these features have to be related to gelation of modified starch in the aqueous phase for 16% concentration, the structure which slowly form during storage being destroyed by shearing and may be partly recovered. Such a gelation improves stability of emulsion versus creaming.

**Key-words:** emulsion, rheological behaviour, stability, modified starch.

## 1 - INTRODUCTION

De nombreux produits alimentaires peuvent être décrits comme des émulsions huile-dans-eau pour lesquelles se posent des problèmes de stabilité, en particulier lorsque l'on cherche à réduire leur teneur en lipides. Le comportement rhéologique de mayonnaises et sauces salades commerciales a été étudié par ELLIOTT et GANZ (1977) et plus récemment par PAREDES *et al.* (1988). Des hydrocolloïdes sont généralement ajoutés dans les formulations de tels produits afin d'en améliorer la stabilité et de modifier leur comportement en écoulement. Différents mécanismes de déstabilisation peuvent se produire dans ces émulsions : le crémage, la floculation ou agrégation des gouttelettes, la coalescence ou fusion des gouttelettes et éventuellement la séparation d'huile.

La stabilité de l'émulsion serait améliorée par l'augmentation de la viscosité de la phase aqueuse ralentissant ainsi le crémage et la coalescence des gouttelettes. Différents hydrocolloïdes ont fait l'objet d'études dans ce sens (STONE et CAMPBELL, 1980 ; VERNON CARTER et SHERMAN, 1980, 1981 ; HENNOCK *et al.*, 1984 ; GLADWELL *et al.*, 1984 ; COIA et STAUFER, 1987). Cependant, la présence d'un hydrocolloïde dans la phase aqueuse d'une émulsion peut, en favorisant la floculation, conduire à une accélération du processus de crémage ainsi qu'il a été montré en présence d'HEC (GUNNING *et al.*, 1986) ou de xanthane (GUNNING *et al.*, 1988a et 1988b).

Du point de vue rhéologique, la présence de tels hydrocolloïdes dans la phase aqueuse peut non seulement conduire à une simple augmentation de la viscosité de la phase continue mais aussi à une modification de son comportement rhéologique qui devient rhéofluidifiant, voire présente un seuil d'écoulement et des propriétés thixotropes comme c'est le cas lorsqu'il y a formation d'un pseudo-gel ou d'un vrai gel.

Dans le cadre de l'étude du comportement rhéologique des émulsions huile-dans-eau et des effets de la modification des caractéristiques de la phase aqueuse, nous comparons ici les résultats obtenus pour des émulsions de fraction massique en huile comprise entre 0,37 et 0,75. Les effets de l'addition d'un amidon modifié "gélifiant à froid" dans la phase aqueuse des émulsions les plus diluées afin de les stabiliser sont étudiés pour deux concentrations de part et d'autre de la concentration critique de gélification.

---

## 2 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

---

### 2.1 Matériel

De l'huile d'olive commerciale, première pression à froid, double filtration, sans additif (Lesieur Cotelle & Co, France) a été utilisée pour cette étude. De la lécithine de soja enrichie en phospholipides (Epikuron 145V, Lucas-Meyer, France) est ajoutée à l'huile à raison de 2 % (p/p) : 4 grammes de lécithine de soja dissous dans un volume suffisant de dichlorométhane sont mélangés à 196 grammes d'huile d'olive puis le solvant est évaporé sous vide à 48°C. La phase aqueuse se compose d'eau purifiée (Système Millipore) avec 0,1 % d'azoture de sodium comme agent anti-bactérien.

Un amidon modifié commercial (Paselli SA2, Doittau Emuldo) issu de fécula de pomme de terre a été utilisé. Une suspension concentrée est préparée par addition de la poudre à la quantité voulue de phase aqueuse fortement agitée. La suspension est maintenue sous agitation douce à 20°C pendant 15 heures.

### 2.2 Méthodes

#### Préparation des émulsions

Trente grammes d'huile à 2 % de lécithine et dix grammes de phase aqueuse sont pesés dans un bécher de 100 ml (hauteur : 95 mm, diamètre : 48 mm) placé dans un bain de glace. L'émulsification est réalisée à l'aide d'un agitateur Polytron PT45-28 muni d'une tête mobile de 35 mm en répétant trois fois le cycle suivant : 1 minute d'agitation à 12 000 tr/min (à l'aide d'un régulateur de vitesse) + 1 minute de repos. L'émulsion concentrée ainsi préparée constitue le témoin. Sa fraction massique est de 0,75 et le diamètre moyen des gouttelettes d'huile est de 3 microns. Les émulsions de différentes compositions sont préparées par dilution en poids de l'émulsion concentrée témoin avec la

quantité requise de phase aqueuse et/ou de suspension d'amidon. Le mélange est ensuite agité doucement pendant 15 minutes à 10°C avant d'être réparti et stocké en flacons fermés à 10°C à l'abri de la lumière. Au bout de 45 minutes à 28 jours de stockage, la quantité d'émulsion nécessaire pour la détermination de taille des gouttelettes est prélevée et les flacons sont sortis de la chambre froide et amenés 15 minutes avant le début de l'étude rhéologique dans une pièce climatisée à 20°C.

#### **Etude du comportement rhéologique des émulsions**

Cette étude a été réalisée à 20°C à l'aide du rhéomètre à contrainte imposée (Carrimed CS50, Rheo) équipé d'un système cône-plan (cône : angle 3,59° ; diamètre : 6 cm).

Les courbes d'écoulement sont réalisées en mode automatique avec une augmentation linéaire de la contrainte en 2 minutes (courbe aller), un maintien à la contrainte maximale d'une minute (palier) et une diminution linéaire de la contrainte en 2 minutes (courbe retour).

L'existence ou non d'un seuil d'écoulement est mise en évidence en augmentant progressivement le couple imposé et en notant la déformation correspondant à chaque valeur de couple. Lorsque la déformation augmente pour une valeur constante du couple (phase d'écoulement), le couple est annulé pour une déformation donnée (généralement comprise entre 10 et 15 mrad) et l'on observe s'il y a récupération ou non d'une partie de la déformation. La valeur du seuil d'écoulement peut être estimée par la contrainte correspondant à la déformation récupérée ; cependant, le manque de précision obtenu pour cette détermination manuelle nous a conduit à déterminer un seuil d'écoulement apparent (valeur surestimée du seuil réel) par extrapolation à vitesse nulle des premières valeurs de contrainte des courbes d'écoulement.

La viscosité apparente de chaque émulsion a été déterminée pour deux valeurs de vitesse de cisaillement (10 et 100 s<sup>-1</sup>) en soustrayant le cas échéant le seuil d'écoulement apparent de la valeur de la contrainte.

Afin d'étudier le comportement thixotrope de certaines émulsions, un essai identique est réalisé pour chaque émulsion avec une contrainte maximale de 122,2 Pa.

#### **Etude de la stabilité des émulsions**

La distribution en taille des gouttelettes d'huile a été déterminée après différentes durées de stockage à 10°C à l'aide d'un Coulter Counter TAll (orifice 100 microns) sur la gamme 1,5 - 45 microns découpée en 16 canaux.

Le crémage des émulsions a été observé dans des éprouvettes de 10 ml stockées en chambre froide à 10°C.

### 3 - RÉSULTATS

#### Comportement rhéologique et stabilité de l'émulsion témoin (fraction massique 0,75)

Le comportement rhéologique de l'émulsion témoin est caractérisé par des propriétés d'écoulement non linéaires, un seuil d'écoulement et l'absence de thixotropie. Au cours du vieillissement de l'émulsion, on observe la diminution progressive du seuil d'écoulement et de la viscosité apparente de l'émulsion (fig. 1a et 1b). Ces diminutions du seuil d'écoulement et de la viscosité apparente sont corrélées avec l'augmentation du diamètre des gouttelettes d'huile au cours du temps. Les coefficients de corrélation calculés avec les 12 valeurs expérimentales sont en fonction du diamètre moyen des gouttelettes respectivement de 0,969 pour le seuil d'écoulement apparent, 0,965 pour la viscosité apparente à  $10 \text{ s}^{-1}$  et 0,977 pour la viscosité apparente à  $100 \text{ s}^{-1}$ . Aucun phénomène de crémage n'est observé pour cette émulsion témoin.

#### Influence de la fraction massique en huile

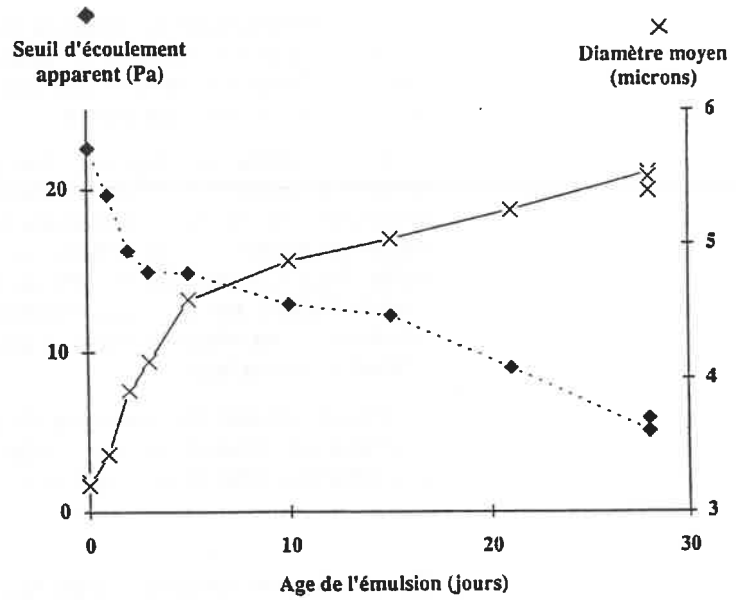
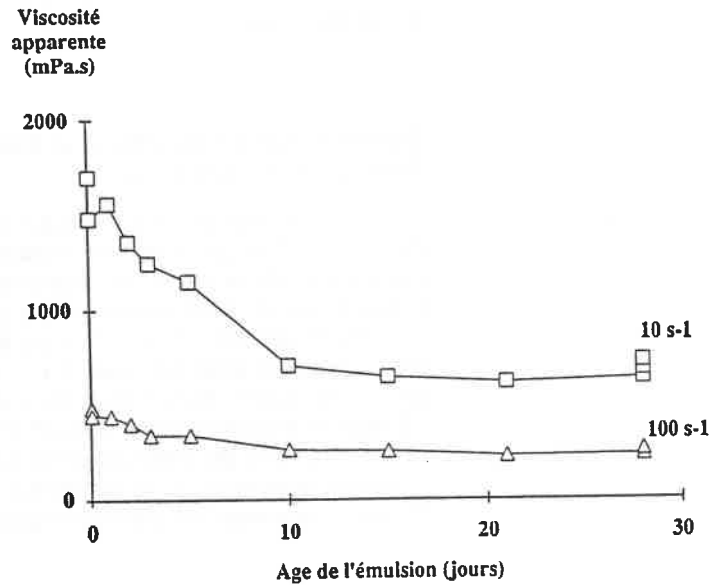
Le comportement rhéologique de l'émulsion de fraction massique en huile 0,66 ainsi que son évolution en fonction de la durée de stockage ne diffèrent de ceux de l'émulsion témoin que par les valeurs de seuil d'écoulement et de viscosité apparente plus faibles.

Les résultats obtenus pour les émulsions de fraction massique comprise entre 0,37 et 0,60 montrent un comportement purement visqueux (aucun seuil d'écoulement n'a pu être mesuré quel que soit l'âge de ces émulsions). La viscosité apparente des émulsions augmente avec la fraction volumique en huile. Pour une fraction volumique donnée, le vieillissement de l'émulsion se traduit d'abord par une augmentation puis par une diminution de la viscosité apparente. Les résultats obtenus pour l'émulsion de fraction massique 0,5 sont présentés sur la figure 2.

Ces émulsions sont instables vis-à-vis de la coalescence (l'augmentation du diamètre est cependant plus limitée que dans le cas de l'émulsion témoin) et présentent un phénomène de crémage au cours du stockage à  $10^\circ\text{C}$ .

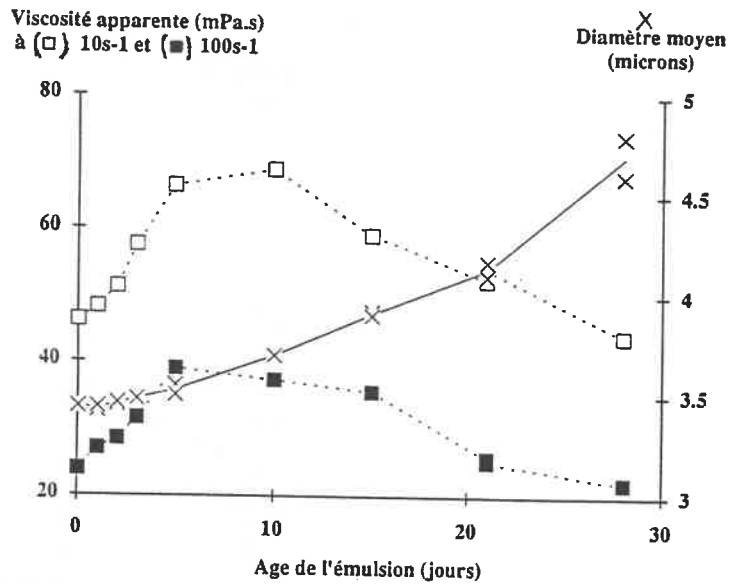
#### Comportement rhéologique de l'amidon modifié utilisé

L'amidon modifié présente, dans la phase aqueuse utilisée, une viscosité intrinsèque à  $20^\circ\text{C}$  de  $16,6 \text{ ml/g}$ . Une concentration critique de gélification, comprise entre 9 et 10 %, a été mise en évidence en recherchant la concentration à partir de laquelle il n'y a plus d'écoulement lors du retournement du tube. La gélification par séparation de phases présente une cinétique très lente (le point de croisement entre le module élastique et le module visqueux est observé après 3 heures à  $10^\circ\text{C}$  pour une concentration de 19 %).



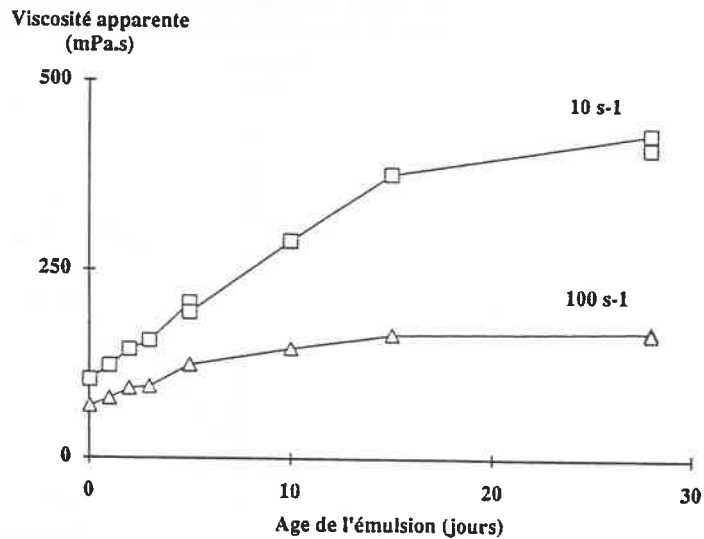
**Figure 1**  
Variations de la viscosité apparente (1a) et du seuil d'écoulement et du diamètre des gouttelettes (1b) à 20°C de l'émulsion témoin (fraction massique en huile : 0,75) en fonction de l'âge

**Figure 1**  
Apparent viscosity (1a) and apparent yield stress and volume diameter of oil droplets (1b) at 20°C of oil-in-water emulsion (oil weight fraction 0.75) as a function of age



**Figure 2**  
Variations du diamètre de gouttelettes et de la viscosité apparente à 20°C de l'émulsion de fraction massique en huile 0,5 en fonction de l'âge

**Figure 2**  
Volume diameter of oil droplets and apparent viscosity at 20°C of oil-in-water emulsion (oil weight fraction 0.5) as a function of age



**Figure 3**  
Variations de la viscosité apparente à 20°C en fonction de l'âge de l'émulsion de fraction massique en huile 0,50 comprenant 7,5 % d'amidon modifié dans la phase aqueuse

**Figure 3**  
Apparent viscosity at 20°C of emulsion with an oil weight fraction 0.50 and 7.5% modified starch in the aqueous phase as a function of age



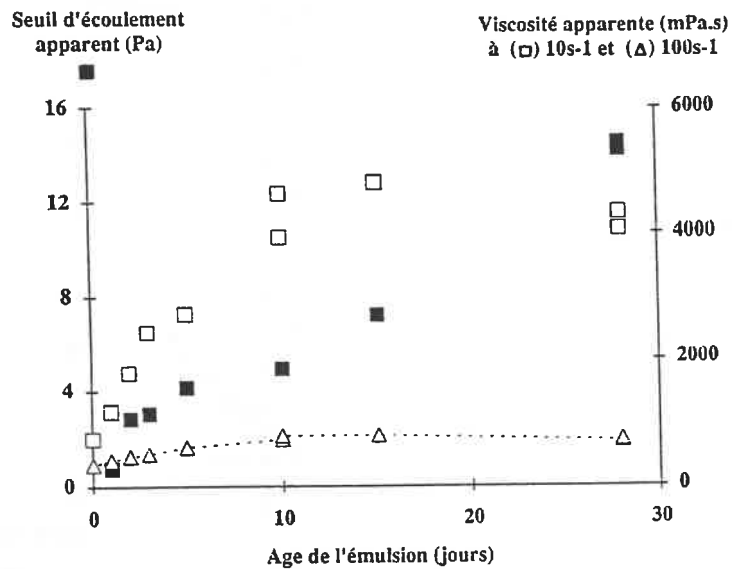


Figure 4

Variations de la viscosité apparente et du seuil d'écoulement apparent à 20°C en fonction de l'âge de l'émulsion de fraction massique en huile 0,50 contenant 16 % d'amidon modifié dans la phase aqueuse

Figure 4

Apparent viscosity and apparent yield stress at 20°C of emulsion with an oil weight fraction 0.50 and 16% modified starch in the aqueous phase as a function of age

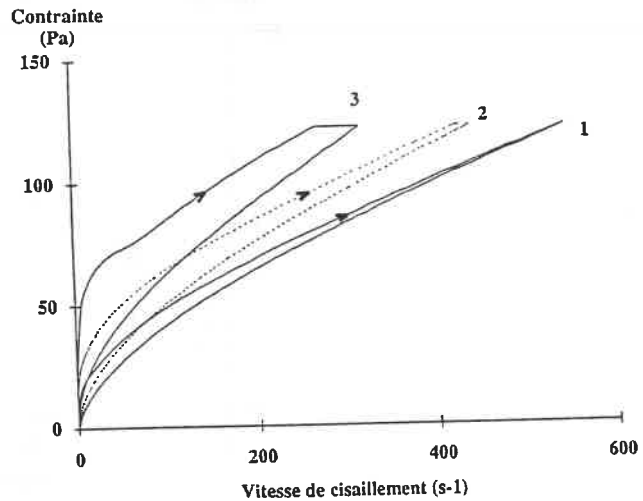


Figure 5

Courbes d'écoulement à 20°C et comportement thixotrope des émulsions de fraction massique en huile de 0,50 contenant 16 % d'amidon modifié dans la phase aqueuse âgées respectivement de (1) : 3 jours, (2) : 5 jours et (3) : 28 jours

Figure 5

Flow curves at 20°C and thixotropy of emulsions with an oil weight fraction 0.5 and 16% modified starch in the aqueous phase for (1): 3 days, (2): 5 days et (3): 28 days

### Effets de la présence de 7,5 % de Paselli dans la phase aqueuse

L'addition de 7,5 % de Paselli dans la phase aqueuse des émulsions de fraction massique comprise entre 0,37 et 0,66 n'a pas permis de stabiliser ces émulsions vis-à-vis du crémage. On observe même dans ces conditions la sédimentation au cours du stockage d'une partie de l'amidon. En revanche, aucune coalescence significative n'a été observée. Du point de vue rhéologique, l'addition de 7,5 % d'amidon dans la phase aqueuse se traduit par une augmentation générale de la viscosité apparente des émulsions sans apparition d'un seuil d'écoulement. Cette viscosité apparente s'accroît avec l'âge de l'émulsion (les résultats sont présentés sur la figure 3 pour l'émulsion de fraction massique 0,50).

### Effets de la présence de 16 % de Paselli dans la phase aqueuse

En présence de 16 % de Paselli dans la phase aqueuse des émulsions de fraction massique comprise entre 0,37 et 0,60, aucun phénomène de crémage et de coalescence n'a été observé. La viscosité apparente des émulsions est nettement plus élevée et augmente avec l'âge. Comme illustré pour l'émulsion de fraction massique 0,50, à partir d'un vieillissement d'un jour, un seuil d'écoulement se manifeste et s'accroît au cours du temps (*fig. 4*) et l'apparition de propriétés thixotropes qui s'accroissent avec l'âge est observée (*fig. 5*).

---

## 4 - DISCUSSION

---

A partir des résultats de stabilité et de comportement rhéologique que nous rapportons, une description des modifications de structure au sein des émulsions peut être proposée.

Pour une émulsion concentrée huile-dans-eau de comportement plastique avec des propriétés d'écoulement non linéaires (fraction massique en huile de 0,75), aucun phénomène de crémage n'est observé et la coalescence des gouttelettes d'huile se traduit du point de vue rhéologique par la diminution progressive de la viscosité apparente et du seuil d'écoulement.

Les émulsions de fraction massique 0,37 et 0,66 sont instables vis-à-vis de la coalescence et présentent de plus une instabilité vis-à-vis du crémage. Le degré d'avancement des phénomènes de floculation-crémage se traduit dans les premiers temps du vieillissement par une augmentation de la viscosité apparente de l'émulsion. La floculation des gouttelettes d'huile résultant des interactions entre gouttelettes conduit à l'emprisonnement d'une fraction du volume de phase aqueuse à l'intérieur des flocs. Ceci entraîne une augmentation de la fraction volumique effective de phase dispersée qui se traduit par une augmentation de la viscosité apparente des émulsions. Puis, la coalescence des gouttelettes dans les flocs ou dans la phase crémée devient le processus prépondérant de déstabilisation et celui-ci se manifeste comme dans le cas des émulsions plus concentrées par la diminution progressive de la viscosité

apparente de l'émulsion. Ces résultats sont en accord avec les travaux de KIOSSEOGLOU et SHERMAN (1983) qui suggèrent à partir de mesures de fluage qu'après une floculation rapide la coalescence devient très tôt le processus dominant, ce qui se traduit par une diminution progressive de l'ensemble des paramètres du comportement viscoélastique des émulsions.

L'incidence de l'addition d'un amidon modifié gélifiant à froid sur la stabilité et le comportement rhéologique d'émulsions huile-dans-eau a été étudiée pour deux concentrations en amidon dans la phase aqueuse.

Dans les deux cas, une stabilisation vis-à-vis de la coalescence est obtenue. L'explication de cet effet nécessiterait de réaliser des études portant sur l'interface phospholipides-dispersion aqueuse de l'amidon afin de rechercher si l'amidon présente des propriétés tensio-actives, propriétés mises en évidence pour d'autres hydrocolloïdes (IZMAILOVA, 1979 ; VERNON-CARTER et SHERMAN, 1980 ; HENNOCK *et al.*, 1984) et s'il est susceptible de modifier les propriétés des bicouches lipidiques.

Lorsqu'il n'y a pas formation de gel dans la phase aqueuse, l'effet observé est une augmentation de la viscosité apparente des émulsions sans apparition d'un seuil d'écoulement. Les phénomènes de crémage ne sont pas stoppés par cette addition et la sédimentation d'une partie de l'amidon est même observée au cours du stockage. Dans ces conditions, l'amidon pourrait agir comme un épaississant et stabiliser l'émulsion selon l'explication traditionnelle de l'augmentation de la viscosité de la phase aqueuse (DICKINSON, 1986 ; DICKINSON et STAINSBY, 1987). Cependant, l'opacité de la phase aqueuse (due à la présence de l'amidon) ne permet pas de suivre visuellement la cinétique de séparation et de savoir si le crémage est retardé (effet favorable escompté) ou accéléré par le biais d'une augmentation de la floculation des gouttelettes comme cela a précédemment été montré dans le cas de l'addition de dérivé de la cellulose ou de xanthane (GUNNING *et al.*, 1986, 1988a et 1988b).

La formation d'un gel dans la phase aqueuse modifie très nettement le comportement rhéologique des émulsions avec l'apparition progressive d'un seuil d'écoulement et de propriétés thixotropes. Ces dernières peuvent être associées à la destruction de la structure du gel au cours du cisaillement. La gélification de la phase aqueuse permet de stabiliser ces émulsions vis-à-vis du crémage comme c'était le cas dans les travaux de COIA et STAUFER (1987) avec l'addition de xanthane mais aucun problème de séparation visible d'huile comme l'ont observé ces auteurs ne s'est produit dans nos expériences au cours du mois de stockage.

Ces premiers résultats montrent qu'il est possible de stabiliser des émulsions huile-dans-eau dont la teneur en lipides est réduite en incorporant un amidon modifié gélifiant à froid dans la phase aqueuse de l'émulsion. La quantité d'amidon dans la phase aqueuse doit être suffisante pour obtenir la gélification de celle-ci avant que les phénomènes de crémage ne puissent se manifester. En deçà de la concentration de gélification, l'addition d'amidon, en superposant un phénomène de sédimentation de l'amidon au phénomène de crémage des gouttelettes d'huile, conduit à la séparation du produit en trois phases au lieu de deux.

La poursuite des travaux sur l'utilisation de polymères gélifiants pour la stabilisation d'émulsions nécessite l'emploi de gélifiants autres que l'amidon, ce dernier présentant les inconvénients de sédimenter ou de gélifier avec une séparation de phase lente qui conduit à des gels opaques empêchant le suivi visuel des cinétiques de floculation-crémage.

Manuscrit reçu le 24 octobre 1989, accepté le 6 mars 1990.

## REFERENCES

- COIA K.A., STAUFER K.R., 1987. Shelf life of oil-in-water emulsions using various commercial hydrocolloids. *J. Food Sci.*, **52**, 166-172.
- DICKINSON E., 1986. Mixed proteinaceous emulsifiers: review of competitive protein adsorption and the relationship to food colloid stabilization. *Food Hydrocolloids*, **1**, 3-23.
- DICKINSON E., STAINSBY G., 1987. Progress in formulation of food emulsions and foams. *Food Technol.*, **41**, 74, 76-81, 116.
- ELLIOTT J.H., GANZ A.J., 1977. Salad dressings - Preliminary rheological characterization. *J. Texture Studies*, **8**, 359-371.
- GLADWELL N., GRIMSON M.J., RAHALKAR R.R., RICHMOND P., 1984. Linear viscoelastic behaviour of sterically stabilized oil-in-water emulsions. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2*, **81**, 643-652.
- GUNNING P.A., HENNOCK M.S.R., HOWE A.M., MACKIE A.R., RICHMOND P., ROBINS M.M., 1986. Stability of oil-in-water emulsions. The effect of dispersed phase and polysaccharide on creaming. *Colloids Surfaces*, **20**, 65-80.
- GUNNING P.A., HIBBERD D.J., HOWE A.M., ROBINS M.M., 1988a. Gravitational destabilization of emulsions flocculated by non-absorbed xanthan. *Food Hydrocolloids*, **2**, 119-129.
- GUNNING P.A., HIBBERD D.J., HOWE A.M., MACKIE A.R., RICHMOND P., ROBINS M.M., 1988b. Non-intrusive measurement of dispersion composition. Effect of xanthan on creaming profiles in emulsions. In: PHILLIPS G.O., WEDLOCK D.J., WILLIAMS P.A. (eds), *Gums and stabilisers for the food industry 4*, 453-462, IRL Press, Oxford, Washington DC.
- HENNOCK M., RAHALKAR R.R., RICHMOND P., 1984. Effect of xanthan upon the rheology and stability of oil-water emulsions. *J. Food Sci.*, **49**, 1271-1274.
- IZMAILOVA V.N., 1979. Structure formation and rheological properties of proteins and surface active polymers of interfacial adsorption layers. *Prog. Surface Membrane Sci.*, **13**, 141-209.
- KIOSSEOGLU V.D., SHERMAN P., 1983. Influence of egg yolk lipoproteins on the rheology and stability of O/W emulsions and mayonnaise. *J. Texture Stud.*, **14**, 397-417.
- PAREDES M.D.C., RAO M.A., BOURNE M.C., 1988. Rheological characterization of salad dressings. 1: Steady shear, thixotropy and effect of temperature. *J. Texture Studies*, **19**, 247-258.
- STONE M.B., CAMPBELL A.M., 1980. Emulsification in systems containing soy protein isolates, salt and starch. *J. Food Sci.*, **45**, 1713-1716.
- VERNON CARTER E.J., SHERMAN P., 1980. Rheological properties and applications of mesquite tree (*Prosopis juliflora*) gum. 2: Rheological properties and stability of O/W emulsions containing mesquite gum. *J. Texture Studies*, **11**, 351-365.
- VERNON CARTER E.J., SHERMAN P., 1980. Rheological properties and applications of mesquite tree (*Prosopis juliflora*) gum. 5: The rheological properties and stability of corn oil-in-water emulsions stabilised by blends of mesquite gum and Tween 60. *J. Dispersion Sci. Technol.*, **2**, 415-431.

