

# Des systèmes dispersés dans nos assiettes : une étude au microscope optique

par **Jonathan PIARD**

Département de chimie

ENS Cachan - 94325 Cachan Cedex

[jonathan.piard@ens-cachan.fr](mailto:jonathan.piard@ens-cachan.fr)

## RÉSUMÉ

*Dans cet article, une définition de la notion de systèmes dispersés est introduite et quelques exemples de ceux-ci dans la vie quotidienne sont donnés. Les propriétés caractéristiques des systèmes colloïdaux sont également évoquées. Une observation au microscope optique de plusieurs aliments de notre vie quotidienne a ensuite été réalisée. Le but de cet article est de montrer que dans notre quotidien, et plus particulièrement la cuisine et l'alimentation, l'on retrouve une variété importante de systèmes dispersés.*

## 1. LES SYSTÈMES DISPERSÉS

### 1.1. Définition

Un **système dispersé** est un système dans lequel au moins deux phases sont en coexistence. La phase dispersée (milieu discontinu) est en suspension dans une phase dispersante (milieu continu). Lorsque les particules de phase dispersée sont comprises entre 1 nm et 1  $\mu\text{m}$ , on parle alors de colloïde ou système colloïdal. Dans ce dernier cas, à l'échelle macroscopique, on ne distingue qu'une phase unique ce qui n'est pas forcément le cas pour les systèmes dispersés.

Il existe plusieurs types de systèmes dispersés selon la nature (solide, liquide ou gaz) des phases dispersante et dispersée. Ces différents types sont décrits dans le tableau 1.

| Milieu / Phase    |         | Phase dispersée                 |                 |                                    |
|-------------------|---------|---------------------------------|-----------------|------------------------------------|
|                   |         | Gaz                             | Liquide         | Solide                             |
| Phase dispersante | Gaz     | Aucun<br>les gaz sont miscibles | Aérosol liquide | Aérosol solide                     |
|                   | Liquide | Mousse liquide                  | Émulsion        | Suspension solide<br>ou sol        |
|                   | Solide  | Mousse solide                   | Gel             | Suspension solide<br>ou sol solide |

**Tableau 1** : Tableau récapitulatif des différents types de systèmes dispersés.

## 1.2. Exemples de systèmes dispersés du quotidien

Dans notre quotidien, on rencontre couramment de nombreux systèmes dispersés ou colloïdes parmi lesquels :

- ◆ Des **aérosols liquides** tels que le brouillard, la brume, les nuages qui sont dans les deux cas des gouttes d'eau dans de l'air. Les brumisateurs ou encore les insecticides en pulvérisateur en sont également des exemples. De manière générale, les pulvérisateurs aérosols contiennent le liquide à vaporiser ainsi qu'un gaz aérosol sous pression (le butane généralement).
- ◆ Des **aérosols solides** tels que le brouillard, la brume, les nuages qui peuvent aussi dans certaines conditions être constitués de cristaux de glace dans l'air ou encore la fumée qui est un nuage de particules solides de suie (carbone imbrûlé) et de cendres dans un gaz de combustion et de vapeurs.
- ◆ Des **gels** tels que le gel coiffant, les aliments ou plats contenant des gélifiants (bonbons, panna cotta, flan minute...) ou encore le blanc des œufs au plat. Les gélifiants utilisés peuvent être la gélatine de porc (obtenue à partir de la peau animale et des tissus conjonctifs), l'agar-agar (obtenu à partir d'algues rouges appartenant aux familles des Gélidiacées et des Gracilariacées) ou encore les carraghénanes (obtenus à partir d'algues rouges *Kappaphycus alvarezii* et *Eucheuma denticulatum*). La confiture est également un exemple de gel et est étudiée au paragraphe 2.2., le gélifiant est la pectine.
- ◆ Des **émulsions** telles que le pastis (composé organique – l'anéthol – dans l'eau) et des boissons qui lui sont proches (anisette, ouzo, raki...) ou la mayonnaise (gouttes d'huile dans l'eau) et ses préparations apparentées (aïoli, rémoulade...). Pour une émulsion d'huile dans l'eau, on parle d'émulsion directe. Pour une émulsion d'eau dans l'huile, d'une émulsion inverse. La vinaigrette est également un exemple d'émulsion et est étudiée au paragraphe 2.3. au même titre que la mayonnaise.
- ◆ Des **mousses liquides** telles que la mousse au chocolat (bulles d'air dans du blanc d'œuf et du chocolat), l'écume de la mer (bulles d'air dans l'eau) ou encore la mousse du bain (bulles d'air dans l'eau). Les blancs en neige sont également un exemple de mousses liquides et sont étudiés au paragraphe 2.4.
- ◆ Des **mousses solides** telles que les éponges (bulles d'air dans du polyuréthane), le polystyrène expansé, le pain (bulles d'air dans de la pâte solidifiée) ou les soufflés (bulles d'air dans une préparation solidifiée). Les meringues sont également un exemple de mousses solides et sont étudiées au paragraphe 2.5.
- ◆ Des **suspensions solides (Sol)** telles que l'eau (particules en suspension), la boue (argile dans une phase aqueuse), la peinture (pigments dans un liant) ou l'encre (pigments dans un solvant). La pâte à crêpes est également un exemple de suspension solide et est étudiée au paragraphe 2.6.
- ◆ Des **suspensions solides (Sol solide)** tels les alliages métalliques (laiton, bronze...) ou encore les pierres précieuses et gemmes. Dans ce dernier cas, les phases dispersées solides (les impuretés) sont souvent responsables de la couleur des pierres (oxyde de chrome pour le rubis, le chrome et le vanadium pour l'émeraude, titane et fer pour le saphir...).

Le tableau 1 répertorie les différents types de systèmes dispersés simples. Toutefois dans certains cas, plusieurs systèmes dispersés peuvent coexister au sein d'un même système. C'est par exemple le cas de la crème chantilly et de la crème glacée qui sont constitués de bulles d'air dans de la crème (émulsion). Ces systèmes peuvent être considérés à la fois comme des mousses solides, mais également des émulsions. On peut parler d'émulsion mousseuse. Le cas du beurre (émulsion de graisse et d'eau dans une matrice de graisse cristallisée) qui peut être considéré comme un gel d'émulsion ou encore le lait qui peut être considéré à la fois comme une émulsion (graisse dans l'eau) et une suspension (matière azotée) sont étudiés au paragraphe 2.7.

#### Remarques :

Les aérosols étant constitués d'une phase dispersante gazeuse, l'étude sous microscope optique s'avère difficile à mettre en œuvre et n'a donc pas été entreprise dans le cadre de cet article.

Dans le cas des suspensions solides (Sol), on parle aussi de dispersions solide / liquide. On appelle suspensions colloïdales les suspensions pour lesquelles la taille des particules est intermédiaire entre celle des suspensions (particules de taille supérieure à 200 nm) et les solutions vraies (particules de taille inférieure à 2 nm).

### 1.3. Propriétés caractéristiques des systèmes colloïdaux [1]

Les systèmes colloïdaux sont caractérisés par plusieurs propriétés telles que :

- la diffusion de la lumière<sup>(1)</sup> ;
- le mouvement brownien ;
- une instabilité thermodynamique.

Il est à noter que cette dernière propriété n'est pas propre aux systèmes colloïdaux et reste valable pour les systèmes dispersés en général.

#### 1.3.1. Diffusion de la lumière

Les particules en suspension dans le milieu renvoient la lumière dans toutes les directions par un phénomène de diffusion de la lumière. La diffusion de Mie constitue le cas général alors que la diffusion de Rayleigh est un cas particulier de cette dernière lorsque la taille des particules est inférieure au dixième de la longueur d'onde. Alors que l'intensité de la diffusion de Mie est peu dépendante de la longueur d'onde, celle de la diffusion de Rayleigh est telle que :

$$I \sim \frac{a^6}{\lambda^4}$$

avec  $a$  le rayon de la particule et  $\lambda$  la longueur d'onde.

(1) Pour que le phénomène de diffusion ait lieu, il est nécessaire que l'indice de réfraction de la phase dispersée soit assez différent de celui de la phase continue.

Par conséquent, il apparaît que dans ce dernier cas, d'une part, les grosses particules diffusent plus que les petites et d'autre part que les petites longueurs d'onde (bleu) sont plus diffusées que les grandes (rouge).

La diffusion de Rayleigh permet d'expliquer la couleur bleue du ciel, car les molécules qui constituent l'atmosphère sont de petites tailles. La diffusion de Mie permet quant à elle d'expliquer la couleur blanche des nuages, car ces derniers sont constitués de gouttelettes d'eau de tailles largement supérieures à la longueur d'onde.

### 1.3.2. *Mouvement brownien*

Dans le cas des dispersions colloïdales, les mouvements browniens dus à l'agitation thermique sont prépondérants par rapport à la sédimentation sous l'effet de la gravité. Ces dispersions ne sédimentent pas naturellement. Le mouvement brownien est le nom donné au mouvement désordonné des atomes et des molécules. Ce mouvement résulte de chocs aléatoires des particules de petites tailles avec les molécules du milieu continu environnant. Plus la taille des particules est élevée plus celles-ci ont tendance à sédimenter sous l'effet de la gravité et le mouvement brownien devient négligeable.

### 1.3.3. *Instabilité thermodynamique*

La dispersion de la phase discontinue dans la phase continue nécessite un apport d'énergie. Les systèmes dispersés ne sont pas généralement stables thermodynamiquement. La stabilité des systèmes dispersés dépend des forces entre les particules mises en jeu à l'interface.

Dans le cas des émulsions ou des mousses liquides, une stabilité stérique peut être obtenue par l'ajout de molécules amphiphiles : un tensioactif. En l'absence ou faible présence de tensioactif, les gouttes dispersées se recombinent par un phénomène de floculation - coalescence. La floculation consiste en l'agrégation des gouttes sous l'effet des forces attractives (Van der Waals, interactions spécifiques...). La coalescence consiste quant à elle à l'approche puis au drainage de la phase continue qui sépare les deux gouttes. Finalement dans le cas des émulsions stables (en présence de tensioactif), le caractère inverse ou direct de l'émulsion peut être prédit en utilisant la règle de Bancroft : la phase dans laquelle le tensioactif se dissout préférentiellement devient la phase continue de l'émulsion.

Dans le cas des suspensions (particules de taille supérieure à 1  $\mu\text{m}$ ), pour conserver l'état de dispersion et éviter la sédimentation, une des solutions consiste à bloquer le mouvement dans le liquide. Pour cela, on utilise soit un gélifiant ou un milieu de forte viscosité.

Dans le cas des gels, des mousses solides et des suspensions solides, la stabilité du système est rendue possible par la rigidité du milieu continu.

## 2. IMAGE PAR MICROSCOPIE DE SYSTÈMES DISPERSÉS

### 2.1. Produits et matériel

#### 2.1.1. Produits <sup>(2)</sup>

- confiture ;
- huile ;
- vinaigre ;
- moutarde ;
- un œuf ;
- meringue ;
- lait écrémé ou lait entier ;
- beurre ;
- citron ou vinaigre ;
- farine.

#### 2.1.2. Matériel

- microscope optique ;
- lamelle de microscope en verre ( $22 \times 22$  mm) ;
- pince ;
- batteur électrique ou fouet ;
- four si l'on veut préparer des meringues maison ;
- spatule ;
- tubes à essais + support.

### 2.2. Exemple d'un gel : la confiture

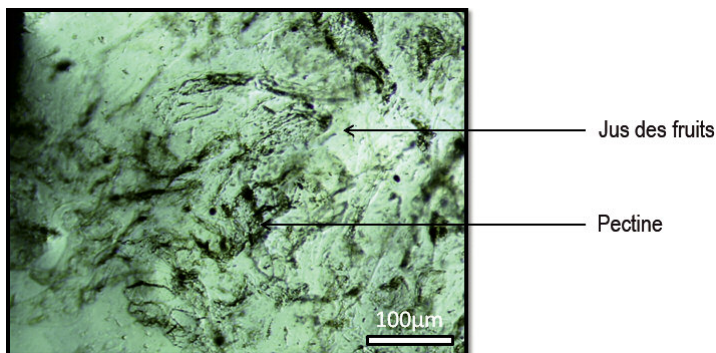
La confiture est une confiserie obtenue en faisant cuire des fruits avec un poids équivalent de sucre. Après un temps de cuisson pouvant aller jusqu'à plusieurs heures, le mélange est laissé à refroidir. Pendant cette étape, la confiture se solidifie pour former un gel grâce à l'action gélifiante de la pectine des fruits. Cette dernière est donc nécessaire afin que la confiture puisse prendre. Dans le cas de fruits pauvres en pectine (cerises, framboises, poires, rhubarbe...), il est parfois nécessaire d'ajouter de la pectine. Une alternative est également d'utiliser de l'agar-agar ou des carraghénanes afin de réaliser un gel. Les pectines sont des polysides exclusivement d'origine végétale.

### Mode opératoire

Prélever un peu de confiture et la placer sur une lamelle de microscope. Faire en

(2) Les produits mentionnés sont donnés à titre indicatif. Tous les types de confitures, huile, vinaigre ou moutarde conviennent. Éviter toutefois la moutarde à l'ancienne car les grains peuvent perturber l'observation.

sorte que la confiture soit déposée sous forme d'une fine couche. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (cf. figure 1).



**Figure 1 :** Image au microscope optique de la confiture (grossissement  $\times 10$ ).

### Interprétation

On observe alors le réseau du gel formé par la pectine (structure noire de plusieurs centaines de micromètres, figure 1). Les parties vertes de la figure 1 situées dans cette matrice correspondent au jus des fruits (sirop avec pulpe). Dans ce cas, la phase dispersée est le jus des fruits et la phase dispersante la matrice rigide formée par la pectine.

Les gelées tout comme les confitures sont des gels et le processus de gélification est identique. Il s'agit en réalité d'une confiture où n'est pas conservée la pulpe des fruits.

*Remarque :* Traditionnellement, les confitures étaient élaborées dans des bassines en cuivre pour assurer une meilleure prise de la confiture. En effet, le cuivre libère du  $\text{Cu}^{2+}$  lors de la cuisson. Ces ions forment avec les molécules de pectines des liaisons ioniques et vont donc s'assembler [2].

## 2.3. Exemple d'une émulsion : la vinaigrette

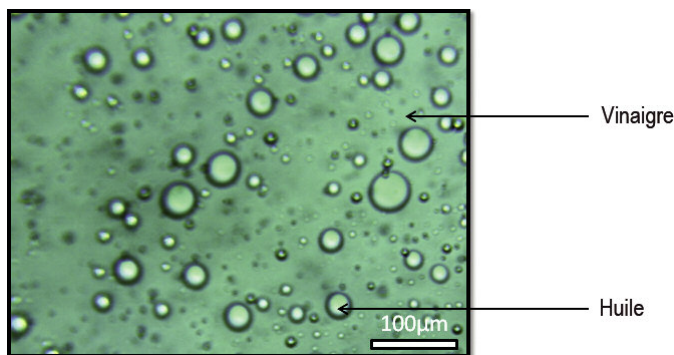
### 2.3.1. Cas d'une émulsion instable : la vinaigrette sans moutarde

#### Mode opératoire

Pour préparer une vinaigrette, mélanger dans tube à essai 5 mL d'huile et 5 mL de vinaigre. Boucher le tube, agiter pendant une minute. On obtient alors une solution turbide (diffusante) : une émulsion d'huile dans le vinaigre. Prélever alors une partie de cette émulsion et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (cf. figure 2, page ci-contre).

#### Interprétation

On observe la présence de petites gouttes d'huile de taille allant de 1 µm à 50 µm.



**Figure 2 :** Image au microscope optique d'une vinaigrette sans moutarde (grossissement  $\times 10$ ).

La phase dispersée est l'huile (bulles blanches, cf. figure 2) et la phase dispersante est le vinaigre (fond vert, cf. figure 2). De plus, dans le cas de cette vinaigrette, les gouttes d'huile sont animées d'un mouvement permanent et tendent à se rassembler par des phénomènes de floculation - coalescence pour former de plus grosses gouttes. Ce phénomène peut-être observé lors d'un examen au microscope prolongé de cette émulsion. Le système est instable et après quelques minutes l'huile et le vinaigre forment de nouveau deux phases séparées après cinq - dix minutes.

*Remarque :* Le mélange en proportion égale de vinaigre et d'huile conduit à une émulsion directe d'huile dans le vinaigre. Une émulsion inverse de vinaigrette peut être également préparée en mélangeant 8 mL d'huile avec 2 mL de vinaigre. L'aspect beaucoup plus visqueux de cette vinaigrette est significatif de la phase continue huileuse et garantit une meilleure stabilité de l'émulsion.

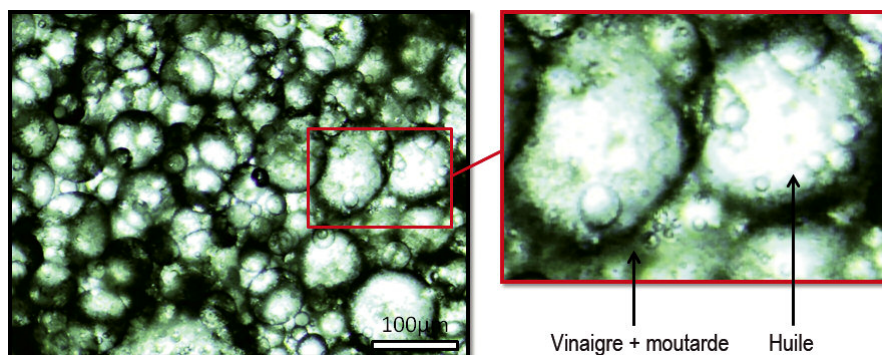
### 2.3.2. Cas d'une émulsion stable : la vinaigrette avec moutarde

#### Mode opératoire

Reprendre la vinaigrette du paragraphe 2.3.1. et ajouter une pointe de spatule de moutarde. Agiter le mélange pendant une minute. On obtient comme précédemment une émulsion d'huile dans le vinaigre. Prélever alors une partie de cette émulsion et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (cf. figure 3, page ci-après).

#### Interprétation

La vinaigrette préparée au paragraphe 2.3.1 est instable. Cette dernière peut être rendue cinétiquement stable en ajoutant de la moutarde dont les cellules broyées vont libérer des phospholipides : des tensioactifs. Des gouttes d'huile (bulles blanches, Figure 3) de tailles proches ( $1-100\ \mu\text{m}$ ) de celles observées précédemment sont dispersées dans du vinaigre (parties foncées, Figure 3). Les phases dispersée et dispersante sont iden-



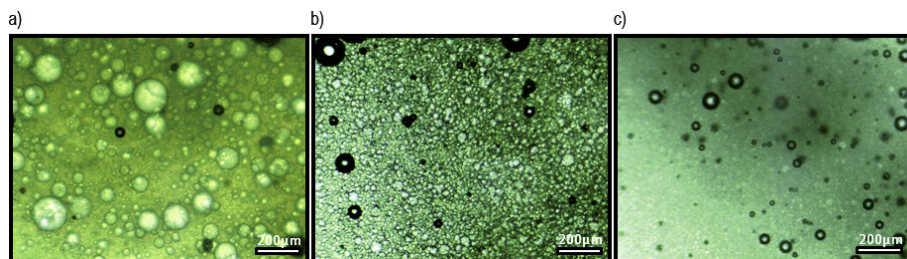
**Figure 3 :** Image au microscope optique d'une vinaigrette avec moutarde (grossissement  $\times 10$ ).

tiques à celles rencontrées dans la vinaigrette du paragraphe 2.3.1. La grande proximité des gouttes d'huile et l'absence de mouvement de celles-ci sont la résultante de la présence du tensioactif. Ce dernier va permettre de stabiliser le système en empêchant le processus de floculation - coalescence. Cette vinaigrette reste stable pendant plusieurs heures. Le tensioactif va venir se placer à l'interface entre l'huile et le vinaigre.

### 2.3.3. *Suivi de la formation d'une émulsion stable : la mayonnaise*

#### **Mode opératoire**

Dans un premier temps, casser un œuf et séparer le blanc du jaune. Conserver le jaune. Ajouter un filet d'huile et battre le mélange pendant cinq secondes. Prélever alors une partie de cette émulsion et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (*cf.* figure 4a). Ajouter de nouveau un filet d'huile au mélange et battre trente secondes. Prélever l'échantillon et observer sous microscope optique (*cf.* figure 4b). Batta plusieurs minutes tout en ajoutant de manière continue un filet d'huile jusqu'à obtenir la texture d'une mayonnaise. Prélever l'échantillon et observer sous microscope optique (*cf.* figure 4c).



**Figure 4 :** Image au microscope de la mayonnaise (a) battu cinq secondes, (b) battu trente secondes et (c) à la fin de l'agitation (grossissement  $\times 4$ ).

## Interprétation

La mayonnaise est une émulsion d'huile dans l'eau du jaune d'œuf. La phase dispersée est donc l'huile (gouttes blanches, *cf.* figure 4) et la phase dispersante est l'eau du jaune d'œuf (fond vert, *cf.* figure 4). Cette émulsion est stabilisée par la présence de la lécithine (phosphatidylcholine) contenue dans le jaune de l'œuf qui joue le rôle de tensioactif. On observe alors que le battage du mélange œuf, huile pendant cinq secondes conduit à l'obtention de gouttes d'huile comprises entre  $10\text{ }\mu\text{m}$  et  $100\text{ }\mu\text{m}$  (*cf.* figure 4a). Lorsque l'on prolonge le battage, la taille des gouttes diminue pour devenir inférieure à  $50\text{ }\mu\text{m}$  après trente secondes (*cf.* figure 4b) et inférieure à  $1\text{ }\mu\text{m}$  lorsque la mayonnaise possède la bonne texture (*cf.* figure 4c). La faible taille des gouttes de la mayonnaise garantit une bonne stabilité de celle-ci.

*Remarque :* La mayonnaise a été préparée à partir du jaune de l'œuf, car celui-ci contient un tensioactif, la lécithine. Toutefois, un autre type de mayonnaise peut également être préparée en utilisant le blanc de l'œuf au lieu du jaune, car celui-ci contient aussi un tensioactif : l'albumine (groupe de protéine). Finalement, un troisième type de mayonnaise peut être envisagé en utilisant à la fois le blanc et le jaune de l'œuf.

## 2.4. Exemple d'une mousse liquide : les blancs en neige

### Mode opératoire

Pour préparer des blancs en neige, séparer le blanc du jaune d'un œuf et conserver le blanc. À l'aide d'un batteur électrique (ou d'un fouet), battre ensuite les blancs jusqu'à ce que ceux-ci soient bien fermes. Prélever alors une partie de cette préparation et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (*cf.* figure 5).

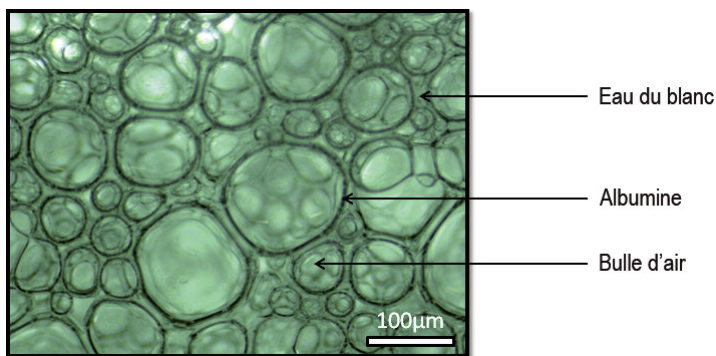


Figure 5 : Image au microscope optique de blanc en neige (grossissement  $\times 10$ ).

## Interprétation

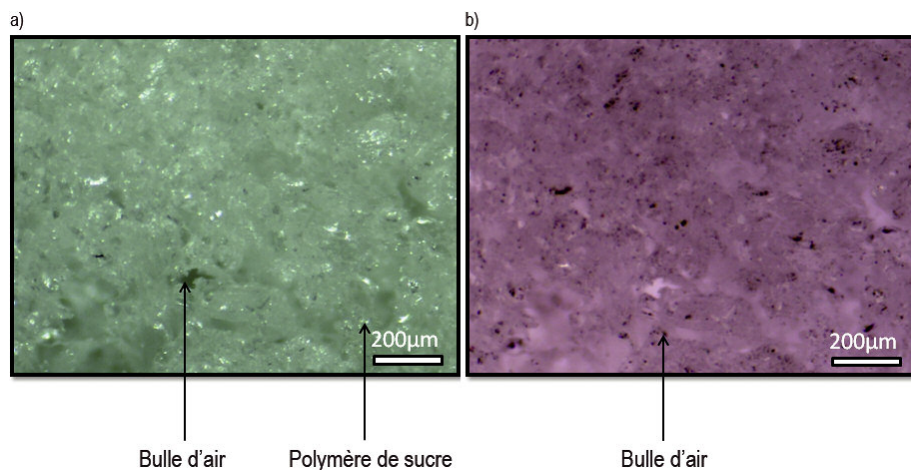
Les blancs en neige sont constitués de bulles d'air (bulles, *cf.* figure 5) emprison-

nées dans une matrice liquide (fond vert, *cf.* figure 5, page précédente) correspondant au blanc de l'œuf. La phase dispersée est l'air incorporé lors du battage des œufs et la phase dispersante est le blanc des œufs. Ce dernier est composé de 90 % d'eau et de 10 % de protéines, parmi lesquelles l'albumine. C'est cette dernière qui va permettre de stabiliser le système et faire en sorte que les blancs en neige ne retombent pas. L'albumine tout comme la moutarde pour la vinaigrette va venir se placer à l'interface entre l'air et le blanc d'œuf. La taille des bulles d'air diminue au cours du battage des œufs pour finalement posséder une taille comprise entre 10  $\mu\text{m}$  et 150  $\mu\text{m}$ . Il est à noter également que la promiscuité des bulles d'air conjuguée aux grandes forces de pression exercées par la matrice entraîne une distorsion des bulles d'air. Celles-ci ne possèdent plus une forme sphérique.

## 2.5. Exemple d'une mousse solide : la meringue

### Mode opératoire

Pour préparer une meringue, faites monter des blancs en neige en suivant le protocole décrit au paragraphe 2.4. tout en ajoutant du sucre en pluie. Une fois les blancs bien fermes, effectuer avec la préparation des tas (n'importe quelles tailles et formes) sur une plaque de four recouverte de papier sulfurisé. Placer les meringues au four et cuire entre une demi-heure et une heure à 120 °C<sup>(3)</sup>. Une fois cuites, prélever alors une partie de cette préparation et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (*cf.* figure 6).



**Figure 6 :** (a) Image normale et (b) image en négatif d'une meringue au microscope optique (grossissement  $\times 4$ ).

(3) Par manque de temps, il est possible d'acheter des meringues dans le commerce.

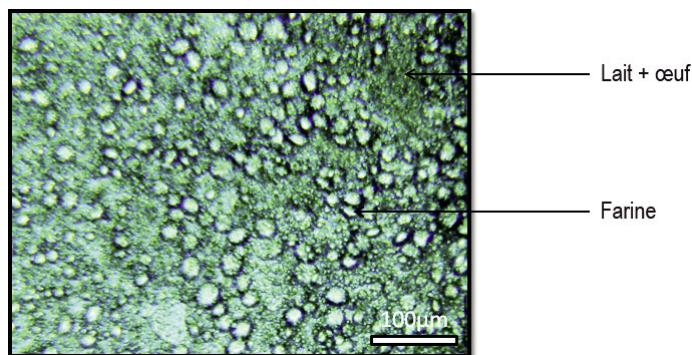
## Interprétation

La meringue est préparée à partir de blanc en neige sucré. Comme nous l'avons au paragraphe 2.4., cette préparation constitue une mousse liquide. La phase dispersée est toujours l'air, mais cette fois-ci la phase dispersante est l'eau des œufs dans lequel est dissous du sucre. Le processus de chauffage permet alors d'évaporer l'eau des blancs et de créer un polymère de sucre rigide (comme pour le caramel). Ce dernier emprisonne les bulles d'air et constitue la phase dispersante. En cassant un bout de meringue, celle-ci laisse apparaître de nombreux trous (bulles d'air) visibles à l'œil nu puisque pouvant mesurer jusqu'à plusieurs centimètres dans de grosses meringues. L'examen au microscope permet alors de mettre en évidence la matrice de sucre (*cf.* figure 6a, page ci-contre), mais également la présence de très petites bulles d'air (1-50  $\mu\text{m}$ ) qui ont été piégées (points noirs, *cf.* figure 6b, page ci-contre).

## 2.6. Cas d'une suspension solide (Sol) : la pâte à crêpes

### Mode opératoire

Pour préparer de la pâte à crêpes, mélanger 250 g de farine avec deux œufs et 400 mL de lait. Mélanger vigoureusement le tout jusqu'à obtenir une pâte bien lisse. Prélever alors une partie de cette préparation et la placer sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (*cf.* figure 7).



**Figure 7 :** Image au microscope optique de la pâte à crêpes (grossissement  $\times 10$ ).

## Interprétation

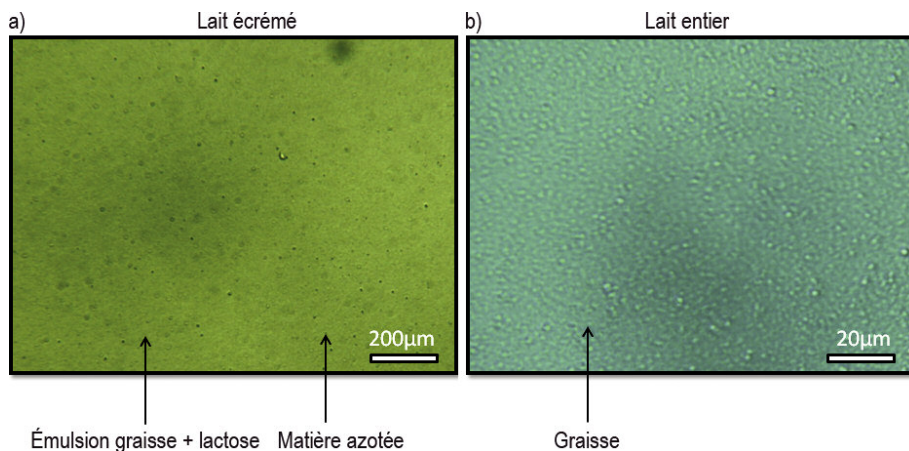
La pâte à crêpes est une suspension. En effet, des grains micrométriques (1-30  $\mu\text{m}$ ) de farine sont dispersés (points blancs, *cf.* figure 7) dans un mélange de lait et d'œuf (fond vert, *cf.* figure 7). La forte viscosité du mélange lait, œuf permet d'éviter la sédimentation des particules de farine.

## 2.7. Quelques exemples de cas complexes : le lait et le beurre

### 2.7.1. Le lait

#### Mode opératoire

- ◆ Placer une goutte de lait sur une lamelle de microscope. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (cf. figure 8).
- ◆ Prélever ensuite 2 mL de lait dans un tube à essai et ajouter cinq gouttes de citron ou de vinaigre. Boucher le tube et agiter une minute. Laisser reposer. On observe alors une solidification du milieu.



**Figure 8 :** Image au microscope optique du (a) lait écrémé et (b) lait entier (grossissement  $\times 4$ ).

#### Interprétation

Le lait est un liquide constitué d'une émulsion de graisses (beurre) dans une solution aqueuse de sucres qui est responsable de sa couleur blanche. La taille des gouttes de graisses est inférieure ou de l'ordre du micron (points blancs, cf. figure 8b). Ces graisses sont très visibles dans le cas du lait entier. Cette émulsion est stabilisée par la présence de la caséine (protéine) qui joue le rôle de tensioactif. Par ailleurs, le lait est également une suspension solide (Sol) dans la mesure où des matières azotées sont présentes dans le milieu (points noirs, cf. figure 8a). Ces dernières sont très bien observées dans le cas du lait écrémé.

La couleur blanche du lait peut s'expliquer par la diffusion de Mie, car la taille des particules est assez grande (voir paragraphe 1.3.).

Le lait caillé est obtenu par ajout d'acide (du citron ou du vinaigre par exemple) et conduit à la précipitation des caséines. L'action acide dénature cette protéine et entraîne une déstructuration des micelles. Il y a alors un rejet d'eau d'une part, et la formation d'un gel d'autre part. Ce dernier résulte de l'agrégation des micelles de graisses. La trans-

formation du lait en caillé est appelée « coagulation » ou « caillage ».

### 2.7.2. Le beurre

#### Mode opératoire

Placer une noisette de beurre sur une lamelle de microscope. Bien étaler à l'aide d'une spatule afin que la couche de beurre soit assez fine. Observer alors l'échantillon sous un microscope optique (cf. figure 9).

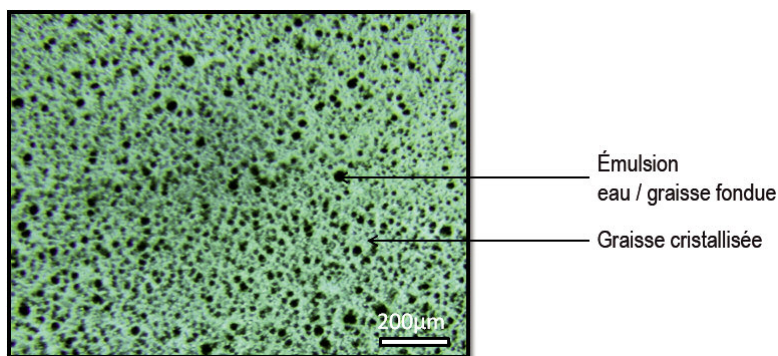


Figure 9 : Image au microscope optique du beurre (grossissement  $\times 4$ ).

#### Interprétation

Le beurre est obtenu à partir des matières grasses du lait. Il est constitué d'une émulsion d'eau et de graisse fondue (points noirs, cf. figure 9) emprisonnée dans de la graisse cristallisée (partie verte, cf. figure 9). La taille des gouttes d'émulsions est comprise entre 1 et 30 µm.

### CONCLUSION

Cet article a permis de définir la notion de systèmes dispersés et de détailler leurs propriétés physiques. Un examen au microscope optique de certains aliments de notre quotidien permet de mettre en évidence leur caractère de système dispersé. Finalement, une attention particulière a été portée à la compréhension de plusieurs processus rencontrés en cuisine : fabrication de la confiture, des blancs en neige, des meringues, du lait caillé. Cette démarche est à la base d'une nouvelle cuisine développée par Hervé THIS et Nicholas KURTI depuis plus de vingt-cinq ans : la cuisine moléculaire [3].

### REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier Raphaël HAUMONT pour avoir pris le temps de m'apprendre

de nombreuses notions sur les systèmes dispersés et la cuisine moléculaire. Je voudrais également remercier Cécile DUMAS-VERDES, Rachel MÉALLET-RENAULT et Joanne XIE pour leur aide et leurs précieux conseils à la rédaction de cet article.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] CABANE B. et HÉNON S. *Liquides : solutions, dispersions, émulsions, gels*. Paris : Belin, 2007.
- [2] THIS H. *Les secrets de la casserole*. Paris : Belin, 2008.
- [3] THIS H. *La casserole des enfants*. Paris : Belin, 1998.



**Jonathan PIARD**

*Professeur agrégé (PrAg)*

Département de chimie

École normale supérieure (ENS)

Cachan (Val-de-Marne)