

SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DES PHOSPHOLIPIDES
A L'INTERFACE GLYCÉRIDES-AIR

par

P. DESNUELLE ET J. MOLINES

*Laboratoire de Chimie Biologique et Laboratoire National des Matières Grasses (I.T.E.R.G.)
Faculté des Sciences, Marseille (France)*

Les triesters du glycérol et des acides gras supérieurs (glycérides), qui représentent une part importante des lipides cellulaires manifestent pour l'eau une affinité extrêmement réduite. D'autres lipides naturels par contre, possèdent des groupements polaires qui leur confèrent un certain caractère hydrophile et diminuent leur affinité pour les molécules apolaires. Parmi ces derniers, les phospholipides sont certainement les plus répandus et les mieux connus.

Le comportement des molécules phospholipidiques à l'interface glycérides-eau a déjà fait l'objet de nombreuses études. On sait en particulier qu'elles se disposent à cette interface de manière à plonger leur partie polaire dans l'eau et leur partie hydrocarbonée dans les glycérides. La tension régnant entre les deux phases est alors considérablement diminuée. Mais l'étude de leur comportement à l'interface glycérides-air ne semble pas encore avoir été entreprise.

Quelques observations simples sont à l'origine de notre travail dans ce domaine :

1. La fraction lipidique totale d'un tissu animal ou végétal, mélange complexe de glycérides et d'autres lipides, mousse abondamment en général, dès qu'elle est agitée au contact de l'air ou traversée par de fines bulles d'air. Mais un simple lavage à l'eau, éliminant à l'état émulsifié la majeure partie des lipides polaires, suffit à diminuer fortement la stabilité de cette mousse. De plus, un glycéride pur obtenu par voie synthétique ne mousse pas.

2. Cette fraction possède quelquefois une viscosité superficielle près de 100 fois supérieure à celle des couches sous-jacentes. Une fois lavée par contre, elle n'est pas notablement plus visqueuse en surface que dans la masse¹. La même remarque s'applique aux glycérides purs.

3. KAUFMANN² enfin, dans un travail d'ordre technique, a recherché si la tension superficielle des huiles varie quand on les débarrasse de leurs constituants non-glycéridiques par raffinage. Utilisant la technique de LECOMTE DU NOUY, il n'a pas noté de différences importantes à cet égard entre huiles "brutes" et huiles "raffinées". Mais il a cependant signalé qu'au moment de l'arrachement de l'anneau : a) quand l'huile a été lavée et raffinée, la pellicule liquide entraînée par l'anneau dans son mouvement ascendant éclate à un moment donné et seules de fines gouttelettes restent adhérentes au métal; b) quand l'huile est "brute" par contre, cette pellicule est beaucoup plus résistante. Elle se déforme d'abord au fur et à mesure que monte l'anneau, puis se sépare de la surface et se transforme en une lame horizontale stable occupant tout l'espace circulaire que délimite cet anneau. Il semble que, dans une certaine mesure, cette lame puisse être assimilée à une paroi de bulle édifiée dans des conditions bien définies. Sa

stabilité doit donc être en relation avec la stabilité de la mousse elle-même. Nous avons en effet remarqué que toute huile moussante donne une lame stable et qu'inversement, la lame éclate quand l'huile ne mousse pas.

L'ensemble de ces faits conduit à penser que les propriétés de la surface séparant les glycérides de l'air sont profondément modifiées par certains lipides polaires. Il nous a paru intéressant d'en préciser la nature et, pour atteindre ce but, nous nous sommes laissés guider par le phénomène d'arrachement de la lame stable sous la forme quantitative qu'un récent travail a permis de lui donner³. Nous avons ainsi réussi à localiser les activités précédemment décrites, dans des fractions phospholipidiques à peu près définies au point de vue chimique et nous avons tenté de préciser le comportement superficiel de l'une de ces fractions.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

I. ACTIVITÉ SPÉCIFIQUE — ACTIVITÉ TOTALE — DÉFINITION ET MESURE

Rappelons tout d'abord certains résultats obtenus au cours d'un travail précédents³: Après avoir vérifié qu'un glycéride ou un mélange glycéridique* ne donne pas naissance à une lame stable, nous lui avons ajouté peu à peu de l'huile "brute" et nous avons cherché quand apparaît cette lame. Le phénomène est très brusque et permet ainsi de mesurer avec une bonne approximation le poids ρ d'huile "brute" qui le provoque. Ce poids est évidemment d'autant plus faible que la teneur en substances actives de l'huile utilisée est plus grande. En fait, il lui est inversement proportionnel aux erreurs d'expérience près. Voici d'ailleurs notre mode opératoire: dans un cristallisoir bien cylindrique de 8 cm de diamètre intérieur, on pèse 15 g de glycérides. Un anneau circulaire de platine (diamètre du fil 3/10 de mm; diamètre de l'anneau 16 mm) muni d'une tige perpendiculaire à son plan est immergé dans le liquide après avoir été flambé. On ajoute alors, après l'avoir séché, un certain poids de l'échantillon** que l'on se propose d'étudier, on porte le cristallisoir dans un thermostat maintenu à 20° et on agite vivement avec un petit thermomètre jusqu'à ce que la température de l'huile soit environ de 20°. On retire le thermomètre et note le temps. Après 1, 5, 10, 12 et 15 min, on soulève très doucement et régulièrement l'anneau en saisissant sa tige par une petite pince. On prend soin que le plan de l'anneau soit toujours bien horizontal et on règle la vitesse d'ascension de façon que 30 sec environ s'écoulent entre le moment où la surface de l'huile est déformée par l'anneau et celui où se produit l'arrachement. On observe alors si la lame se forme ou non, et on immmerge l'anneau de nouveau.

Dans une première série d'essais, on ajoute successivement des quantités de l'ordre du gramme, puis, entre les limites ainsi déterminées, on précise la mesure à 0.2 ou 0.1 g près. Supposons que pour 1.2 g, la lame ne se forme pas et que pour 1.4 g, elle apparaisse, on prend pour ρ la valeur 1.3 g.

Nous pouvons alors définir une certaine "activité spécifique" a de l'échantillon, égale par exemple à $0.01/\rho$ et une "activité totale" A égale à $a \cdot B$, B étant le poids total de l'échantillon exprimé en grammes.

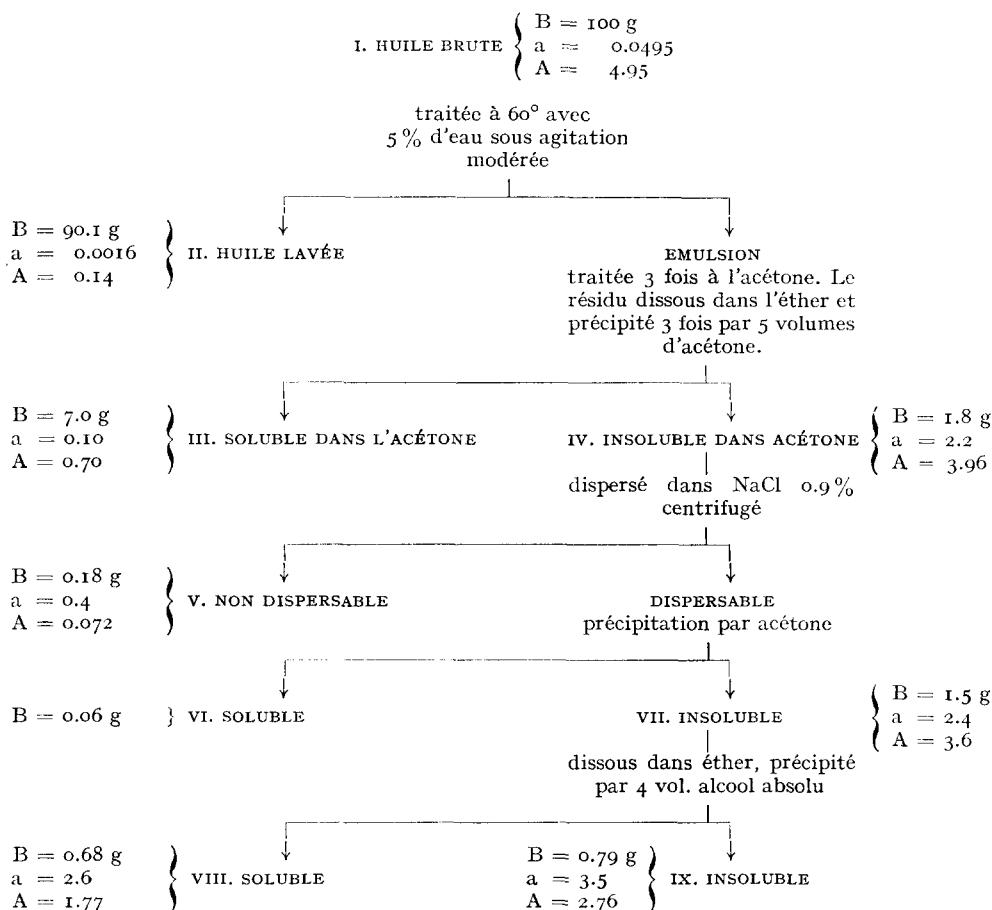
II. CARACTÉRISATION DES SUBSTANCES PROVOQUANT LA FORMATION D'UNE LAME STABLE

Des essais d'orientation nous ayant montré que ces substances se concentrent dans la fraction phospholipidique des corps gras naturels, nous avons tout d'abord soumis une huile d'arachide "brute", au processus classique de séparation des phospholipides par solvants (schéma I);

* Comme la synthèse de quantités importantes d'un glycéride est une opération longue et fastidieuse, nous avons utilisé dans nos essais une huile naturelle débarrassée de ses constituants non-glycéridiques par la technique suivante: La solution de 500 g d'huile d'arachide dans 1 l. d'éther de pétrole (60-80°) est agitée 3 min avec 500 ml de KOH à 14 %. On casse l'émulsion par 500 ml d'alcool à 50 % et laisse décanter. La phase éthérée est lavée à l'alcool à 50 % jusqu'à neutralité. On évapore l'éther de pétrole à la pression ordinaire, puis sous vide au bain-marie bouillant avec barbotage de CO₂ sec. Une telle huile s'est toujours comportée dans nos essais comme un triglycéride de synthèse et nous la désignerons désormais sous le nom de "glycérides".

** Si l'échantillon est solide, on le dissout préalablement dans un poids connu de glycérides.

SCHÉMA I



Nous avons par ailleurs pris un autre exemple aussi différent que possible du premier; celui des phospholipides du jaune d'œuf. Après des traitements analogues à ceux décrits dans le schéma I, nous avons obtenu finalement 2 fractions, l'une (X) soluble dans l'alcool ($B = 37.5 \text{ g}$; $a = 2.3$; $A = 86.0$) et l'autre (XI) insoluble dans l'alcool ($B = 2.5 \text{ g}$; $a = 3.2$; $A = 8.0$).

Les plus importantes de ces fractions ont été soumises à une analyse chimique détaillée portant sur leur teneur en azote total (KJELDAHL), azote aminé (VAN SLYKE), azote-choline (colorimétrie⁴) et phosphore (colorimétrie⁵). Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau I.

De l'examen du tableau I et du schéma I, il ressort que:

i. Quand on agite l'huile "brute" avec de l'eau, les substances responsables de la formation de la lame stable passent presque intégralement dans l'émulsion. Cette remarque confirme le fait déjà signalé que les huiles lavées à l'eau ne donnent plus naissance à une mousse stable. Elle suggère que les substances que nous recherchons possèdent au moins un groupement polaire.

TABLEAU I
ANALYSE DES DIVERSES FRACTIONS SÉPARÉES

Fractions	P (%)	N-total (%)	P/N (en mol)	N-aminé (%)	N-choline (%)
(IV) Arachide	3.62	1.22	1.35	0.46	0.76
(V) "	5.0	0.93	2.40	—	—
(VII) "	3.11	1.23	1.13	0.37	0.81
(VIII) "	3.14	1.42	1.00	0.00	1.41
(IX) "	3.09	1.08	1.29	0.77	0.28
(X) Oeuf	3.80	1.70	1.00	0.00	1.68
Palmityl-oléyl-lécithine (à titre de comparaison)	3.99	1.80	1.00	0.00	1.80

La fraction (VI) contient probablement un polysaccharide⁶, car après hydrolyse acide, elle réduit fortement la liqueur de FEHLING. On y trouve aussi du phosphate de choline.

2. L'activité se retrouve en grande partie dans la fraction (IV) insoluble dans l'acétone. Elle accompagne donc étroitement les phospholipides à ce stade du fractionnement. La faible activité observée dans la fraction (III) soluble dans l'acétone peut d'ailleurs être attribuée à la présence de substances insolubles entraînées dans le solvant par les glycérides. Ce phénomène a été souvent signalé pour les phospholipides.

3. Par dispersion dans l'eau, on sépare quelques produits non-lipidiques sans que l'activité en soit diminuée.

4. Les phospholipides de l'arachide comme ceux du jaune d'œuf contiennent une partie soluble dans l'alcool dont l'azote est exclusivement cholinique et une partie insoluble dont l'azote est en majeure partie sous forme aminée. Mais, suivant le cas, les proportions relatives des deux fractions varient, les phospholipides de l'œuf étant, comme il est d'ailleurs bien connu, presqu'entièrement choliniques.

5. Les résultats d'analyse montrent que, dans le cas de l'œuf, la fraction (X) soluble dans l'alcool est une préparation bien définie de phosphatidylcholines (ou "lécithines"). Dans le cas de l'arachide, la fraction correspondante (VIII) est moins pure, car sa teneur en azote et en phosphore est légèrement trop faible. Toutefois, comme dans la fraction X, le rapport P/N est égal à l'unité.

6. La fraction (IX) insoluble dans l'alcool (ou "céphalines") est évidemment beaucoup plus complexe. Le rapport P/N, nettement supérieur à l'unité, indique tout d'abord la présence d'acides phosphatidiques. Mais, de plus, l'azote de cette fraction est cholinique pour une part et aminé pour une autre part. N'oubliions pas d'ailleurs que cet azote aminé peut appartenir à toute une série de types moléculaires différents (phosphatidylcolamines, phosphatidylséries (6-8), lipositols (9-12) etc. . .).

7. Les fractions (VIII), (IX) et (X) possèdent à peu près la même activité en ce qui concerne la formation de la lame stable. Un échantillon d'acides phosphatidiques préparé à partir de (IX) par la technique de TRISTRAM¹³ s'est révélé également actif.

Les résultats précédents pris dans leur ensemble permettent de conclure que le fait de dissoudre dans un glycéride pur une préparation de phospholipides hautement purifiée modifie les propriétés de sa surface quelle que soit la nature chimique de ces phospholipides. Toutefois, la simple observation des lames obtenues avec les fractions

(VIII) et (IX) conduit à penser que les phénomènes superficiels provoqués ne sont pas identiques dans les deux cas. Les lames produites par la fraction (IX) sont en effet plus épaisses et d'aspect plus visqueux. Seule, d'ailleurs, la fraction (IX) provoque le phénomène de viscosité superficielle précédemment décrit. Il serait évidemment fort important de déterminer la nature chimique des molécules responsables de cette viscosité. Cependant la fraction (IX) est si complexe que la question apparaît dès l'abord fort délicate. Par contre, les fractions (VIII) et (X) sont beaucoup plus simples et leur étude détaillée semble dès maintenant possible.

III. ETUDE DU COMPORTEMENT SUPERFICIEL DE LA FRACTION "PHOSPHATIDYLCHOLINES"

A. Etude d'une phosphatidylcholine de synthèse

Quand on se trouve en présence d'une préparation de phospholipides naturels, il est toujours difficile d'en séparer par fractionnements successifs, des portions parfaitement définies au point de vue chimique. Si nous nous reportons aux chiffres du tableau I, nous voyons en effet que, sauf peut-être dans le cas de la fraction (X) du jaune d'œuf, les résultats analytiques s'écartent toujours plus ou moins de leur valeur théorique. Nous ne serons donc sûrs que les phénomènes superficiels étudiés sont bien provoqués par les phospholipides qu'après avoir observé les propriétés d'un échantillon chimiquement pur préparé par synthèse. Nous avons donc préparé la phosphatidylcholine distéarique en condensant d'après GRÜN¹⁴ l'*αα'* distéarine avec l'anhydride phosphorique et le bicarbonate de choline. Après de nombreuses cristallisations dans l'alcool et le benzène, nous avons recueilli un produit qui, chauffé rapidement dans un tube capillaire, commence à suinter à 82° et fond avec décomposition vers 190°. Son analyse donne :

	P (%)	N (%)
Trouvé	3.80	1.65
Calculé pour C ₄₄ H ₈₅ O ₈ PN .	3.90	1.77

Ce produit, dont la pureté est satisfaisante, se comporte de façon tout-à-fait analogue à nos préparations (VIII) et (X). Incorporé à chaud à des glycérides, il les fait mousser et provoque l'apparition de la lame stable.

B. Mise en évidence d'une couche superficielle de phosphatidylcholines à l'interface glycérides-air

Les résultats d'expérience que nous avons mentionnés jusqu'ici s'expliquent fort bien si l'on suppose que les phospholipides forment une couche condensée à l'interface glycérides-air. Si cette hypothèse est exacte, il est évidemment nécessaire que ces substances diminuent la tension superficielle des glycérides. Le tableau II indique les résultats obtenus à cet égard avec le tensiomètre de LECOMTE DE NOUY.

D'après les chiffres du tableau II, la pression de la couche n'excèderait pas 2.5 dynes. Il est alors intéressant de savoir si cette pression suffit à provoquer l'apparition du bourrelet décrit pour la première fois par MÉRIGOUX¹⁵.

TABLEAU II
TENSION SUPERFICIELLE DES SOLUTIONS DE PHOSPHOLIPIDES DANS LES
GLYCÉRIDES

Echantillon	Tension superficielle (dynes)
Glycérides purs	36.6
" " + 0.6 % fract. (VIII) .	33.5
" " + 0.7 % fract. (IX) . .	33.1

Rappelons brièvement en quoi consiste ce dernier phénomène; Considérons tout d'abord (Fig. 1) une cuvette sur le fond *F* incliné de laquelle ruisselle un liquide *L*. Ce dernier s'accumule au fond de la cuvette et présente une surface horizontale *C*. Supposons par ailleurs que l'on ait étalé sur *C* une substance *S* en une couche superficielle condensée. La pression de cette couche tend à faire monter les molécules *S* le long de *F* (Zone *BA* de la fig. 1).

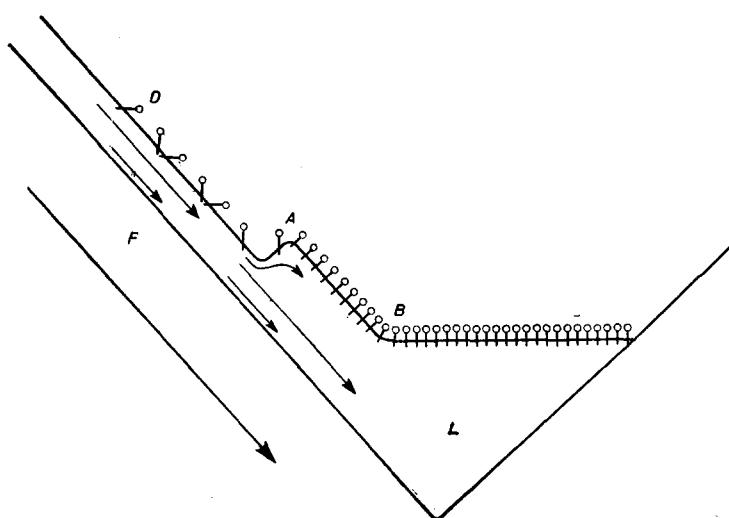


Fig. 1. Ruissellement sur un plan incliné d'un liquide supportant une couche condensée

La nappe liquide ruisselante s'engouffre en *A* sous la couche, frotte contre elle et s'en trouve freinée. Comme le débit de la nappe doit rester le même en tous ses points, son épaisseur s'accroît alors brusquement. Il apparaît donc un bourrelet dont la hauteur est réglée par l'équilibre s'établissant entre l'expansion de la couche, d'une part, et le frottement de la nappe liquide sous la couche, d'autre part. Sa limite supérieure est rendue visible par un effet de réfraction sur les rayons lumineux. Le problème est d'ailleurs analogue quand la couche ruisselante contient elle-même des molécules *S*. Il est en effet évident que la condensation de la couche est plus forte sur la surface horizontale tranquille *C* de la cuvette que sur la zone *D* en cours de ruissellement.

Dans une deuxième expérience, partons d'une cuvette horizontale contenant la nappe liquide à étudier. Soulevons l'un de ses bords pour rassembler le liquide à l'autre extrémité. Nous avons de ce fait découvert une surface fraîche où la couche est peu

condensée. A un moment donné, replaçons la cuvette sur une table horizontale (Fig. 2): la masse liquide tend à recouvrir de nouveau le fond de la cuvette et le front B' du liquide en mouvement, avant-garde de la surface C' , supporte une couche plus condensée que les zones D' situées immédiatement en avant de lui. La couche supportée par C' s'étale donc en avant de B' jusqu'en A' et, dans la zone $B' A'$, apparaît un bourrelet identique au premier. On voit donc deux fronts avancer sur le fond de la cuvette.

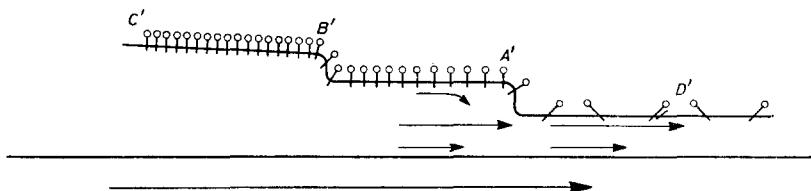


Fig. 2. Envahissement par un liquide supportant une couche condensée, d'un plan horizontal ou légèrement incliné sur lequel ce liquide vient de ruisseler

Nous avons réalisé ces deux séries d'essais avec des glycérides contenant ou non des phosphatidylcholines (fractions VIII et X) et avons photographié les phénomènes par transparence au moment le plus favorable (Fig. 3).

Ces quelques expériences semblent montrer clairement que les phosphatidylcholines forment à l'interface glycérides-air une couche exerçant une pression mesurable, sous laquelle viennent frotter les molécules glycéridiques quand elles sont en mouvement.

C. Répartition des phospholipides entre la surface et la masse liquide

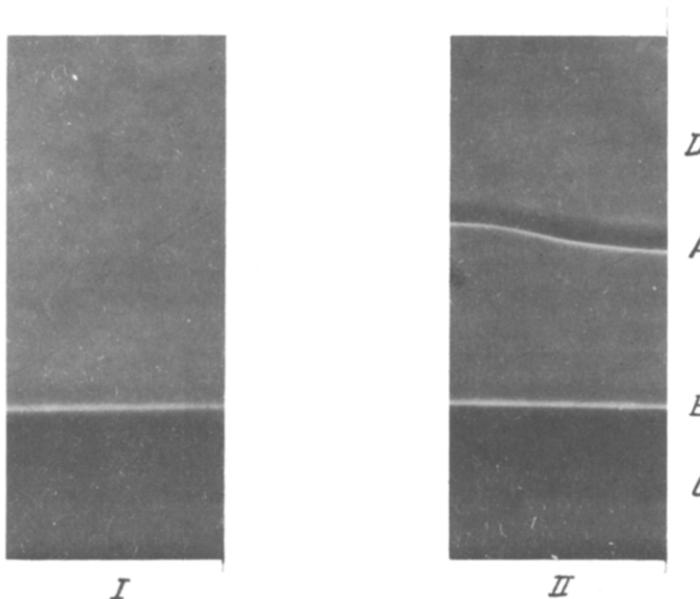
Quand on agite vivement avec une baguette de verre une solution de phospholipides dans les glycérides, on s'aperçoit qu'elle ne forme une lame qu'après plusieurs minutes de repos. Tout se passe donc comme si la répartition des molécules phospholipidiques entre la surface et la masse, rendue d'abord uniforme par l'agitation, tendait lentement vers un état d'équilibre différent.

Les observations suivantes permettent de préciser ce point :

1. Dans les conditions expérimentales déjà décrites en détail par nous, il faut ajouter à 15 g de glycérides, 3.90 mg de phosphatidylcholines pour qu'une lame stable apparaisse. A ce moment, un échantillon du liquide sous-jacent, séparé avec précaution par siphonage, ne donne pas de lame stable. Il n'est cependant pas dépourvu de phosphatidylcholines, car toutes choses égales d'ailleurs, une quantité de ces substances plus faible que précédemment suffit à faire apparaître une lame stable.

2. Si par ailleurs on ajoute plus de 3.90 mg de phospholipides pour 15 g de glycérides, on s'aperçoit que la condensation de la couche croît car la lame devient plus épaisse. Mais le liquide sous-jacent s'enrichit également car, quand la quantité de phospholipides dissoute est suffisamment forte, il donne lui-même une lame stable après siphonage. Il se comporte donc comme une solution sursaturée qui expulse des molécules phospholipidiques vers la surface nouvellement créée.

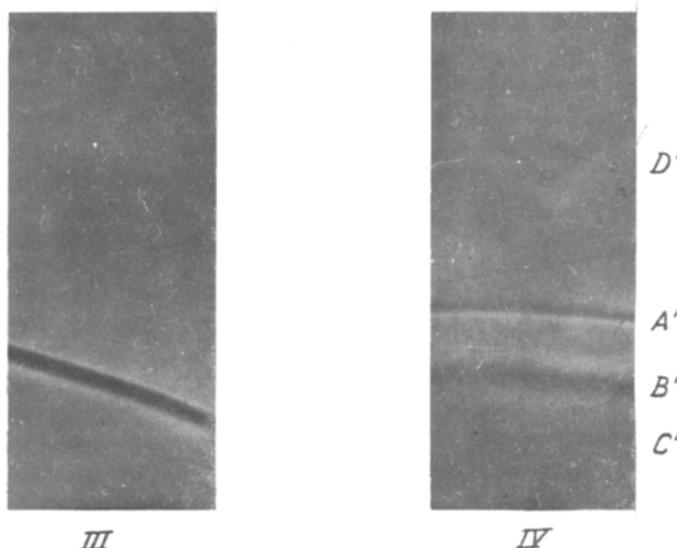
3. Étudions maintenant d'un peu plus près le cas particulier d'apparition de la première lame stable*. Plaçons successivement 3 échantillons de glycérides pesant 15, 30 et 50 g dans un même cristallisoir parfaitement cylindrique. Les surfaces séparant ces 3 échantillons de l'air sont donc géométriquement identiques. On note alors qu'il



Cliché I. Les glycérides ruissent sur une plaque de verre inclinée et viennent s'accumuler à la partie inférieure plus sombre. (Sens du ruissellement sur le cliché: haut en bas).

Cliché II. Une solution de phosphatidylcholines dans les glycérides ruisselle dans les mêmes conditions. Le bourrelet apparaît sur le cliché grâce à une zone horizontale de focalisation intense limitant sa partie supérieure (grandeur naturelle).

Fig. 3



Cliché III. Front de glycérides avançant lentement sur une plaque de verre déjà mouillée par ces glycérides (Sens du mouvement sur le cliché: bas en haut).

Cliché IV. Front d'une solution de phosphatidylcholines dans les glycérides avançant dans les mêmes conditions. Il repousse un bourrelet en avant de lui. (Grandeur naturelle).

faut ajouter respectivement 3.90, 5.10 et 6.50 mg de phosphatidylcholines pour que la lame stable apparaisse. Ecrivons que dans chaque cas, ces substances se sont réparties entre la surface (x mg) et la masse liquide (autant de fois y mg qu'il y a de g de glycérides) :

$$\begin{aligned}x + 15y &= 3.90 \text{ mg} \\x + 30y &= 5.10 \text{ mg} \\x + 50y &= 6.50 \text{ mg}\end{aligned}$$

De ces 3 équations prises 2 à 2, on peut tirer pour x et y des valeurs à peu près concordantes dont la moyenne est :

$$\begin{aligned}x &= 2.78 \text{ mg} \\y &= 0.075 \text{ mg}\end{aligned}$$

Si l'on suppose alors que la couche possède une densité égale à l'unité, le calcul permet de lui attribuer une épaisseur de 0.55μ . Cette épaisseur est évidemment bien supérieure aux dimensions moléculaires. Mais on pouvait penser a priori qu'il n'y a pas de transition brusque entre la zone superficielle et le liquide sous-jacent. A mesure que l'on s'éloigne de la surface, les molécules phospholipidiques deviennent simplement de moins en moins jointives et, probablement aussi, moins orientées.

L'ensemble de ces résultats semble montrer qu'un phospholipide dissous dans un glycéride se répartit inégalement entre la surface et la masse. Dans le cas des solutions très diluées, les phospholipides se trouvent presque entièrement à la surface. Puis, à mesure que leurs proportions croissent, la couche superficielle s'enrichit et se sature. Simultanément, la concentration de ces molécules dans la masse augmente.

Il conviendrait enfin de se demander sous quelle influence les phospholipides se concentrent ainsi à la surface. Il semble que le caractère nettement apolaire des glycérides joue un rôle important à cet égard, car des phénomènes tout-à-fait analogues à ceux que nous avons décrits peuvent être également notés sur des solutions de phospholipides dans d'autres solvants apolaires non-volatils comme les esters méthyliques d'acides gras ou l'huile de paraffine par exemple. On pourrait alors penser que la partie polaire des phospholipides, qu'elle soit constituée simplement par l'acide phosphorique ou par l'association acide phosphorique + base azotée, est repoussée par ces solvants et qu'elle émerge dans l'air. On comprendrait alors que les propriétés de la couche, sa viscosité par exemple, soient fonction de la structure chimique de cette partie polaire.

Il convient enfin de signaler que les acides gras et les monoglycérides (α mono-oléïne), susceptibles comme les phospholipides de s'adsorber à l'interface triglycérides-eau, ne donnent lieu à aucun phénomène superficiel décelable à l'interface triglycérides-air.

Nous remercions très vivement MM. MÉRIGOUX et COTTON de leur aide au cours de la prise des clichés et l'Institut Technique d'Etudes et Recherches des Corps Gras (ITERG) dont l'appui financier a permis l'exécution du présent travail.

* La première lame stable qui nous a servi de test au début de ce travail semble correspondre à un certain état de condensation d'ailleurs parfaitement arbitraire de la couche, lui permettant de résister aux efforts mécaniques auxquels elle est soumise.

RÉSUMÉ

Nous montrons que les phospholipides forment une couche condensée à la surface séparant les glycérides de l'air, comme ils le font aux interfaces glycérides-eau. La formation de cette couche qui est à l'origine de nombreuses propriétés manifestées par les corps gras naturels, semble due à la présence dans les molécules phospholipidiques, d'un groupement fortement polaire (acide phosphorique chez les acides phosphatidiques; acide phosphorique + base azotée chez les phosphoaminolipides). Ces groupements, repoussés par les glycérides apolaires, tendraient alors à émerger dans l'air. Quelques propriétés superficielles des phosphatidylcholines sont par ailleurs décrites en détail.

SUMMARY

We show that the phospholipids form a condensed layer at the glyceride-air interface, just as they do at the glyceride-water interface. The formation of this layer, which underlies numerous properties manifested by natural fatty bodies, seems to be due to the presence in the phospholipid molecules of a strongly polar grouping (phosphoric acid in the acid phosphoric phosphatide acids + nitrogen base in the phosphoaminolipids).

These groupings, repelled by the non-polar glycerides, would tend to emerge into the air. Some surface properties of the phosphatidylcholines are also described in detail.

ZUSAMMENFASSUNG

Wir zeigen, dass die Phospholipoide eine kondensierte Schicht an der Oberfläche, die die Glyzeride von der Luft trennt, bilden, ebenso wie an den Grenzflächen Glyzeride-Wasser. Die Bildung dieser Schicht, die zahlreichen, bei den natürlichen Fettkörpern auftretenden Erscheinungen zugrunde liegt, scheint auf der Anwesenheit einer stark polaren Gruppe in den Phospholipoidmolekülen zu beruhen (Phosphorsäure bei den Phosphatiden; Phosphorsäure + Stickstoffbase bei den Phosphoaminolipoiden).

Diese Gruppen, die von den apolaren Glyzeriden abgestossen werden, sollten dazu neigen, in Luft "aufzutauchen". Einige Oberflächeneigenschaften der Phosphatidylcholine werden ausserdem ausführlich beschrieben.

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ P. DUBOULOUZ (*observations non-publiées*).
- ² H. P. KAUFMANN ET P. KIRSCH, *Fette und Seifen*, 47 (1940) 196.
- ³ P. DESNUELLE, O. MICAELLI ET M. NAUDET, *Corps Gras*, 2 (1946) 240.
- ⁴ C. ENTENMAN, A. TAUROG ET I. L. CHAIKOFF, *Journ. biol. Chem.*, 155 (1944) 13.
- ⁵ ALLPORT, *Colorimetric Analysis*, London 1945.
- ⁶ B. REWALD, *Biochem. Journ.*, 36 (1942) 822.
- ⁷ J. FOLCH, *Journ. Biol. Chem.*, 139 (1941) 973.
- ⁸ J. FOLCH ET K. A. SCHNEIDER, *Journ. biol. Chem.*, 137 (1941) 51.
- ⁹ E. CHARGAFF ET M. ZIFF, *Journ. biol. Chem.*, 140 (1941) 927.
- ¹⁰ E. KLENK ET R. SAKAI, *Ztschr. Physiol. Chem.*, 258 (1939) 33.
- ¹¹ J. FOLCH ET D. W. WOOLLEY, *Journ. biol. Chem.*, 142 (1942) 963.
- ¹² D. W. WOOLLEY, *Journ. biol. Chem.*, 147 (1943) 581.
- ¹³ G. R. TRISTRAM, *Biochem. Journ.*, 36 (1942) 400.
- ¹⁴ A. GRÜN ET R. LIMPÄCHER, *Ber. deutsch. chem. Gesell.*, 60 (1927) 149.
- ¹⁵ R. MÉRIGOUX, *Comptes Rendus*, 202 (1936) 2049; 203 (1936) 848; *Thèse Paris* 1938.

Reçu le 4 Novembre 1947