**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
**Band:** 11 (1929)

**Artikel:** Contribution à l'étude dynamique de l'amalgamation
**Autor:** Guye, C.-E. / Archinard, I.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-740995

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

**Download PDF:** 26.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# CONTRIBUTION

A

# L'ÉTUDE DYNAMIQUE DE L'AMALGAMATION

PAR

**C.-E. GUYE et M^lle I. ARCHINARD**

(Avec 7 fig.)

---

## INTRODUCTION

A l'origine, ce travail avait pour but de rechercher dans quelle mesure l'expérience pourrait vérifier une relation théorique établie antérieurement par l'un de nous [1] en vue de chercher à se rendre compte des limites possibles de l'ascension de la sève dans les végétaux.

En introduisant diverses hypothèses simplificatrices, et en se

[1] C.-E. Guye, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. 7, 1925, Suppl., p. 39. — Cette relation suppose un cas théorique très particulier: celui d'une force constante de succion dont le siège se trouverait pratiquement localisé à chaque instant au front de propagation; c'est en outre une formule limite qui suppose toute l'énergie libérée utilisée au travail d'ascension et qui fait abstraction de tous phénomènes thermiques qui peuvent se produire en dehors de ceux dus aux forces de viscosité. La formule (1) représente donc un cas théorique limite très spécial; de plus elle conduit à l'existence d'une « hauteur limite » atteinte. On ne peut prétendre que de telles conditions seront réalisées dans la propagation de l'amalgamation ascendante, d'autant plus que la durée de nos expériences n'a pas permis de déceler pratiquement l'existence d'une hauteur limite. L'allure générale des courbes expérimentales reste cependant la même.

basant sur des considérations énergétiques, M. Guye avait été conduit à la relation suivante (1) :

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\text{H Log. nat.} \left(\frac{\text{H}}{\text{H} - h_2}\right) - h_2}{\text{H Log. nat.} \left(\frac{\text{H}}{\text{H} - h_1}\right) - h_1} . \qquad (1)$$

Dans cette relation, H serait la hauteur limite à laquelle le liquide tend à s'élever, $h_1$ la hauteur atteinte au temps $t_1$, $h_2$ la hauteur atteinte au temps $t_2$.

La formule (1) développée en série conduit à l'expression:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\frac{h_2^2}{2\text{H}} + \frac{h_2^3}{3\text{H}^2} + \frac{h_2^4}{4\text{H}^3} + \dots + \frac{h_2^n}{n\text{H}^{(n-1)}}}{\text{C}} . \qquad (2)$$

C étant une constante si l'on suppose que la courbe passe par le point ($h_1$, $t_1$).

Dans le cas où l'amalgamation d'un fil métallique plongeant dans du mercure se propage le long de ce fil en commençant par le bas, l'énergie maximum disponible par unité de surface correspond à celle que libère l'amalgamation de 1 cm² de métal; c'est cette énergie qui, jointe à celle qui résulte du jeu des forces capillaires (le mercure comme on sait, mouille l'or ou l'argent amalgamés), détermine l'ascension du liquide et permet à l'amalgamation de progresser.

Il semblait à première vue qu'il serait relativement aisé d'expérimenter dans de bonnes conditions, l'or et l'argent, qui ont été choisis, étant deux métaux qu'il est facile de se procurer dans un état de grande pureté; le premier est pratiquement inoxydable et le second peut facilement être nettoyé à l'acide nitrique. Il est d'autre part facile de se procurer du mercure pur.

En réalité, la préparation des fils a présenté les plus grandes difficultés. Quelles que fussent les précautions prises pour obtenir des fils identiques, il arrivait très souvent que des expériences faites exactement dans les mêmes conditions amenaient des résultats discordants. Bien que les fils fussent en apparence homogènes, il existait néanmoins des irrégularités à

leur surface, dues au travail mécanique antérieur (tréfilage), et vraisemblablement aux différentes modifications cristallines qui en résultaient. Tout cela créait entre les divers échantillons des différences qu'aucun signe extérieur ne révélait.

Pour bien se rendre compte de la délicatesse des expériences qu'on est amené à faire dans un travail de ce genre, il convient de rappeler que les moindres irrégularités ou altérations de la surface métallique peuvent changer totalement les résultats.

Les difficultés que nous avons rencontrées dans ce travail sont du même ordre que celles que présentent les recherches sur les forces électromotrices de contact et sur les phénomènes capillaires. Les résultats des expériences dépendent dans une large mesure de la nature des échantillons employés et de leur mode de préparation.

Dans le présent travail, on a donc décrit avec soin tous les détails de préparation des expériences.

Les résultats obtenus n'ont pas toujours été suffisamment concordants pour permettre d'énoncer des conclusions précises. Néanmoins de l'ensemble des expériences et particulièrement de séries relativement très concordantes se dégagent quelques faits susceptibles d'éclairer la question de la dynamique de l'amalgamation qui semble bien se propager suivant une courbe présentant la même allure générale que celle correspondant à la formule (1).

## I. Ascension du mercure sur des fils d'argent.

### a) *Fils d'argent à l'air.*

Les premières expériences de ce travail ont consisté à observer, en fonction du temps, l'ascension de mercure sur des fils d'argent. Les fils étaient auparavant nettoyés et débarrassés autant que possible de toutes les irrégularités de surface qui auraient pu gêner l'amalgamation.

Les essais préliminaires ont montré que le traitement des fils à la poudre ou au papier d'émeri, le polissage, le brunissage,

avaient pour effet d'enrayer complètement l'ascension du mercure. Il a fallu renoncer aussi à utiliser deux fois les mêmes fils en essayant d'enlever le mercure de la première fois. La seule préparation qui se soit révélée pratique a consisté à plonger les fils dans de l'acide nitrique technique ($d = 1{,}29$) jusqu'à ce qu'ils apparaissent parfaitement unis, et que les incrustations dues à la filière aient disparu; puis on laissait écouler l'acide par le bas de l'appareil qu'on maintenait rempli d'eau distillée. De la sorte, les fils étaient rincés sans être exposés à l'air ni maniés avec les doigts. Malgré cela, quand on les essuyait aussitôt après sur du papier filtre gravimétrique, quelques traces noires sur le papier révélaient que parfois ils n'étaient pas complètement exempts de produits d'oxydation.

Tout de suite après le lavage, les fils au nombre d'au moins trois étaient accrochés par leur extrémité recourbée à un support de cuivre. Leur base plongeait dans une couche d'un centimètre de mercure au fond d'un récipient de verre à faces parallèles. Le mercure avait été purifié, si c'était nécessaire, à l'acide nitrique dilué. La cuve avait été lavée au mélange chromique jusqu'à ce que le liquide ne se retirât pas spontanément sur ses faces, puis rincée à l'eau distillée et égouttée. Le tout était protégé par une cage de verre.

L'ascension du mercure n'a pas débuté d'une manière uniforme tout autour du fil; il s'est toujours formé une pointe d'amalgamation dont la longueur variait de ½ à 3 cm, et plus cette pointe s'allongeait rapidement, plus l'ascension était ensuite retardée par rapport à celle sur les autres fils. Ces pointes, que l'examen à la loupe révélait dentelées, étaient probablement dues à des inégalités de cristallisation. Elles s'atténuaient généralement au bout de quelques heures et la limite argent-mercure devenait circulaire. Mais elles rendaient incertaine la détermination exacte des hauteurs atteintes par le mercure au début de l'ascension.

Il y a eu des inégalités plus graves: différences de niveau de plus de trois centimètres, sur une hauteur totale de quinze centimètres, entre deux fils de la même expérience. L'altération des surfaces jouait probablement un rôle important dans ce phénomène. En effet l'apparence des fils se modifiait assez

vite. Au début de l'ascension, le mercure se détachait en gris luisant sur l'argent d'un blanc mat. Puis l'argent brunissait, et le mercure devenait à son tour mat, clair, et finement cristallisé, comme l'a montré l'examen au microscope.

Bien que chaque série de fils, traitée dans des circonstances extérieures un peu variables, ait suivi sa courbe individuelle, les tableaux suivants montrent que le phénomène, très complexe, a pourtant présenté une allure semblable dans tous les cas. Ces tableaux sont ici réduits à l'essentiel. A la fin du chapitre une expérience sera étudiée avec plus de détails. Dans tous les tableaux qui suivent, les hauteurs d'ascension seront toujours indiquées en cm.

I. Fils d'argent fin, diam. 0,8 mm, ayant séjourné longtemps au laboratoire. Température 16-20 degrés.

| Temps | 1 | 2 | 3 | Moy. | 1′ | 2′ | 3′ | 4′ | Moy. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | — | — | — | — | — |
| 17 h. | 5,4 | 5,4 | 4,9 | 5,93 | — | — | — | — | — |
| 24 h. | — | — | — | — | 6,5 | 6,7 | 6,7 | 7,0 | 6,72 |
| 26 h. | — | — | — | — | 6,8 | 7,0 | 7,2 | 7,0 | 7,0 |
| 41 h. | 8,6 | 8,9 | 7,9 | 8,46 | — | — | — | — | — |
| 47 h. | 8,9 | 9,4 | 8,4 | 8,9 | — | — | — | — | — |
| 65 h. | 10,05 | 10,8 | 9,8 | 10,22 | — | — | — | — | — |
| 67 h. | — | — | — | — | 10,6 | 10,5 | 11,0 | 11,1 | 10,8 |
| 72 h. | — | — | — | — | 10,8 | 10,8 | 11,4 | 11,6 | 11,15 |

II. Fils neufs, diam. 1 mm.

| Temps | 1 | 2 | 3 | 4 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 2,55 | 2,6 | 2,55 | 2,64 | 2,59 |
| 2 h. | 3,63 | 3,74 | 3,7 | 3,63 | 3,68 |
| 3 h. | 4,37 | 4,65 | 4,6 | 4,13 | 4,44 |
| 4 h. | 4,95 | 5,03 | 5,03 | 4,4 | 4,85 |
| 5 h. | 5.43 | 5,7 | 5,8 | 5,0 | 5,48 |
| 24 h. | 10,10 | 10,87 | 10,74 | 9,81 | 10,38 |
| 96 h. | 13,69 | 14,32 | 14,31 | 13,70 | 14,0 |
| 120 h. | 14,11 | 14,92 | 14,9 | 14,31 | 14,58 |

III. Fils neufs, diam. 0,5 mm. (Cette expérience ne figure pas sur le graphique fig. 1.)

| Temps | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Moy. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 1,52 | 1,66 | 1,44 | 1,48 | 1,46 | 1,51 |
| 2 h. | 2,84 | 2,78 | 2,66 | 2,62 | 2,67 | 2,71 |
| 3 h. | 3,05 | 3,29 | 3,40 | 3,32 | 3,77 | 3,37 |
| 4 h. | 4,34 | 3,9 | 4,13 | 3,98 | 4,63 | 4,2 |
| 23 h. | 8,07 | 6,53 | 6,67 | 6,58 | 8,49 | 7,27 |
| 48 h. | 8,45 | 6,61 | 7,12 | 6,9 | 9,25 | 7,67 |
| 72 h. | 8,94 | 6,84 | 7,56 | 7,36 | 10,6 | 8,26 |
| 96 h. | 9,56 | 7,08 | 8,05 | 7,88 | 10,88 | 8,69 |
| 120 h. | 10,36 | 7,45 | 8,72 | 8,11 | 11,83 | 9,29 |

La vitesse d'ascension paraît très nettement influencée par le diamètre du fil; mais c'est peut-être simplement parce que les fils fins sont plus difficiles que les autres à décaper, et que d'autre part, ils ont dû subir davantage les altérations dues à la filière.

b) *Fils d'argent immergés dans du pétrole.*

La divergence des résultats précédents était peut-être due à une oxydation superficielle des fils exposés à l'air.

Il s'agissait de diminuer cette oxydation en remplaçant l'air par un autre milieu. Le vide ou une atmosphère d'azote auraient été excellents, mais ils demandaient une installation compliquée. Finalement, on essaya le pétrole, d'un emploi très simple, n'imposant aucune modification essentielle à la technique des expériences précédentes. Les fils étaient entièrement renfermés dans un cylindre de verre contenant le mercure, et immergés dans du pétrole ordinaire. Au bout de deux ou trois jours, le mercure était couvert d'un dépôt rougeâtre, les fils avaient bruni et ils étaient saupoudrés de flocons qui tombaient au fond du vase quand on l'agitait. Mais malgré ces altérations, les inégalités entre les fils d'une même expérience ont été fortement réduites. D'autre part, l'ascension du début s'est maintenue rapide beaucoup plus longtemps que dans l'air, ce qui pouvait tenir à deux causes: 1° l'oxydation étant retardée,

ne mettait pas d'obstacle à l'ascension du mercure; 2° les actions de surface changeaient forcément par la substitution du pétrole à l'air.

IV. 6 fils de 2 mm, lavés et séchés simultanément. Trois d'entre eux sont immergés dans un cylindre de verre qu'on remplit de pétrole après qu'ils ont pris contact avec le mercure. Les trois autres restent à l'air comme témoins.

| Temps | IV Pétrole | | | | IV' Air | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | Moy. | 1 | 2 | 3 | Moy. |
| 1 h. | 2,95 | 3,35 | 2,9 | 3,08 | 2,61 | 2,12 | 2,63 | 2,45 |
| 2 h. | 3,93 | 4,15 | 3,97 | 4,02 | 3,68 | 3,3 | 3,68 | 3,55 |
| 3 h. | 5,28 | 5,4 | 5,37 | 5,35 | 4,6 | 4,04 | 4,6 | 4,41 |
| 4 h. | 5,45 | 5,55 | 5,52 | 5,51 | 5,09 | 4,36 | 4,92 | 4,79 |
| 24 h. | 11,36 | 11,45 | 11,6 | 11,47 | 8,08 | 8,86 | 9,04 | 8,66 |
| 48 h. | 13,02 | 13,16 | 13,44 | 13,19 | 9,65 | 11,68 | 10,97 | 10,83 |
| 72 h. | 14,69 | 15,0 | 15,39 | 15,03 | 10,5 | 13,23 | 11,96 | 11,90 |
| 96 h. | 15,58 | 16,09 | 16,37 | 16,01 | 11,14 | 14,77 | 12,7 | 12,74 |
| 120 h. | 15,97 | 16,57 | 16,79 | 16,44 | 11,8 | 15,46 | 13,51 | 13,59 |

Les deux vitesses moyennes de cette série commencent par diverger très nettement, mais après une journée elles deviennent sensiblement égales, et maintiennent une différence de hauteur constante jusqu'à la fin de l'expérience. Les résultats dans le pétrole restent de beaucoup les plus concordants.

V. Fils de 2 et 0,5 mm de diamètre dans le pétrole.

| Temps | V Fils de 0,2 mm | | | | V' Fils de 0,5 mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | Moy. | 1 | 2 | 3 | Moy. |
| 1 h. | 3,24 | 2,66 | 2,64 | 2,85 | 0,98 | 1,78 | 1,46 | 1,43 |
| 2 h. | 5,02 | 4,68 | 4,72 | 4,81 | 2,14 | 3,51 | 3,2 | 2,95 |
| 4 h. 10 | 5,41 | 5,14 | 5,03 | 5,19 | 2,82 | 3,84 | 3,72 | 3,47 |
| 5 h. 10 | 5,62 | 5,4 | 5,26 | 5,46 | 3,38 | 4,12 | 4,0 | 3,83 |
| 6 h. | 5,75 | 5,52 | 5,45 | 5,57 | 3,88 | 4,28 | 4,15 | 4,10 |
| 7 h. | 5,82 | 5,65 | 5,6 | 5,69 | 4,33 | 4,45 | 4,43 | 4,36 |
| 24 h. | 11,10 | 12,10 | 11,36 | 11,35 | 10,35 | 9,45 | 8,96 | 9,59 |
| 48 h. | 13,8 | 14,08 | 13,67 | 13,85 | 11,85 | 11,26 | 10,49 | 11,20 |
| 72 h. | 14,83 | 14,67 | 14,45 | 14,65 | 12,31 | 12,0 | 11,27 | 11,89 |
| 120 h. | 15,71 | 15,14 | 14,90 | 15,25 | 12,98 | 12,90 | 12,21 | 12,7 |

De même que dans la série IV, les deux vitesses moyennes de cette série divergent, puis s'égalisent, toutefois sans prendre à des temps déterminés exactement les mêmes valeurs que précédemment (IV et IV').

A noter, dans la deuxième expérience citée, la régularité obtenue même sur des fils de petit diamètre.

* * *

Dans le but d'étudier l'action de la pesanteur, on essaya de faire *descendre* et non monter du mercure le long des fils. Après divers essais, le dispositif suivant [1] a été adopté:

L'extrémité supérieure recourbée d'un fil plonge dans un godet rempli de mercure. Ce mercure siphone et descend lentement le long du fil. On compte la descente à partir du moment où le mercure est arrivé au même niveau que dans le godet.

La méthode ne paraît cependant pas satisfaisante, car il se forme, à des hauteurs variables, des gouttes de mercure qui, après s'être renflées en retardant la descente, se précipitent soudainement quelques centimètres plus bas, ou s'écoulent en longues pointes d'un seul côté du fil.

Voici cependant, à titre de renseignements, les résultats de deux expériences, la première dans l'air, la seconde dans le pétrole.

[1] Lors des premiers essais l'extrémité supérieure d'un fil d'argent ou d'un fil argenté était introduite dans un petit entonnoir de verre, de manière que sa tête fût libre dans le cône et que le fil se trouvât entouré, dans la partie cylindrique, d'un papier filtre bien serré, de papier imbibé de pétrole, ou encore de ciment de dentiste. Le mercure a filtré très rapidement dans les cas où le joint n'était pas étanche. Par contre, quand il a été arrêté, il est resté dans l'entonnoir pendant une année en amalgamant l'argent jusqu'à la zone qui se trouvait à l'abri du ciment, mais pas plus loin. Cette expérience prouve une fois de plus que l'argent ne s'amalgame pas en profondeur.

| Air, 1 fil | | Pétrole, 3 fils | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temps | | Temps | 1 | 2 | 3 | Moy. |
| 15 min. | 1,8 cm | 1 h. | 2,25 | 1,33 | 2,0 | 1,79 |
| 32 min. | 2,22 » | 2 h. | 3,1 | 1,84 | 2,6 | 2,51 |
| 57 min. | 2,6 » | 5 h. | 4,45 | 3,55 | 3,9 | 3,63 |
| 1 h. 30 | 2,92 » | 6 h. 15 | 4,9 | 2,85 | 4,35 | 4,03 |
| 2 h. 13 | 3,3 » | 8 h. | 5,45 | 3,24 | 4,7 | 4,47 |
| 25 h. 30 | 10,71 » | 12 h. | 9,5 | 4,15 | 6,0 | 6,55 |
| (Suit la courbe de l'exp. I, ascension) | | 29 h. | 15,05 | 7,7 | 9,7 | 10,82 |

Pour tâcher de réaliser des surfaces plus homogènes, on a utilisé lors de ces essais non plus des fils d'argent massif, mais des fils de cuivre recouverts d'un dépôt électrolytique d'argent, préalablement essayés pour des expériences d'ascension. Les résultats ne furent ni meilleurs ni moins bons que les autres. Les fils argentés manifestaient eux aussi des irrégularités lors de l'attaque par le mercure. Ils se lavaient fort mal à l'acide nitrique, même s'ils étaient rincés auparavant à l'eau distillée. Leur emploi ne constituait donc pas un progrès dans la méthode d'expérimentation.

* * *

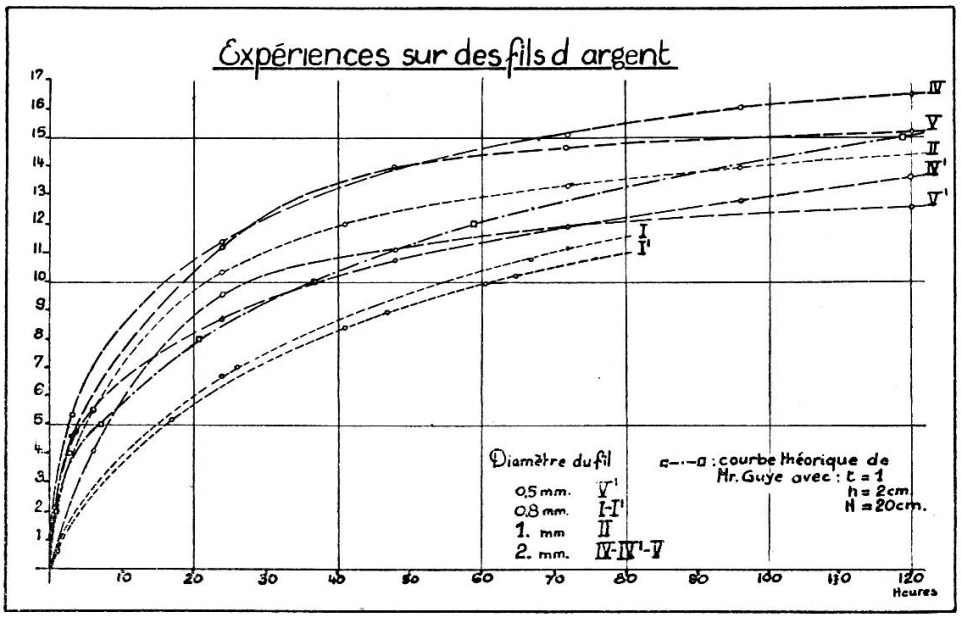


Fig. 1.

Le graphique fig. 1 fournit la représentation des résultats de ce chapitre. Il suggère immédiatement trois remarques.

1. Malgré des divergences très importantes, dues aux circonstances extérieures aussi bien qu'aux différentes qualités de fils, les courbes ont bien la même allure générale, et se croisent d'une manière analogue à celle des courbes prévues par la formule de M. Guye, si l'on fait varier H, $h_1$ et $t_1$. On pourrait chercher pour chaque cas particulier les valeurs donnant la meilleure approximation. Pour ne pas surcharger le graphique on n'a tracé que la courbe:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{20 \text{ Log. nat.} \left(\frac{20}{20 - h_2}\right) - h_2}{20 \text{ Log. nat.} \left(\frac{20}{18}\right) - 2}$$

qui se trouve bien comprise dans le faisceau des courbes expérimentales.

2. Un phénomène autre que la divergence des courbes marque l'importance des circonstances extérieures. Les deux courbes de IV (respectivement de V) divergent d'abord, puis deviennent sensiblement parallèles: le diamètre des fils, comme la nature de la substance entourant ces fils, n'ont d'importance que pour la période du début. Par contre, puisque les vitesses moyennes de IV et de V sont différentes, on en déduit qu'il existe une influence permanente des conditions journalières (température ou autres variables).

La fig. 2 donne, avec toutes les mesures intermédiaires, les courbes (3) et (5), et dans le haut de la figure les températures auxquelles s'est passée l'expérience. (Ces températures étaient relevées par un enregistreur.) On voit que l'ascension du mercure dans l'air suit très faiblement les variations de température. Dans le pétrole, au contraire, l'ascension semble presque arrêtée pendant le jour, et s'effectue pendant la nuit, probablement vers le matin (voir 4$^{me}$ jour). L'interprétation de ce phénomène est délicate, mais on peut observer:

*a*) Que la masse de pétrole qui entoure les fils met peut-être

plusieurs heures à se mettre en équilibre de température avec la salle et qu'il serait alors possible d'admettre que la vitesse d'ascension est réellement fonction de la température, comme des essais ultérieurs l'ont montré dans le cas de l'or.

*b*) Que l'action de la température se manifeste en tout cas par le phénomène suivant (voir sur la courbe): après une

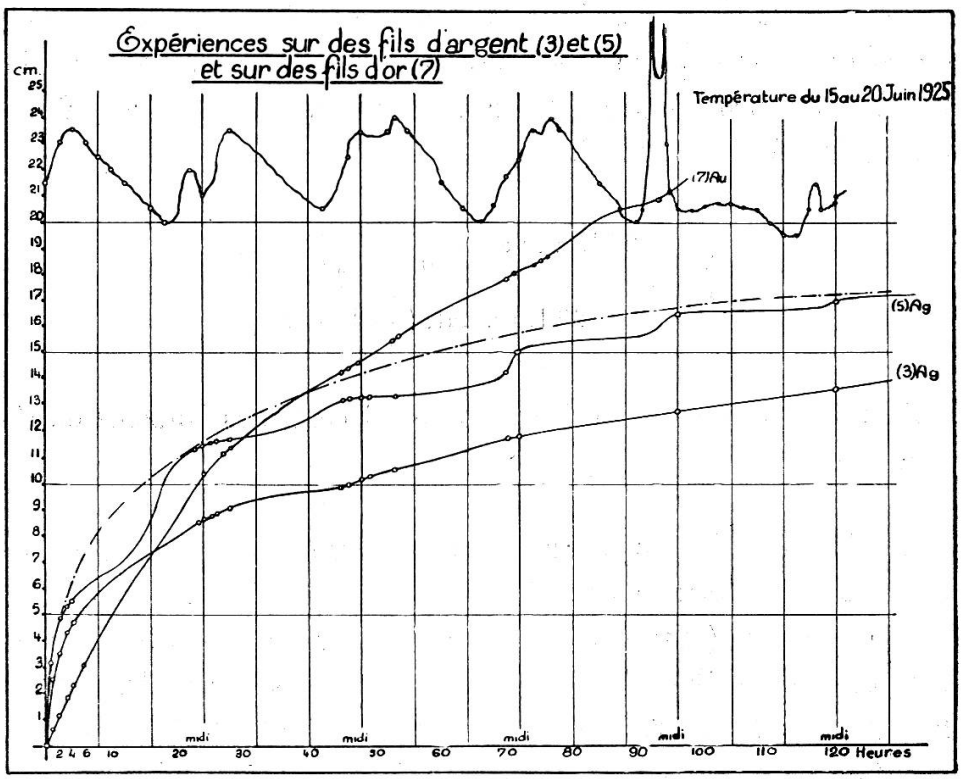


Fig. 2.

Ascension du mercure: (3) Sur des fils d'argent, à l'air. (5) Sur des fils d'argent, dans du pétrole. (7) Sur des fils de cuivre doré, à l'air. La courbe pointillée figure la loi présumée que suivrait la progression de l'amalgamation dans le cas d'une température constante.

deuxième journée peu chaude, le troisième sommet de la courbe expérimentale est au-dessous du niveau normal. Il est intéressant de constater qu'ensuite, après une journée chaude, l'ascension s'est pour ainsi dire rattrapée.

Par anticipation, et à titre de comparaison, on a fait figurer sur ce même graphique une courbe d'ascension sur l'or dans l'air, effectuée dans la même saison, c'est-à-dire quand les maxima et minima de température avaient lieu à peu près aux

mêmes heures. On y constate également une très faible variation journalière, avec accélération aux moments de plus haute température.

* * *

Etant donné la difficulté d'obtenir des surfaces nettes et homogènes, ces résultats méritent d'être conservés. Mais on a jugé utile de reprendre ces mêmes expériences sur des fils dorés, donc moins altérables, afin de voir notamment s'il était possible d'obtenir des courbes se maintenant plus longtemps conformes à la théorie limite.

## II. Ascension du mercure sur des fils de cuivre dorés.

Les expériences décrites dans ce chapitre ont été effectuées sur des fils de cuivre doré.

On avait constaté que seule la nature de la surface importait, et non la matière à l'intérieur du fil, puisque le mercure montait à peu près de la même manière sur des fils argentés, qu'ils fussent de cuivre ou d'argent. Des fils dorés avaient donc bien des chances de réagir vis-à-vis du mercure comme s'ils étaient en or massif.

D'ailleurs, la préparation de fils d'or à surface régulière aurait été très difficile. L'or ne s'attaque pas, comme l'argent, à l'acide nitrique. L'eau régale le corrode très inégalement suivant son état d'écrouissage, et n'aurait peut-être pas même enlevé les incrustations grasses provenant de la filière. Quant au polissage ou au brunissage, les essais sur l'argent en avaient montré l'inefficacité.

Il était par conséquent avantageux de se servir de fils métalliques recouverts d'un dépôt électrolytique ou chimique d'or, aussi régulier que pourraient le préparer des spécialistes.

On a choisi des fils de cuivre doré, après un essai préliminaire sur de l'argent et du cuivre dorés simultanément et dans les mêmes conditions. L'ascension se faisait à peu près à la même

vitesse sur les deux sortes de fils, mais beaucoup plus régulièrement sur ceux de cuivre.

Les fils des expériences 1, 2 et 3 (fig. 3, p. 329), et ceux des expériences 4 et 5, tous de 2 mm de diamètre, ont été prélevés respectivement sur deux torches de cuivre recuit; la deuxième, à la surface beaucoup plus unie que la première, avait été fournie obligeamment par les Tréfileries de Cossonay.

Après avoir été très soigneusement polis au papier d'émeri et décapés suivant les méthodes en usage dans l'industrie, ces fils étaient dorés soit électrolytiquement par la fabrique, soit au laboratoire par simple immersion dans la solution suivante:

| | |
|---|---|
| Or (transformé en cyanure) | 5 gr. |
| Cyanure de potassium | 100 gr. |
| Eau distillée | 3 litres. |

Dans ce dernier cas les résultats étaient moins réguliers; on en a conservé quelques-uns cependant, qui montrent l'influence de l'épaisseur de la dorure. Celle-ci était toujours très mince: de l'ordre de $^1/_{100}$ à $^1/_{1000}$ de mm d'épaisseur.

Pour obtenir une surface de mercure sans impureté, on a utilisé, avec quelques modifications, le procédé indiqué par Bouasse (*Capillarité et Phénomènes superficiels*, 1925, p. 324): faire monter le mercure par le fond d'un entonnoir jusqu'à ce qu'il déborde; l'étalement de la surface produit une raréfaction des impuretés qui amène pratiquement leur suppression. Au lieu d'un entonnoir conique, on a pris le plus souvent un tube de verre en forme de trident, dont chaque extrémité est évasée, ou quelque système équivalent, afin d'avoir simultanément trois fils, chacun isolé au centre d'une surface de mercure.

Les fils étaient fixés dans une pince de Mohr à vis dans laquelle on avait fait trois rainures, ou dans un serre-fils à trois trous parallèles. Avant de les mettre en contact avec le mercure, on les passait, avec le serre-fils, dans la flamme bleue d'un bec Bunsen, sans écailler la dorure, mais de manière que les impuretés organiques et les sels alcalins (cyanure de potassium, par exemple) fussent volatilisés. Ce nettoyage est plus direct et a donné de meilleurs résultats que les lavages.

Dans ce cas comme dans celui des fils d'argent, l'ascension

a débuté par des pointes. Avec la dorure au trempé, on a observé que, si les fils de cuivre décapé n'étaient pas parfaitement secs au moment de leur introduction dans le cyanure double, une dorure plus rapide se produisait à l'extrémité, où pendait obliquement une goutte d'eau; ce qui pourrait être une des causes de la formation de ces pointes.

*Expérience* 1. Six fils sont dorés: trois par immersion d'1 h. $^1/_4$; (1*a*; fig. 3); les trois autres par immersion de 15 heures dans le même bain (1*b*; fig. 3). Tous sont utilisés dans la même expérience.

| Temps | *a* | | | | *b* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | Moy. | 1 | 2 | 3 | Moy. |
| 1 h. | 1,07 | 1,12 | 0,54 | 0,91 | 2,09 | 1,03 | 0,84 | 1,32 |
| 2 h. | 1,66 | 1,57 | 1,06 | 1,43 | 3,65 | 1,79 | 1,53 | 2,23 |
| 20 h. | 8,16 | 8,12 | 7,03 | 7,77 | 16,11 | 14,06 | 12,27 | 14,15 |
| 24 h. | 9,58 | 9,56 | 8,57 | 9,19 | 17,45 | 15,25 | 13,04 | 15,25 |
| 26 h. | 10,30 | 10,29 | 9,25 | 9,95 | 18,53 | 16,13 | 14,68 | 16,38 |
| 44 h. | 16,88 | 15,60 | 14,39 | 15,62 | — | — | — | — |
| 49 h. | 17,45 | 17,45 | 15,86 | 16,92 | — | — | — | — |

La différence entre *a* et *b* semble paradoxale si l'on admet que le mercure est censé n'attaquer que l'extrême surface. Mais peut-être le plus grand développement des cristaux d'or après une immersion plus longue joue-t-il aussi un rôle; la durée de l'immersion semblait avoir une influence sur la structure du dépôt.

*Expérience* 2. Trois fils dorés électrolytiquement. Epaisseur de la dorure, environ $^1/_{80}$ de mm.

| Temps | 1 | 2 | 3 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|
| 1 h. 10 | 0,43 | 0,89 | 0,4 | 0,57 |
| 17 h. 30 | 9,11 | 9,4 | 9,23 | 9,25 |
| 19 h. 30 | 10,28 | 10,27 | 10,13 | 10,23 |
| 22 h. 30 | 11,3 | 11,4 | 11,32 | 11,34 |
| 23 h. 30 | 11,74 | 11,78 | 11,76 | 11,76 |
| 25 h. | 12,4 | 12,45 | 12,37 | 12,41 |

*Expérience* 3. Fils de la même livraison. Cinq mois plus tard.

| Temps | 1 | 2 | 3 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 0,75 | 0,65 | 0,55 | 0,65 |
| 28 h. | 12,5 | 14,3 | 12,85 | 13,22 |
| 29 h. | 12,96 | 14,74 | 13,26 | 13,65 |
| 20 h. | 13,36 | 15,14 | 13,55 | 14,02 |

Non seulement les résultats de l'expérience 2 sont très concordants, mais leur moyenne est très voisine de celle de l'expérience 3. Les fils dorés électrolytiquement donnent de bien meilleurs résultats que les fils dorés par immersion et surtout de meilleurs résultats que les fils d'argent.

*Expérience* 4. Fils dorés par la même fabrique, mais très légèrement (épaisseur inconnue). Essai de lavage à l'ammoniaque, à l'acide nitrique et à l'eau distillée avant le passage à la flamme. Même avant le nettoyage, ils n'ont pas été touchés avec les doigts.

| Temps | 1 | 2'' | Moyenne |
|---|---|---|---|
| 1 h. | 1,1 | 0,84 | 0,97 |
| 2 h. | 1,82 | 1 58 | 1,7 |
| 3 h. | 2,64 | 2,44 | 2,54 |
| 18 h. | 9,4 | 9,72 | 9,56 |
| 19 h. | 9,6 | 9,9 | 9,75 |
| 20 h. | 9,8 | 10,1 | 9,95 |
| 24 h. | 10,7 | 11,0 | 10,85 |
| 48 h. | 14,42 | 14,5 | 14,46 |
| 68 h. | 16,62 | 16,7 | 16,66 |

*Expérience* 5. Trois fils de 55 cm dorés électrolytiquement. Epaisseur d'or: 0,001 mm.

| Temps | 1 | 2 | 3 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 0,7 | 0,6 | 0,65 | 0,65 |
| 3 h. | 1,93 | 1,65 | 1,84 | 1,81 |
| 4 h. | 2,32 | 2,2 | 2,38 | 2,3 |
| 24 h. | 10,74 | 10,24 | 10,17 | 10,38 |
| 47 h. ½ | 15,4 | 14,76 | 14,74 | 14,97 |
| 71 h. | 18,71 | 18,23 | 18,3 | 18,41 |
| 95 h. | 21,15 | 20,94 | 21,06 | 21,05 |
| 143 h. | 25,19 | 24,95 | 25,23 | 25,12 |
| 167 h. | 27,03 | 26,88 | 26,72 | 27,88 |
| 195 h. | 29,23 | 28,83 | 28,23 | 28,76 |
| 215 h. | 30,71 | 30,33 | 29,53 | 30,19 |
| 240 h. | 32,06 | 31,98 | 31,2 | 31,75 |
| 264 h. | 33,24 | 33,52 | 32,93 | 33,23 |
| 315 g. | 35,37 | 36,22 | 36,17 | 35,92 |
| 339 h. | 36,31 | 37,23 | 37,33 | 36,96 |
| 363 h. | 37,29 | 38,11 | 38,36 | 37,92 |
| 382 h. | 37,98 | 38,77 | 39,03 | 38,59 |
| 429 h. | 39,7 | 40,15 | 40,65 | 40,17 |
| 477 h. | 41,67 | 41,23 | 42,21 | 41,7 |
| 549 h. | 43,53 | 45,73 | 43,81 | 44,36 |
| 599 h. | 44,63 | 48,53 | 44,68 | — |
| 719 h. | 47,53 | — | 47,23 | — |

Là encore, les hauteurs atteintes à des temps déterminés sont comparables à celles notées plus haut. Il est remarquable que la concordance entre les fils se soit maintenue sans accident presque jusqu'à la fin de l'expérience.

*Expérience* (6) *de comparaison*, faite dans des conditions aussi semblables que possible, sur des bandes de cuivre, de 60 cm de long, 5 mm de large et 0,5 mm d'épaisseur, dorées en même temps que les fils de l'expérience précédente. Début de l'expérience quatre mois après celui de 5.

| Temps | 1 | 2 | 3 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|
| 1 h. | 0,45 | 0,72 | 0,5 | 0,56 |
| 6 h. | 2,75 | 2,5 | 3,02 | 2,76 |
| 7 h. | 3,15 | 2,85 | 3,55 | 3,18 |
| 24 h. | 9,8 | 9,78 | 9,22 | 9,6 |
| 48 h. | 15,06 | 15,45 | 14,08 | 14,53 |
| 120 h. | 24,72 | 25,27 | 23,63 | 24,54 |
| 150 h. | 27,72 | 28,52 | 26,62 | 27,62 |
| 168 h. | 29,48 | 30,42 | 28,28 | 29,38 |
| 192 h. | 31,64 | 32,58 | 30,3 | 31,51 |
| 215 h. | 33,57 | 34,31 | 32,07 | 33,35 |
| 240 h. | 35,7 | 36,25 | 33,92 | 35,29 |
| 312 h. | 40,06 | 39,65 | 38,54 | 39,42 |
| 336 h. | 42,52 | 41,7 | 39,7 | 41,31 |
| 360 h. | 43,73 | 42,75 | 40,9 | 42,76 |
| 384 h. | 45,18 | 43,83 | 42,1 | 43,7 |
| 456 h. | 48,5 | 46,45 | 45,2 | 46,72 |
| 480 h. | 49,86 | 47,31 | 46,3 | 47,82 |
| 504 h. | 51,18 | 48,31 | 47,32 | 48,90 |
| 528 h. | 52,5 | 49,47 | 48,5 | 50,16 |
| 554 h. | 53,93 | 50,6 | 49,9 | 51,48 |

En faisant abstraction du début, on voit que l'ascension est plus rapide sur des bandes que sur des fils; mais les différences ne sont pas assez grandes pour qu'il faille conclure à une influence du diamètre. Elles peuvent parfaitement provenir du fait que le métal n'a pas subi le même travail mécanique avant la dorure.

* * *

La représentation des expériences de ce chapitre (fig. 3, relative à l'or) montre une allure générale assez différente de celle du graphique fig. 1 relatif à l'argent: l'ascension débute en général plus lentement mais se maintient rapide plus longtemps.

On remarque comme précédemment des divergences, mais beaucoup moins considérables, entre les expériences.

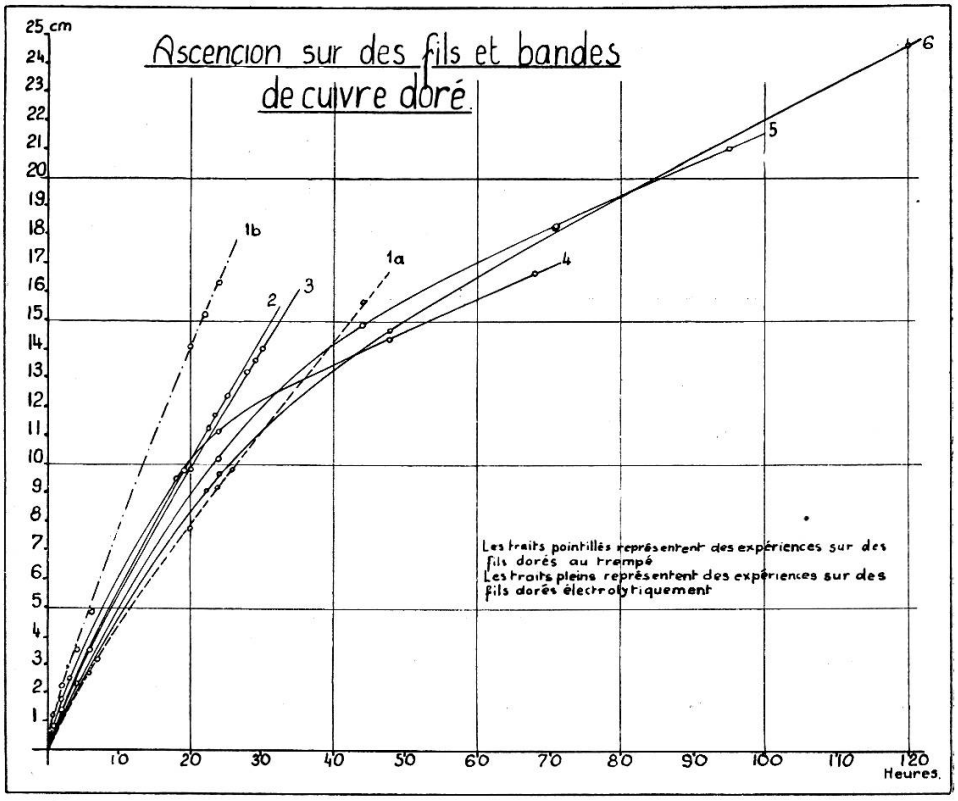
Ascencion sur des fils et bandes de cuivre doré
25 cm
1b
1a
2
3
4
5
6
Les traits pointillés représentent des expériences sur des fils dorés au trempé
Les traits pleins représentent des expériences sur des fils dorés électrolytiquement
Heures.

Fig. 3.

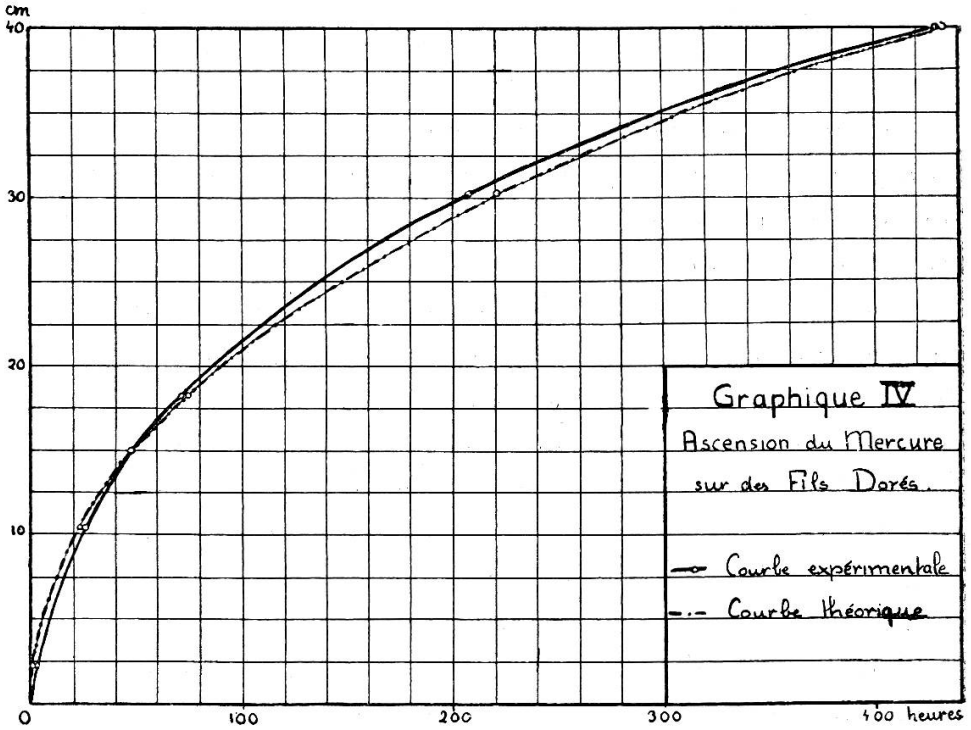
cm
Graphique IV
Ascension du Mercure sur des Fils Dorés.
Courbe expérimentale
Courbe théorique
heures

Fig. 4.

L'expérience 5, choisie à cause de sa très longue durée, coïncide assez bien, après une journée, avec la courbe construite sur le point ($t_1$ = 48 heures; $h_1$ = 14,97 cm) en choisissant la hauteur limite 100 cm (voir fig. 4) qui satisfait le mieux à l'ensemble de la courbe, particulièrement aux points les plus élevés. Voici les chiffres pour quelques valeurs de $h$:

| | cm | 2,3 | 10,38 | 14,97 | 18,41 | 30,19 | 40,17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Courbe expérimentale: | $t$ = | 4 h. | 24 h. | 48 h. | 71 h. | 215 h. | 429 h. |
| Courbe théorique: | $t$ = | 1,48 h. | 22,31 | 48 h. | 74,6 h. | 221,4 | 431 h. |

Il est intéressant de noter que le ralentissement relatif de l'ascension, qui se manifestait sur l'argent dès les premières journées, n'apparaît que beaucoup plus tard sur l'or, qui est moins altérable.

## III. Influence de la température sur l'ascension du mercure a la surface de tiges en laiton doré.

On a remarqué, sur les courbes précédentes, particulièrement avec l'argent dans le pétrole, les variations entre l'ascension du mercure de nuit et de jour. Comme ce phénomène pouvait provenir d'un changement de l'intensité de la lumière, ou, ce qui est plus probable, de la température, il a semblé utile de reprendre quelques expériences sur une nouvelle base, en plaçant les fils à l'obscurité dans un thermostat, et en les observant pendant quelques heures seulement, afin de ne pas être gêné par l'oxydation de l'amalgame et les autres altérations possibles des surfaces. On n'a pas fait d'expériences sur l'argent, qui est trop oxydable à haute température.

Le thermostat était une haute boîte métallique recouverte de feutre, munie dans le fond d'une résistance de chauffage. La porte du thermostat, également recouverte de feutre, était tenue fermée sauf au moment des mesures.

Les expériences ont eu lieu à 20, 30, 40 et 50 degrés. Au-dessus de ces températures, l'évaporation et surtout l'oxydation du mercure étaient trop considérables. Le réglage au moyen d'une résistance à lampes maintenait la température dans un intervalle de quelques dixièmes de degré. Sur une hauteur de 25 cm, l'écart de température ne dépassait pas 0,2 degré.

Quand la température voulue était atteinte, le niveau du mercure dans l'entonnoir était élevé jusqu'à recouvrir la base des fils sur une hauteur d'un cm et demi. On le faisait déborder pour que la surface fût propre, en recueillant le trop-plein dans une capsule (voir p. 324).

Les fils de cuivre livrés en torches avaient le défaut d'être passablement tordus, et de devoir être redressés, ce qui pouvait modifier leur structure, et rendre les résultats irréguliers. Comme il était difficile de se procurer des tiges de cuivre suffisamment longues et minces, on a vérifié, par des essais comparatifs, que des tiges de laiton pouvaient rendre les mêmes services. Ce sont donc des tiges de laiton portant une couche de dorure d'environ 1/1000me de mm d'épaisseur qu'on a utilisées pour les expériences suivantes.

*1re série.*

| Temps | 20° | 30° | 40° |
|---|---|---|---|
| 1 h. | 0,84 | 1,28 | 2,18 |
| 2 h. | 1,69 | 2,33 | 3,39 |
| 3 h. | 2,2 | 2,92 | 4,25 |
| 4 h. | — | 3,59 | 4,87 |
| 5 h. | 3,51 | 4,21 | — |
| 6 h. | 3,77 | 4,78 | 5,95 |
| 7 h. | 4,31 | 5,31 | — |
| 8 h. | 4,67 | — | — |
| 9 h. | 5,06 | — | — |

Chaque colonne est la moyenne de trois ou quatre expériences, portant chacune sur trois fils.

L'accroissement de la vitesse d'ascension avec la température est évident.

*2me série.* — Des expériences ultérieures sur des tiges de la même série ayant conduit à douter de l'homogénéité de leur dorure, on a procédé à une seconde série d'expériences, sur des tiges dont on avait préalablement contrôlé la régularité. Pour la dorure, ces tiges avaient été placées normalement à la ligne reliant les deux anodes; celles-ci étaient animées d'un mouvement de va-et-vient d'un bout à l'autre de la cuve d'électrolyse, et avant d'utiliser les tiges on en coupait environ deux cm à chaque extrémité. Il n'y avait donc plus de raison pour que

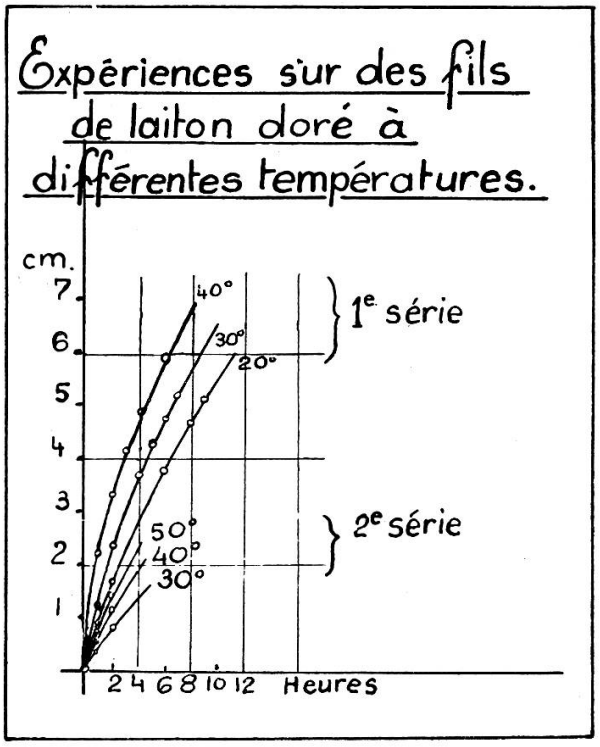


Fig. 5.

la dorure fût plus épaisse à un endroit qu'à un autre, ce qui en effet s'est vérifié par plus de régularité dans les ascensions.

On avait pensé que les modifications constatées sur les tiges précédentes après un séjour de deux mois dans un tiroir à 18 degrés se produiraient plus rapidement à une température plus élevée. Mais un passage de huit heures à l'étuve à 95 degrés n'a pas modifié la réaction des fils vis-à-vis du mercure.

Il était donc possible de prendre les mêmes fils pour des expériences successives à plusieurs températures, en coupant

chaque fois la partie amalgamée, et en passant le reste rapidement dans la flamme. Cela évitait des irrégularités dans le montage, et de plus on observait les mêmes fils, bons ou mauvais, aux différentes températures.

L'ascension a été beaucoup plus lente que sur les tiges observées précédemment, mais c'est un fait sans grande importance, dû probablement à la différence de dorure (épaisseur, continuité, structure cristalline).

Afin de pouvoir faire plusieurs expériences d'une journée, on a limité leur durée à deux heures, ce qui augmentait les chances d'égalité des conditions. Il faut remarquer toutefois que cela ne permettait d'observer que la période du début, qui est celle de l'ascension par pointes irrégulières. Heureusement, dans ce cas particulier ces pointes furent beaucoup moins considérables que d'habitude.

Les résultats ont été assez constants: les tronçons successifs d'une même tige, mis en expérience simultanément, n'ont présenté entre eux que des écarts de deux à trois mm après deux heures. Et s'il y a eu des variations d'une série à une autre, chaque fois que les mêmes fils ont été soumis successivement à des températures différentes, l'augmentation de température a eu pour effet une accélération de l'ascension du mercure.

Le tableau suivant donne les chiffres d'une série ainsi que leurs moyennes M et les moyennes générales MG de toutes les séries aux mêmes températures.

| | 30° | | | | | 40° | | | | | 50° | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | M. | M.G. | 1 | 2 | 3 | M. | M.G. | 1 | 2 | 3 | M. | M.G. |
| ½ h. | 0,17 | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,31 | 0,20 | 0,40 | 0,20 | 0,27 | 0,3 |
| 1 h. | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,44 | 0,38 | 0,42 | 0,42 | 0,37 | 0,56 | 0,52 | 0,70 | 0,52 | 0,58 | 0,7 |
| 1 h. ½ | 0,40 | 0,50 | 0,32 | 0,41 | 0,65 | 0,60 | 0,67 | 0,55 | 0,61 | 0,83 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 0,87 | 1,0 |
| 2 h. | 0,60 | 0,75 | 0,55 | 0,63 | 0,87 | 0,85 | 1.1 | 0,8 | 0,92 | 1,1 | 1.1 | 1,4 | 1,2 | 1,23 | 1,4 |

Deux points sont à relever sur ces expériences (voir fig. 5):

1. Grâce à la constance de la température, la courbe d'ascension débute sensiblement par une ligne droite.

2. L'influence de la température est absolument nette, et

suffit pour permettre d'attribuer les variations journalières des courbes d'ascension du mercure sur l'or à des différences de deux ou trois degrés.

Ce résultat peut être appliqué à l'argent après examen du graphique fig. 2. Malheureusement, ainsi qu'il a été dit plus haut, on n'a pu procéder à des essais à température élevée sur l'argent, à cause de sa plus grande altérabilité.

## IV. Etalement horizontal de gouttes de mercure sur des plaques de cuivre doré.

L'étalement d'une goutte de mercure sur une plaque dorée est un phénomène présentant quelque analogie avec celui de l'ascension du mercure sur des fils. Bien entendu, les différences entre les deux cas interdisent des conclusions précises. Mais on a pensé qu'il valait tout de même la peine d'entreprendre quelques expériences dans cette direction.

Les plaques de cuivre circulaires, de 12 cm de diamètre et 0,5 mm d'épaisseur, portaient une couche d'or d'environ 0,0001 mm. Elles avaient été découpées dans une feuille dont on voyait encore les stries de laminage, et à peu près aplanies, mais par réflexion elles déformaient les images. On nettoyait ces plaques avec un chiffon de velours imbibé d'éther, et on les posait sur un trépied à vis calantes. L'horizontalité était vérifiée pour chaque expérience avec un niveau à bulle.

La goutte, formée en versant brusquement le mercure dans une capsule, était pesée puis déposée sur la plaque dorée au moyen d'une pince en fer. Capusle et pince avaient été passées à la flamme avant leur emploi. Le mercure s'étalait tranquillement avec une apparence semblable à celle qu'il a en montant sur les fils. Il se formait aussi des pointes puis le contour se régularisait à la longue. La tache avait une structure rayonnée avec des zones de grains divers sur les bords.

A 1 mm au-dessus de la plaque était fixée une règle métrique pour mesurer le diamètre, ou un verre ou un papier cellophane pour relever les contours successifs des taches. Les surfaces étaient mesurées au moyen d'un transparent quadrillé au mm.

A. *Expériences à la température ordinaire (19-20 degrés).*

Pour ces expériences, le tableau indique tantôt le demi-diamètre mesuré directement, tantôt (précédé du signe *) le rayon moyen calculé à partir de la surface, exprimés toujours en cm.

On avait également noté la position du point milieu de la goutte, pour voir si le développement se faisait d'une manière bien concentrique, mais on ne l'a pas relevée ici, car le point ne se déplaçait pas d'un mm dans les plus longues expériences.

On ne pouvait pas calculer à l'avance quelle serait la limite de grosseur de la goutte à partir de laquelle la pesanteur agit en accélérant l'étalement. En effet, dès le contact avec l'or, la constante capillaire du mercure est modifiée, et d'autre part la grandeur de la force chimique est inconnue. En réduisant les gouttes de plus en plus, on a constaté, dans ces expériences, à peu près la même vitesse d'étalement pour des poids de 45 et 28 mgr. On peut donc en première approximation admettre une limite d'indépendance de la pesanteur voisine de 50 mgr pour cette température. (Voir le graphique fig. 6).

En réalité, l'influence de la pesanteur est peut-être moins importante que ne le donnerait à croire l'examen de ces chiffres.

| Temps | 1<br>1,364 gr | 2<br>0,109 gr | 3<br>0,045 gr | 4<br>0,028 gr |
|---|---|---|---|---|
| 5 min. | 0,75 | 0,3 | 0,14 | * 0,112 |
| 15 » | 1,1 | 0,4 | 0,19 | 0,18 |
| 20 » | 1,4 | 0,45 | * 0,18 | — |
| 30 » | 1,85 | — | 0,29 | 0,275 |
| 40 » | 2,4 | — | * 0,34 | — |
| 50 » | 2,9 | — | — | — |
| 57 » | — | * 0,88 | — | — |
| 60 » | 3,3 | 0,50 | — | — |
| 65 » | — | 1,2 | — | 0,40 |
| 90 » | 4,4 | — | 0,78 | — |
| 120 » | 4,8 | — | 1,0 *0,95 | 0,98 |
| 135 » | 5,0 | * 1,68 | — | — |
| 150 » | 5,15 | — | — | — |
| 155 » | — | 2,15 *1,9 | — | — |
| 177 » | — | * 2,1 | — | — |
| 210 » | — | — | — | 1,87 |
| 215 » | — | — | — | * 1,42 |
| Fin | — | 5,5 *5,67 | 3,36 *3,07 | * 2,67 |

En effet, l'étalement des grosses gouttes semble, surtout au début, un effondrement par à-coups successifs, entraîné par des tensions irrégulières et non un développement graduel.

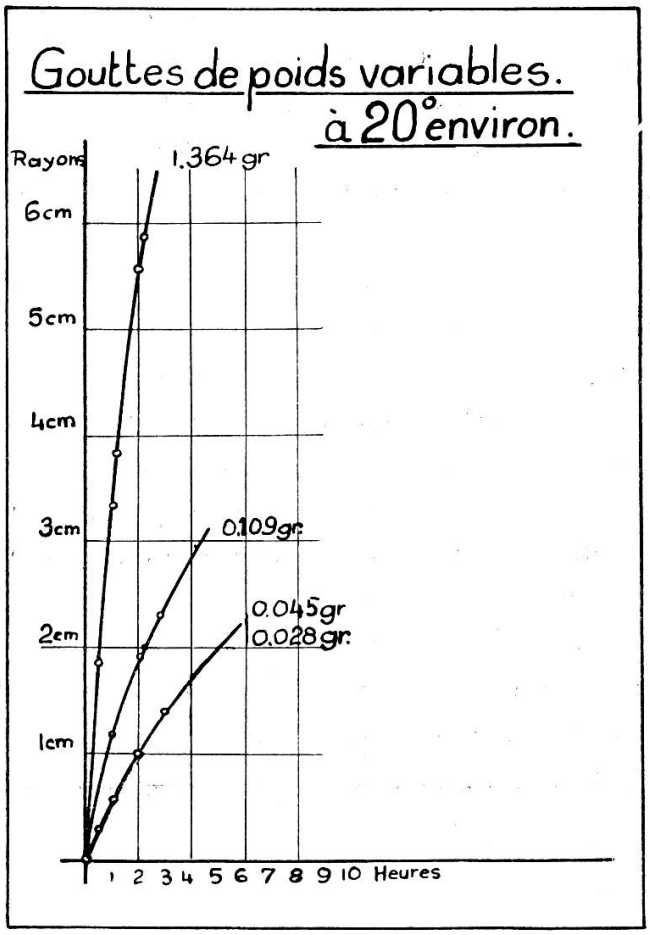


Fig. 6.

B. *Expériences à des températures élevées.*

Des essais préliminaires ont permis de constater que l'étalement du mercure se produit plus rapidement à une température élevée qu'à la température ordinaire. D'ailleurs le phénomène se passe un peu autrement. Le mercure pousse immédiatement des pointes échevelées, tandis qu'au centre se forme une boule de cristaux et qu'il se produit une énorme augmentation de volume. Puis au bout de quelques minutes la tache devient parfaitement circulaire, gris pâle, et s'étend très régulièrement. Ce n'est que dans la dernière expérience, faite avec des gouttes

de très petit volume, qu'on a observé un allongement, très net cette fois, dans le sens du laminage de la plaque.

Les expériences suivantes ont été effectuées dans une boîte en tôle à couvercle de verre, munie d'une résistance électrique pour le chauffage. La plaque dorée repose sur un anneau de carton, à un ½ cm au-dessous du verre sur lequel les contours des gouttes seront tracés. Le réservoir du thermomètre touche la face inférieure de la plaque.

Le réglage de la température n'était pas très précis. Mais les variations de l'étalement suivent d'assez près celles de la température pour qu'on puisse tirer des conclusions quand même. D'ailleurs il s'agissait là moins de mesures quantitatives que de l'étude qualitative d'une influence.

Les gouttes de mercure de ces séries étaient beaucoup plus petites que celles des séries précédentes. On n'a plus mesuré leur diamètre, on a simplement relevé leur surface. Les chiffres suivants sont donc ceux des rayons moyens, en cm.

Le poids indiqué n'est pas en réalité celui du mercure qui s'est amalgamé: une partie a distillé, et on en a recueilli parfois, sur la vitre qui recouvrait la plaque, une quantité presque égale à la moitié de ce qui avait été mis en expérience.

*I^re^ série.*

| | I (51°,5-51°,2) 21 mgr | II (49°-54°) 14 mgr | III (52°) 22 mgr |
|---|---|---|---|
| 1 min. | — | 0,149 | — |
| 2 » | 0,11 | — | — |
| 4 » | 0,15 | — | — |
| 10 » | — | 0,23 | 0,22 |
| 15 » | 0,34 | — | — |
| 20 » | — | 0,37 | 0,38 |
| 30 » | 0,58 | 0,50 | — |
| 40 » | — | 0,64 | 0,67 |
| 60 » | — | — | 0,98 |
| 65 » | — | 0,98 | — |
| 90 » | — | 1,24 | — |
| 100 » | — | 1,41 | 1,71 |
| 125 » | — | — | 2,1 |
| 140 » | — | 1,71 | — |
| Fin | 2,63 | 2,14 | 2,73 |

On constate ici que la vitesse d'étalement semble influencée par le poids des gouttes, bien que le poids de celles-ci soit bien inférieur à 50 mgr. Ce n'est pas étonnant, car la pesanteur n'est plus négligeable si par suite de l'élévation de température la tension capillaire et la viscosité diminuent ensemble et dans une forte proportion.

*II*me *série.* — Cinq gouttes mises simultanément sur la même plaque. Temp. 75-85 degrés. Après l'opération on recueille sous la vitre 41 mgr de mercure condensé (sur un poids total de 85 mgr). Poids moyen 17 mgr. (Voir graphique fig. 7, *a.*)

| | I (21 mgr) | II (15 mgr) | III (22,5mgr) | IV (17,5mgr) | V (6 mgr) | Moy. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 min. | 0,18 | 0,28 | 0,18 | 0,30 | 0,17 | 0,22 |
| 4 » | 0,36 | 0,7 | 0,41 | 0,56 | 0,30 | 0,47 |
| 6 » | 0,77 | 1,35 | 0,76 | 0,92 | 0,58 | 0,87 |
| 8 » | 1,20 | 1,64 | 1,42 | 1,19 | 0 94 | 1,29 |
| 11 » | — | 1 7 | 1 57 | 1,52 | 1,26 | 1,51 |
| 15 » | — | 1,89 | — | 1,77 | 1,4 | — |
| 20 » | 1,36 | 2,05 | 1,62 | 1,95 | — | — |
| 25 » | — | 2,12 | — | 2,01 | — | — |
| Fin | *Id.* | | | | | |

*III*me *série.* — Cinq gouttes, 55-57 degrés. Poids moyen 16,4 mgr. (Fig. 7, *b.*)

| | I (8,5 mgr) | II (26,5mgr) | III (15 mgr) | IV (25 mgr) | V (10 mgr) | Moy. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 m. (52°) | 0,16 | 0,11 | 0,17 | 0,16 | 0,06 | 0,13 |
| 6 m. (55°) | 0,27 | 0,18 | 0,32 | 0,33 | 0,16 | 0,25 |
| 10 m. (57°) | 0,45 | 0,28 | 0,5 | 0,52 | 0,28 | 0,41 |
| 15 m. (57°) | 0,73 | 0,42 | 0,89 | 0,75 | 0,42 | 0,64 |
| 21 m. (56°,9) | 0,95 | 0,58 | 1,14 | 0,94 | 0,56 | 0,83 |
| 30 m. (56°,2) | 1,26 | 0,76 | 1,42 | 1,16 | 0,78 | 1,06 |
| 35 m. (56°) | 1,41 | 0,95 | 1,77 | 1,35 | 1,28 | 1,28 |
| fin (à froid) | 2,36 | 1,89 | 2,81 | 2,28 | 1,63 | 2.20 |

*IV*me *série.* 60-65 degrés. Poids moyen 8,4 mgr. (Fig. 7, *c.*)

| | I (19,2 mgr) | II (5,7 mgr) | III (6,5 mgr) | IV (6,1 mgr) | V (8,5 mgr) | VI (5,7 mgr) | VII (7,0 mgr) | Moy. 8,4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 m. (63°,5) | 0,18 | 0,17 | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,11 | 0,14 | 0,13 |
| 10 m. (63°) | 0,48 | 0,54 | 0,16 | 0,28 | 0,52 | 0,26 | 0,36 | 0,37 |
| 20 m. (66°) | 0,78 | 0,79 | 0,42 | 0,42 | 0,7 | 0,39 | 0,65 | 0,60 |
| 30 m. (66°) | 1,19 | 1,16 | 0,75 | 0,83 | 1,15 | 0,67 | 1,12 | 0,98 |
| 40 m. (63°) | 1,42 | 1,28 | 0,93 | 0,98 | 1,3 | 0,88 | 1,27 | 1,15 |
| 60 m. (65°) | 1,95 | — | 1,52 | 1,41 | 1,6 | 1,4 | 1,55 | 1,45 |
| Fin (à froid) | 2,12 | — | 1,55 | — | 1,7 | 1,43 | — | — |

*V*me *série.* — 61-63 degrés. Poids moyen 10,0 mgr.

| | I (14,6 mgr) | II (12,4 mgr) | III (7,5 mgr) | IV (7,8 mgr) | V (12,7 mgr) | VI (8,5 mgr) | VII (6,5 mgr) | Moy. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 m. (62°,5) | 0,22 | 0,39 | 0,56 | 0,18 | 0,14 | 0,13 | 0,27 | 0,27 |
| 15 m. (62°) | 0,6 | 0,95 | 0,09 | 0,63 | 0,39 | 0,46 | 0,97 | 0,72 |
| 20 m. (61°,7) | 0,85 | 1,25 | 1,32 | 1,02 | 0,52 | 0,66 | 1,13 | 0,97 |
| 25 m. | 1,1 | 1,48 | 1,47 | 1,28 | 0,71 | 0,97 | 1,3 | 1,19 |
| Fin (à froid) | 2,08 | 1,92 | 1,53 | 1,57 | 1,87 | 1,51 | 1,41 | — |

Mercure recueilli sous la vitre: 15 mgr.

Le graphique fig. 7 montre que la vitesse d'étalement horizontal du mercure dépend de la température et dans une très faible mesure du poids des gouttes.

C. *Examen microscopique du contact du mercure et de l'or.*

L'examen microscopique d'une goutte de mercure s'étalant sur une plaque dorée verticale ou horizontale a révélé certains faits qui sont de nature à éclairer les chapitres précédents.

Le microscope était éclairé par réflexion; on n'a donc pu se servir que de faibles grossissements: 50 à 150 diamètres, mais cela suffisait pour observer les phénomènes à l'échelle des cristaux d'amalgame.

Les plaques étaient celles qui avaient déjà servi aux expériences du chapitre précédent.

Le mercure avançait en glissant le long des raies de laminage qui subsistaient bien que les plaques fussent polies, contournait d'abord les taches dont la surface d'or était semée et qui étaient vraisemblablement des noyaux de cristallisation, puis ces taches étaient amalgamées à leur tour.

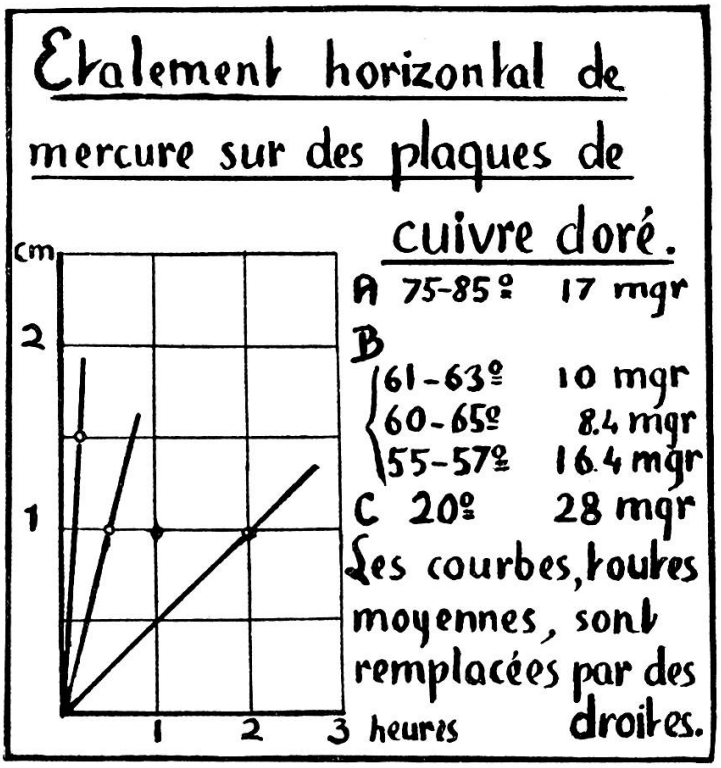


Fig. 7.

La surface du liquide, gris foncé et brillante, gardait jusque dans le détail la trace de toutes les irrégularités de l'or: taches, rides. Il est possible que cet aspect ait été dû, non à la présence d'impuretés (la plaque avait été nettoyée soigneusement) mais au fait que l'or n'était pas parfaitement poli. On sait en effet que la surface du mercure prend dès qu'elle est exposée à l'air les propriétés d'une membrane solide, parfaitement souple mais non élastique, ce qui est apparu d'une manière très frappante dans les observations de ce chapitre; cette surface se moulait sur celle de l'or à la façon d'un masque.

Ceci montre l'importance que doit avoir la structure du métal sous-jacent à l'or, indépendamment de sa nature chimique, simplement par les irrégularités, impossibles à polir, où le

mercure trouve à se glisser. Cela fait comprendre également la grande importance que peuvent avoir les altérations du métal superficiel lui-même.

Une goutte de mercure de quelques mgr, posée sur une plaque dorée, s'aplatit légèrement; puis son point d'attache s'élargit jusqu'à ce qu'elle forme peu à peu un dôme hémisphérique dont les bords s'étendent à plat. On voit très bien que l'étalement du mercure se fait par l'extension du premier point de contact, tandis que le dessus de la goutte vient progressivement s'abaisser sur la plaque. A haute température, la goutte ne présente pas cet aspect, mais s'étale en s'aplatissant.

Peu à peu, la goutte s'étendant, on voit pointer à travers le mercure de petites têtes rondes et mouillées, qui bientôt font disparaître les taches et raies de la surface: ce sont des cristaux en formation. Il est évident qu'il devient alors impossible d'évaluer l'épaisseur du liquide ou le travail effectué contre la viscosité. Le mercure s'écoule entre ces cristaux dont les contours deviennent parfaitement nets, et l'extension prend fin; ce qui ne veut pas dire que l'équilibre définitif soit déjà établi.

Si la goutte est appliquée contre une surface dorée verticale (il faut la maintenir une ou deux secondes contre la plaque pour qu'elle ait le temps de se fixer), le mercure intérieur se porte vers le bas de la tache, et gonfle comme un sac la surface, qui ne subit ni extension ni translation. Le développement commence par se faire uniformément autour du premier point de contact, et, si l'on évite les chocs, la vitesse de montée est à peu de chose près égale à celle de descente. Cependant, si la goutte n'est pas très petite (moins de 10 mgr) le mercure vient à manquer plus tôt dans le haut que dans le bas de la tache, le développement s'y arrête d'abord en haut, et la surface finale n'est plus centrée sur le premier point de contact. Ici, la pesanteur exerce son influence principalement en déplaçant les réserves de mercure.

Le mercure n'adhère pas instantanément à l'or, à la manière de l'eau adhérant au verre; mais un fil doré déjà amalgamé aspire avec avidité une goutte de mercure, même couvert de poussière; d'autre part, une goutte de mercure amenée au contact d'une

surface dorée ne s'y étend pas en y appliquant directement sa surface, mais, ainsi qu'on l'a vu, en se vidant pour ainsi-dire de son contenu et en plissant parfois sa surface comme un ballon qui se dégonfle. Il y a donc lieu de supposer qu'EN RÉALITÉ, LE MERCURE NE MOUILLE PAS L'OR par capillarité, mais que c'est la seule affinité chimique qui l'entraîne à s'y étendre. On sait par contre que le mercure mouille énergiquement l'amalgame, au point de ne pas en être toujours séparable par distillation.

Un point qu'il convient de mentionner encore est celui de l'influence de la lumière. On n'a remarqué aucune différence entre les vitesses de propagation du mercure à la lumière ou à l'obscurité. Mais par contre le phénomène avait un autre aspect: à l'obscurité le mercure restait foncé et brillant jusqu'à la fin de l'expérience, tandis qu'à la lumière il devenait mat, clair, cristallisé. Cela est d'autant plus étrange que les expériences à la lumière étaient faites derrière une fenêtre et une deuxième vitre appartenant à la cage de protection. Il y aurait peut-être lieu de rechercher si les rayons pour lesquels le verre est transparent agissent sur la cristallisation des amalgames.

## CONCLUSIONS

1° Les expériences d'amalgamation ascendante effectuées sur des fils d'argent ou des fils de cuivre argenté n'ont pas donné en général de résultats concordants, même lorsque toutes les précautions étaient prises pour expérimenter dans des conditions identiques. L'oxydation lente de l'argent à l'air paraît en être la principale cause. Avec des fils d'argent plongés dans du pétrole, les résultats ont été beaucoup plus concordants sans être cependant entièrement satisfaisants. Les divergences soit dans un sens soit dans l'autre sont telles qu'on n'est pas en droit de considérer ces essais comme représentés de façon satisfaisante par la formule (2).

2° Avec les fils de cuivre dorés, dont l'oxydation peut être considérée comme nulle, les résultats ont présenté une concordance très supérieure, comme on le voit par les tableaux

pp. 325 à 327 et par les courbes de la page 329. On remarquera toutefois que le terme en $h_2^3$ de la formule (2) (p. 313) est en général très petit; les courbes expérimentales diffèrent très peu d'une parabole, ce qui semble également indiquer que le travail effectué contre la pesanteur reste faible.

L'allure au début de l'ascension n'est nullement représentée par la courbe théorique. Cela tient sans doute en partie aux perturbations qui accompagnent le début de l'ascension. Cette dernière en effet ne s'effectue pas symétriquement, mais sous forme de pointes irrégulières, et ce n'est qu'après un temps relativement long que la limite de progression devient circulaire. Il en résulte une incertitude assez grande sur l'estimation de la hauteur d'ascension à un temps donné. On peut remarquer en outre qu'au début de l'ascension, la surface de raccordement du mercure avec le fil amalgamé se déforme considérablement, du fait de l'amalgamation, ce qui entraîne également une incertitude sur les hauteurs d'ascension au début de l'expérience, comme sur les travaux qui peuvent s'effectuer avant qu'un régime régulier d'ascension ne soit établi.

Bien que l'on puisse par un choix convenable de la hauteur limite, faire coïncider de façon satisfaisante la courbe expérimentale et la courbe théorique, il ne faudrait pas en conclure que les hypothèses particulières qui sont à la base de la formule (1) soient applicables au cas très complexe de l'amalgamation ascendante; malgré la longue durée des expériences (plus de sept cents heures) les ordonnées de la courbe expérimentale ne semblent pas en effet tendre encore vers une hauteur limite.

3° L'étude comparative effectuée à diverses températures (20, 30, 40 et 50 degrés) a montré nettement l'influence que ce facteur exerce sur la vitesse d'ascension qui se trouve notablement augmentée, ainsi que l'indiquent les courbes et les tableaux de la page 332. Cela n'a rien de surprenant si l'on considère qu'indépendamment de l'action qu'elle peut exercer sur l'énergie libérée par amalgamation, la température a pour effet de diminuer la viscosité et vraisemblablement aussi la constante capillaire.

4° D'une façon générale, il semble résulter des nombreuses

observations que nous avons faites au cours de ce travail que le processus d'amalgamation ascendante serait le suivant:

Au fur et à mesure que l'amalgamation progresse, la surface air-or est remplacée par une surface air-or amalgamé, et cela avec libération d'énergie. Comme d'autre part l'or amalgamé est très énergiquement mouillé par le mercure, ce dernier, grâce à l'énergie libérée par l'amalgamation et sous l'action combinée des forces capillaires, peut s'élever en luttant contre les forces de la pesanteur et de la viscosité, qui tendent à s'opposer à son mouvement.

5° Les expériences effectuées sur l'étalement d'une goutte de mercure sur une plaque de cuivre doré ne peuvent être tout à fait comparables aux expériences précédentes d'ascension le long des fils, bien qu'elles présentent avec elles quelque analogie.

En premier lieu, à moins que les gouttes ne soient très petites, la vitesse d'étalement est fonction de la dimension initiale de la goutte. Celle-ci en effet, après avoir pris contact avec l'or, prend une forme hémisphérique, puis l'amalgamation se propage tout autour, avec plus ou moins de régularité. Il semble alors que la goutte sous l'action de la tension superficielle (et de la pesanteur si les gouttes ne sont pas très petites) se vide par son pourtour, comme le ferait une poche élastique.

Les expériences effectuées sur de petites gouttes ont donné des vitesses de propagation radiale du même ordre de grandeur que celles observées dans le mouvement ascendant sur les fils.

Des expériences faites à des températures différentes ont également montré que la température agit aussi, comme dans le cas des fils, pour produire une augmentation de la vitesse d'étalement. Mais, dans ce cas, comme la viscosité diminue lorsque la température s'élève, il semble que l'influence de la pesanteur, c'est-à-dire de la dimension initiale de la goutte, ne cesse d'être appréciable que pour des gouttes plus petites qu'à la température ordinaire.

La lumière ne semble pas avoir d'influence sur la vitesse d'ascension du mercure, bien qu'elle altère l'apparence extérieure des surfaces amalgamées.

---