Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 2 (1929)
Heft: V

Artikel: Contribution à l'étude dynamique de l'amalgamation
Autor: Guye, C.E. / Archinard, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-109452

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

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

Contribution à l'étude dynamique de l'amalgamation

par **C. E. Guye** et Melle **I. Archinard.**

(19. IX. 1929.)

Sommaire. Etude expérimentale sur la vitesse de propagation de l'amalgamation le long de tiges verticales et sur l'étalement du mercure à la surface de plaques métalliques dorées; influence positive de la température sur la vitesse de propagation.

Introduction.

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

En introduisant diverses hypothèses simplificatrices, et en se basant sur des considérations énergétiques, cette relation[2]) conduisait à l'expression suivante:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{H \log \text{nat.} \frac{H}{H-h_1} - h_1}{H \log \text{nat.} \frac{H}{H-h_2} - h_2} \tag{1}$$

dans laquelle H est la hauteur limite à laquelle le liquide tend à s'élever,

h_1 est la hauteur atteinte au temps t_1
h_2 » » » » » » t_2.

Dans le cas où l'amalgamation progresse le long de fils verticaux, l'énergie qui détermine l'ascension du mercure a une origine assez complexe; elle résulte vraisemblablement, d'une part de l'énergie d'amalgamation du métal, et d'autre part des

[1]) C. E. Guye. Ascension spontanée d'un liquide le long d'une paroi qu'il mouille. Arch. des Sc. phys. et nat., t. 7, 1925, Suppl. p. 39.

[2]) Cette relation suppose un cas théorique très particulier; celui d'une force de succion dont le siège se trouverait à chaque instant pratiquement localisé 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 très spécial, mais elle conduit à la notion d'une „hauteur limite" atteinte. On ne peut prétendre que de telles conditions soient réalisées dans la propagation ascendante de l'amalgamation, d'autant plus que la durée de nos expériences n'a pas permis de déceler pratiquement l'existence d'une hauteur limite.

actions capillaires qui peuvent s'exercer entre le métal amalgamé et le mercure; on sait en effet que le mercure mouille l'or amalgamé.

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 pour ces expériences étant deux métaux qu'il est facile de se procurer dans un état de grande pureté; le premier est pratiquement inoxydable, 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 eussent la même apparence, il existait des irrégularités à leur surface, résultant du travail mécanique subi antérieurement, et créant d'un échantillon à l'autre des différences que ne révélait aucun indice extérieur.

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 impuretés de surface peuvent changer totalement le résultat, puisque la couche active qui intéresse les phénomènes capillaires et les actions de surface est, comme on sait, de l'ordre du dix-millième de mm.

Les difficultés sont donc analogues à celles que présentent les recherches sur les forces électromotrices de contact et les phénomènes capillaires. Les résultats des expériences dépendent donc dans une large mesure des échantillons employés et de leur mode de préparation.

Aussi les résultats de nos essais n'ont-ils pas toujours été assez concordants pour permettre d'énoncer des conclusions précises. Néanmoins, de l'ensemble des expériences et particulièrement de quelques séries relativement très concordantes, se dégagent quelques faits susceptibles d'éclairer la dynamique de l'amalgamation, et qui semblent d'ailleurs vérifier assez bien l'allure générale de la courbe représentant la formule (1).

I. Partie expérimentale.

Chapitre premier.

Ascension du mercure sur des fils d'argent.

Les premières expériences de ce travail ont consisté à observer, en fonction du temps, l'ascension du mercure sur des fils

d'argent. Ces fils étaient auparavant décapés à l'acide nitrique technique (d = 1.29) jusqu'à disparition de tout défaut de surface visible à l'œil nu, puis rincés à l'eau et à l'eau distillée sans avoir été exposés à l'air, et finalement essuyés sur du papier filtre gravimétrique. On immergeait alors leur extrémité inférieure dans une couche de mercure d'environ 0,5 cm. de hauteur; ce mercure, purifié à l'acide nitrique et filtré, était contenu dans une cuve de verre préalablement nettoyée avec beaucoup de soin. On les fixait verticalement à un support et on notait les hauteurs atteintes par le mercure après des temps déterminés.

Un grand nombre d'essais ont été faits en laissant les fils exposés à l'air. Mais comme les résultats semblaient diverger malgré toutes les précautions prises pour assurer des conditions régulières et qu'il a paru que l'oxydation des fils était peut-être cause de cette divergence, en accentuant le défaut d'homogénité des surfaces, on a eu recours à un nouveau procédé. Le mercure a été placé au fond de cylindres de verre d'environ 20 ou 25 cm. de haut, et dès qu'on y avait immergé le bord des fils, on remplissait le cylindre de pétrole de lampe ordinaire, ce qui mettait l'argent à l'abri de l'air. La loi d'ascension a été alors un peu différente, mais les résultats ont été beaucoup plus réguliers. Il ne sera donc fait mention ici que de deux expériences, effectuées à quelques jours d'intervalle, dans des conditions très comparables, portant chacune sur trois fils d'argent fin de 2 mm. de diamètre et 20 cm. de long, tous de la même provenance et immergés dans du pétrole. Les tableaux de chiffres suivants ramenés à des durées égales montrent le degré de concordance moyenne des deux séries d'expérience.

Temps	I (hauteur en cm.)				II (hauteur en cm.)			
	1	2	3	Moyenne	1	2	3	Moyenne
1 h.	2,95	3,35	2,9	3,08	3,24	2,66	2,64	2,85
2 h.	3,93	4,15	3,97	4,02	5,02	4,68	4,72	4,81
4 h.*	5,45	5,55	5,52	5,51	5,41	5,14	5,03	5,19
24 h.	11,36	11,45	11,6	11,47	11,10	12,10	11,36	11,52
48 h.	13,02	13,16	13,44	13,19	13,80	14,08	13,67	13,85
72 h.	14,69	15,0	15,39	15,03	14,83	14,67	14,45	14,65
96 h.	15,58	16,09	16,37	16,01	—	—	—	—
120 h.	15,97	16,57	16,79	16,44	15,71	15,14	14,90	15,25

* Pour l'expérience II, le temps était réellement 4 h. 10 min.

La différence entre les résultats de ces deux expériences provient sans doute de ce qu'elles ont été faites à quelques jours d'intervalle, ce qui a pu provoquer des modifications dans les circonstances « intérieures » (recristallisation de fils sortis fraîchement de la filière) et extérieures (température, etc.).

L'effet de la température est manifeste si l'on considère le graphique II[1]), où figurent toutes les mesures intermédiaires de l'expérience I, et la courbe des températures enregistrées pendant cette expérience. L'hypothèse, assez plausible, que la masse de pétrole entourant les fils prend quelques heures pour se mettre en équilibre de température avec la salle où se trouve le thermomètre, conduit à admettre que la vitesse d'ascension dépend nettement de la température (cf. la fin de la 2ème partie).

Chapitre II.

Ascension du mercure sur des fils dorés.

1° Expériences à la température ordinaire.

De nombreux essais ont montré l'influence de toutes les circonstances de préparation des fils: nature du dépôt d'or (par immersion ou électrolyse), température, cristallisation du métal sous-jacent à l'or (mais non pas — du moins vraisemblablement — sa nature chimique). Un tel ensemble de conditions était difficile à réaliser à volonté; il en est résulté que les expériences ont donné souvent des résultats divergents, mais cependant plus constants que ceux des expériences effectuées sur l'argent. Néanmoins les trois fils, de préparation identique, observés dans chaque expérience ont généralement donné des résultats concordants entre eux. On pouvait d'ailleurs s'attendre à ce qu'un dépôt d'or fournît une surface plus homogène et moins altérable que celle d'un fil d'argent, car celui-ci, dans la filière même, avait dû subir des irrégularités de pression capables d'agir sur sa structure.

Il sera fait mention ici de trois expériences, toutes effectuées sur des fils de cuivre recuit, de 2 mm. de diamètre, recouverts d'un dépôt électrolytique d'or et passés à la flamme au moment de leur mise en expérience, un décapage à l'eau régale ou d'autres procédés de nettoyage ayant été abandonnés pour diverses raisons. Pour ces essais, le mercure était purifié par étalement de sa surface (cf. Bouasse: Capillarité, éd. 1925).

---

[1]) Voir p. 351.

I et II: Concordance assez bonne. Les expériences ont été faites à cinq mois d'intervalle sur des fils de même provenance. Epaisseur d'or $^1/_{30}$ de mm.

Temps	I				II			
	1	2	3	Moyenne	1	2	3	Moyenne
1 h.	0,43	0,89	0,4	0,57	0,75	0,65	0,55	0,65
17 h. 30	9,11	9,4	9,23	9,25	—	—	—	—
19 h. 30	10,28	10,27	10,13	10,23	—	—	—	—
23 h. 30	11,74	11,78	11,76	11,76	—	—	—	—
25 h.	12,4	12,45	12,37	12,41	—	—	—	—
28 h.	—	—	—	—	12,5	14,3	12,85	13,22
29 h.	—	—	—	—	12,96	14,74	13,55	13,65
30 h.	—	—	—	—	13,36	15,14	13,26	14,02

III. Trois fils de 55 cm. de long, épaisseur d'or 0,0001 mm. Noter que la concordance se maintient sans accident pendant très longtemps.

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 h.	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	32,21	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	—

2° *Expériences à des températures élevées.*

Les expériences suivantes ont eu lieu sur des tiges de laiton doré, de 2 mm. de diamètre. On a substitué le laiton au cuivre parce qu'on pouvait se le procurer en tiges longues et minces qui n'avaient pas besoin d'être redressées comme les tiges de cuivre; une cause d'irrégularité était ainsi supprimée, et d'autre part des essais comparatifs ont montré que des fils de cuivre et de laiton dorés ensemble dans les mêmes conditions réagissaient de la même manière avec le mercure. Les expériences ont eu lieu à l'obscurité (pour éviter toutes perturbations dues à la lumière) dans un thermostat qui était une haute boîte métallique recouverte de feutre et chauffée électriquement.

Les chiffres suivants sont la moyenne de plusieurs séries d'expériences, chacune sur trois fils, aux températures de 30, 40 et 50 degrès C. On a abandonné les essais à des températures plus élevées à cause de l'oxydation du mercure, de même qu'on a renoncé aux essais à des températures élevées sur l'argent, qui est trop oxydable.

Temps	30°	40°	50°
½ heure	0,25	0,31	0,3
1 heure	0,44	0,56	0,7
1 heure ½	0,65	0,83	1,0
2 heures	0,87	1,1	1,4

L'influence positive de la température est manifeste.

Chapitre III.

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

1° *Examen macroscopique.*

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, et quelques expériences dans cette direction n'ont pas semblé inutiles.

Les plaques de cuivre circulaires, de 12 cm. de diamètre et 0,5 mm. d'épaisseur, avaient été polies et aplanies, puis recouvertes d'un dépôt d'or de 0,0001 mm. d'épaisseur. On les nettoyait avec un chiffon de velours imbibé d'éther et on les plaçait sur un trépied à vis calantes.

La goutte formée en versant brusquement le mercure dans une capsule était pesée, puis déposée sur la plaque dorée au moyen d'une pince de fer. Capsule et pince avaient été passées à la flamme avant leur emploi.

Le mercure s'étalait avec une apparence semblable à celle qu'il a sur les fils. Il se formait d'abord des pointes, puis le contour se régularisait à la longue. La tache avait finalement une structure rayonnée, avec des zones concentriques de grain divers.

1ère série. Quatre gouttes de poids différents. Température 19—20° C.

Les chiffres suivants sont ceux des rayons maximums de propagation, exprimés en cm. (Voir le graphique V p. 354).

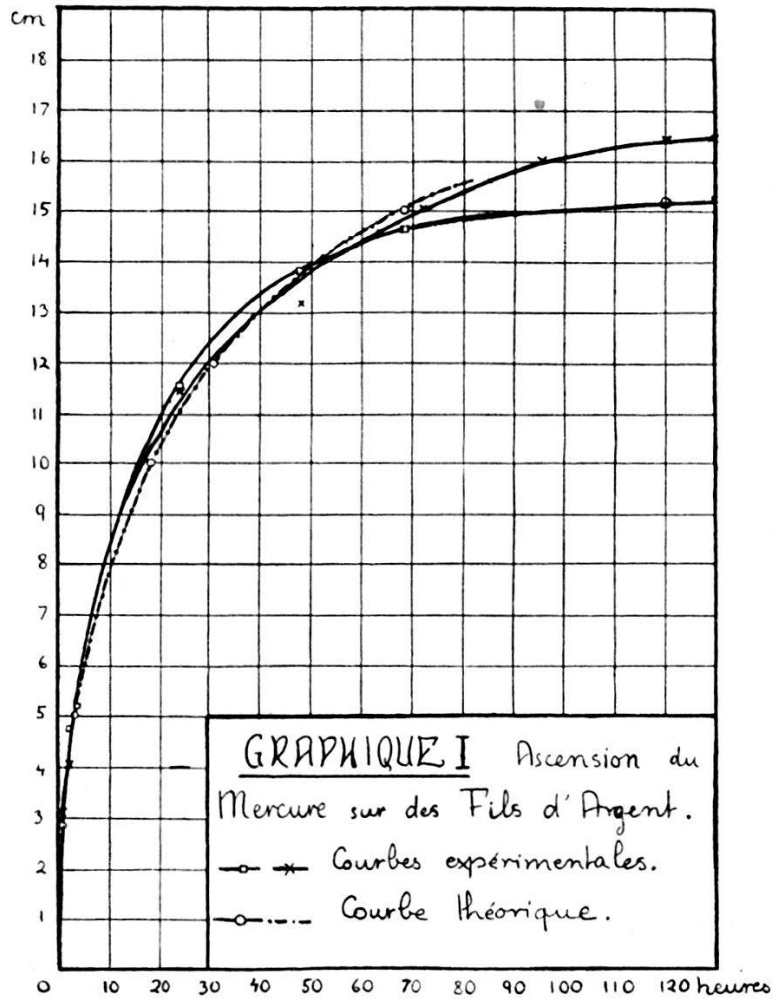
Temps	1. (1 gr. 364)	2. (0,109 gr.)	3. (0,045 gr.)	4. (0,028 gr.)
15 min.	1,1	0,4	0,19	0,18
30 min.	1,85	—	0,29	0,275
60 min.	3,3	1,15	—	0,60
120 min.	4,8	1,82 (interpolé)	1,0	0,98

L'examen des valeurs de 3 et 4 montre qu'au-dessous du poids de 50 mgr. on peut considérer l'action de la pesanteur comme négligeable, pour cette température.

2ème série. Températures élevées. Chaque chiffre est le rayon moyen de cinq ou sept gouttes, dont le poids moyen initial est indiqué en haut de la colonne, ainsi que le poids moyen final (pour I et IV), calculé d'après la quantité de mercure qui a distillé par suite de l'élévation de température.

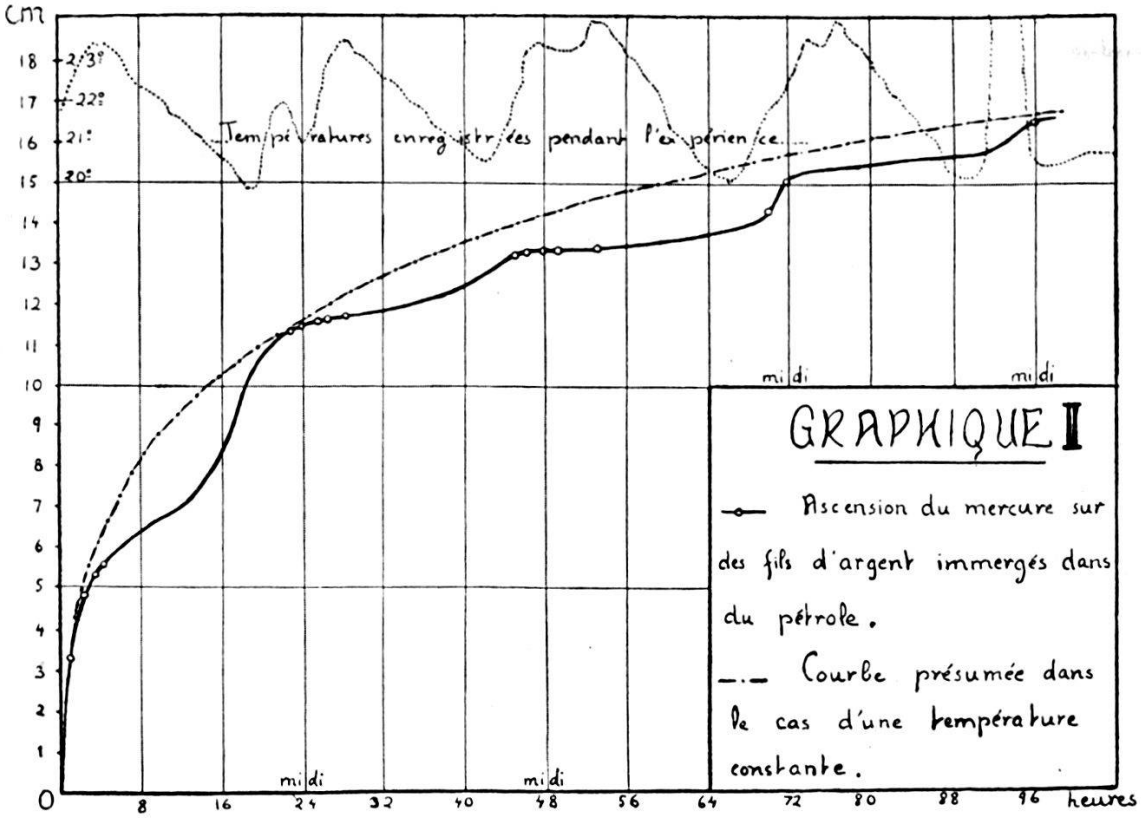
Temps	I. (75 – 85°) P. init. 17 mgr. P. final 9 mgr.	II. (55 – 57°) P. initial 16,4 mgr.	III. (60 – 65°) P. initial 8,4 mgr.	IV. (61 – 63°) P. init. 10,0 P. fin. 8 mgr.
3 min.	—	0,13	0,13	—
6 min.	0,87 cm.	0,25	—	—
10 min.	1,51 cm.	0,41	0,37	0,27
15 min.	—	0,64	—	0,72
20 min.	(env.) 1,8 cm.	0,83	0,60	0,97
25 min.	—	—	—	1,19
30 min.	—	1,06	0,98	—

Là encore la température accélère la propagation de l'amalgamation et l'influence de la pesanteur semble se faire sentir sur de plus petites gouttes lorsque la température est plus élevée.



2⁰ Examen microscopique.

On a observé au microscope le processus d'extension de très petites gouttes de mercure, sur des plaques horizontales ou verticales. Cette extension se fait pour ainsi dire à travers un trou de la surface primitive de la goutte, qui conserve sa forme arrondie en se vidant peu à peu, tandis que les bords s'étendent



à plat. La surface des nouvelles zones d'amalgamation est comme moulée sur la surface primitive de l'or, dont elle reproduit toutes les taches et rainures microscopiques. Cela s'explique par le fait bien connu que la surface du mercure prend, dès qu'elle est exposée à l'air, la consistance et l'apparence d'une membrane solide parfaitement souple.

II. Deuxième Partie.

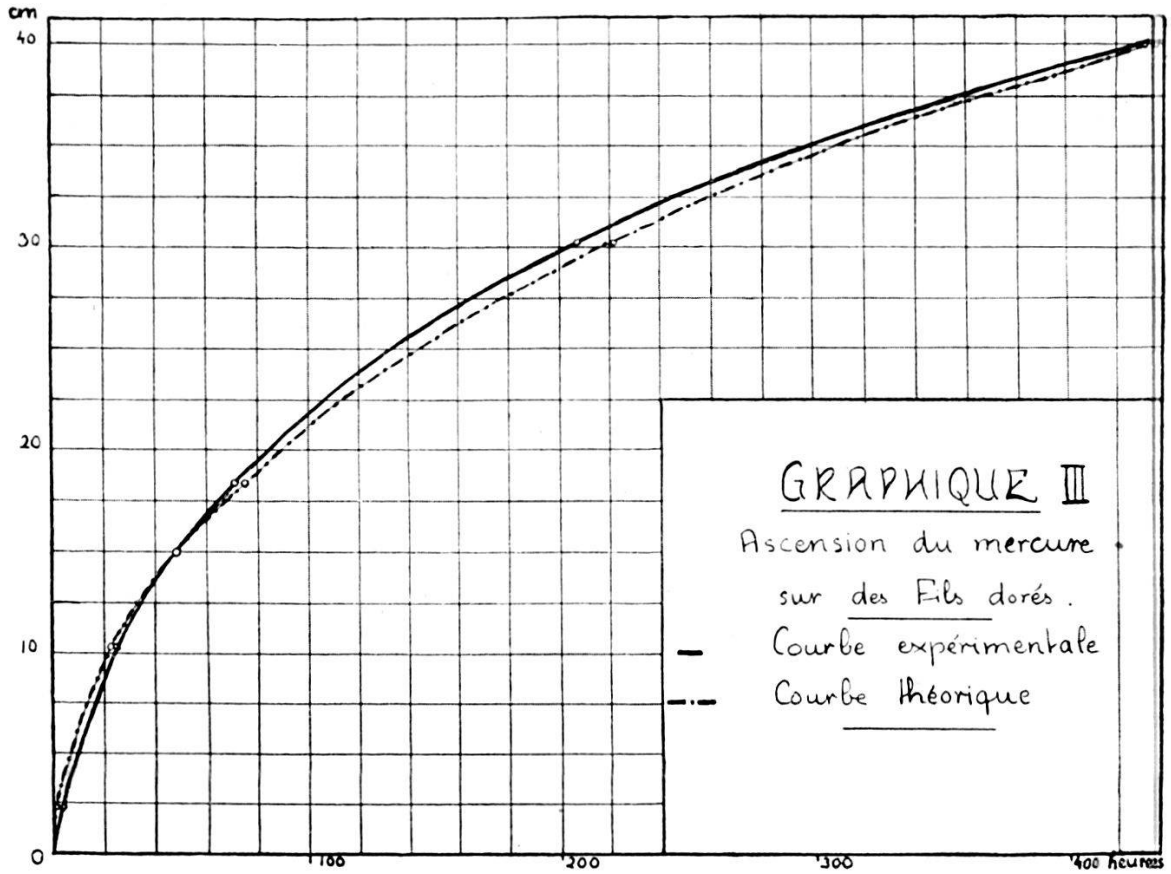
Interprétation des résultats.

Le graphique I représente les hauteurs atteintes par le mercure sur des fils d'argent (expériences du Ch. I) à des temps déterminés.

On a également tracé en pointillé un cas particulier de la formule (1): H = 18 cm., h = 3 cm., t = 1 heure, soit:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{18 \text{ Log } \frac{18}{18-h_2} - h_2}{18 \text{ Log } \frac{18}{15} - 2.85} .$$

On voit que les courbes expérimentales et théorique conservent assez longtemps la même allure générale.



Le graphique III représente la troisième expérience du Chapitre II sur des fils dorés, et en pointillé la courbe:

$$\frac{t_2}{48} = \frac{100 \text{ Log} \left(\frac{100}{100-h_2}\right) - h_2}{100 \text{ Log } \frac{100}{100-14.97} - 14.97} .$$

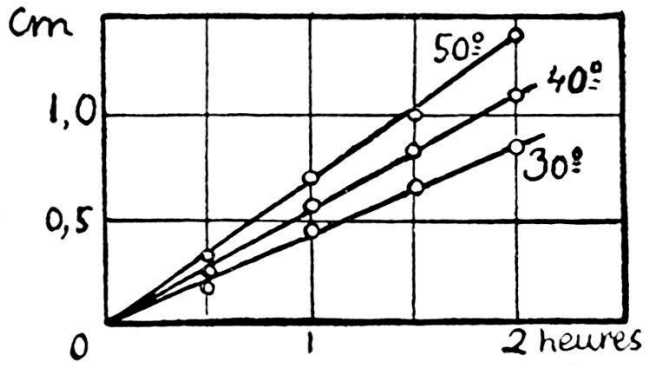
On voit par ce graphique et par les chiffres indiqués plus bas que la concordance est assez satisfaisante saut pour le premier

point. Voici en effet les points sur lesquels les deux courbes sont construites:

(ordonnées) . . .	2,3 cm.	10,38	14,97	18,41	30,19	40,17
(abcisse) exp. . .	4 h.	24	48	71	215	429 h.
(abcisse) théorique	1,48	22,31	48	74,6	221,4	431 h.

Mais malgré la longue durée de l'expérience, les ordonnées de la courbe expérimentale ne semblent pas tendre encore vers une valeur limite. Bien que l'on puisse, par un choix convenable de la hauteur limite, faire coïncider les deux courbes, il ne faudrait pas en conclure à une justification des hypothèses qui sont à la base de la formule (1).

Les graphiques IV et V montrent respectivement les effets de l'élévation de température sur l'amalgamation de fils dorés et



Graphique IV.

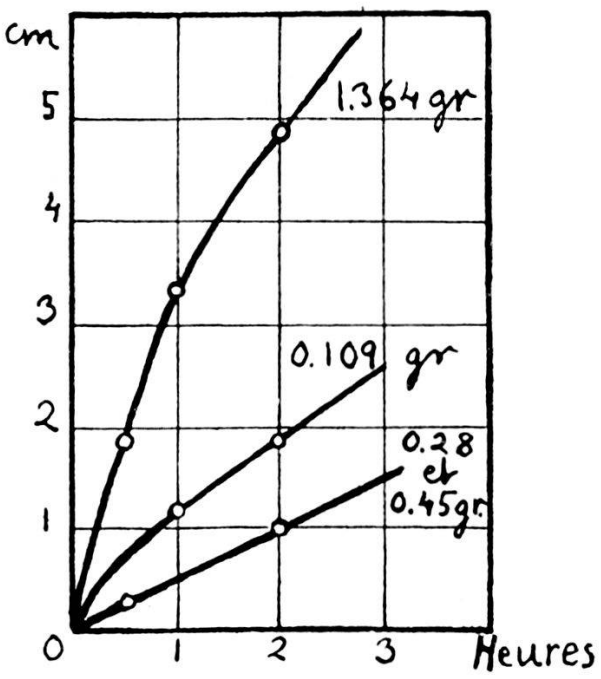
Ascension du mercure sur des fils de laiton doré. Action de la température.

de plaques dorées horizontales. Dans ce dernier cas, les poids des gouttes figurent à côté des courbes correspondantes. Pour la température de 19—20° on a pris la courbe de la goutte de 23 mgr.

Conclusions.

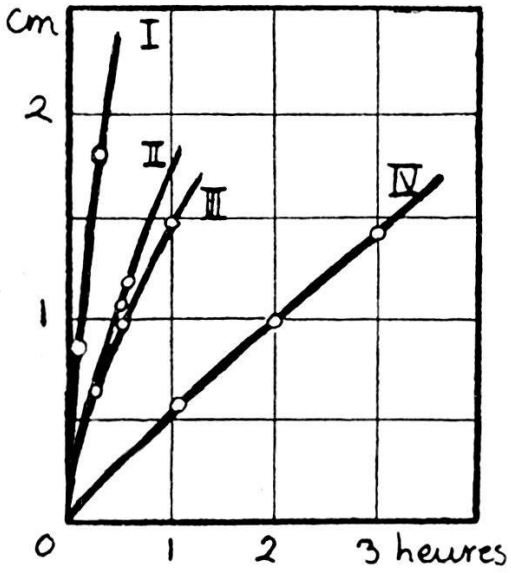
1° Les expériences d'amalgamation ascendante effectuées sur des fils d'argent n'ont pas donné en général des résultats concordants sauf quand ces fils ont été plongés dans du pétrole.

Dans toutes ces expériences, les courbes expérimentales se sont bien présentées, à peu près, comme des cas particuliers de la courbe théorique, mais les divergences soit dans un sens soit



Graphique V.

Gouttes de mercure de poids différents à la température ordinaire.



Graphique VI.

Gouttes de mercure de poids différents, à différentes températures.

	Temp.	Poids moyen		Temp.	Poids moyen
I	75—85°	17 mgr	III	60—65°	8.4 mgr
II	55—57°	16.4 mgr	IV	20°	28 mgr.

dans l'autre sont telles qu'on n'est pas en droit de considérer ces essais comme une vérification de la formule (1) qui d'ailleurs ne peut être applicable que dans des limites assez étroites, vu les hypothèses restrictives qui sont à sa base.

2° Avec les fils de cuivre dorés, dont l'oxydation peut être considérée comme nulle, les résultats ont présenté une concordance très supérieure, et, comme on le voit par le graphique III, ils sont en très bon accord avec la formule théorique pour une valeur convenable de H. Mais les ordonnées de la courbe expérimentale, après quatre cents heures, ne semblent pas encore tendre vers une valeur limite; on ne peut donc pas en conclure, malgré la coïncidence des courbes, que les hypothèses qui sont à la base de la formule (1) soient applicables au cas de l'amalgamation ascendante. On remarquera également que l'allure du début de l'ascension présente une anomalie non visible sur le graphique III vu la petitesse de l'échelle, mais visible sur le tableau qui lui correspond, et due, en partie du moins, à diverses perturbations qui accompagnent le début de l'ascension.

3° L'étude comparative effectué à diverses températures (30, 40 et 50°) a montré nettement l'influence que ce facteur exerce sur la vitesse d'ascension qui se trouve notablement augmentée (cf. courbes IV et V).

Indépendamment de l'action qu'elle peut exercer sur l'énergie libérée par amalgamation, la température a pour effet de diminuer la viscosité et la constante capillaire. Il n'y a donc rien de surprenant à ce qu'elle exerce une influence sur la progression de l'amalgamation.

4° 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 de fils, bien qu'elles présentent avec elles une certaine analogie.

En premier lieu, à moins que les gouttes ne soient très petites, la vitesse d'étalement est fonction du poids initial de cette goutte.

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

Des expériences faites à des températures différentes, il semble résulter que, la température agissant pour diminuer la viscosité et la constante capillaire, l'influence de la pesanteur ne cesse d'être appréciable que pour une dimension des gouttes plus petite qu'à la température ordinaire.

5° Des expériences effectuées semble se dégager la conclusion suivante:

Le mercure n'adhère pas instantanément à l'or, à la manière de l'eau adhérant au verre; cependant un fil doré déjà amal-

gamé aspire avec avidité une goutte de mercure, même déjà couverte de poussière; d'autre part, une goutte de mercure amenée au contact d'une surface dorée ne s'y étend pas en y appliquant sa surface, mais en se vidant de son contenu et en se contractant ou se plissant comme un ballon qui se dégonfle. Il y a donc lieu de supposer qu'en réalité le mercure ne mouille pas par capillarité, l'or pur et non encore amalgamé, mais que c'est la seule affinité chimique qui l'entraîne à s'y étendre.