

U S T A

1EX

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Chimique

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

RETENTION DE L'HUILE COLZA - TOURNESOL
DANS LES GATEAUX DE FILTRATION

(bentonite de MAGHNIA)

Proposé par :

M. TASSART

Étudié par :

N. METTOUCHI



janvier 1979

JE DEDIE CET OUVRAGE :

A LA MEMOIRE DE MON FRERE LAHCENE ET DE MA SOEUR LOUIZA.

JE DEDIE CET OUVRAGE :

A ma mère en manque de ma très grande vénération affectueuse.

A mon père qui a su nous inspirer à mes frères, soeurs et à moi le sens de la dignité du courage et du travail.

A mes frères Mahmoud, Lounis, Hocine et Cherif.

A ma soeur Fadila.

A mes Belles-Soeurs Colette et Mina.

A mes neveux et Nièces : Sofiane, Amine, Amina, Amel et Naouel.

A mon amie Fatima TALBI

A Monsieur TASSART

A Monsieur VOLAND

A Monsieur BENMERABET

A Melle Ratiba AMARI.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma très vive gratitude à Monsieur M. TASSART.

La rigueur et l'exigence de ses critiques ainsi que son amical soutien ont en effet tout au long de son élaboration stimulé et enrichi cette recherche.

Je tiens à remercier tous mes professeurs, mes camarades du Génie-Chimique, Mr BRAHIM ZAQUI (Responsable du Matériel), Mr ADDEM SAID (le Plombier), Mr SONHADJI Mohamed (le tourneur), Mme NEZZAL, Mr SAIDI de la SOGEDIA, ainsi que Mr MADI de la SNMC de Boumerdès et Mr DESCHAMPS, pour leur aide précieuse.

Je tiens à remercier également, Melle AISSANI Katia qui a bien voulu se charger de l'ingrat travail de frappe de ce projet et qui l'a fait avec une gentillesse et une compétence dont je lui suis gré.

Ainsi d'ailleurs, Melle BENAÏSSA Ouezna pour son soutien moral.

Que chacun trouve ici le témoignage de mon estime et de ma gratitude.

MEMBRES DU JURY

Président	Mr. YOUSFI	professeur à l'U.S.T.A.
Examineurs	Mr. CHITOUR	maître de conférences à l'E.N.P.A.
	Mr. OBRETENOV	professeur à l'E.N.P.A.
	Mr. TASSART	maître assistant à l'E.N.P.A.
Invité	Mr. ZEROUROU	ingénieur à l'UP 5 de la S.O.G.R.D.I.A.

INTRODUCTION :

- I. Fabrication des huiles alimentaires :
 - I.1. Généralités
 - I.2. Origine de la coloration

- II. **DECOLORATION ET FILTRATION DE L'HUILE ALIMENTAIRE** :
 - II.1. Décoloration par adsorption
 - II.1.1. Modifications chimiques de l'huile dues à la décoloration.
 - II.1.2. Paramètres relatifs à l'huile
 - II.1.3. Paramètres relatifs à l'agent adsorbant
 - II.1.4. Paramètres relatifs au mode opératoire.
 - II.2. Filtration de l'huile
 - II.2.1. Ecoulement monophasique en milieu poreux
 - II.2.2. Analyse de la filtration.
 - II.2.2.1. Vitesse de passage du fluide à travers le gâteau.
 - II.2.2.2. Filtration à débit constant.

- III. **RETENTION DES LIQUIDES DANS LES GATEAUX DE FILTRATION** :
 - III.1. Définition
 - III.2. Forces de rétention capillaire et phénomène de capillarité.
 - III.3. Saturation totale et saturation résiduelle
 - III.3.1. Quelques définitions
 - III.3.2. La saturation résiduelle
 - III.3.2.1. Paramètres influençant la saturation résiduelle.

- IV. **LAVAGE DU GATEAU - ECOULEMENT DEPHASIQUE EN MILIEU POREUX** :
 - IV.1. Etude de l'écoulement déphasique
 - IV.1.1 Ecoulement du liquide
 - IV.1.2 Ecoulement de l'air.

IV.2. Méthodes de calcul du lavage

IV.2.1. Les méthodes de Brownell Katz et de Brown

IV.2.2. Validité des calculs.

V. CALCUL DU LAVAGE DU GATEAU ET VALIDITE DES CALCULS.

V.1. Calculs

V.2. Analyse des courbes théoriques obtenues.

VI. ETUDE EXPERIMENTALE :

VI.1. Orientation du travail expérimental

VI.2. Appareillage

VI.2.1. Décoloration

VI.2.2. Filtration et lavage

VI.3. Mode opératoire

VI.3.1. Décoloration

VI.3.2. Filtration et lavage du gâteau.

VI.4. Résultats expérimentaux

VI.4.1. Résultats

VI.4.2. Analyse et résultats.

CONCLUSION.

ANNEXE A : Données sur le système huile de colza, tournesol et bentonite de Maghnia.

ANNEXE B : Tableaux de calculs du lavage et tableaux de filtration.

BIBLIOGRAPHIE.

I N T R O D U C T I O N

La filtration est, à nos jours, l'une des opérations dont les bases théoriques sont peu développées par rapport à d'autres opérations industrielles. L'un des aspects négligé mais présentant un très grand intérêt économique est la prévision de l'allure d'élimination du liquide dans un gâteau de filtration et l'étude des paramètres influençant la rétention de ce liquide dans ce même gâteau.

L'étude de ce projet est faite sur le système huile de colza-tournesol et bentonite de Maghnia qui intéresse tout particulièrement la SOGEDIA.

Une première contribution a été apportée par Mlle. Djerid / / qui a obtenu des résultats qualitatifs. En ce qui nous concerne nous nous attachons dans ce travail à obtenir des résultats expérimentaux quantitatifs : c'est dans le but de calculer l'opération de lavage du gâteau que l'on recherchera dans la littérature les méthodes et les données disponibles et que l'on comparera les résultats théoriques et expérimentaux obtenus.

Dans ce rapport on parlera successivement de :

- la fabrication des huiles alimentaires (décoloration et filtration en particulier)
- la rétention de l'huile dans un gâteau de filtration
- le lavage du gâteau et ses méthodes de calcul
- l'étude expérimentale réalisée (étude de l'influence de la pression de lavage sur la saturation résiduelle)
- quelques recommandations pour la poursuite de ce travail .

I - FABRICATION DES HUILES ALIMENTAIRES

I - 1. Généralités :

Les matières premières de l'huilerie sont les graines oléagineuses (arachides, colza, maïs, ...) et les fruits à pulpe (fruits de palme, olive, ...) Une représentation générale de la fabrication des huiles est donnée par le schéma de la fig. 1, celui-ci comprend essentiellement les étapes suivantes :

- Préparation de la graine : nettoyage, décorticage et broyage
- Extraction par solvant de l'huile résiduelle contenue dans les tourteaux provenant de la pression mécanique.
- Raffinage qui a pour but de rendre l'huile comestible et qui a lieu de la manière suivante :
 - . Demucilagination
 - . Neutralisation
 - . Décoloration
 - . Désodorisation.

I - 2. Origine de la coloration :

Les huiles brutes obtenues sont souvent sombres et fortement colorées car elles renferment des quantités parfois importantes de pigments divers. Ceux-ci se subdivisent en 2 groupes ;

- Pigments végétaux naturels : caroténoïdes, chlorophylles, et certains anthocyanosides,
- Pigments ayant pris naissance au cours des traitements antérieurs, généralement par dégradation de non glycérides de l'huile et des cellules oleifères.

Ainsi pour l'élimination de ces derniers, on procède à une décoloration, et pour ce faire, on utilise des matières adsorbantes telles que des terres activées ou naturelles, ainsi que les charbons actifs.

Le processus de décoloration est suivi d'une séparation des agents de blanchiment par filtration, celle-ci doit avoir lieu sous vide, d'autant plus que les terres utilisées sont d'excellents catalyseurs d'oxydation.

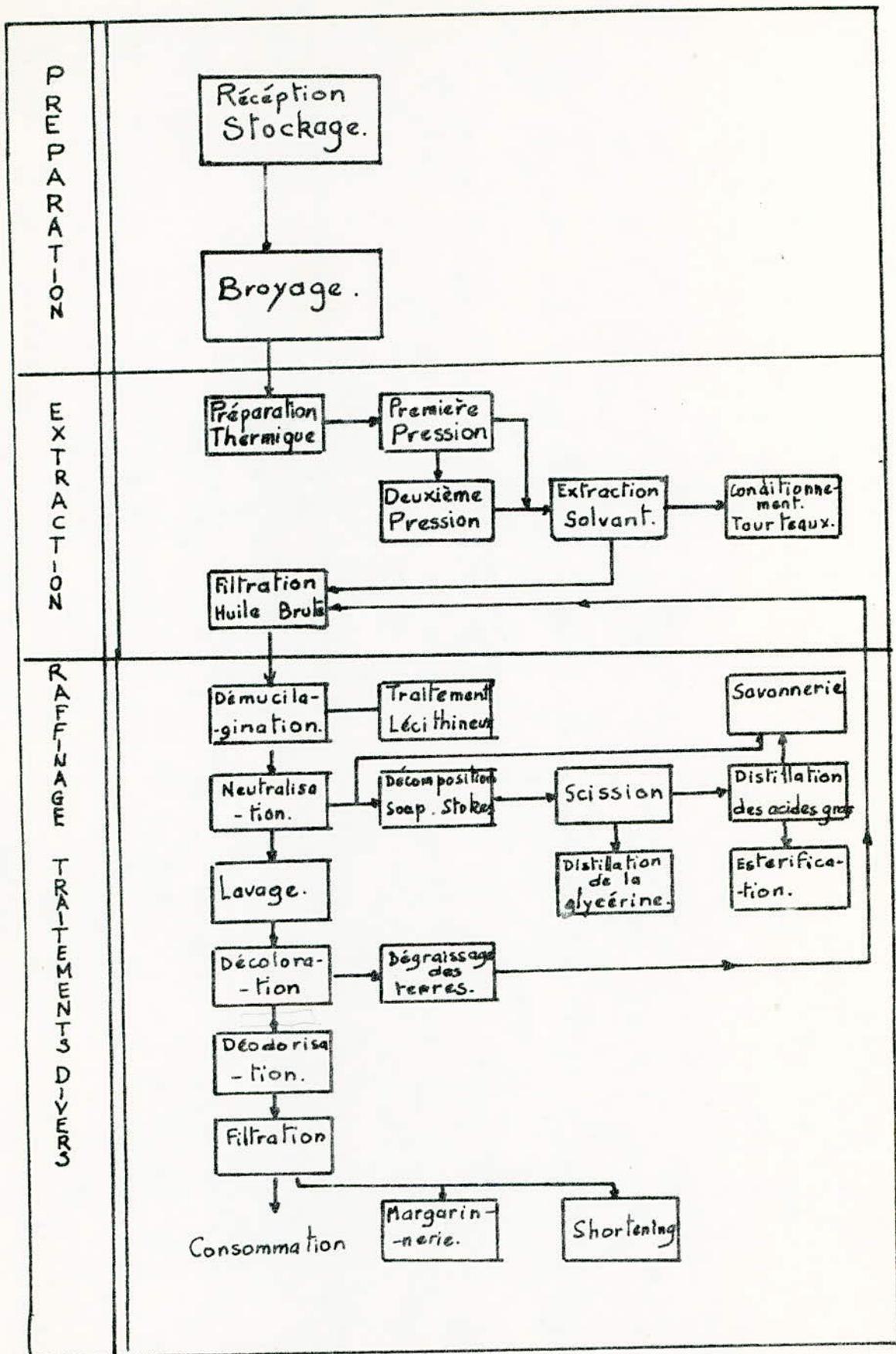


Schéma général de la production des corps gras à partir des graines oléagineuses.
fig-2-

II - DECOLORATION ET FILTRATION DE L'HUILE ALIMENTAIRE :

II - 1. Décoloration par adsorption [20]

Le processus de décoloration par des agents adsorbants est complexe car à l'adsorption physique réversible peut s'adjoindre la **chimisorption** réversible tandis que se superposent diverses réactions secondaires, soit d'origine thermique, soit d'origine chimique (essentiellement des réactions d'oxydations).

Diverses formules ont été proposées pour décrire ces phénomènes, cependant nous nous bornerons à utiliser celle de Freundlich qui s'écrit :

$$\frac{X}{m} = K C^n$$

$$\text{soit } \log \frac{X}{m} = \log k + n \log c$$

et se représente graphiquement par une droite

X est la quantité de couleur enlevée par m % d'adsorbant pour atteindre la couleur finale C.

k et n sont les constantes caractéristiques dépendant à la fois de l'adsorbant et de l'adsorbé.

k est une mesure de l'activité de l'adsorbant : il exprime la quantité de corps dissous adsorbable par la quantité unitaire d'agent adsorbant.

On représente généralement l'isotherme par la variation de couleur restante (C) en fonction de la quantité (m) de terre utilisée voir fig [3]

soit $C = f(m)$.

Le rendement de décoloration peut être également représentée par la fig [4], celle-ci nous donne l'allure cinétique de décoloration et faisant apparaître les paramètres cette dernière.

II - 1.1. Modifications chimiques de l'huile dues à la décoloration :

L'utilisation des terres actives entraîne des modifications du spectre U.V (à 230, 270 nm, m) d'huile polyinsaturée, en raison de l'apparition de systèmes polyéniques conjugués. Ces modifications proviennent essentiellement de l'apparition de groupements chromophores résultant de la conjugaison de plusieurs doubles liaisons éthyléniques ou autres sur la chaîne des acides gras insaturés.

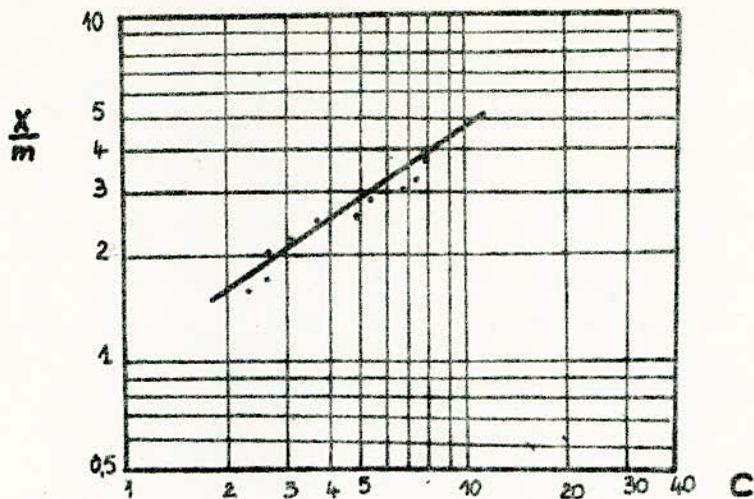


Fig. 1 ISOTHERME SELON FREUNDLICH

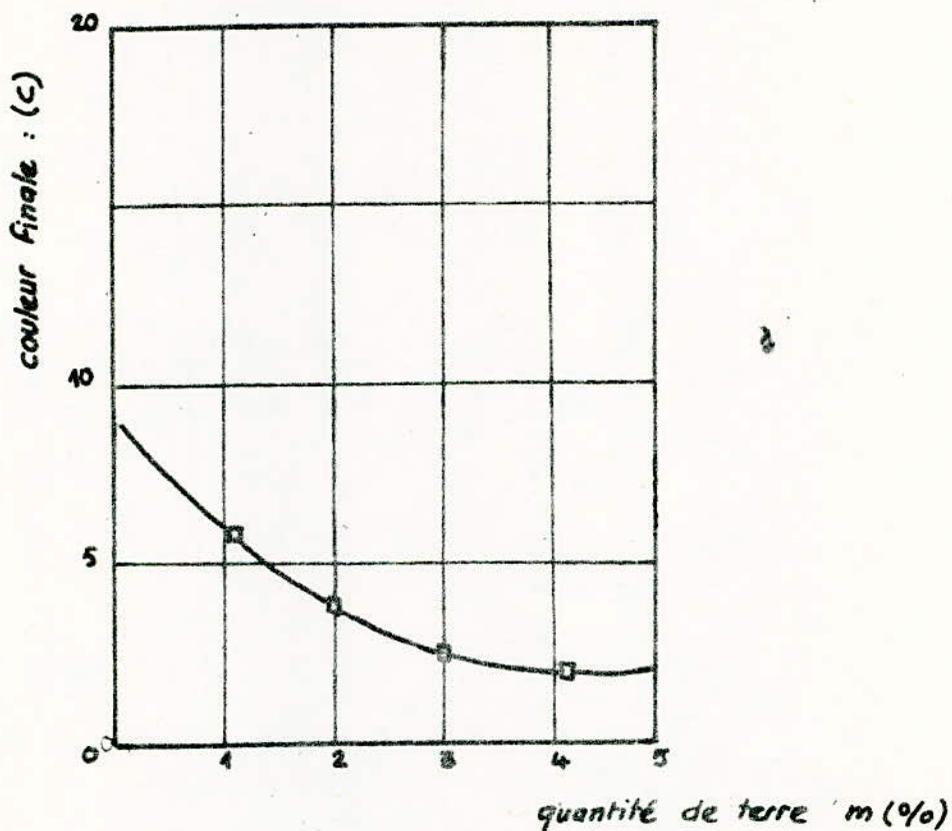
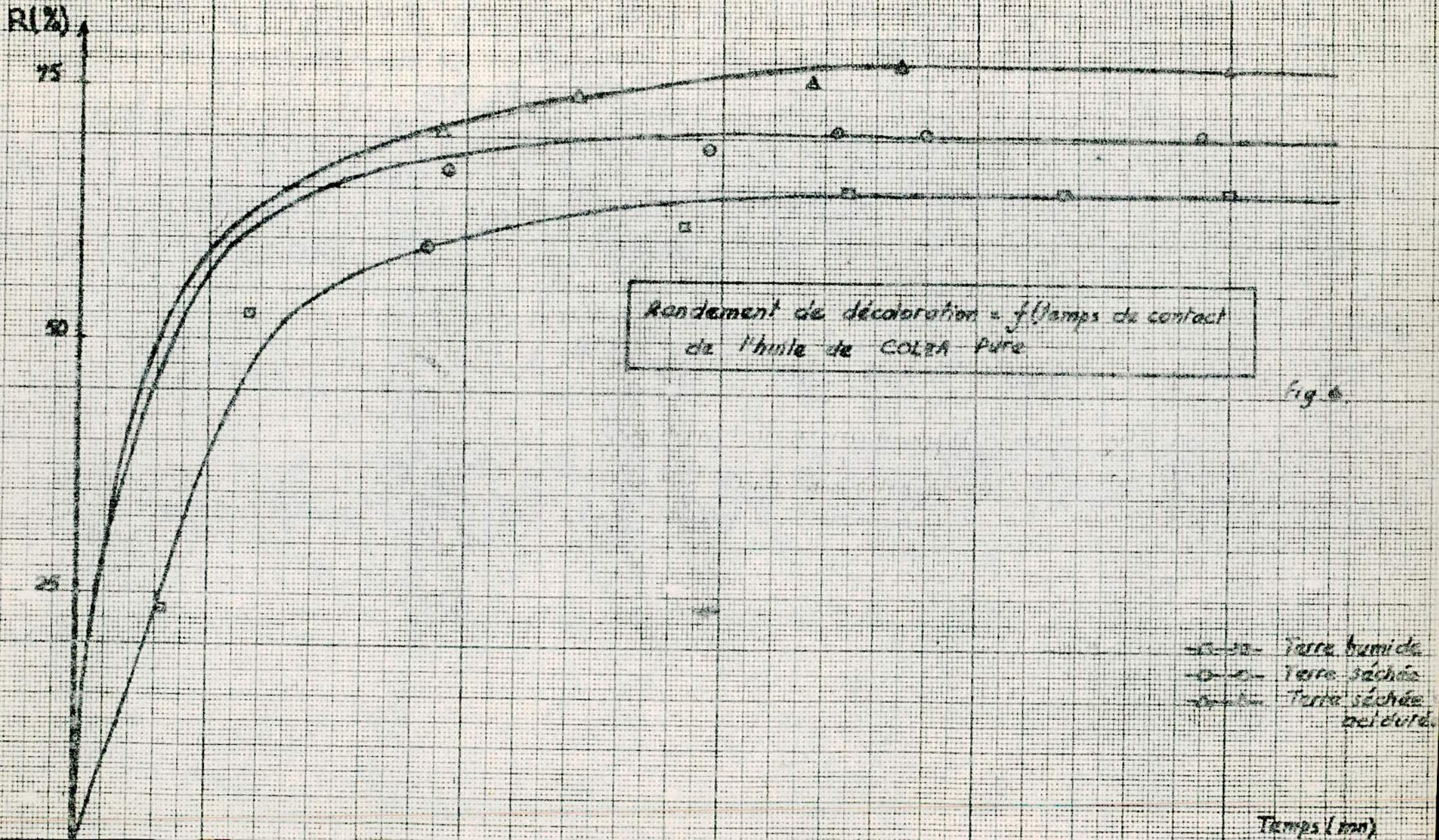


Fig. 2 ISOTHERME DE DECOLORATION

C = F(m) D'UNE HUILE PAR DES TERRES ACTIVEES



II - 1.2. Paramètres relatifs à l'huile [3]

- a) Son degré d'oxydation
- b) Sa structure et sa composition en acides gras
- c) Ses impuretés (savons) phospholipides).

II - 1.3. Paramètres relatifs à l'agent adsorbant : [3]

- a) La granulométrie des terres activées
- b) Le pourcentage de terre activée (par rapport à l'huile).

II - 1.4. Paramètres relatifs au mode opératoire : [20]

a) L'agitation :

On a intérêt à ce que celle-ci soit la plus forte possible afin d'amener l'huile rapidement en contact avec la surface de la terre.

L'agitation est en relation étroite avec le temps de contact et la granulométrie.

b) La durée de contact :

En discontinu, l'agent d'adsorption étant ajouté à l'huile déjà portée à la température désirée, une bonne décoloration est obtenue en temps de contact de l'ordre de 15 à 20 mn ; toutes conditions égales par ailleurs, la décoloration augmente rapidement avec le temps de contact pour se stabiliser et diminuer ensuite ce qui correspond alors à une reversion de couleur.

c) La température :

L'adsorption étant généralement un phénomène exothermique; la décoloration est d'autant meilleure que la température est plus basse.

d) Le vide (ou gaz inerte) :

Dans certains cas, les oxydations peuvent résulter d'un mauvais vide, ce qui conduit à des adsorptions à 268 et 318 nm. La décoloration doit se faire sous un bon vide ou encore sans gaz inerte.

II - 2. Filtration de l'huile :

La filtration est la séparation de produits constituant deux phases non miscibles, l'un des deux produits étant retenu en amont de la couche filtrante.

Le fluide filtré abandonne sur la matière filtrante un dépôt du produit qui se trouvait en suspension.

En se déposant celui-ci constitue bientôt un "gâteau de filtration" qui joue lui-même le rôle de matière filtrante.

II - 2.1. Écoulement monophasique en milieu poreux :

[15]

Hagen POISEUILLE a établi les relations qui décrivent l'écoulement laminaire dans un tuyau. Reynolds par une analyse dimensionnelle a proposé un nombre sans dimension au moyen duquel on peut définir le régime d'écoulement, laminaire ou turbulent. La résistance à l'écoulement peut être représentée sous la forme d'un facteur de friction, fonction du nombre de Reynolds.

Loi d'Hagen-Poiseuille :

$$v = \frac{\Delta p D^2}{32 \mu L} \quad (1)$$

Le facteur de friction pour l'écoulement dans un tube étants alors défini par :

$$f = \frac{2 \Delta p D}{L v^2 \rho} \quad (2)$$

et sachant que pour cet écoulement : $R_e = \frac{D v \rho}{\mu}$ (3)

On peut écrire $f = \frac{64}{R_e}$ en régime laminaire. D'autres auteurs ont étudié l'écoulement turbulent dans une conduite et ont alors établi le graphe de la fig. (5).

- v = vitesse moyenne de fluide dans l'étude
- Δp = perte de charge dans le tube
- ρ = Masse volumique du fluide
- μ = viscosité du fluide
- D = Diamètre du tube
- L = longueur du tube
- R_e = nombre de Reynolds
- f = facteur de friction.

Darcy a établi expérimentalement, que l'on peut décrire l'écoulement laminaire à travers un milieu poreux par :

$$V_0 = \frac{dV}{A dt} = \frac{K \Delta p}{L \mu}$$

K = Perméabilité du milieu poreux.

V_0 = vitesse superficielle du fluide, c'est-à-dire vitesse moyenne du fluide, s'il n'y avait pas de garnissage.

Quant à Carman, il a étudié l'écoulement laminaire dans un milieu poreux, ... représentant celui-ci par un ensemble de tubes de sections variables et de longueurs appropriées [15]

$$V_0 = \frac{\Delta p}{L} \frac{D^2}{180 \mu} (1 - \epsilon)^2 \quad \text{équation de Kozeny-Carman}$$

valable si 1) $\epsilon < 0,5$

$$2) \text{Re} = \frac{D_p G_o / \mu}{(1 - \epsilon)} \quad 10 \text{ où } G_o = V_o \rho \quad \text{vitesse}$$

massique spécifique

il en découle que :

$$F = \frac{\Delta P D_p \epsilon^3}{L G_o^2 (1 - \epsilon)}$$

ϵ = porosité du lit

D_p = diamètre des particules

L = épaisseur du lit

Egun et Burbe P Lummer par analogie à l'écoulement turbulent dans un tuyau ont décrit celui-ci dans un milieu poreux. (Confère fig [6])

Blake a étudié, lui aussi, l'écoulement laminaire dans un milieu poreux à partir de l'équation d'Hagen-Poiseuille, mais il définit le facteur de friction et le nombre de Reynolds de la manière suivante :

$$F = \frac{2 D_p \Delta P \epsilon^n}{L V_o^2} \quad (4)$$

$$\text{Re} = \frac{D_p V_o}{\mu \epsilon^m} \quad (5)$$

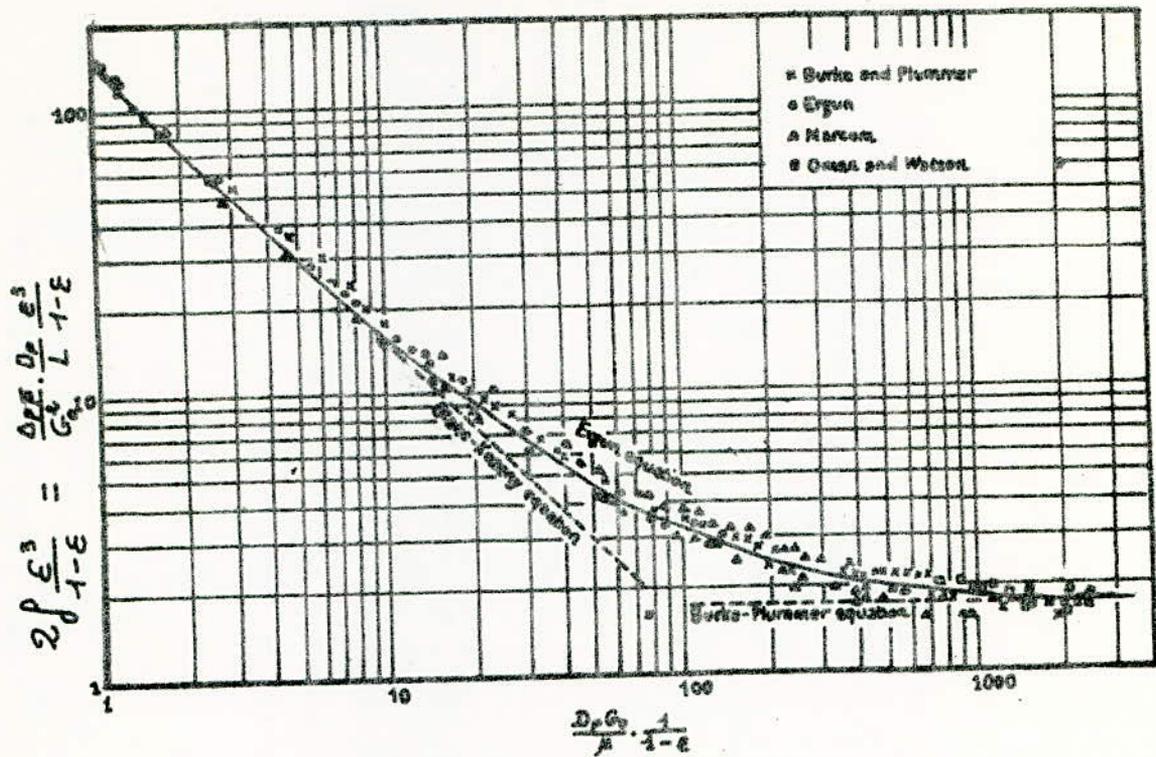
D_p = diamètre des particules = $\sqrt{\frac{\sum \frac{m_i}{d_i}}{\sum \frac{m_i}{d_i^3}}}$

ϵ = Porosité du lit

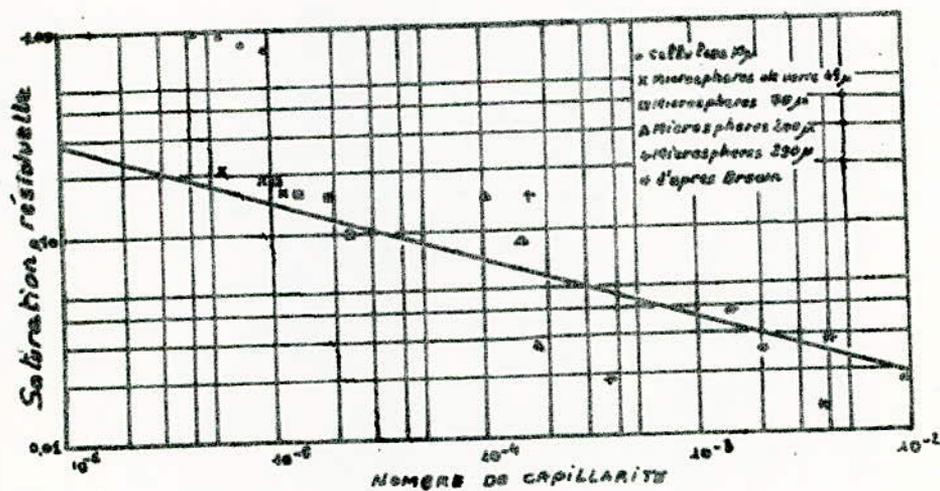
ΔP = Perte de charge due à la friction

V_o = Vitesse superficielle du fluide, c'est-à-dire vitesse moyenne du fluide s'il n'y avait pas de garnissage.

De cette façon Blake généralise à l'écoulement monophasique en milieu poreux le facteur de friction et le nombre de Reynolds pour l'écoulement dans un tuyau (dans le cas limité où l'on prend $D_p = D$ diamètre du tuyau et $\epsilon = 1$ on retrouve les expressions (1) et (2)).



FACTEUR DE FRICTION POUR L'ÉCOULEMENT DANS DES LITS DE GARNISSAGE fig. 5



VARIATION DE LA SATURATION EN FONCTION DU NOMBRE DE CAPILLARITE fig. 6

FACTEUR DE FRICTION EN FONCTION DU NOMBRE DE REYNOLDS

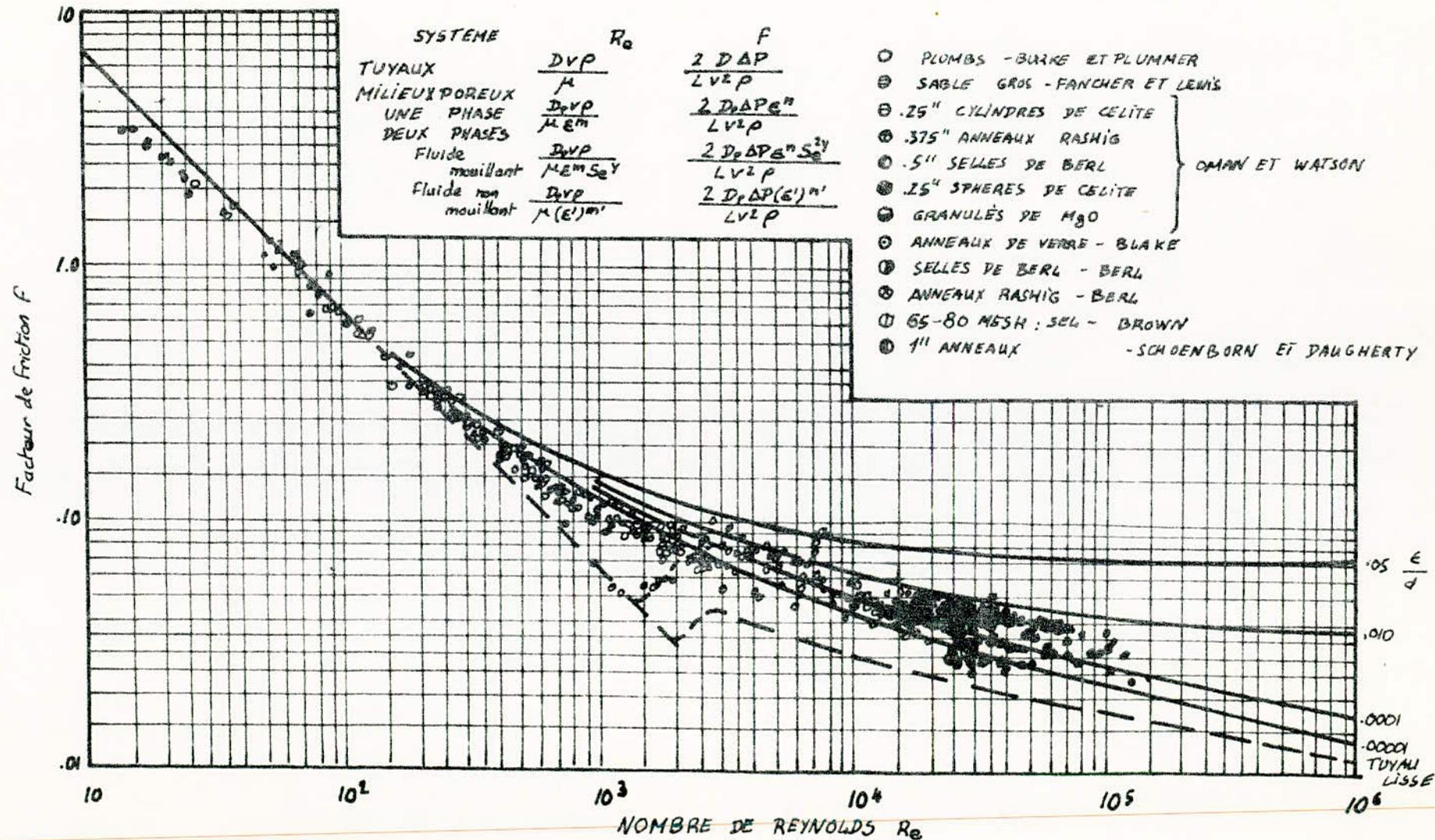


Fig. 7 -

II- 2.2. Analyse de la filtration [13]

II.2.2.1. Vitesse de passage du fluide à travers le gâteau [13]

Le débit (dV/dt) à travers la surface (A) du filtre a pour expression

$$\frac{dV}{dt} = A V_0 \quad (6)$$

V_0 = Vitesse superficielle du fluide (c'est à dire vitesse moyenne du fluide s'il n'y avait pas de garnissage).

En filtration, les particules étant petites et la vitesse très faible, on considère que l'on se trouve en régime laminaire ($Re < 1$)

$$V_0 = \frac{Dp}{L \mu} \frac{1}{5 a_v^2} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} = \frac{1}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) \quad (7)$$

L = épaisseur du lit

μ = viscosité du fluide

a_v = surface spécifique des particules

ε = Porosité du lit

A = surface du lit

ΔP = perte de charge à travers le lit

V = volume du filtrat recueilli

t = temps

$\frac{dV}{dt}$ = débit de filtration

$\frac{dV}{dt}$

Avant d'intégrer l'équation (7) il faut connaître la dépendance des termes ΔP , L, a_v et ε

L'épaisseur du gâteau peut être reliée au volume du filtrat recueilli par un bilan de matière :

$$L A (1 - \varepsilon) \rho_s = (V + L \varepsilon A) \rho \frac{w}{1-w}$$

ρ_s = Masse volumique des particules solides
 = Masse équipement du filtrat
 w = Fraction massique du solide dans la liqueur.

ϵLA = Volume de filtrat retenu par le gâteau.

A toutes fins pratiques, ce terme est négligeable par rapport à V
 et l'équation (7) devient alors :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P A^2}{\mu \alpha w p V} \frac{1}{1-w}$$

α = Résistance spécifique du gâteau.

si α ne varie pas en fonction de ΔP , alors le gâteau est dit
 incompressible.

Le filtre lui-même oppose une certaine résistance à l'écoulement :
 volume fictif = Le volume fictif V_f est défini comme le volume de
 filtrat nécessaire pour bâtir un gâteau fictif de résistance égale
 à la résistance des toiles filtrantes et des conduites.

Après correction l'équation (7) devient alors :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu \alpha w (V + V_f)} \frac{1}{1-w} \quad (9)$$

II - 2.2.2 Filtration à débit constant :

Soient α = constante

$$\frac{dV}{dt} = \text{constante} = \left(\frac{dV}{dt} \right)_c \quad (10)$$

Cette équation (10) donne après intégration

$$\frac{(V + V_f)}{(T + t_f)} = \left(\frac{dV}{dt} \right)_c \quad (11)$$

Le volume de filtrat varie donc linéairement avec le temps,
 l'équation (9) donne :

$$\Delta P = \frac{\mu \alpha}{A^2} \frac{\rho w}{(1-w)} \left(\frac{dV}{dt} \right)_c (V + V_f) \quad (12)$$

ou encore :

$$\Delta P = \frac{\mu \alpha}{A^2} \frac{\rho w}{(1-w)} \left(\frac{dV}{dt} \right)_c^2 (t + t_f) \quad (13)$$

qui est de la forme :

$$\Delta P = K (t + t_f)$$

III - RETENTION DES LIQUIDES DANS LES GATEAUX DE :

FILTRATION [18]

III.1. Définition :

En fin de filtration, une certaine quantité de filtrat est retenue dans les interstices les plus fins du gâteau. Celle-ci constitue alors ce qu'on appelle la saturation totale ou encore retention. Cette dernière est due à un effet de capillarité.

III.2. Forces de rétention capillaire et phénomène de capillarité :

Si l'on place verticalement une série de tubes de différents diamètres dans un liquide, de la façon indiquée par la figure A, on constate que le liquide monte à l'intérieur de ceux-ci, et que la hauteur atteinte est d'autant plus grande que le diamètre intérieur est plus petit : ceci illustre l'existence de la force de succion capillaire :

$$F = \pi d \sigma \cos \theta \quad (14)$$

celle-ci correspond à une pression

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{d} \quad (15)$$

Nous remarquons que cette pression est indépendante de la viscosité :

F = Force de succion capillaire

D = Diamètre du tube

σ = Tension superficielle

$\cos \theta = 1$ dans le cas d'un mouillage total.

Si cette même série de capillaires est placée dans un premier temps dans l'écoulement d'un liquide, puis est traversée d'un bout à l'autre par un courant d'air envoyé suivant un gradient de pression, on remarque comme le montre fig. B, un plus grand déplacement de liquide dans les plus gros capillaires. Pour un gradient de pression donné, il arrivera que pour une taille de tube la pression égalise la force de capillarité et le liquide ne peut plus être déplacé. Ceci constitue alors la saturation résiduelle.

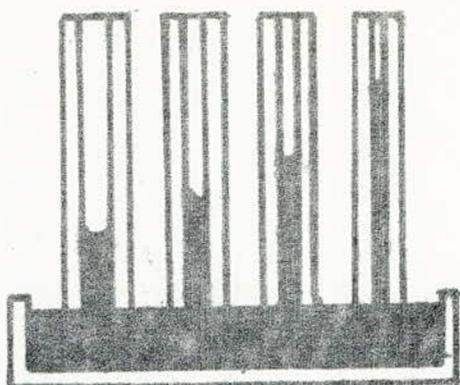
III.3. Saturation totale et saturation résiduelle :

III.3.1. Quelques définitions :

Lorsque l'on fait passer un gaz au travers d'un gâteau on se trouve devant un système à trois phases caractérisé par les grandeurs suivantes :

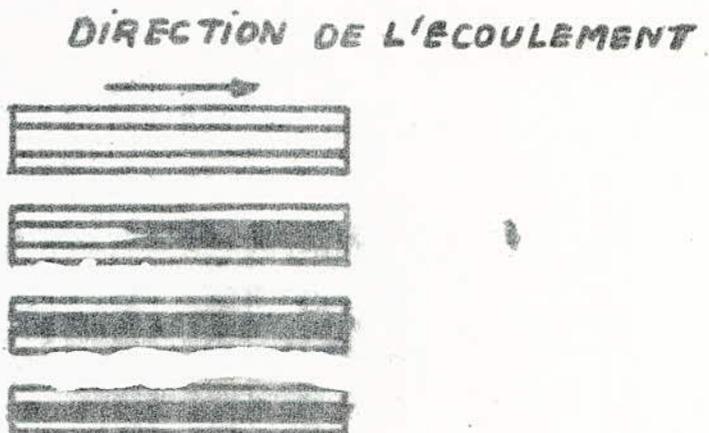
• Saturation = $\frac{\text{Volume de pores occupé par le liquide}}{\text{volume total des pores}}$ = S

• Saturation résiduelle = $\frac{\text{volume de liquide non éliminable}}{\text{volume total des pores}}$ = S_r



A. TUBES CAPILLAIRES AU CONTACT D'UN LIQUIDE

Fig. 8 EFFET DE DIAMETRE ET ECOULEMENT
DE DEUX PHASES DANS DES TUBES CAPILLAIRES



B. ECOULEMENT PROGRESSIF D'UN SECOND FLUIDE
DANS DES TUBES CAPILLAIRES

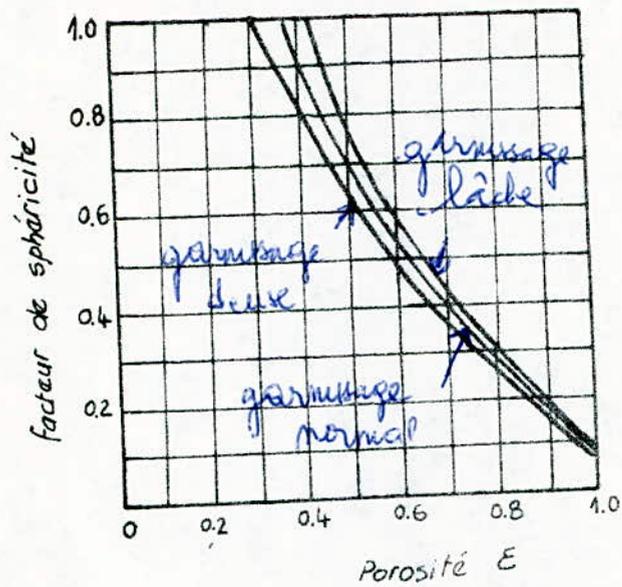


fig. 9. FACTEUR DE SPHERICITE
EN FONCTION DE LA POROSITE

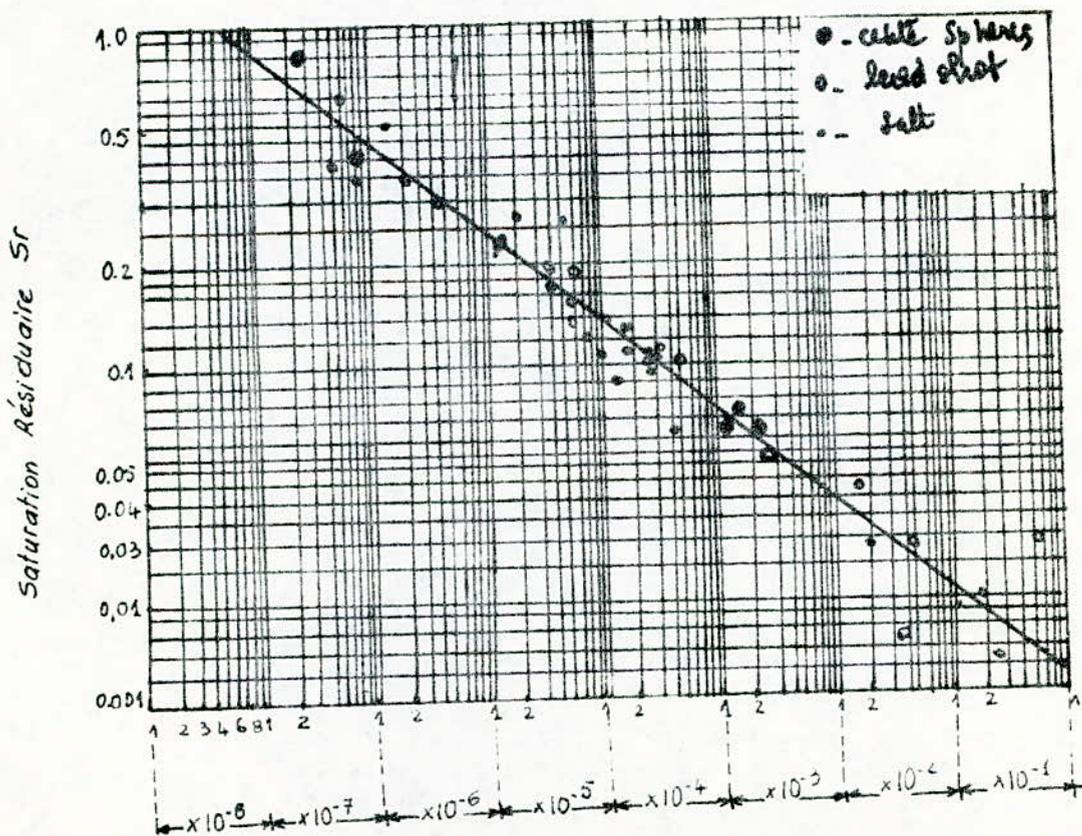


fig. 10.

Nombre capillaire

$$\frac{K(-\Delta P)}{g_c \gamma L}$$

Cette valeur s'obtient aisément en pratique par analyse du gâteau lorsque l'écoulement de liquide a pris fin sous l'influence d'un courant gazeux.

• Perméabilité que l'on note par K_{nw} et K_{nw} relatives aux fluides mouillant que l'on définit comme le rapport des vitesses du fluide compris dans les écoulements diphasique et monophasique, pour une même perte de charge.

• Saturation effective = $\frac{\text{volume des pores renfermant du liquide mobile}}{\text{volume de liquide mobile} + \text{volume de gaz}}$

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - 2 S_r + S} \quad (16)$$

III.3.2 - La saturation résiduelle :

l'expérience a montré que la saturation résiduelle est une fonction de la perméabilité du milieu (K), de la tension superficielle σ du liquide ainsi que du gradient de pression hydraulique $\frac{dp}{de}$. Ceci a permis d'établir un nombre adimensionnel

dit nombre de capillarité N_C .

$$N_C = \frac{K \frac{dp}{de}}{L \sigma \cos \theta} \quad (17)$$

La saturation résiduelle est reliée à ce nombre N_C par :

$$S_r : K (N_C)^{-n} \quad (18)$$

Brownell (1950) donne comme bonnes valeurs moyennes :

$$k = \frac{1}{40} \text{ pour des précipités d'une épaisseur inférieure à 50 mm}$$

et $n = 0,264$.

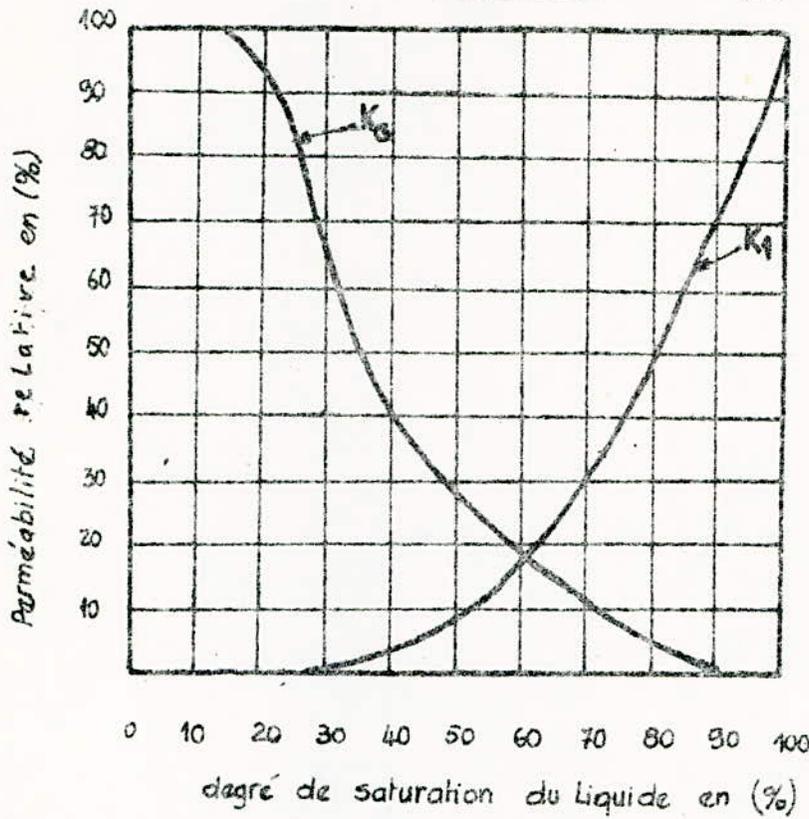
III.3.2.1. Paramètres influençant la saturation résiduelle :

a) Influence de la tension superficielle et de la pression

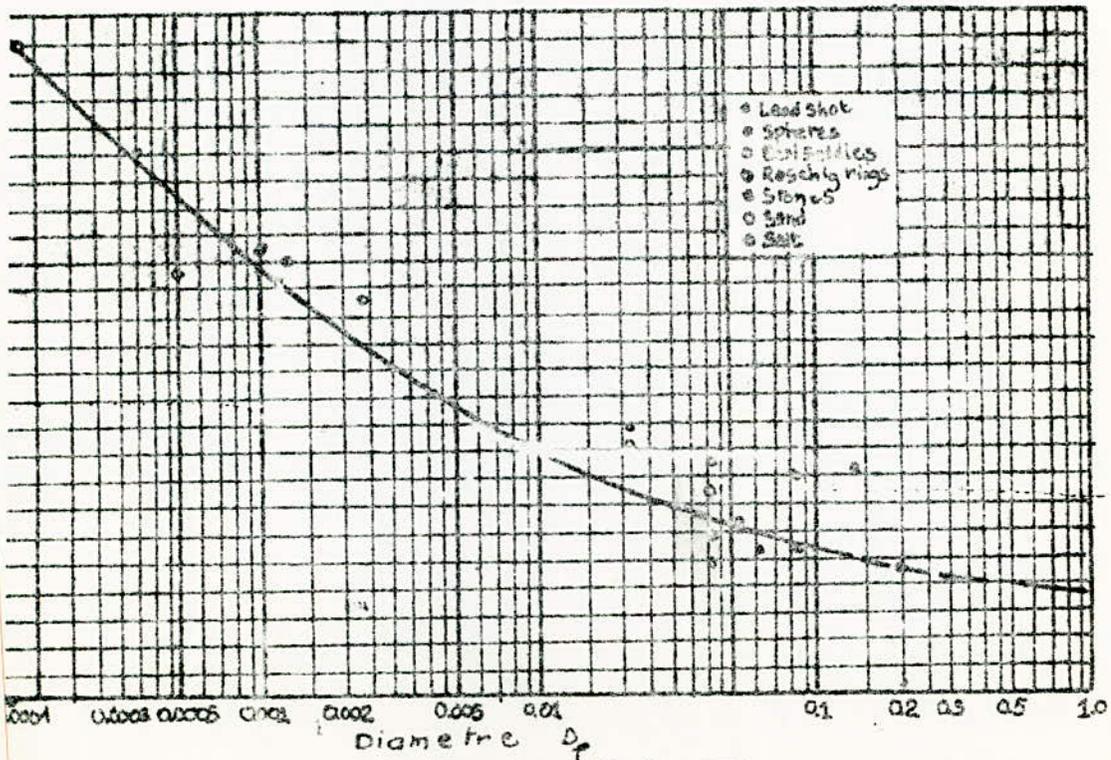
Silverblatt (1954) opérant sur les fines de charbon a montré que l'exposant n n'est pas une constante en ce qui concerne la tension superficielle. L'influence étant beaucoup plus marquée aux basses tensions superficielles. Les mêmes résultats ont été obtenus en opérant avec de la poudre de cellulose dont les dimensions des fibres variaient de 1 à 20 microns (Fig 17)

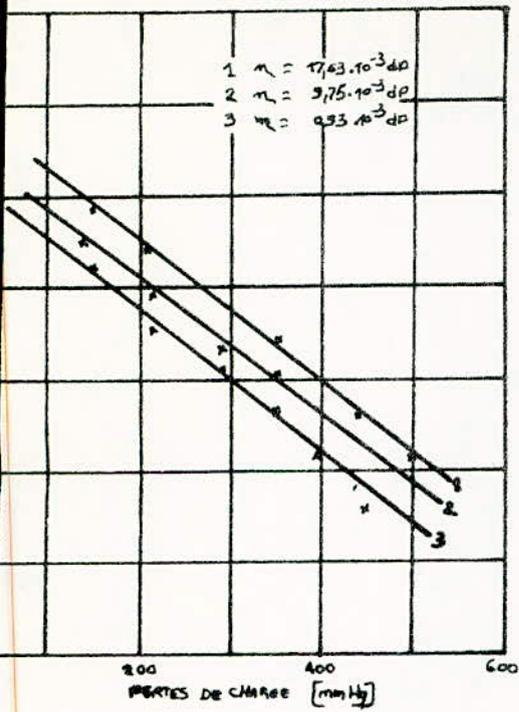
Pour une perte de charge constante et pour une même épaisseur du gâteau de filtration, la masse du liquide "capillaire" est moins importante pour des particules de plus grand diamètre (fig 17)

saturation en fonction de la perméabilité relative. fig-14-



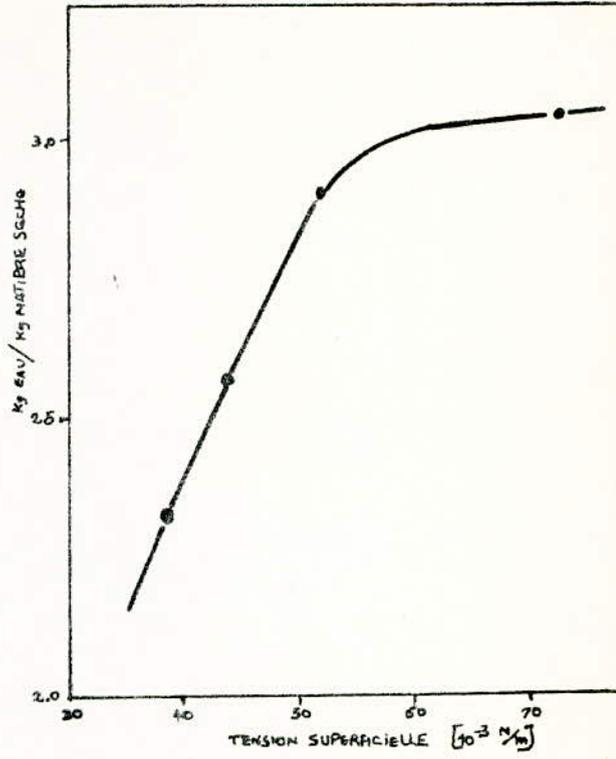
Diamètre des particules en fonction
de l'exposant γ fig-15-





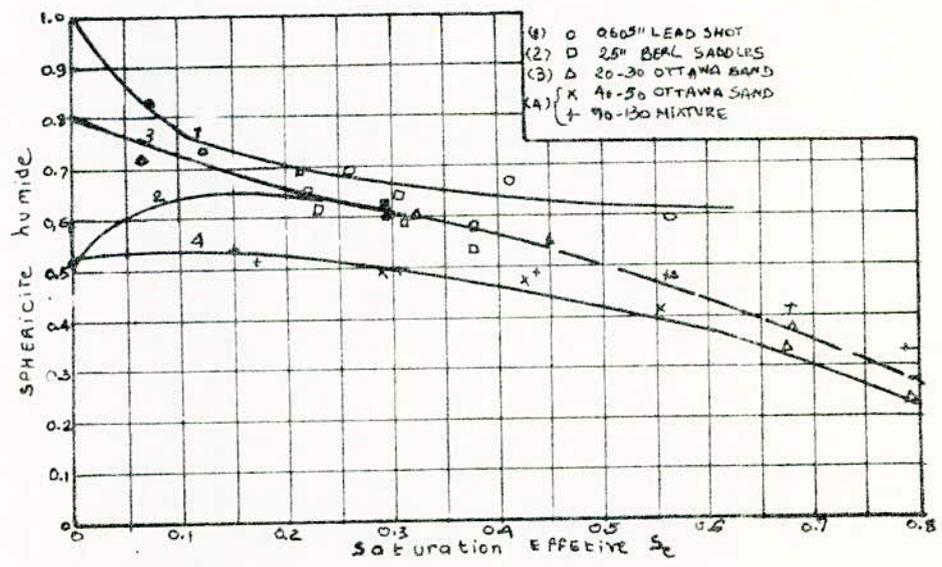
Influence de la pression sur l'humidité résiduelle de suspensions de fibres de cellulose en suspension dans l'eau à différentes viscosités

fig. - 11 -



Influence de la tension superficielle sur l'humidité résiduelle d'un gâteau formé de fibres de cellulose

fig. - 12 -



SPHERICITE HUMIDE POUR DE PETITES PARTICULES en fonction de la saturation effective

fig-13-

b) Influence de la granulométrie :

Lorsque la taille des particules augmente, on note une diminution de la saturation résiduelle. Ceci peut s'expliquer par une augmentation de la porosité entraînant une diminution des forces de rétention capillaire.

c) Influence de l'acidité de la terre :

Fahn et Fenderl ont pu conclure d'après leurs travaux que la rétention de l'huile augmente avec l'acidité de la terre.

d) Influence de la teneur en eau de l'huile et l'humidité de la terre :

Dans le cas d'une huile renfermant 0,06 % d'eau et d'une terre anhydre, la rétention de l'huile est peu influencée, elle est légèrement supérieure à celle qui est donnée par un milieu contenant de l'huile (0,06 %) et une terre humide (10 % d'eau).

IV - LAVAGE DU GATEAU - ECOULEMENT DIPHASIQUE EN MILIEU POREUX :

En fin de filtration, un lavage du gâteau s'impose afin de réduire la quantité de filtrat retenue dans les pores. Ceci peut s'obtenir en poussant ce dernier à l'aide d'un second fluide avec lequel il est immiscible (air ou eau en général) : il s'agit d'un problème d'écoulement diphasique en milieu poreux.

IV.1. Écoulement diphasique en milieu diphasique

Lorsque l'air passe dans un gâteau de filtration, le filtrat bouche préférentiellement les micropores et tend à augmenter la "sphéricité" des particules. A partir de l'équation de filtration on peut calculer la perméabilité à l'air avec une bonne approximation en remplaçant ϵ par :

$$\epsilon' = \frac{1 - S}{1 - S_r} \epsilon \quad (19)$$

où ϵ' est la porosité humide définie par le rapport entre le volume occupé par l'air à saturation S_r en liquide et le volume total .

Souvent la perméabilité du gâteau à la saturation résiduelle est très voisine de la perméabilité du produit sec.

Lorsque la saturation varie de 1 à S_r , la perméabilité au liquide diminue pour tendre vers zéro. La perméabilité du gaz part de zéro ($S-1$) pour atteindre une valeur sensiblement égale à la perméabilité du solide sec: cette évolution est représentée sur la fig. 10 extraite de BROWNELL (1950).

IV.1.1. Écoulement du liquide [16]

Dans le type d'écoulement qui nous intéresse, on vient de voir que les 2 phases ne s'écoulent pas dans le même milieu, la phase mouillante (l'huile) s'écoule le long des parois des pores qu'elle mouille tandis que la phase non mouillante (l'air) s'écoule au sein d'un milieu poreux de plus faible porosité (variable au cours du temps, à mesure qu'elle pousse la phase mouillante). Sans employer les notions de perméabilités relatives déjà définies, on peut décrire l'écoulement de chacun des 2 fluides à l'aide des nombres sans dimension, un facteur de friction et un nombre de Reynolds, d'une façon analogue à l'écoulement monophasique (confère II-2).

Pour l'écoulement du liquide on pose :

$$Re'' = \frac{D_p \rho V}{\mu_m S_e^y} \quad (20) \text{ selon Brownell Katz}$$

$$\text{ou } Re'' = \frac{D_p V F_{re} \rho}{\mu S_e^y} \quad (21) \text{ selon Brown}$$

$$\text{et } f'' = \frac{2 D_p (\Delta E) \varepsilon^n S_e^{2y}}{L V^2 \rho} \quad (22) \text{ selon Brownell-Katz}$$

$$\text{ou } f'' = \frac{2 D_p (\Delta E) S_e^{2y}}{L V^2 \rho F_f} \quad (23) \text{ selon Brown}$$

La fig. 7... représente alors la variation des facteurs de friction f'' en fonction des nombres de Reynolds Re'' correspondants.

Dans ces expressions y est défini comme l'exposant devant être appliqué à la saturation effective pour corriger la vitesse superficielle de la phase mouillante. En d'autres termes le rapport (V/S_e^y) représente la vitesse qui sert à définir le système. y est obtenu à partir de la fig [15]

Les exposants m et n sont des facteurs correctifs dépendant à la fois de la porosité ε et de la sphéricité ψ utilisés par Brownell-Katz fig [16]. Quant à la F_{re} et F_f ,

ce sont les facteurs correctifs, dépendant également de la sphéricité ψ et de la porosité ε utilisés par Brown et obtenus à partir de la fig [19] et [20]

IV.1.2. Écoulement du gaz [16]

L'écoulement du gaz se fait dans un milieu ayant une porosité réduite, du fait de la présence du liquide. On peut alors poser :

$$Re'' = \frac{D_p \rho V}{\mu (\epsilon')^{m'}} \quad (24) \text{ selon Brownell-Katz}$$

$$\text{ou } Re''' = \frac{D_p v \rho F_{f'}}{\mu} \quad (25) \text{ selon Brown}$$

$$\text{et } f''' = \frac{2 D_p (\Delta P) (\epsilon')^{m'}}{L V^2} \quad (26) \text{ selon Brownell-Katz}$$

$$\text{ou } f''' = \frac{2 D_p (\Delta P)}{L V^2 \rho F_{f'}} \quad (27) \text{ selon Brown}$$

Les exposants m' et n' dépendant de la sphéricité humide ψ et de la porosité humide ϵ' ; peuvent être obtenus à partir de la fig. 16...

Quant à $F_{re'}$ et $F_{f'}$, ils dépendent tous 2 à la fois de ψ et ϵ' , et sont obtenus à partir de la fig. 10 et 20

La fig. 7... représente également la variation des facteurs de friction f''' en fonction des nombres de Reynolds Re''' correspondants.

IV.2. Méthode de calcul du lavage [17] et [18]

La prévision de l'allure d'élimination du liquide dans un gâteau de filtration, et de la quantité d'air nécessaire pour atteindre la saturation résiduelle désirée présente un grand intérêt économique. Deux méthodes de calculs sont proposées par Brownell-Katz et Brown.

IV.2.1. Première méthode :

- Choix de $(\Delta P / L)$ gradient de pression de lavage
- Calcul du nombre de capillarité $N_c = \frac{D_p^2 \epsilon}{\mu} n-m$

32 L case

- Calcul de $Sr (N_c)$ d'après (18)

- Calcul de $\epsilon = 1 - \frac{\rho_{sec}}{\rho_p}$ et lecture de ψ sur la fig. 9.

ρ_{sec} = masse volumique du gâteau sec

ρ_p = masse volumique des particules

- Calcul de $D_p = \left[\frac{\sum (m_i / d_i^2)}{\sum (m_i / d_i^3)} \right]^{1/2}$ et lecture de y sur la fig. 10

- Choix de valeurs discrètes de S , appartenant à l'intervalle

[1 Sr]

Pour chaque point de ce découpage, on effectue les calculs suivants :

- . Calcul de S_e d'après (16)
- . Calcul de V'_1 = vitesse superficielle du liquide d'après (20) et (22)

pour simplifier, on considère ici que l'écoulement du liquide est laminaire d'où :

$$f'' = \frac{64}{Re''}$$

Il faut donc vérifier que $Re'' < 1000$, une fois le calcul de V'_1 fait.

Calcul de la quantité de liquide éliminée.

Si V' est le volume de filtrat extreint du gâteau, on peut écrire :

$$ds = \frac{dv'}{ELA} \quad (29)$$

$$\text{avec } S = \frac{S_e - 2 S_e S_r + S_r}{1 - S_e S_r} \quad (30)$$

en différenciant (30) et en la substituant à l'équation (29) on obtient :

$$(1 - S_r)^2 dS_e = \frac{dV'}{ELA}$$
$$\text{or } \frac{dV'}{dt} = \frac{dV'}{A dt} \Rightarrow dV' = \frac{dV'}{A} dt = ELA \left[\frac{1 - S_r}{1 - S_r S_e} \right]^2 dS_e$$
$$\text{ou } dt = \frac{EL}{A^2} \left[\frac{1 - S_r}{1 - S_r S_e} \right]^2 dS_e \quad (31)$$

En considérant que l'écoulement du liquide est laminaire, le calcul peut être simplifié en remplaçant V'_e par son expression.

Calcul de $\frac{dt}{dSe} = \frac{\epsilon L^3 \mu}{K(\Delta P)} \left[\frac{1 - S_0}{1 - S_0 e} \right]^2$ pour chaque valeur de S_0

avec $K = \frac{\rho_p^2 \epsilon^{1-n}}{32}$

- . tracé du graphe $\frac{dt}{dSe} = f(S_0)$
- . Détermination de chaque valeur de $t(S_0)$ par intégration graphique de ce graphe.
- . Tracé de $S = S f(t)$

CALCUL DU VOLUME D'AIR NECESSAIRE

Pour chaque valeur de S_0 correspondant au découpage de l'intervalle de variation de S , on suit les étapes suivantes :

- . calcul de ϵ' d'après (19)
- . lecture de ψ' (S_0) sur la fig 13
- . calcul de $V'a$ = vitesse superficielle de l'air d'après (24) et (26)

Pour simplifier, on considère dans un premier temps que l'écoulement de l'air est laminaire.

$V'a$ étant déterminée, on calcule Re''' et dans le cas où $Re''' > 100$ on se trouve alors face à un écoulement turbulent. On utilise alors un terme correctif $F = \frac{Re'''}{Re'''_{calculé}}$ que l'on obtient à partir de la fig d'où Re''' et $V'a$.

- . Calcul de $V'a$ ramené à l'état standard $\rightarrow \left(\frac{V'a}{\Delta T} \right) St = (V'a)_{St}$

On peut alors tracer $\left(\frac{V_a}{AE}\right)_{st} = f(t)$

$(V_a)_{st}$ étant fonction de S_e , les temps correspondants à chaque $(V_a)_{st}$ sont ceux obtenus pour chaque S_e lors du calcul de la quantité de liquide éliminé.

Le volume d'air nécessaire est alors déterminé de la façon suivante :

$$V_a = \int_0^t m_{a1} A dE \quad (32)$$

A = Aire de la surface filtrante.

IV. 2.1.2. Deuxième Méthode.

. choix de (DP/L) gradient de pression de lavage.

. Calcul du nombre de capillaires $N_c = \frac{AP F_a (AP)}{32 F_f L r^{1/2} \cos \theta}$

. Calcul de $S_r (N_c)$ d'après (18)

. Calcul de $\epsilon = 1 - \frac{P_{a1c}}{P_p}$

et

lecture de $\psi(\epsilon)$ sur la fig 17

. Calcul de $D_p = \left[\frac{\sum (M_i/D_i)}{\sum (M_i/D_i^3)} \right]^{1/2}$ et lecture de y sur la fig 15

. Choix des valeurs discrètes de S , appartenant à l'intervalle

Pour chaque point de ce découpage, on effectue les calculs suivants :

- . calcul de S_e d'après (16)
- . Calcul de V'_1 d'après (21) et (23)

Pour simplifier, on considère ici que l'écoulement du liquide est laminaire d'où :

$$f_{11} = \frac{64}{Re''}$$

une fois V'_1 calculée, il faut alors vérifier que $Re'' < 100$

Calcul de la quantité de liquide éliminée

Dans l'équation (31) le terme $\left[\frac{(1-S_e)/(1-S_e \cdot S_e)}{2} \right]$ est égal à 1 quand la saturation effective est égale à l'Unité, et égal à $(1 - S_r)^2$ quand S_e est égale à Zéro. Etant donné que le facteur $(1-S_r)$ est toujours près de l'Unité, Brown suggère une bonne approximation de $\left[\frac{(1-S_e)/(1-S_e \cdot S_e)}{2} \right]$ en utilisant la moyenne arithmétique $\left[\frac{(1-S_r)^2 + 1}{2} \right]$ qui est un terme constant.

L'équation (31) devient alors

$$t = \frac{\epsilon L^2 \mu}{k} \left[\frac{(1-S_r)^2 + 1}{2} \right] \int_1^{y_e} \left(\frac{dy}{y^2} \right) \quad (23)$$

par intégration on obtient

$$\frac{t}{C_t} = \frac{(1 - S_r)^2 + 1}{2} \frac{S_e (1-y) - 1}{y - 1} \quad (34)$$

$$\text{avec } C_t = \frac{\epsilon L^2 \mu}{k \Delta P} = \frac{\epsilon L^2 \mu \cdot 32 F_p}{\Delta P^2 F_{Re} \Delta P}$$

C_t prend les unités du temps.

Pour calculer la quantité de liquide éliminé, il convient alors de
. calculer $\frac{t}{C_t}$ pour chaque valeur de Se .

Tracer $S = f \left(\frac{t}{C_t} \right)$

Calcul du volume d'air nécessaire.

Pour le calcul de ψ' et ε' , on procède de la même manière que dans IV.2.1.

. tracé de $V'a = f \left(\frac{t}{C_t} \right)$

$\frac{V'a}{V_a}$ étant calculé d'après le produit : $\frac{F_{Re'}}{F_{f'}} \times \frac{F_f}{F_{Re}}$ pour

Chaque valeur de Se .

V_a = Vitesse superficielle de l'air dans l'écoulement
monophasique, pour le (DP/L) choisi.

Le volume d'air s'obtient alors par $V_a = \int_0^t V'a \Lambda dt$ ou
encore $\int_0^{t/C_t} \left\{ \frac{V'a}{V_a} \right\} \Lambda d \left(\frac{t}{C_t} \right) = \int_0^{t/C_t} \frac{V'a \Lambda}{V_a C_t} dt = \frac{V_a}{C_a} (35)$

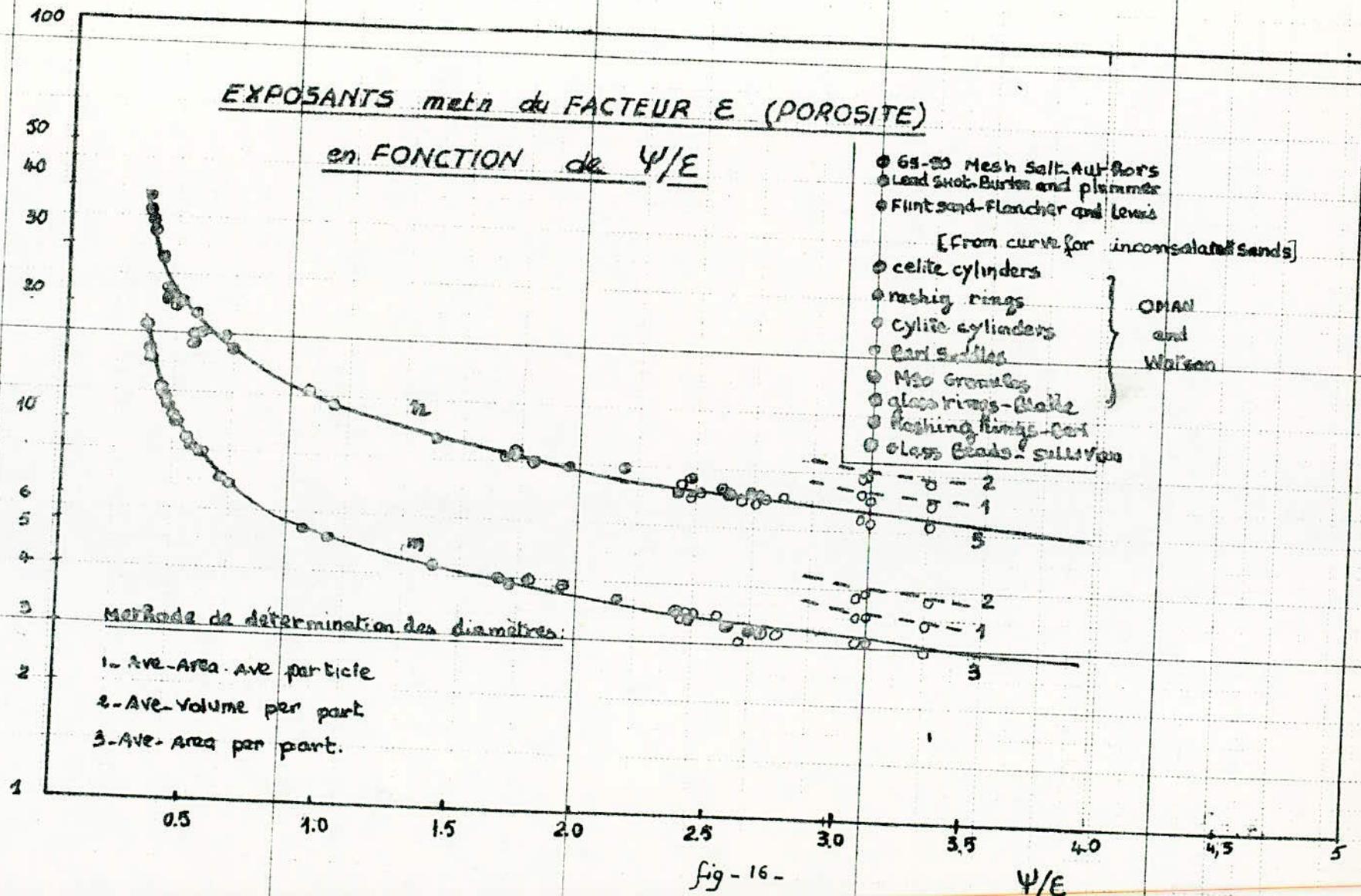
$$ou : C_a = V_a C_t = \left(\frac{DP}{L \mu_a} \right) \left(\frac{\mu_l \varepsilon L^2}{\Delta P} \right) = \frac{\varepsilon L \mu_l}{\mu_a}$$

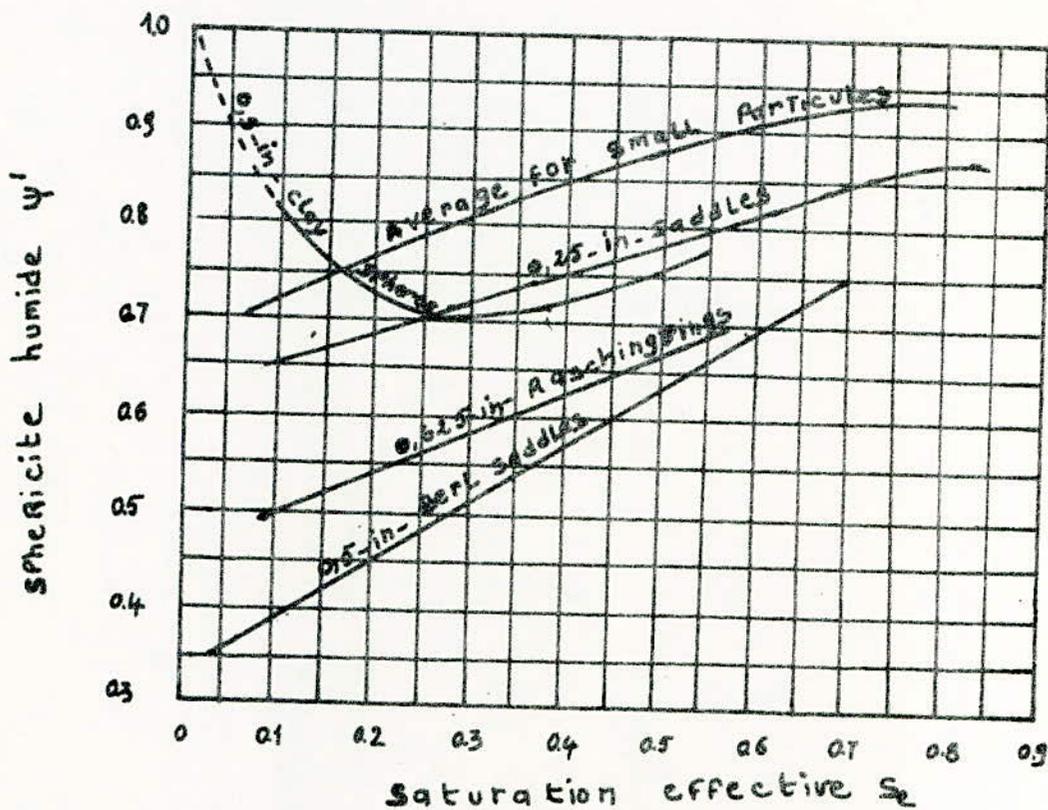
μ_l = Viscosité du liquide

μ_a = Viscosité de l'air

. tracé de $\frac{V_a}{C_a} = f \left(\frac{t}{C_t} \right)$

EXPOSANTS DE LA POROSITE
m et n





Sphericite humide en fonction de la fig: 17.
Saturation effective.

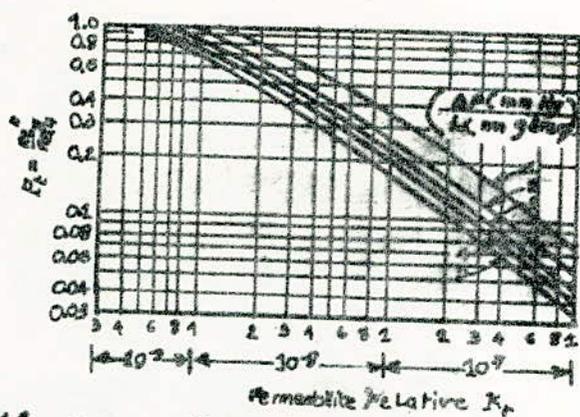


Fig. 18. Correction pour la turbulence pour
différentes pertes de charge

19. Facteur correctif pour le nombre de reynolds (F_{Re}) en fonction de la porosité et la sphéricité.

Facteur correctif du nombre de Reynolds
en fonction de la porosité et de la sphéricité
(selon Brown)

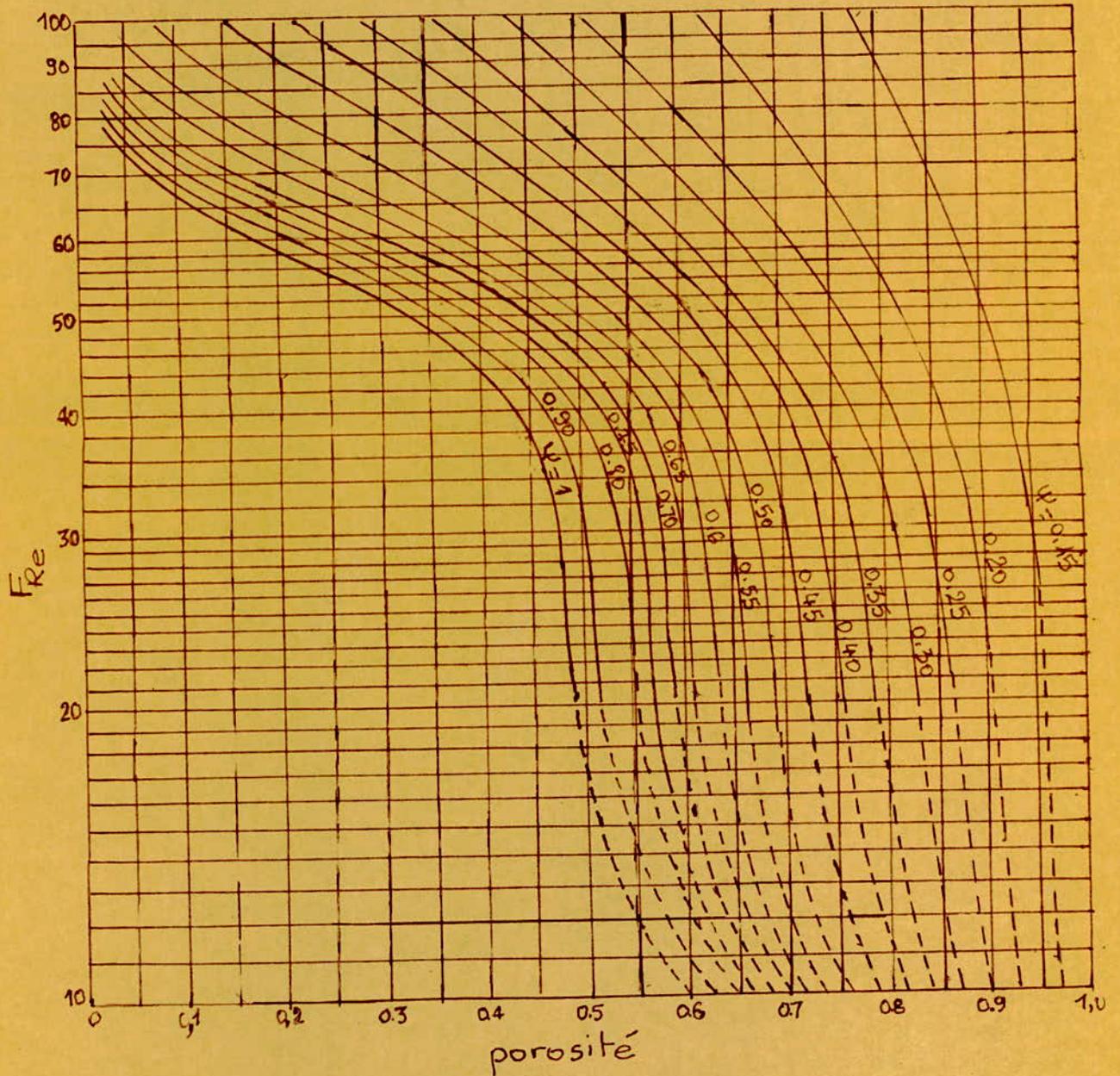


Figure . 5

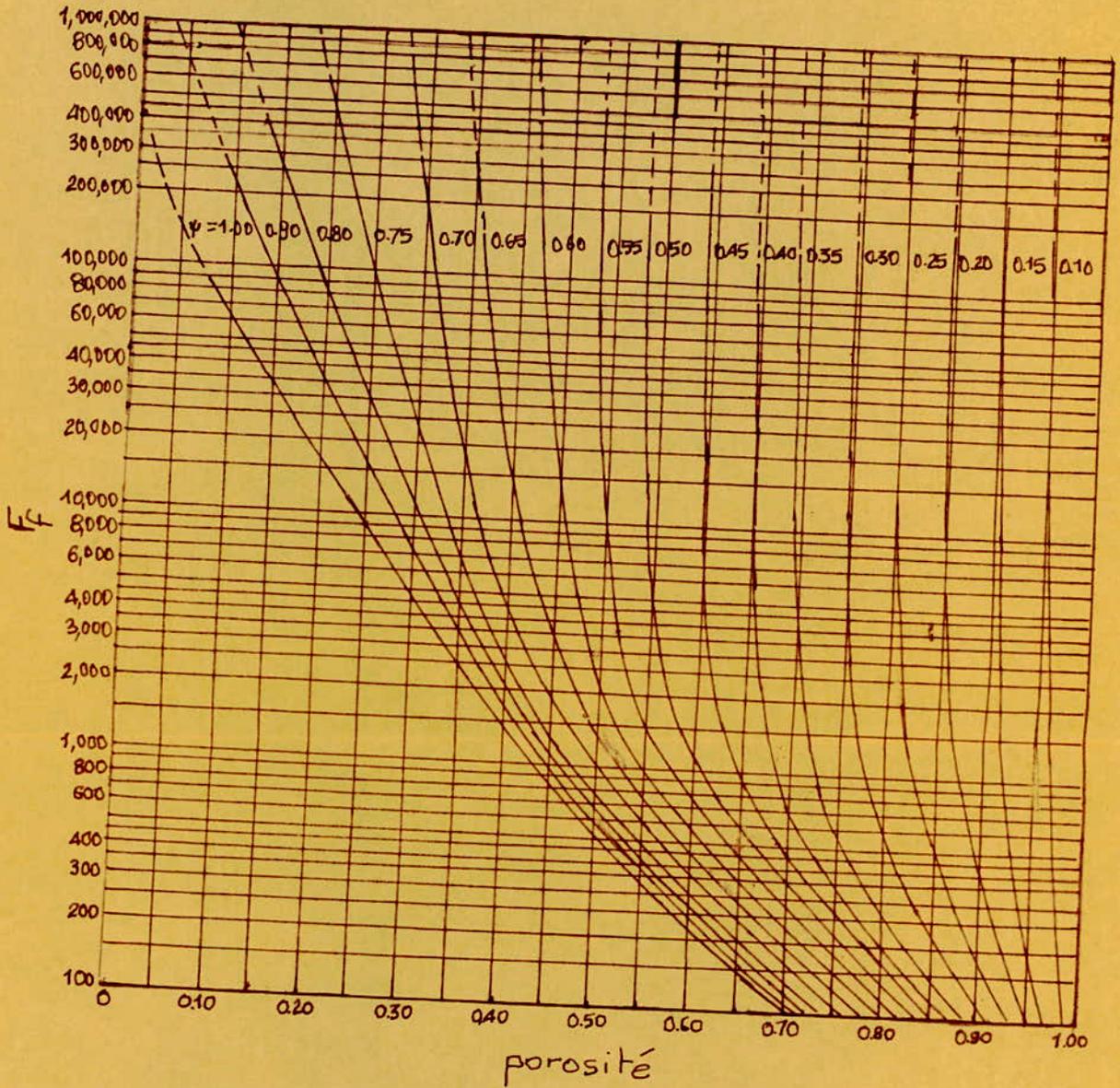


Fig. 6 Facteur correctif du facteur de friction
 en fonction de la porosité et
 de la sphéricité.
 (Selon Brown)

20. Facteur correctif pour le facteur de friction (F_f) en fonction de la porosité et de la sphéricité.

V.2. Validité des calculs de lavage :

Les courbes utilisées dans nos calculs sont établies pour une certaine catégorie de particules (billes de quartz, sel, anneaux raschig, anneaux en verre, sphères en celite).

Brownell et Katz ont fait leurs calculs sur des billes de plomb, celles-ci ayant des caractéristiques voisines de celles énumérées, et ont constaté en ce qui concerne la saturation en fonction du temps, un écart de 10 à 20 % par rapport à l'expérience.

Aussi, vu la taille de nos particules on s'attend à rencontrer un écart entre les calculs et la réalité.

On pourra attribuer celui-ci au fait que :

- La courbe $\psi = f(\xi)$ fig..... nous donne une valeur approximative de ψ puisqu'elle est obtenue à partir de plus grosses particules, alors qu'un examen au microscope nous aurait donné une valeur proche de la réalité.
- La sphéricité mouillée ψ' est obtenue à partir d'une courbe moyenne établie pour des petites particules mais moins fines que les nôtres.
- Les valeurs de m et n ou m' et n' sont obtenues en fonction du rapport $\frac{\psi}{\xi}$ ou $\frac{\psi'}{\xi'}$ or des erreurs sont déjà introduites dans $\frac{\psi}{\xi}$ ou $\frac{\psi'}{\xi'}$ d'où répercussion sur la détermination de ces exposants.
- Dans la détermination de S_r , des erreurs sont également introduites, puisque des expériences faites sur de la cellulose (celle-ci ayant un diamètre encore supérieur à celui de nos particules) ont donné des points en dehors de la droite $D_r = f(N_c)$
- Il a fallu également faire une extrapolation pour déterminer y en fonction de D_p d'où erreur commise.
- Les facteurs F_{re} et F_f sont obtenues à partir des courbes fig 4 et fig 10... d'où possibilité d'erreurs de lecture.

V. CALCUL DU LAVAGE

V.1. Calculs

On a effectué les calculs suivant les deux méthodes à P égale à 4, 6 et 8 bars. Les résultats obtenus sont portés dans les tableaux 1 à 9 dont certains se trouvent dans l'annexe B. Les chiffres portés dans ces tableaux n'ont pas été arrondis afin de ne pas entraîner d'erreur dans les calculs consécutifs. Cependant seuls quatre chiffres sont pris en considération pour tracer les courbes théoriques 20 à 25. La correction pour le régime turbulent (cf. IV.2.) n'a jamais été nécessaire du fait que l'on a toujours vérifié que l'écoulement se développe en régime laminaire.

V.2. Analyse des résultats théoriques

D'après les résultats obtenus on voit que les méthodes de Brownell-Katz et Brown donnent des valeurs de Sr dont l'écart est égal à 23% .

tableaux	Brownell-Katz		TABLEAUX	Brown		Sr/Sr
	Sr	P (bars)		Sr	P (bars)	
1&2	0.575	4	7	0.470	4	23%
3&4	0.516	6	8	0.421	8	23%
5&6	0.479	8	9	0.390	9	23%

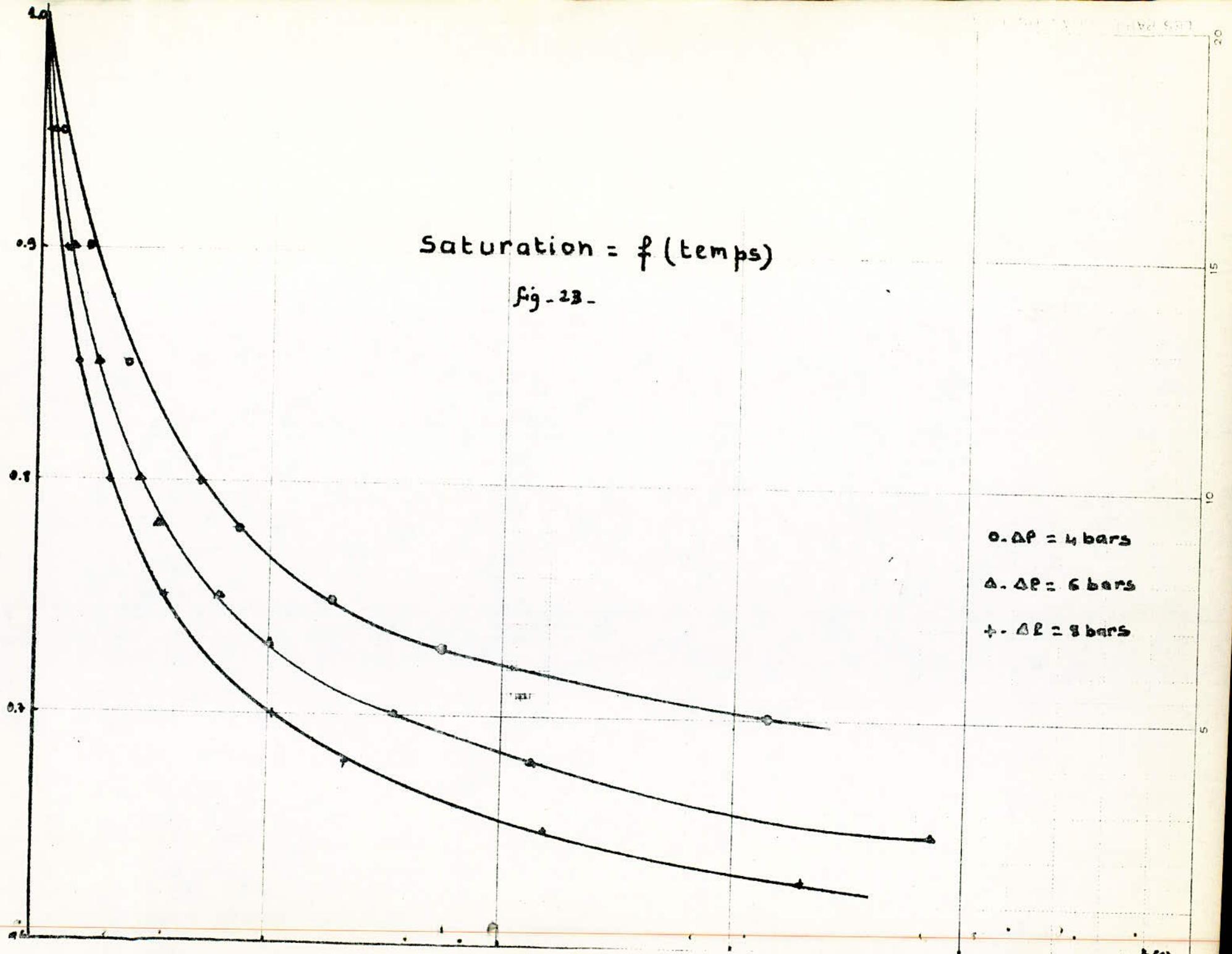
Les calculs de volume d'air donnent des résultats anormaux quant à la méthode de Brown: à certains moments le rapport v'_a/v_a devient supérieur à l'unité et on constate un croisement anormal des courbes de lavage (fig. 24).

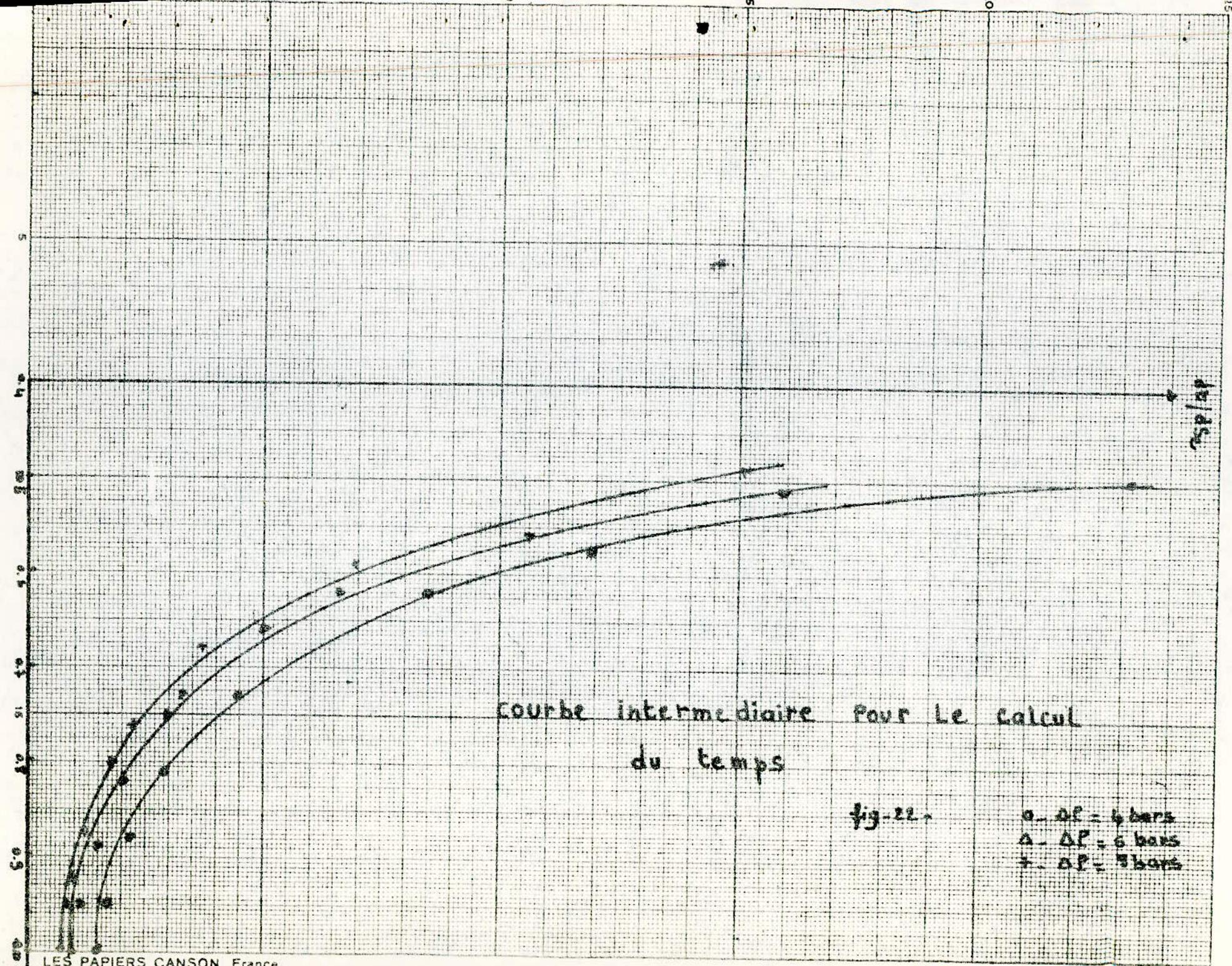
En ce qui concerne le temps de lavage on peut comparer les temps nécessaires pour amener le gâteau à une saturation effective donnée. D'après l'allure des courbes dt/dSe en fonction de Se on a choisi la valeur $Se=50\%$.

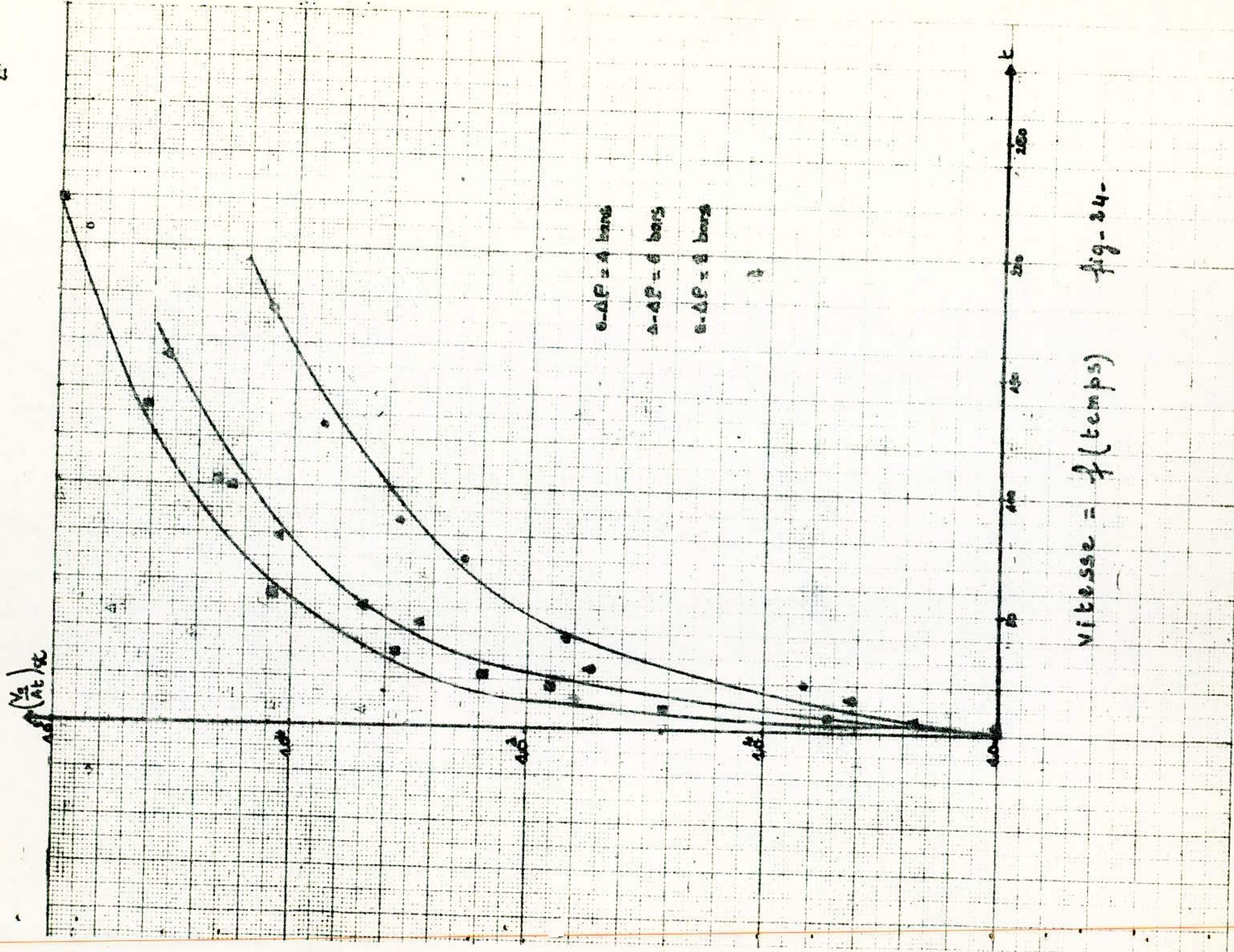
On obtient alors dans chaque cas considéré et d'après les deux méthodes les résultats suivants:

	Brownell-Katz	Brown	$\Delta t/t$
P=4bars	314	207	52%
P=6bars	248	92	169%
P=8bars	180	86	100%

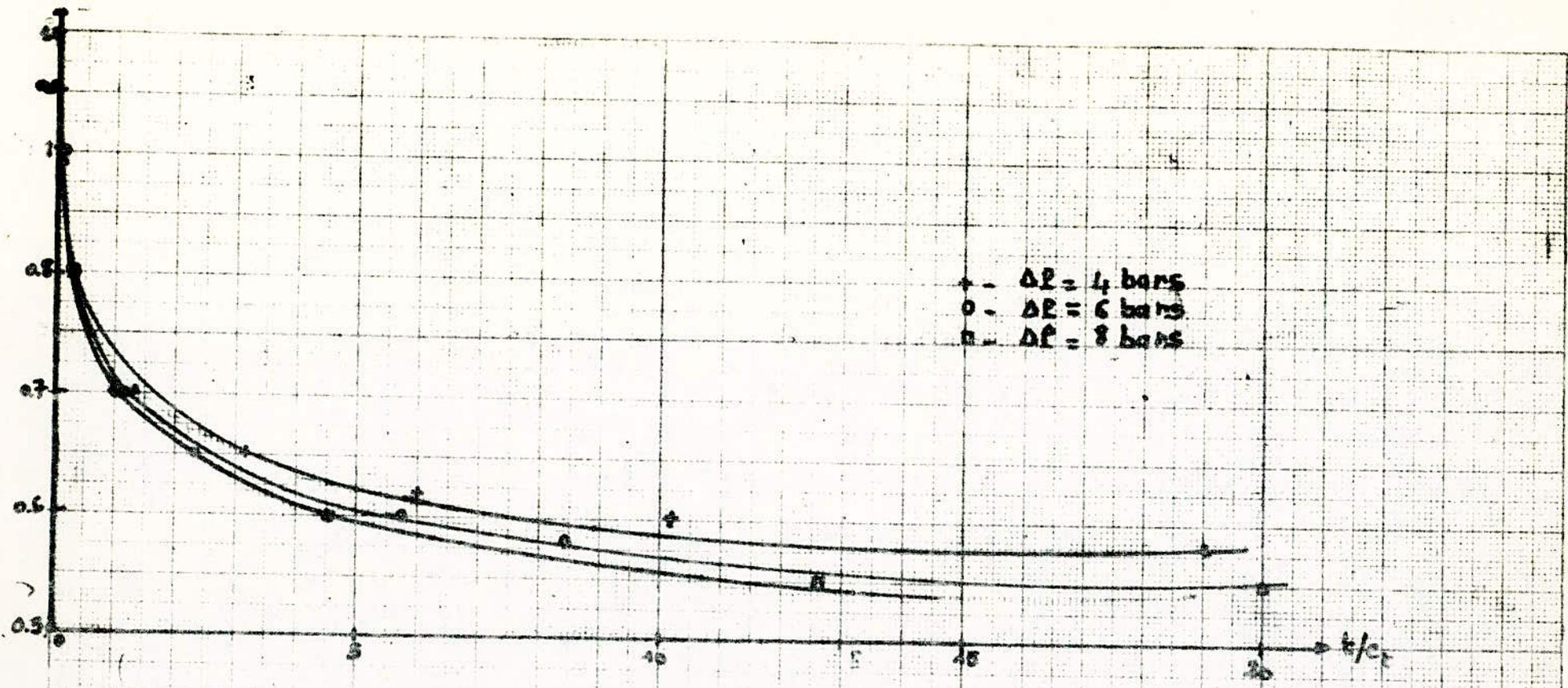
On constate d'après ce tableau que l'écart entre les deux méthodes est très fort : non seulement Brownell-Katz et Brown utilisent des facteurs correctifs distincts (m_n et $F_{Re} & F_f$) mais aussi des allures différentes pour la variation de la sphéricité mouillée en fonction de la saturation effective (fig. 14 et 18)... Une comparaison entre les deux méthodes et l'expérience permettra sans doute de choisir une des deux méthodes, sachant d'ores et déjà que la méthode de Brown , utilisée telle quelle, donne des résultats abhérents.





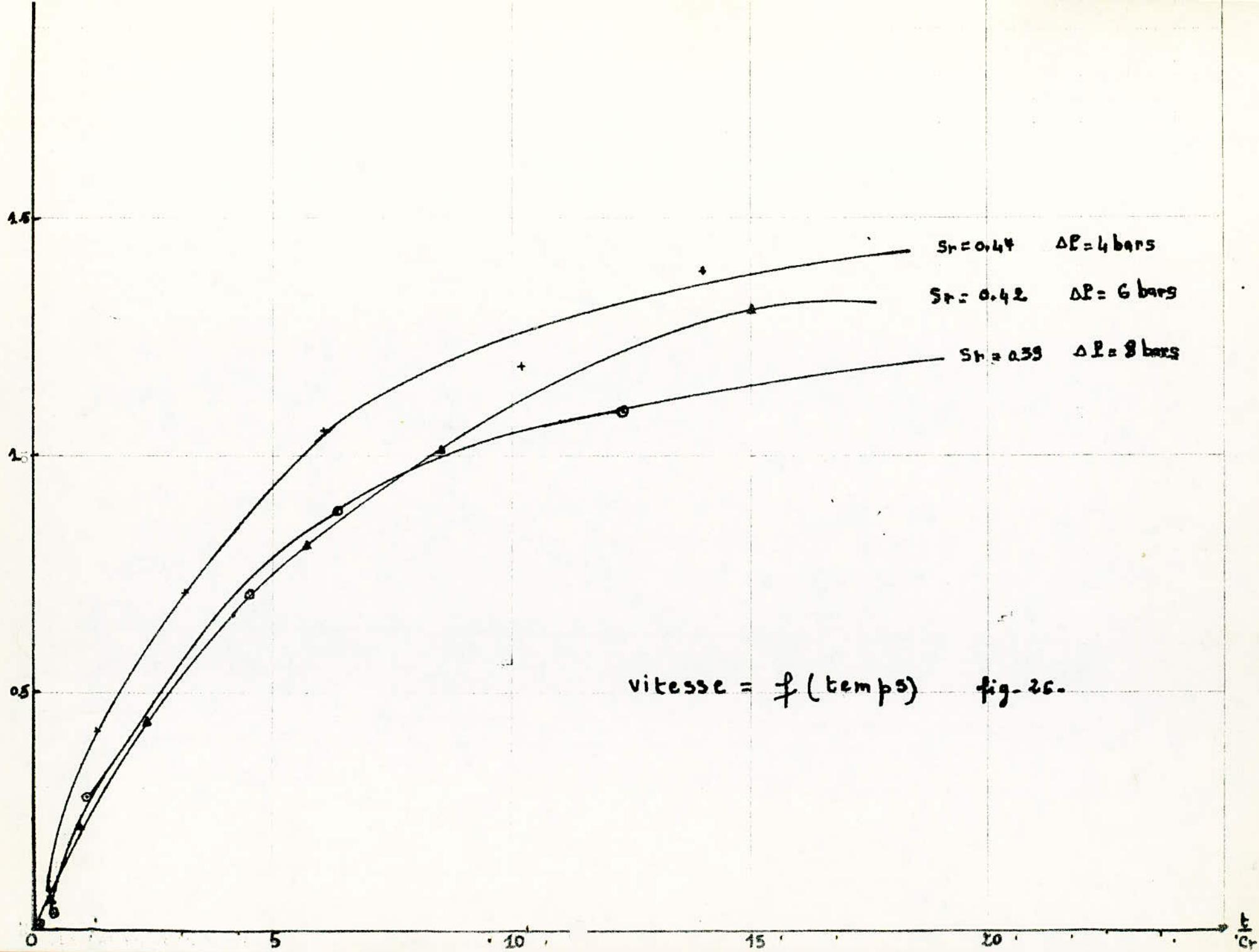


vitesse = $f(t \text{ temps})$ fig-24-

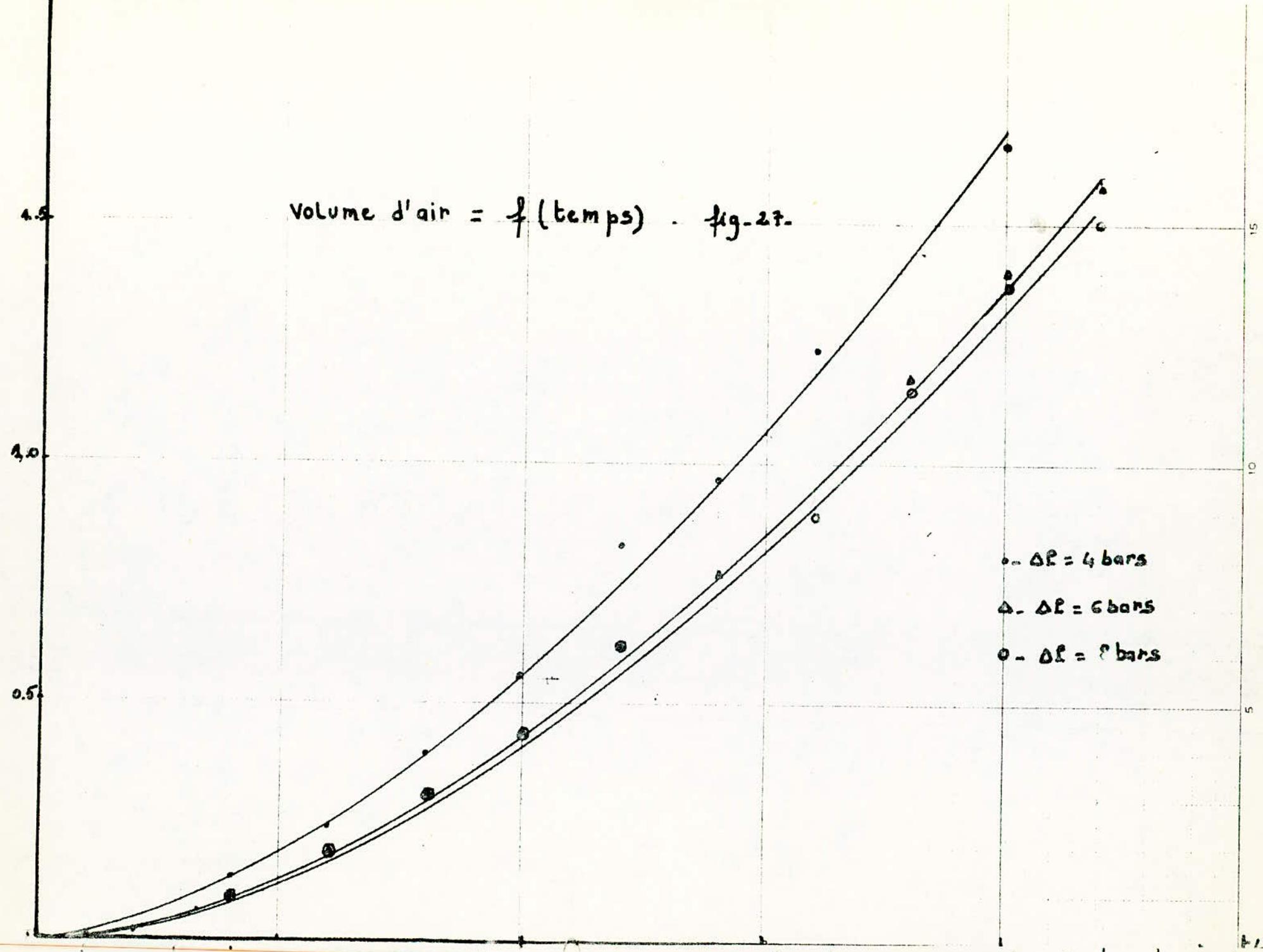


Saturation = f (temps)

fig. 25.



Volume d'air = f (temps) . fig-27.



VI. ETUDE EXPERIMENTALE :

Notre travail qui porte essentiellement sur l'élimination de l'huile dans les pores du gâteau, nécessite une opération de décoloration de l'huile, puis une filtration de la liqueur (huile + terre).

La première opération s'effectue à une température de 80°C avec une durée de 30 mn (optimum déterminé expérimentalement) et sous un vide de 350 mm de Hg. Quant à la seconde, elle a lieu à une température de 20°C et selon un débit de $9 \cdot 10^{-5}$ l/s ce qui correspond à: une vitesse de 0,040 m/s

Les conditions opératoires, pour le raffinage de l'huile, utilisées par l' UP5 de SOGEDIA sont les mêmes en ce qui concerne la décoloration. Mais pour la filtration, ils opèrent à une température de 40°C et avec un débit de $630 \cdot 10^{-3}$ l/s ; ce qui correspond à une vitesse de $2,68 \cdot 10^5$ m/s.

On envisagera plus loin les raisons qui nous ont empêchées de travailler dans les mêmes conditions.

VI.1. Orientation du travail expérimental :

L'expérience a montré que la saturation résiduelle est fonction du milieu, de l'épaisseur du gâteau, de la pression de lavage ainsi que la viscosité du liquide.

Il aurait été bon d'étudier l'influence de chacun de ces termes sur la saturation résiduelle. Cependant vu le peu de temps dont on dispose, on n'a pu faire que l'étude de l'influence de la pression sur celle-ci, en fixant les autres paramètres.

L'épaisseur du gâteau est fixée par la valeur du volume de liqueur filtrée. Une comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux nous permettra d'évaluer la validité des calculs effectués dans V, compte tenu de l'écart auquel on peut déjà s'attendre (confère V).

On proposera éventuellement de nouvelles valeurs pour les constantes de la relation (18) pour le système qui nous intéresse (bentonite de Maghnia - huile de colza - tournesol).

VI .2. APPAREILLAGE :

VII .2.1. Décoloration :

Les éléments de cette unité sont :

- Un bain thermostaté constitué par :
 - * Un bac
 - * Un agitateur électrique pour homogénéiser la température à l'intérieur du bac.
 - * Les résistances chauffantes
 - * Un thermomètre à contact.
 - * Un manomètre en U à mercure
 - * Une pompe à vide
 - * Un réacteur de 2 litres surmonté d'un couvercle à 5 entrées servant à :
 - prendre la température
 - Faire le vide
 - Introduire la terre
 - L'agitation
 - Soutirer la liqueur.

VII.2.2. Filtration et lavage :

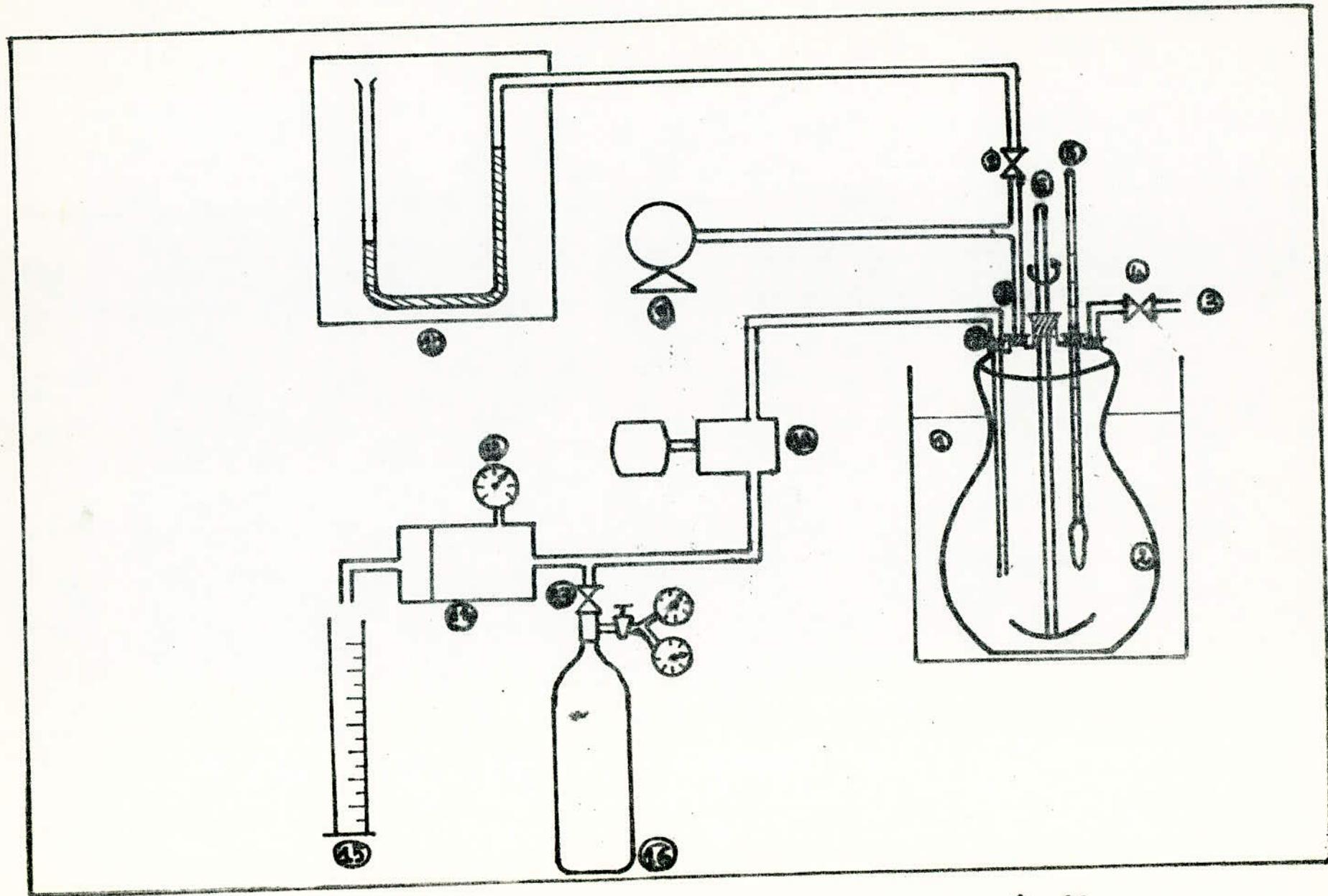
Cette opération de filtration a lieu dans un filtre presse, qu'on a conçu à cet effet.

L'ensemble de cette unité est constitué par :

- Une pompe volumétrique servant au soutirage de la liqueur.
- Le filtre-presse représenté à la fig. et constitué par :
 - * Une toile filtrante en coton fournie par SOGEDIA
 - * Une plaque perforée en inox servant de support.
 - * Un joint pour assurer l'étanchéité du filtre
 - * Un manomètre.
- Un agitateur pour assurer une homogénéisation de la liqueur.
- Un serpentin pour un refroidissement plus rapide de la liqueur.
- Une bouteille d'air comprimé munie d'un manomètre détenteur.

L'écoulement de filtrat se fait à l'extrémité du

recueilli dans un becher.



SCHEMA de L'INSTALLATION

fig. 29-

NOMENCLATURE

Rep.	DESIGNATION
1	bain thermostaté
2	Reacteur
3	entrée de La terre
4	vanne pour couper le vide
5	thermomètre
6	agitateur
7	vide
8	vanne pour réglage du vide
9	manomètre en U à mercure
10	Pompe à vide
11	soutirage de La Liqueur
12	Pompe doseuse
13	manomètre
14	filtre
15	becher
16	bouteille à air comprimé
17	vanne

VI.3.1. Décoloration :

Deux litres d'huile brute (neutralisée et séchée) sont introduits dans le réacteur que l'on ferme à l'aide d'un couvercle à 5 entrées. Les différents éléments qui constituent cette unité sont mis en place, puis l'appareil est mis en marche de la manière suivante :

- 1°) Mettre en marche le bain thermostaté et réglage de la consigne de chauffe à 80°C.
- 2°) Fermer toutes les vannes qui permettent l'entrée d'air dans le réacteur.
- 3°) Ouvrir la vanne communiquant avec le système, c'est-à-dire celle qui permet de faire le vide dans le réacteur.
- 4°) Mettre en marche la pompe à vide et fixer la pression à 350 mm de mercure à l'aide de la vanne qui relie le réacteur à l'atmosphère.
- 5°) Lorsque la température désirée est atteinte casser le vide en ouvrant le robinet en communication avec l'extérieur.
- 6°) Introduire la terre dans le réacteur et déclencher à ce moment le chronomètre.
- 7°) Fermer le robinet permettant l'entrée d'air, et ouvrir celui du vide.
- 8°) Au bout de 30 mn, changer la valeur de la consigne et ouvrir le robinet d'eau qui alimente la serpentin.
- 9°) Lorsque la température désirée est atteinte (40°C), arrêter le vide et ouvrir le robinet d'air.

VI.3.2. Filtration et lavage du gâteau :

Pendant le refroidissement de l'huile dans le réacteur, la toile en coton est placée sur la plaque et en serre le filtre-presse (procéder au serrage des boulons en croix).

- 1°) Brancher la pompe volumétrique.
- 2°) L'agitation du réacteur doit être sans cesse en marche afin d'éviter la décaugmentation de la terre au fond de celui-ci.
- 3°) Dès que le filtrat commence à s'écouler, déclencher le chronomètre et relever les valeurs de la pression en amont du filtre, en fonction du temps.

L'appareil est nettoyé après chaque opération.

Cette opération de filtration terminée, on procède à un lavage du gâteau. Pour cela, on débranche la pompe volumétrique et on ouvre la vanne d'entrée d'air comprimé. (la pression désirée est maintenue dans le filtre à l'aide du mano-détendeur).

Afin de mesurer la saturation du gâteau on effectue l'extraction par l'hexane de l'huile retenue dans un échantillon de dix grammes de celui-ci. La quantité extraite est évaluée par pesée. Durée d'extraction: 4 heures ; passage de l'huile extraite à l'étuve pendant 4 heures.

VI.4. Résultats expérimentaux

VI.4.1. Résultats

Les résultats obtenus lors de la filtration sont portés dans les tableaux 10 à 13. Les courbes correspondantes se trouvent à la figure 28. Quand au lavage du gâteau les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous et une droite est obtenue pour la saturation résiduelle S_r en fonction de la pression de lavage; celle-ci nous donnant alors une pente $n =$ et une ordonnée à l'origine $k =$.

P (bars)	S_r	temps de lavage (secondes)	$\Delta S_r / S_r$ B.&K.
2	0.896	3855	/
4	0.798	3020	0.28
6	0.741	2385	0.30
8	0.678	1222	0.29

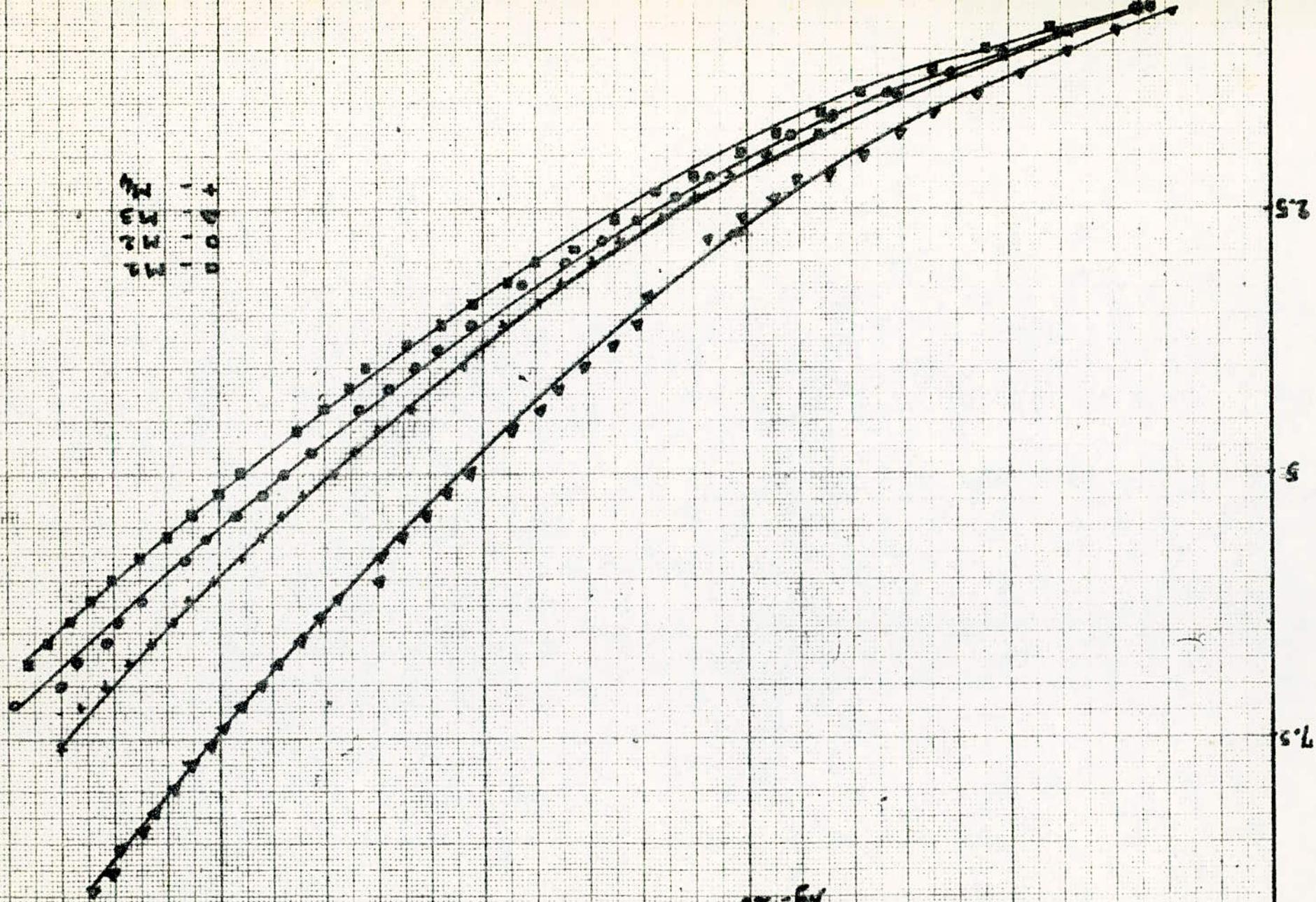
VI.4.2. Analyse des résultats expérimentaux

L'allure des courbes de filtration ne signifie pas forcément que le gâteau est compressible, car le débit varie du simple au double tout au long de la filtration (cf. tableau 13) : une partie du débit constant fourni par la pompe sert en fait à remplir la chambre du filtre. Pour obtenir un débit de filtrat constant on pourrait opérer horizontalement, mais au détriment de l'uniformité d'épaisseur du gâteau. On a dû faire la filtration à une température basse (17°C) à cause des pertes thermiques, ce qui a posé des difficultés vu la grande viscosité de l'huile. Si il avait été possible de travailler à une plus grande température (40°C comme à la SOGEDIA) on aurait obtenu un gâteau sûrement incompressible (cf. projet de Mlle Djerid).

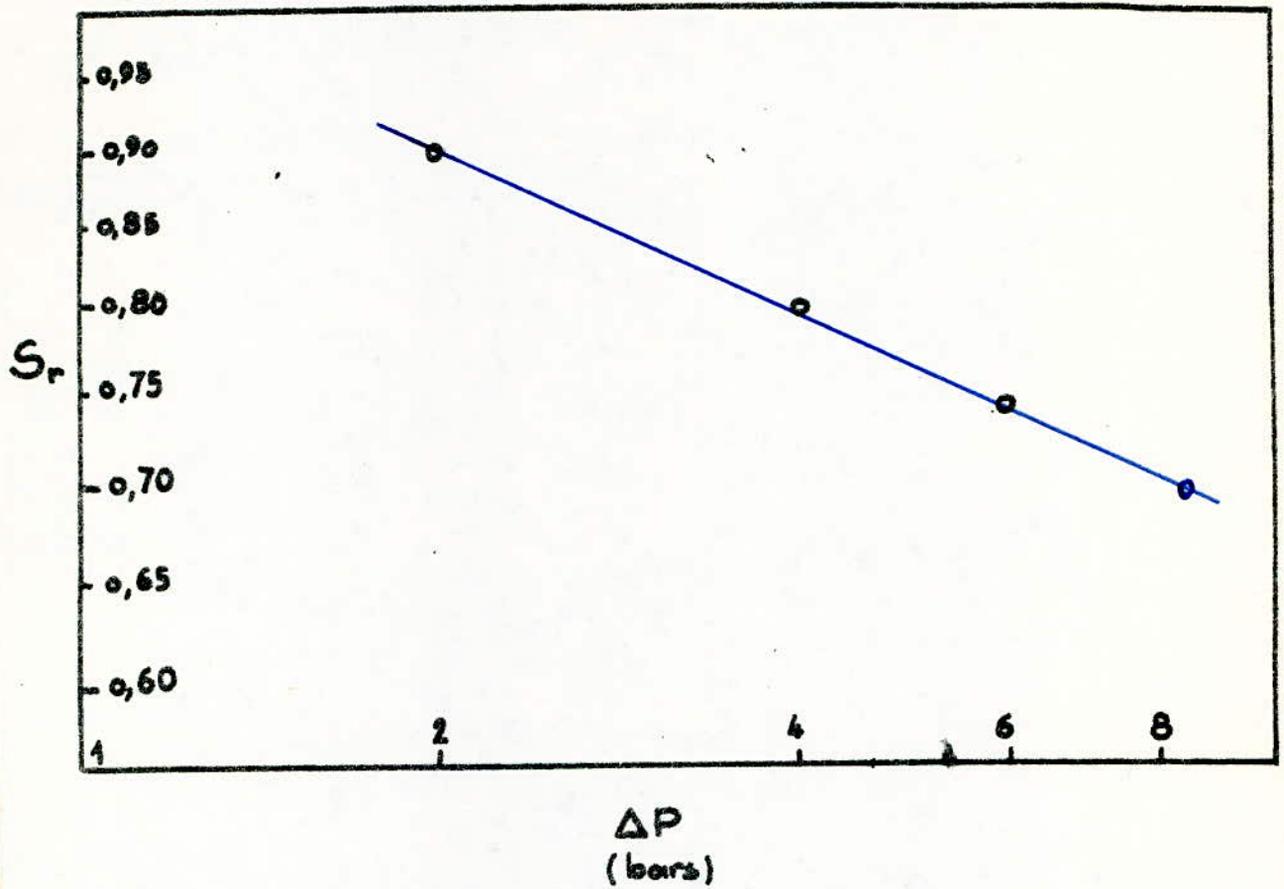
Dans le cas où l'on prendrait pour le calcul de S_r suivant les deux méthodes les valeurs $n=$ et $k=$ obtenues expérimentalement il est fort probable que l'écart entre les calculs et l'expérience soit réduit; il serait toutefois à vérifier la répétition de ces valeurs de n et k en étudiant expérimentalement l'influence sur S_r de chacun des termes du nombre de capillarité N_c qui varient pour le système huile de colza-tournesol bentonite de Maghnia, soit l'épaisseur du gâteau et la perméabilité .

ΔR (bars)

Pente de charge = $\frac{1}{\rho}$ (temps) Fig. 28



D
E
F
G
H



Saturation résiduelle
en fonction de la
Pression de Lavage
(valeurs mesurées)

fig. 29-

C O N C L U S I O N

Une installation a été conçue et réalisée au cours de ce projet; elle permet d'obtenir des résultats quantitatifs pour l'étude du lavage des gâteaux de filtration étudiés.

On a exposé deux méthodes de calcul du lavage : en comparant ces deux méthodes, proposées par Brownell-Katz et Brown, on constate que seule la première méthode donne des résultats assez proches de la réalité tandis que la seconde est à rejeter pour le système huile de colza -tournesol bentonite de Maghnia.

Afin d'obtenir de meilleurs résultats il convient; au stade où nous en sommes arrivés de :

- diminuer le volume de la chambre du filtre pour éviter la variation du débit de filtration
- mettre au point un moyen pour maintenir le filtre adiabatique (mettre le filtre dans un bain thermostaté par exemple)
- refaire les mêmes mesures de filtration et de lavage que l'on a faites, mais pour une température de 40°C ; comparer les résultats obtenus et l'expression de S_r en fonction de N_c avec ceux de Brownell Katz et les résultats présentés dans ce rapport
- étudier l'influence de l'épaisseur du gâteau .

ANNEXE "A"

DONNEES SUR LE SYSTEME HUILE DE COLZA -- TOURNESOL ET BENTONITE
DE MAGHNA.

DONNEES SUR LE SYSTEME HUILE DE COLZA TOURNESOL ET BENTONITE DE

MAGHNIA.

Huile :

- Mesure de la tension superficielle à l'aide du tensiomètre DOGNON ABRIBAT.

$$\sigma_{17^{\circ}\text{C}} = 58,5 \text{ dyn/cm}$$

- Mesure de la masse volumique à 17°C

$$\rho = 0,919 \text{ g/cm}^3$$

- Mesure de la viscosité à 17°C

$$\mu_{17^{\circ}\text{C}} = 0,031 \text{ PO}$$

Bentonite :

- Mesure de la surface spécifique à l'aide du perméabilimètre de Blaine

$$S = 10098,65 \text{ cm}^2/\text{g}$$

- Mesure de la porosité suivant la norme standard (mesure pour les ciments).

$$E = 0,65$$

- Mesure du diamètre moyen des particules à l'aide du compteur coulter :

$$D_p = 2,08 \quad (\text{cf distribution granulométrique})$$

- Mesure de la masse volumique (au picnomètre dans du benzène).



ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

SNOC - DRES. *Rouville*

Echantillon: BENTONITE

Origine:

CM - 220

Opérateur: HALOUANE

Date: 18/12/78

Orifice: 100µ

Etalonnage: 3,4µ

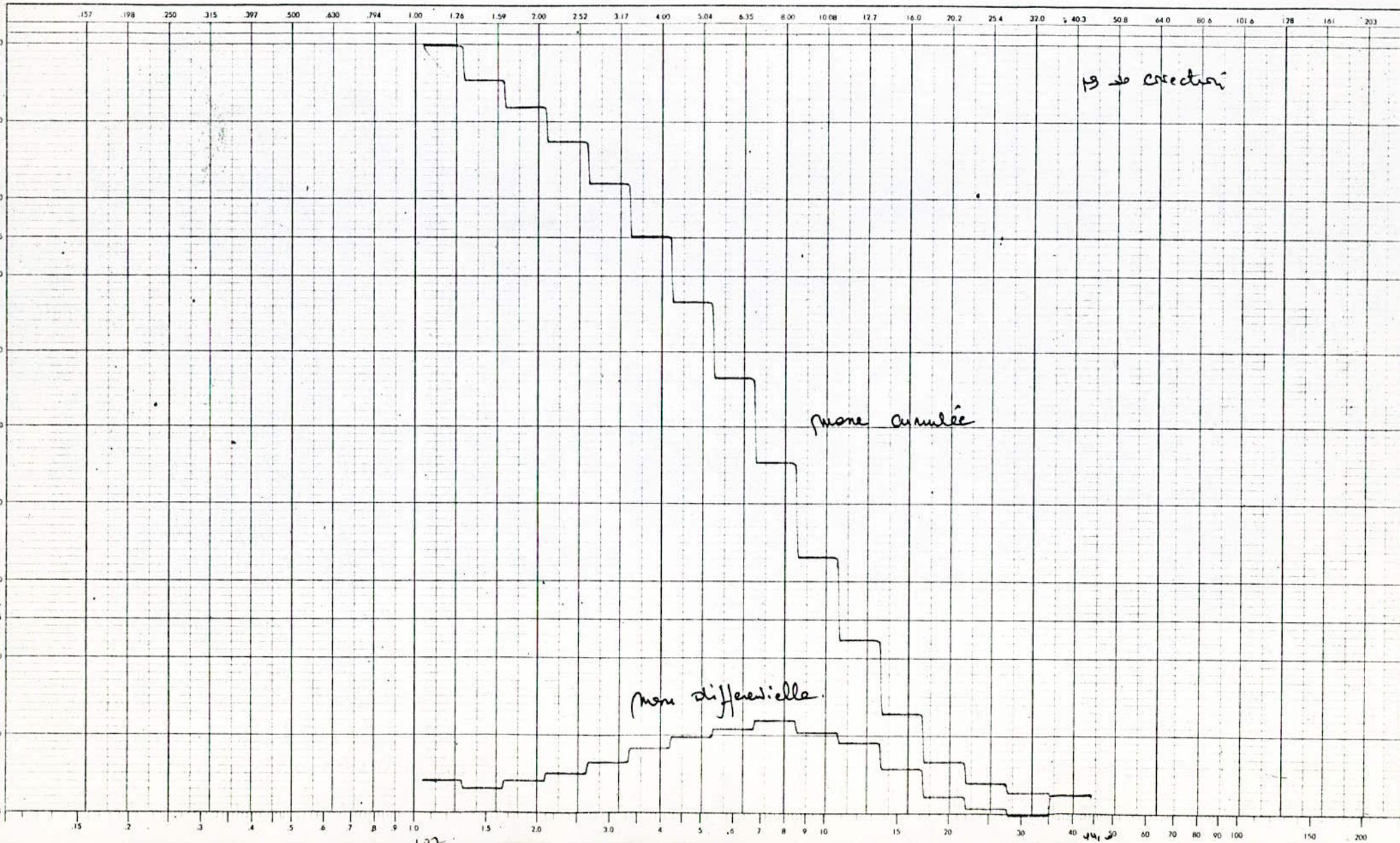
Courant d'ouverture: 4mA

Pré-ampli: 4-6K

Electrolyte: Iphou

Dispersant: Teepol

Prise de l'échantillon:



ANNEXE "B"

TABLEAUX DE CALCULS DU LAVAGE ET TABLEAUX DE FILTRATION

TABLEAU-1-

S	S _e	S _e ²	N _e ' · 10 ⁶ (m/s)	$\left[\frac{1 - S_u}{1 - S_u S_e} \right]^2$	$\frac{E L^2 \mu}{K \Delta P S_e} \left[\frac{1 - S_u}{1 - S_u S_e} \right]^2$	Δt(s)	t(s)
1.00	1.00	1.00	13,140	1	148.3	0	0
0.95	0.946	0.740	9.720	0.969	173.95	8.7	8.7
0.90	0.824	0.513	6.740	0.747	215.94	11.91	20.01
0.85	0.812	0.324	4.260	0.635	290.65	18.24	38.25
0.80	0.726	0.177	2.330	0.532	445.94	31.66	69.91
0.75	0.687	0.131	1.720	0.340	384.90	46.20	86.11
0.70	0.622	7.64 · 10 ⁻²	0.100	0.438	847.98	40.07	126.18
0.65	0.575	5.009 · 10 ⁻²	0.660	0.403	1195.06	48.01	174.19
0.60	0.495	2.19 · 10 ⁻²	0.300	0.353	2306.16	140.05	314.24
0.55	0.335	2.69 · 10 ⁻³	0.035	0.277	13271.10	1406.18	1720.42
0.50	0.128	4.48 · 10 ⁻⁵	0.0192 · 10 ²	0.210	29797297	3085600	30877321

TABLEAU - 2 -

S	S_c	Ψ	E'	m'	n'	$m' - n'$	$10^9 \cdot 10^{12} (m/s)$	$(V_0/AV)_{10^{12}}$	$t(s)$
1	1	0.057	0	-	-	-	-	-	-
0.95	0.946	0.100	0.076	4.50	9.5	5.00	5.90	16.60	8.70
0.90	0.884	0.170	0.153	4.90	14	6.10	24.80	69.70	20.01
0.85	0.812	0.250	0.229	5.00	17.5	6.20	250.23	703.95	38.25
0.80	0.726	0.300	0.306	5.20	22.00	6.90	658.02	1852.56	69.92
0.78	0.687	0.330	0.336	5.40	22.00	6.90	1456.81	2530.23	86.18
0.75	0.622	0.370	0.382	6.15	12.30	7.05	2635.74	7417.67	126.48
0.73	0.575	0.390	0.419	5.20	12.80	7.10	4371.40	22183.10	174.29
0.70	0.495	0.430	0.460	5.20	12.80	7.20	9395.86	26399.85	244.24
0.65	0.385	0.500	0.535	5.22	12.55	7.13	26947.50	75722.48	2720.02
0.60	0.428	0.580	0.642	5.28	12.50	7.38	63042.70	172290.48	70877381

TABLEAU - 3 -

S	S_c	S_c^2	$N' \cdot 10^6 (m/s)$	$[(1-S_c)/(1-S_c \cdot S_c)]^2$	$\frac{2L \cdot N_c}{K \cdot 0.75 \cdot S_c} \cdot \left[\frac{1-S_c}{1-S_c \cdot S_c} \right]^2$	$\Delta t(s)$	$t(s)$
1	1	1	19.71	2	98.74	-	-
0.95	0.947	0.745	14.68	0.896	348.75	5.76	5.76
0.90	0.881	0.526	10.37	0.798	449.80	7.42	13.68
0.85	0.821	0.344	6.78	0.705	202.86	11.80	25.48
0.80	0.746	0.205	4.04	0.619	298.15	18.78	44.21
0.78	0.739	0.182	3.57	0.602	328.40	5.83	49.59
0.75	0.659	0.105	2.07	0.538	505.82	29.20	78.79
0.73	0.621	0.076	1.50	0.507	658.70	42.43	100.92
0.70	0.559	0.043	0.85	0.463	4063.49	53.88	154.30
0.68	0.514	0.027	0.53	0.434	4587.45	59.63	213.83
0.65	0.442	0.020	0.24	0.393	3233.73	173.58	387.48
0.60	0.302	0.0093	0.03	0.329	21656.87	2742.75	2129.83

TABLEAU - 4-

S	Se	ψ'	ϵ'	m'	m'	$N_1' \cdot 10^{13} (m/s)$	$(N_1/A_1) \cdot 10^{18} \frac{St}{\mu}$	t(s)
1	1	0.057	0	-	-	-	-	-
0.95	0.947	0.100	0.067	4.2	9	8.09	22.73	5.76
0.90	0.888	0.180	0.134	4.5	9.5	150.80	426.75	12.68
0.85	0.821	0.230	0.201	4.9	11.0	196.30	554.60	25.48
0.80	0.746	0.290	0.269	5.0	11.2	2026.93	2857.57	44.26
0.78	0.729	0.300	0.295	5.0	11.2	1801.90	5063.34	49.59
0.75	0.659	0.360	0.336	5.0	11.2	4037.65	42345.23	78.79
0.73	0.621	0.390	0.362	5.0	11.2	6520.00	18321.20	100.92
0.70	0.559	0.400	0.403	5.0	11.2	12405.70	55028.62	154.30
0.65	0.442	0.460	0.470	5.2	12.0	57782.60	57782.60	387.48

TABLEAU - 5-

S	Se	Se'	$N_1' \cdot 10^6 (m/s)$	$[(1-S_e)/(1-S_e \cdot Se)]^{0.75}$	$\frac{\epsilon' \mu T}{\pi S_e Se}$	$\Delta t (s)$	t(s)
1	1	1	38,42	1	74.15	-	-
0.95	0.947	0.745	29.86	0.909	90.47	4.36	4.36
0.93	0.928	0.686	25.86	0.878	98.90	2.08	6.44
0.90	0.890	0.532	20.97	0.824	124.85	2.67	9.11
0.88	0.865	0.456	17.97	0.791	128.46	3.04	12.15
0.85	0.826	0.386	14.03	0.743	154.76	5.52	17.62
0.83	0.798	0.295	11.26	0.711	178.71	4.66	22.33
0.80	0.755	0.229	8.63	0.666	225.50	8.69	31.02
0.75	0.675	0.149	4.69	0.593	369.50	23.80	54.82
0.70	0.586	0.056	2.21	0.524	693.83	47.32	102.14
0.68	0.547	0.038	1.50	0.498	971.76	31.03	133.17
0.65	0.484	0.020	0.90	0.460	1705.45	86.43	219.60
0.63	0.439	0.011	0.44	0.436	2939.04	110.82	330.42
0.60	0.367	0.004	0.17	0.389	7396.46	352.40	772.66

TABLEAU - 6-

S	Se	ψ'	ϵ'	m'	m'	$N_1' \cdot 10^{14} (m/s)$	$(N_1/A_1) \cdot 10^{18} \frac{St}{\mu}$	t(s)
1	1	0.057	0	-	-	-	-	-
0.95	0.947	0.100	0.063	4.1	8.9	3.55	9.97	4.36
0.93	0.928	0.140	0.087	4.2	9.0	16.73	47.01	6.44
0.90	0.890	0.180	0.125	4.2	9.0	95.30	267.79	9.11
0.88	0.865	0.210	0.150	4.2	9.0	228.61	642.39	12.15
0.85	0.826	0.230	0.187	4.6	9.9	284.86	800.45	17.62
0.83	0.798	0.260	0.212	4.6	9.9	553.92	1556.51	22.33
0.80	0.755	0.300	0.250	4.7	10.0	1327.20	3729.43	31.02
0.75	0.675	0.375	0.312	4.7	10.0	4294.20	12066.70	54.82
0.70	0.586	0.380	0.375	5.1	11.5	3869.60	10873.58	102.14
0.65	0.484	0.410	0.437	5.2	12.0	7398.40	20789.50	219.60
0.60	0.367	0.510	0.500	5.3	12.4	15016.00	42199.96	772.66

TABLEAU - 7.

S	Se	$v_2' \cdot 10^{10} (m/s)$	t/c_0	ψ'	ϵ'	F_{R1}	F_f	v_1'/v_a	t/c_0	v_a/c_0
1.00	1.00	309.	0	0.93	0	-	-	-	0.5	0.022
0.90	0.89	464	0.097	0.93	0.123	66.0	103000	0.023	1.0	0.016
0.80	0.76	68.	0.343	0.93	0.246	57.0	14000	0.023	2.0	0.128
0.70	0.59	18.	1.330	0.91	0.369	49.0	2400	0.418	3.0	0.241
0.65	0.49	6.52	3.160	0.87	0.429	45.0	1300	0.708	4.0	0.395
0.62	0.43	3.22	6.040	0.86	0.466	41.0	800	1.048	5.0	0.559
0.60	0.38	1.60	10.190	0.84	0.490	39.5	680	1.288	6.0	0.830
0.58	0.33	0.78	18.960	0.82	0.515	36.0	530	1.389	7.0	0.972
0.55	0.25	0.71	65.800	0.78	0.553	34.0	425	1.640	8.0	1.241
0.50	0.102	0.0023	34.25	0.72	0.615	17.0	300	1.160	10.0	1.659

TABLEAU - 8.

S	Se	$v_2' \cdot 10^{10} (m/s)$	t/c_0	ψ'	ϵ'	F_{R1}	F_f	v_1'/v_a	t/c_0	v_a/c_0
1.00	1.00	464	0	0.93	0.000	-	-	-	1	0.022
0.90	0.89	414	0.10	0.93	0.112	67.0	150000	0.009	2	0.088
0.80	0.77	98.	0.34	0.93	0.224	58.5	20000	0.060	3	0.192
0.70	0.62	30.	1.13	0.92	0.336	51.0	3700	0.282	4	0.306
0.65	0.53	15.	2.34	0.89	0.392	47.5	2200	0.442	5	0.436
0.60	0.44	4.60	5.70	0.86	0.448	43.5	1100	0.809	6	0.618
0.58	0.40	3.26	8.47	0.84	0.471	42.0	850	1.011	7	0.770
0.55	0.33	1.15	20.00	0.82	0.504	39.5	620	1.303	8	0.915
0.50	0.22	1.04	131.00	0.77	0.560	28.5	400	1.457	9	1.178
									10	1.398
									11	1.582
									12	1.814

TABLEAU - 9.

S	S_e	$n'_L \cdot 10^{10} (\text{ms})$	t/c_t	ψ'	ε'	$F_{a'}$	$F_{f'}$	v'_q/v_a	t/c_t	V_q/c_a
1.00	1.00	618.	0.00	0.93	0.000	-	-	-	1	0.022
0.90	0.79	551.	0.10	0.93	0.107	68.0	16000	0.009	2	0.088
0.80	0.77	135.	0.34	0.93	0.214	59.6	27000	0.045	3	0.192
0.70	0.63	45.	1.05	0.93	0.321	52.5	5000	0.215	4	0.206
0.60	0.46	8.40	4.64	0.87	0.428	45.5	1300	0.716	5	0.436
0.58	0.43	6.40	6.28	0.86	0.447	43	1000	0.879	6	0.618
0.55	0.37	2.85	12.32	0.83	0.0479	40	750	1.091	7	0.770
0.52	0.31	1.09	27.07	0.81	0.511	37.5	560	1.370	8	0.889
0.50	0.27	0.42	54.37	0.79	0.535	33	520	1.298	9	1.158
									10	1.374
									11	1.506
									12	1.773

TABLEAU N° 1

$(\frac{DV}{C}) = 0,091 \text{ cm}^3/\text{S}$ et $T = 19,3^\circ \text{ C}$

T/S	P (Bars)
465	0,6
740	0,8
980	1,0
1155	1,2
1508	1,6
1660	1,8
1805	2,0
1926	2,2
2050	2,4
2173	2,6
2285	2,8
2415	3,0
2570	3,2
2615	3,4
2735	3,6
2845	3,8
2925	4,0
3017	4,2
3116	4,4
3287	4,8

t (s)	P (Bars)
3380	5,0
3450	5,2
3538	5,4
3608	5,6
3645	5,8
3865	6,2
3940	6,4
4010	6,6
4092	6,8
4165	7,0

TABLEAU N°

$$\left(\frac{DV}{\Delta t} \right)_C = 0,091 \text{ CM}^3/\text{S} \quad \text{et } T = 19^\circ \text{ C}$$

t (s)	P (Bars)
420	0,6
745	0,8
980	1,0
1165	1,2
1540	1,6
1690	1,8
1832	2
1975	2,2
2107	2,4
2240	2,6
2385	2,8
2515	3
2615	3,2
2730	3,4
2835	3,6
2955	3,8
3105	4
3145	4,2
3240	4,4
3330	4,6
3525	5

t (s)	P (Bars)
3605	5,2
3695	5,4
3790	5,6
3870	5,8
4040	6,2
4105	6,4
4175	6,6
4255	6,8

TABLEAU N° 3

$(\frac{dv}{dt})_c = 0,091 \text{ cm}^3/\text{s}$ et $T = 17^\circ \text{ C}$

T (S)	P (BARS)
345	0,6
545	0,8
705	1,0
865	1,2
1005	1,4
1160	1,6
1285	1,8
1405	2
1520	2,2
1630	2,2
1715	2,14
1830	2,6
1940	2,8
2155	3,4
2185	3,6
2270	3,8
2355	4
2445	4,2
2510	4,4
2605	4,6
2745	5

T (S)	P/ (BARS)
2830	5,2
2905	5,4
2980	5,6
3065	6
3205	6,2
3265	6,4
3335	6,6
3395	6,8
3460	7
3520	7,2
3580	7,4
3640	7,6
3700	7,8
3760	8
3820	8,2
3875	8,4

TABLEAU N° 4

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_c = 0,091 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{et } T = 17,2^\circ \text{ C}$$

T (S)	P (BARS)
455	0,6
677	0,8
915	1,0
1092	1,2
1284	1,4
1493	1,6
1556	1,8
1730	2,0
1849	2,2
1968	2,4
2084	2,6
2229	2,8
2331	3,0
2428	3,2
2500	3,4
2630	3,6
2698	3,8
2762	4,0
2940	4,2
3060	4,6
3130	4,8

T (S)	P (Bars)
3205	5,0
3315	5,2
3385	5,4
3453	5,6
3520	5,8
3620	6,0
3708	6,2
3756	6,4
3830	6,6
3900	6,8
3988	7,0
4065	7,2
4135	7,4

