

REPUBLIQUE TUNISIENNE

**MINISTERE DE L'AGRICULTURE**

**Direction des Ressources en Eau et en Sol**

**DIVISION DES SOLS**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

**MISSION TUNISIE**

# **RECHERCHES SUR L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SOLS GYPSEUX**

Par J. VIEILLEFON, Pédologue ORSTOM (Décembre 1977)

**E-S 137**

REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU  
ET EN SOLS

---

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE-MER  
MISSION EN TUNISIE

---

RECHERCHES SUR L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE  
DES SOLS GYPSEUX

---

J. VIEILLEFON, Pédologue ORSTOM

Décembre 1977

## S O M M A I R E

---

	Pages
INTRODUCTION	1
I - ETUDE DES CAUSES D'ERREUR	2
II - AMELIORATION DE LA STABILITE DE LA SUSPENSION	4
III - CHOIX DE LA TEMPERATURE DE SECHAGE A L'ETUVE	6
IV - CORRECTION DE LA CONSTANCE DE STOKES	9
V - INFLUENCE DE LA REPARTITION DU GYPSE	15
BIBLIOGRAPHIE	17
ANNEXE : PROTOCOLE ANALYTIQUE	18

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

---

Lorsque l'on désire connaître la granulométrie de sols gypseux, il est très rare que l'analyse classique (méthode internationale) donne des résultats satisfaisants, si tant est que le laboratoire puisse en donner. En effet, ou bien on observe une floculation franche, qui est de règle dès que la teneur en gypse excède 20 %, et souvent moins (COUTINET, 1965), ou bien la suspension semble stable mais donne presque toujours un total très inférieur à 100 %, sans aucune fiabilité, si bien que l'on renonce souvent aux études granulométriques sur ces sols. A titre d'exemple, on trouvera dans le tableau I les résultats d'analyse granulométrique classique de quelques échantillons de sols gypseux pris dans l'ensemble des profils qui ont servis à l'étude présentée dans cet exposé.

Tableau I  
Analyse granulométrique classique de sols gypseux  
(lunette de Sidi Mansour)

N° échantillon	132	133	138	139	140	141	144	145	146	151
Argile	12,5	12,0	16,0	14,5	10,5	9,5	13,5	14,5	9,0	14,0
Limon fin	1,0	3,0	6,0	10,5	1,5	8,0	11,0	11,0	8,0	21,0
Limon grossier	4,0	6,0	6,0	5,5	6,0	14,5	5,5	5,5	15,5	12,0
Sable fin	14,0	21,5	35,5	29,5	77,5	49,0	27,0	16,5	51,0	45,0
Sable grossier	52,0	42,5	23,5	27,5	0,5	14,0	30,5	30,0	13,5	5,0
Total	83,5	85,0	87,0	87,5	96,0	95,0	87,5	87,5	97,0	97,0
Gypse %	15,0	9,7	14,0	13,7	2,0	10,1	15,8	12,6	2,5	3,5

On remarque que dans l'ensemble, la somme des particules décroît quand la teneur en gypse croît, mais cette relation n'est pas générale et certains résultats semblent corrects même avec 10 % de gypse.

Il était donc nécessaire de rechercher les causes de ces résultats singuliers et les moyens de les améliorer.

## I - ETUDE DES CAUSES D'ERREUR OU D'ABSENCE DE RESULTATS

Plusieurs phénomènes à effets plus ou moins contradictoires semblent pouvoir intervenir :

### - la floculation de la suspension de terre :

ce phénomène résulte de la dissolution aisée d'une partie, même infime, du gypse de l'échantillon, fournissant en abondance des ions calcium à la solution.

En cas de floculation totale le problème est vite résolu, mais dans les cas de floculation partielle, plus ou moins apparente, les mesures portant sur les fractions argile et limon seront inférieures à la réalité, mais une certaine part de ces fractions se retrouvera dans la fraction limon grossier.

Si la teneur en gypse est faible, on peut envisager de l'éliminer par lavage (FAO, 1977), afin de connaître la granulométrie du matériel restant, ce qui n'est ni réalisable, ni souhaitable pour les sols dans lesquels le gypse est dominant (VIEILLEFON, 1976). Pour ces derniers il est donc nécessaire : soit d'opérer par tamisage à sec, ce qui entraîne d'énormes complications techniques du fait du colmatage rapide des tamis (nécessité d'opérer en "air forcé" avec un seul tamis à chaque opération), soit d'empêcher la floculation.

Notons que la floculation des particules fines n'aura pas d'incidence sur la mesure des sables fins et grossiers, obtenus par tamisage préalable ou après lavage, quoiqu'il puisse encore subsister des amas floculés.

### - l'incidence du poids spécifique du gypse sur les paramètres opératoires

(temps de sédimentation et profondeur de prélèvement) : alors que la constante de STOKES est calculée pour un poids spécifique de 2,65 gramme/cm<sup>3</sup>, qui est précisément celui du quartz, généralement en abondance dans la plupart des sols et sédiments (VERGER, 1976), le gypse a une densité bien moindre (2,317) ; de ce fait les valeurs de profondeur de prélèvement et de temps de sédimentation seront plus ou moins erronées, en fonction de la teneur en gypse. Ainsi les temps de sédimentation seront trop courts, ou les profondeurs de prélèvement trop grandes, ce qui amène une surestimation des proportions d'argile et de limon. Cette erreur est alors en sens inverse de la précédente.

### - l'incidence des propriétés thermiques du gypse : ce corps est en effet susceptible de perdre une grande partie, sinon la totalité, de son eau de constitution à des températures inférieures à 105°, température de référence habituellement choisie pour le séchage des différentes fractions avant la pesée. (POUGET, 1966 - VIEILLEFON, 1977). Cette erreur conduira donc à une sous-estimation sur l'ensemble des fractions.

Il s'avère donc que par le jeu de ces divers phénomènes liés à la nature particulière du gypse, on puisse obtenir parfois, sans aucune garantie, des résultats apparemment bons, mais dont aucun ne sera en rapport avec la granulométrie réelle. Nous avons donc tenté de remédier à ces diverses causes d'erreur, dans les recherches rapportées ci-dessous.

Les expériences ont été réalisées avec deux lots d'échantillons :

- un échantillon volumineux d'encroûtement gypseux très riche en gypse (70 à 80 %) provenant d'un profil du piémont du Djebel Dissa
- une série de 5 profils d'une toposéquence implantée sur la lunette de la sebkha de Sidi Mansour.

## II - AMELIORATION DE LA STABILITE DE LA SUSPENSION

Les dispersants communément employés, dont le rôle est d'effectuer un blocage des ions flocculants susceptibles d'être libérés par le sol, et qui sont déjà relativement impuissants en présence de calcaire, dont la solubilité est bien inférieure à celle du gypse, sont inopérants en présence de ce dernier composé.

Il est donc nécessaire d'empêcher la dissolution du gypse. Pour ce faire, une méthode a été proposée par HESSE (1974), qui consiste à enrober les particules gypseuses par un dépôt mince de sulfate de baryum, par une réaction avec le chlorure de ce métal. Malheureusement cet enrobage est fragile, et susceptible d'être attaqué par le dispersant; il est donc nécessaire de régler avec précision les modes opératoires. On trouvera en annexe la méthode mise au point après un certain nombre d'essais portant sur les temps de contact et d'agitation et sur les quantités de dispersant à utiliser.

Dans un premier temps on a étudié la stabilité de la suspension sous l'influence des temps de contact avec le dispersant et de la quantité de gypse en présence. Il s'est avéré qu'aux fortes concentrations (supérieures à 50 %) la stabilité était insuffisante. On a donc procédé d'une manière différente de la procédure classique, au cours de laquelle on prélève d'abord les fractions correspondant à l'argile plus les limons fins (a+1) puis à l'argile (a), avant de laver les "sables" et de les tamiser pour avoir les fractions grossières. Ici, afin de diminuer les risques de dissolution du gypse dans la suspension, on a procédé d'abord à un tamisage sous l'eau de la fraction supérieure à 50 microns, avant d'homogénéiser la suspension pour la mesure des fractions fines. Par ailleurs l'agitation avant tamisage, en présence du dispersant, ici de l'hexamétaphosphate de sodium, a été prolongée jusqu'à 15 à 16 heures. On a pu ainsi constater, par des prélèvements échelonnés à profondeur croissante que la suspension restait stable.

### Résultats

En utilisant telle quelle la méthode préconisée par HESSE, et sans modifier les paramètres de la mesure, on a obtenu sur 8 répétitions, les résultats présentés dans le tableau II, colonne A.

Tableau II

Analyse granulométrique de l'encroûtement gypseux du Djebel Dissa  
(en % terre séchée à 105°)

	A	B	C
Argile	5,8 (5,1 à 6,5)	6,5 (3,7 à 8,6)	13,5 (12,3 à 14,5)
Limon fin	15,0 (12,8 à 18,5)	18,3 (15,6 à 20,9)	19,9 (18 à 21)
Sables (0,5-2mm)	56,3 (39,1 à 64,2)	63,5 (58,8 à 66,7)	52,3 (49,5 à 55,9)

En augmentant d'abord le temps d'agitation (une nuit au lieu d'une heure) (colonne B) puis en doublant la quantité de dispersant, ajouté en deux fois, avant et après le tamisage des sables (colonne C), on a pu obtenir des résultats meilleurs et surtout plus groupés.

Si dans le dernier cas les résultats n'atteignent pas encore 100 % (ici 82,5 à 89,1), on remarque immédiatement que le déficit, de 10 à 20 %, peut être mis en rapport avec la teneur en gypse, qui peut produire, par séchage à 105°, un déficit comparable (70/5 à 80/5, soit 14 à 20 % !).



### III - CHOIX DE LA TEMPERATURE DE CHAUFFAGE A L'ETUVE

Nous rapporterons ici sommairement les principales conclusions d'une autre étude sur l'effet du séchage à l'étuve des échantillons gypseux, à laquelle nous renvoyons le lecteur pour plus de détails. (VIEILLEFON, 1977).

Le chauffage à l'étuve à 105° provoque une deshydratation plus ou moins complète du gypse. En effet, dès 80°, le gypse perd progressivement son eau de constitution, en se transformant en semi-hydrate ( $\text{SO}_4\text{Ca}, 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ) puis en anhydrite ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) soluble, ce dernier composé étant susceptible de se réhydrater aisément à l'air (GARDET et al., 1970).

Il est donc nécessaire d'opérer à des températures inférieures à 80°, soit entre 50 et 70°, avant de peser les prélèvements correspondant aux diverses fractions granulométriques.

Cependant il peut être utile de passer ensuite les échantillons à l'étuve à 105°, de façon à estimer les teneurs en gypse de ces fractions, à partir des pertes d'eau correspondantes. Il serait même possible, au vu de ces estimations, de corriger les valeurs de la constante C préalablement choisies en fonction de la teneur totale en gypse, pour obtenir une répartition granulométrique plus conforme à la réalité (voir ci-après V).

#### Résultats

Rappelons nous les résultats exposés dans le tableau I : l'erreur par défaut sur la somme des particules est grossièrement proportionnelle à la teneur en gypse. Dans une expérience menée sur les mêmes sols (profils de la lunette de la sebka de Sidi Mansour), et sans modification de la valeur de la constante de STOKES, on a comparé les résultats obtenus sur les différentes fractions granulométriques après chauffage à 50° en étuve ventilée et à 105° en étuve classique. (tableau III).

On remarque que le déficit est très variable, de 2,2 à 18,6 %, pour des teneurs en gypse variant de 2 à 63,2 %. Cependant la relation est assez lâche :

$$\Delta_{50^\circ - 105^\circ} = 0,19 \text{ gypse \%} + 4,27 \quad r = 0,741$$

Si l'on rapporte ce déficit à 100 %, la corrélation n'est pas meilleure

$$\Delta_{100\% - 105^\circ} = 0,19 \text{ gypse \%} + 9,63 \quad r = 0,731$$

mais nous savons que les fractions fines n'ont pas été correctement mesurées. Si l'échantillon est plutôt riche en sables (particules supérieures à 0,05 mm) les points sont au-dessous de la courbe ou assez proches. Par contre, dans le cas d'une certaine abondance des particules fines (inférieure à 0,02 mm), les points se situent généralement au-dessus. (figure 1)

Tableau III  
Analyse granulométrique sans modification de la constante de STOKES  
(lunette de la Sebka de Sidi Mansour)  
Comparaison de deux températures de séchage : 105° (a), 50° (b)

N° échantillon	129		130		131		132		134	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	2,8	3,4	8,9	9,1	8,8	8,9	6,7	6,8	5,2	5,6
Limon	22,9	31,5	8,5	8,5	0,5	1,0	2,8	3,3	7,3	7,4
Sable fin	13,2	15,6	38,1	42,6	3,3	3,6	14,8	15,5	47,9	51,1
Sable grossier	34,5	41,8	32,4	38,1	75,5	87,3	61,1	71,3	25,8	29,9
Total	73,4	92,3	87,9	98,3	88,1	100,8	85,4	96,9	86,2	94,0
Gypse %	63,2		58,6		12,5		15,0		34,6	

N° échantillon	135		136		137		138		139	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	3,0	3,4	6,3	6,4	2,0	2,3	11,5	11,8	12,7	13,0
Limon	25,0	25,6	4,7	4,7	25,7	27,5	6,0	6,6	6,7	6,7
Sable fin	15,5	17,9	33,3	35,0	17,1	19,4	41,0	42,3	30,8	32,7
Sable grossier	36,5	44,6	41,3	48,1	35,3	42,7	30,8	36,2	38,5	45,3
Total	80,0	91,5	85,6	94,2	80,1	91,9	89,3	96,3	88,7	97,7
Gypse %	42,5		21,6		58,4		14,0		13,7	

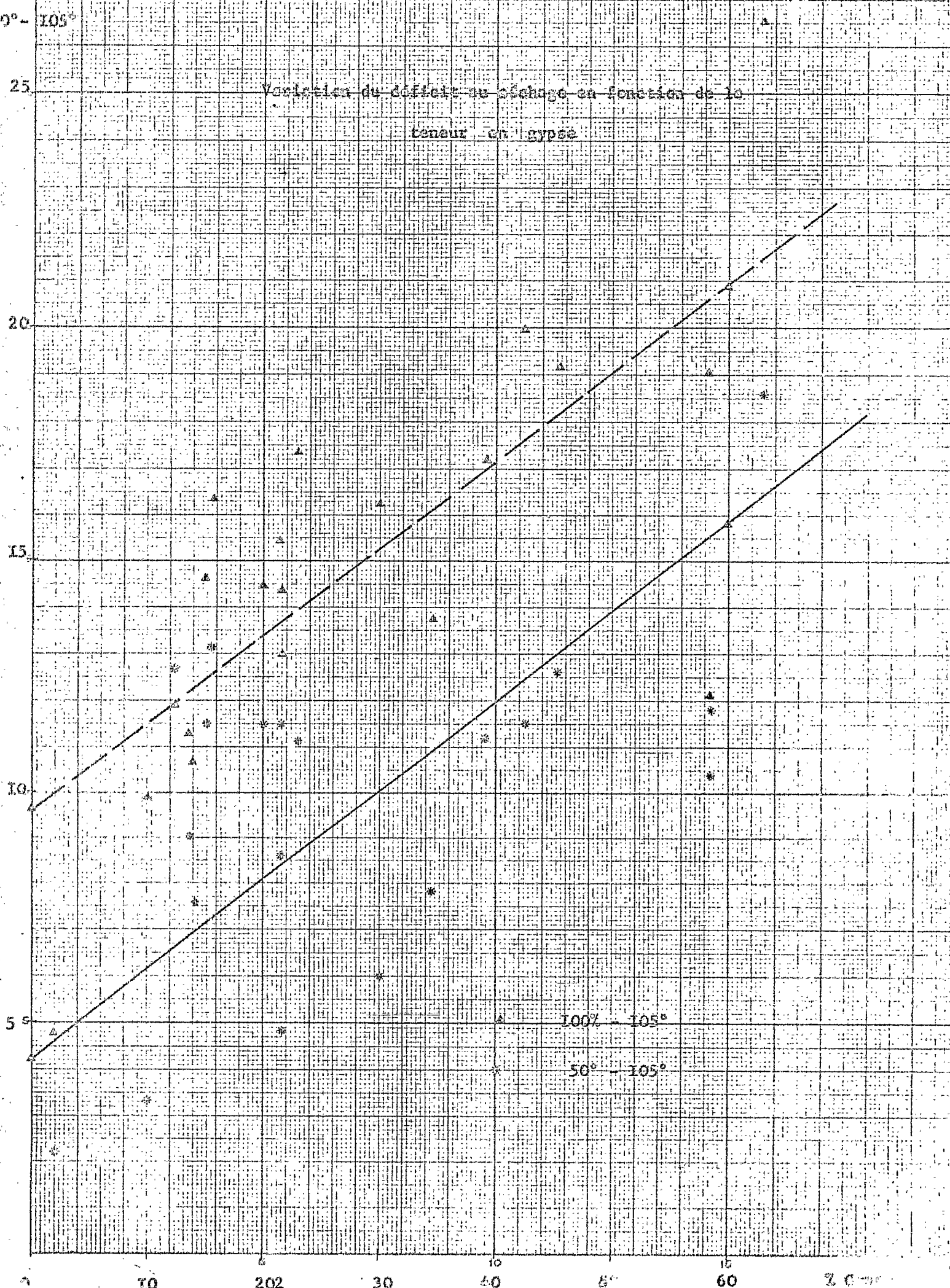
N° échantillon	140		141		142		143		144	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	6,0	6,5	4,3	4,8	5,4	6,0	11,5	12,9	12,3	14,1
Limon	3,0	3,8	10,1	10,7	6,7	6,8	7,7	8,6	6,7	7,1
Sable fin	83,4	83,9	57,8	59,1	33,2	36,3	30,7	37,6	26,5	30,2
Sable grossier	2,8	3,2	17,9	18,8	37,5	44,9	35,6	37,9	38,1	45,4
Total	95,2	97,4	90,1	93,4	82,8	94,0	85,5	97,0	83,6	96,8
Gypse %	2,0		10,1		39,2		20,0		15,8	

N° échantillon	147		148		149		150		152	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	5,1	6,1	8,7	10,6	7,3	8,8	5,8	7,1	13,6	15,7
Limon	11,0	11,2	5,7	5,8	6,2	6,4	4,0	4,3	11,0	11,7
Sable fin	49,3	52,4	31,2	33,3	28,2	29,9	32,2	35,4	54,3	56,3
Sable grossier	18,3	20,0	38,9	46,3	40,9	48,7	38,8	46,6	8,1	8,1
Total	83,7	89,7	84,5	96,0	82,6	93,8	80,8	93,4	87,0	91,8
Gypse %	30,5		21,6		22,9		45,4		21,5	

Figure 1

Variation du déficit au séchage en fonction de la teneur en gypse



#### IV - CORRECTION DE LA CONSTANTE DE STOKES

La loi de STOKES rend compte de la relation simple qui existe entre le rayon d'une particule sphérique tombant sous l'influence de la pesanteur dans un fluide, et la vitesse limite constante atteinte par cette particule lorsque la force motrice, proportionnelle au poids apparent, devient égale à la résistance de frottement.

$$r^2 = \frac{V}{C} \quad \text{ou} \quad r = \sqrt{\frac{V}{C}} \quad (1)$$

C, appelé "constance de STOKES", étant égale à :

$$C = \frac{2}{9} \frac{(\rho^s - \rho^l)}{\eta} g$$

avec  $\rho^s$  poids spécifique de la particule  
 $\rho^l$  poids spécifique du fluide  
 $\eta$  viscosité du fluide  
 $g$  constante de gravitation

Densité et viscosité du fluide, ici généralement l'eau, variant en fonction de la température, des tables donnent classiquement la valeur de la constante C aux différentes températures rencontrées au laboratoire, et pour une valeur de 2,65 pour le poids spécifique du sédiment.

Sachant que le gypse a une densité moindre, et considérant que le complément non gypseux a une densité de 2,65, il est nécessaire de calculer, en fonction de la teneur en gypse des échantillons, les véritables valeurs de la constante C ou des paramètres qui en découlent.

Si la teneur en gypse est de X %, la valeur à prendre en compte pour le poids spécifique du matériau gypseux sera :

$$\frac{2,65 (100 - X) + 2,317 X}{100} = 2,65 - \frac{X}{300}$$

Le poids spécifique de l'eau ne variant pratiquement pas dans la gamme de température commune au laboratoire, de 0,99826 à 20° à 0,99577 à 30°, donc peu différent de l'unité, l'expression de C devient :

$$C = \frac{2}{9} \frac{(2,65 - \frac{X}{300} - 0,997) \times 9,81}{\eta}$$

De la relation (1) on tire :  $V = \frac{H}{T} = C r^2$

et de là on calcule les valeurs de T (sec) pour le prélèvement de la fraction (argile + limon), ou de H (cm) pour le prélèvement de la fraction argile correspondant à la teneur en gypse et à la température.

Pour les particules de diamètre inférieur ou égal à 0,02 mm, en prenant H = 10 cm, il vient :

$$T_{\text{sec}} = \frac{H}{C \cdot r^2} = \frac{10 \times 137,61 \times \eta}{(496 - X) \times 10^4} = \frac{A_t}{496 - X}$$

Les temps de sédimentation pour le prélèvement de la fraction (A + L) à 10 cm de profondeur sont portés dans le tableau IV pour des températures comprises entre 20° et 30°, et pour des teneurs en gypse variant de 0 à 100 % de 10 en 10.

Pour les particules de diamètre inférieur ou égal à 0,002 mm, la profondeur de prélèvement après 6 heures de sédimentation se calcule comme suit :

$$H_{\text{cm}} = \frac{(496 - X)}{137,61 \times \eta} = A'_t (496 - X)$$

On a porté dans le tableau V les valeurs de profondeur, pour un temps de sédimentation de 6 heures, correspondant aux températures de 20° à 30° et pour des teneurs en gypse croissant, de 10 en 10, de 0 à 100 %.

Tableau IV  
Temps de sédimentation pour la mesure de (A + L) à H = 10 cm en fonction de la teneur en gypse et de la température

$$T_{\text{sec}} = \frac{A}{496 - X}$$

T°	Teneur en gypse											
	A	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
20°	138.848,49	4'40	4'46	4'52	4'58	5'04	5'11	5'18	5'26	5'34	5'42	5'51
21°	135.408,24	4'33	4'39	4'44	4'51	4'57	5'04	5'11	5'18	5'26	5'34	5'42
22°	132.243,21	4'27	4'32	4'33	4'44	4'50	4'57	5'03	5'10	5'18	5'26	5'34
23°	129.078,18	4'20	4'26	4'31	4'37	4'43	4'49	4'56	5'03	5'10	5'18	5'26
24°	126.050,76	4'14	4'19	4'25	4'30	4'36	4'43	4'49	4'56	5'03	5'10	5'18
25°	123.460,95	4'08	4'13	4'19	4'24	4'30	4'36	4'42	4'49	4'56	5'03	5'11
26°	120.271,14	4'02	4'07	4'13	4'18	4'24	4'30	4'36	4'42	4'49	4'56	5'04
27°	117.518,94	3'57	4'02	4'07	4'12	4'18	4'23	4'30	4'36	4'42	4'49	4'57
28°	115.041,96	3'52	3'57	4'02	4'07	4'12	4'18	4'24	4'30	4'37	4'43	4'50
29°	112.564,98	3'47	3'52	3'56	4'02	4'07	4'12	4'18	4'24	4'31	4'37	4'44
30°	110.088,01	3'42	3'48	3'51	3'56	4'01	4'07	4'12	4'18	4'25	4'31	4'38

Tableau V  
Profondeur de prélèvement pour l'argile après 6 heures de décantation  
en fonction de la teneur en gypse et de la température

$$H_{cm} = A' (496 - \Sigma)$$

T°	A'.10 <sup>2</sup>	Teneur en gypse										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
20°	1,5559	7,72	7,56	7,42	7,25	7,09	6,94	6,78	6,63	6,47	6,32	6,76
21°	1,5955	7,91	7,75	7,59	7,43	7,27	7,11	6,96	6,80	6,64	6,48	6,32
22°	1,6337	8,10	7,94	7,78	7,61	7,45	7,29	7,12	6,96	6,80	6,63	6,47
23°	1,6737	8,30	8,13	7,97	7,80	7,63	7,46	7,30	7,13	6,96	6,79	6,62
24°	1,7139	8,50	8,33	8,16	7,99	7,81	7,64	7,47	7,30	7,13	6,96	6,79
25°	1,7541	8,70	8,52	8,35	8,17	8,00	7,82	7,65	7,47	7,30	7,12	6,95
26°	1,7959	8,91	8,73	8,55	8,37	8,19	8,01	7,83	7,65	7,47	7,29	7,11
27°	1,8380	9,12	8,93	8,75	8,56	8,38	8,20	8,01	7,83	7,65	7,46	7,28
28°	1,8776	9,31	9,12	8,94	8,75	8,56	8,37	8,19	8,00	7,81	7,62	7,43
29°	1,9189	9,52	9,32	9,13	8,94	8,75	8,56	8,37	8,17	7,98	7,79	7,60
30°	1,9621	9,73	9,53	9,34	9,14	8,95	8,75	8,55	8,36	8,76	7,97	7,77

Plus simplement on a construit des abaques (figures 2 et 3) permettant de lire directement les valeurs de H et de T correctes.

### Résultats

Après correction de la constante C en fonction de la teneur en gypse, les valeurs présentées dans le tableau VI montrent les faits suivants :

- les teneurs en argile et limon fin sont sensiblement diminuées, comme on pouvait s'y attendre
- avec la mesure des limons grossiers, la plupart des valeurs par échantillon se totalisent aux environs de 100%, sauf pour les échantillons d'une teneur en gypse supérieure à 40%, où le total ne dépasse pas 90 à 95 %
- la comparaison des valeurs après séchage à 50° et à 105° montre une meilleure corrélation du déficit avec la teneur en gypse (figure 4).

$$\Delta_{50^\circ - 105^\circ} = 0,18 \text{ gypse \%} + 2,97 \quad r = 0,857$$

Figure: 2

Temps de sédimentation pour prélèvement  
(argile + limon) à 10 cm de profondeur

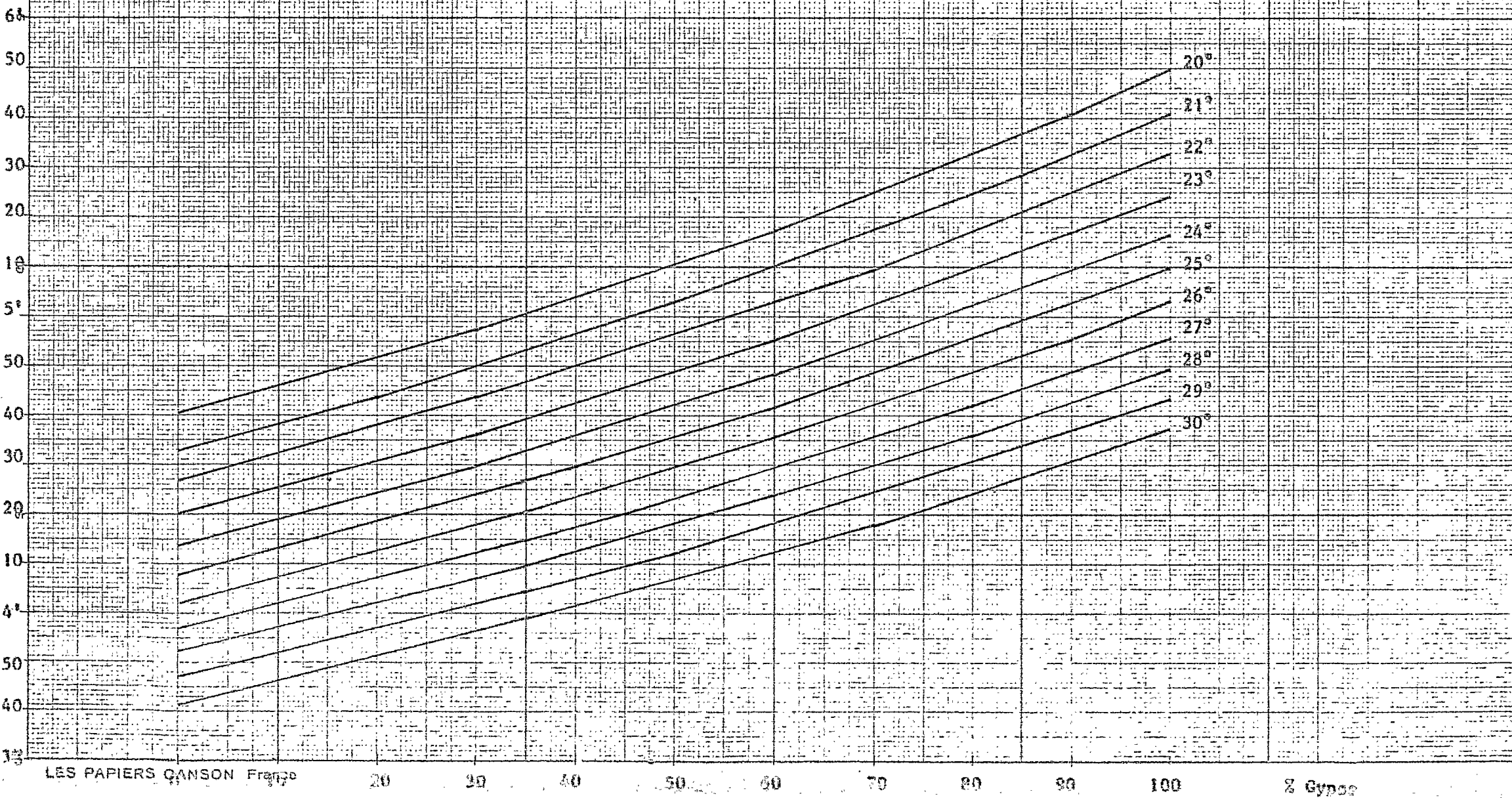


Figure: 3

Profondeur de prélèvement pour l'argile après 6 heures de  
sédimentation.

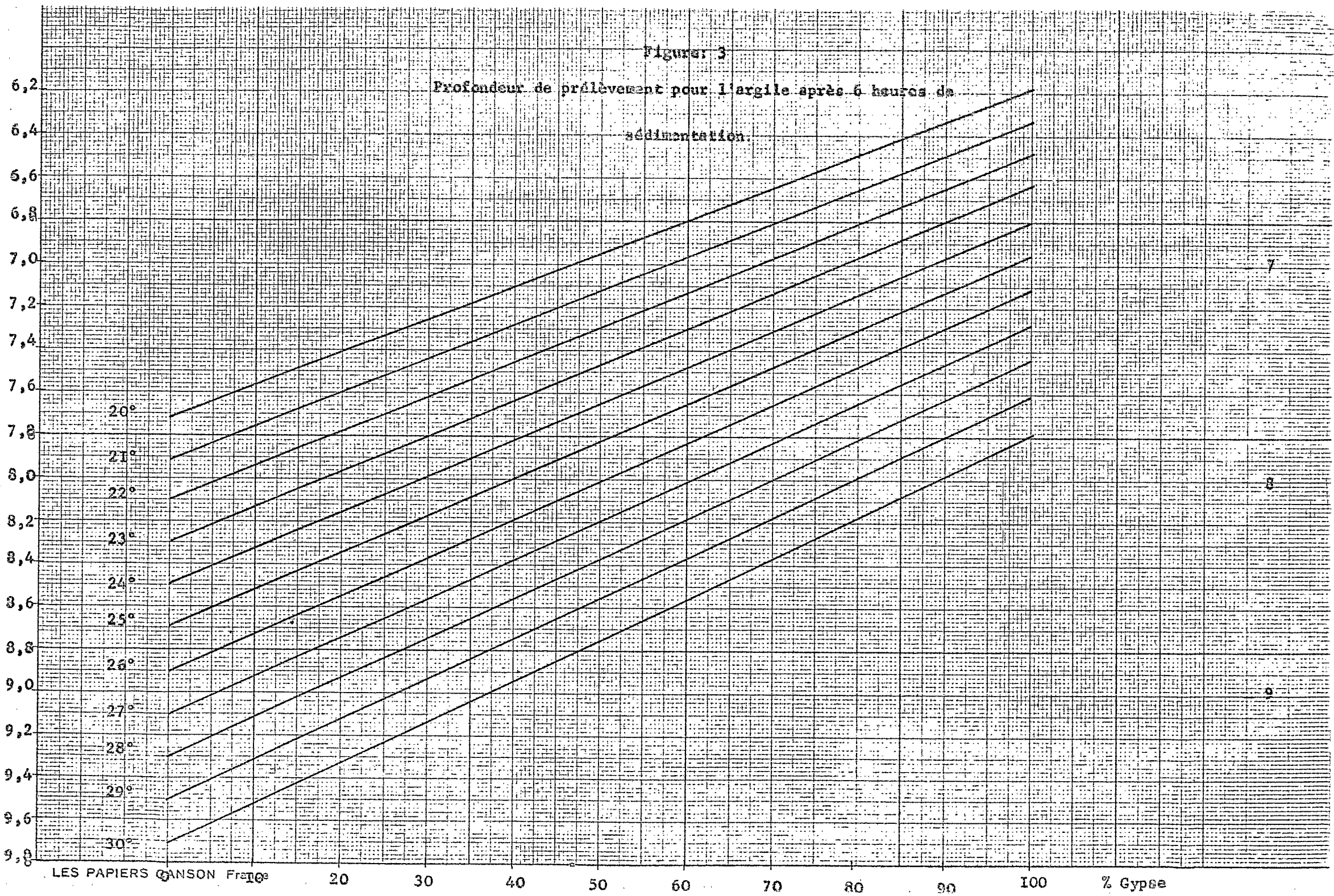




Tableau VI  
Analyse granulométrique après correction de la constante de STOKES  
(lunette de la sebka de Sidi Mansour)  
Comparaison de deux températures de séchage : 105° (a), 50° (b)

N° échantillon	129		130		131		132		133		134	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	2,6	3,3	5,5	6,4	5,3	6,0	6,2	7,2	7,1	8,6	5,8	6,5
Limon fin	25,9	27,6	7,8	8,0	1,7	1,8	2,2	2,7	3,6	3,7	7,1	7,4
Limon grossier	1,3	1,3	2,2	2,3	0,1	0,1	0,6	0,6	0,7	0,8	2,5	2,5
Sable fin	12,9	15,0	39,9	44,4	2,9	3,2	8,4	8,9	20,3	20,9	45,4	48,8
Sable grossier	36,4	44,3	31,3	36,9	76,0	88,3	67,8	79,4	56,8	64,2	28,5	32,8
Total	79,1	91,5	86,7	98,0	86,0	99,4	85,2	98,8	88,5	98,2	89,3	98,0

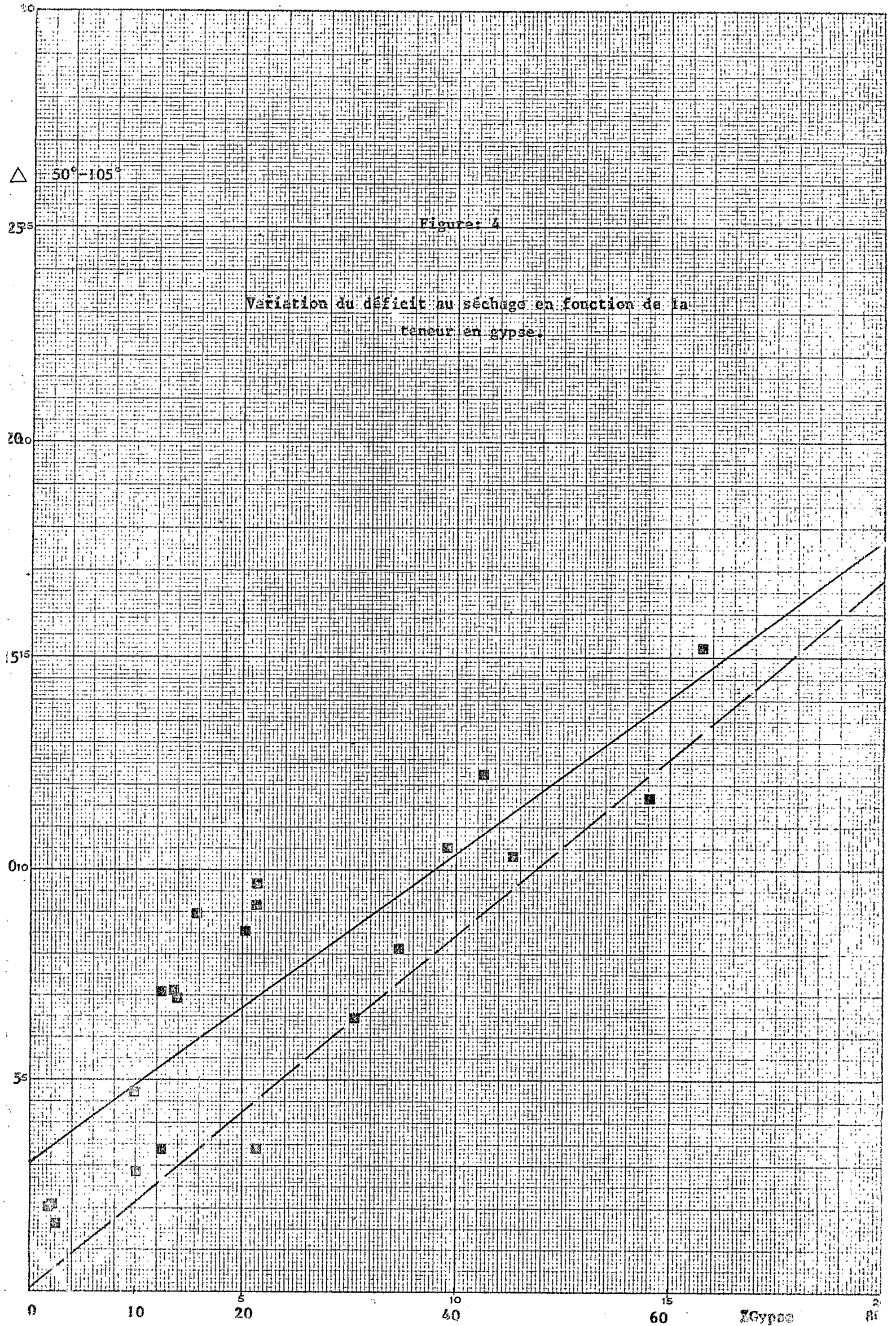
N° échantillon	135		136		137		138		139		140	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	2,8	3,6	8,9	9,8	2,9	3,8	9,4	10,5	9,5	10,7	7,0	8,2
Limon fin	19,0	24,8	5,3	5,7	28,4	30,0	5,1	5,5	5,5	5,6	2,3	2,4
Limon grossier	1,6	1,6	1,2	1,2	2,3	2,4	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
Sable fin	14,6	16,9	32,3	34,0	14,6	16,7	38,5	40,1	29,3	30,0	81,6	82,0
Sable grossier	35,1	43,2	40,9	48,0	32,1	39,1	38,1	42,8	44,7	50,0	3,5	4,1
Total	73,1	90,1	88,6	98,6	80,3	92,0	91,9	99,7	90,0	97,3	95,4	97,7

N° échantillon	141		142		143		144		145		146	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	4,3	4,7	6,8	7,2	8,8	10,2	12,6	13,8	8,3	9,5	2,7	3,7
Limon fin	6,9	7,3	7,3	7,4	5,0	7,0	7,5	7,9	4,0	4,4	5,7	5,8
Limon grossier	3,3	3,4	2,9	2,9	2,1	2,1	2,6	2,6	0,9	0,9	3,9	4,0
Sable fin	61,9	63,0	35,2	38,4	31,3	33,0	30,8	32,4	31,6	32,7	64,8	65,0
Sable grossier	18,8	19,7	36,0	42,8	38,5	46,0	36,2	42,8	44,2	49,4	19,3	19,6
Total	95,2	98,1	88,2	98,7	85,7	98,3	89,7	99,5	89,0	96,9	96,4	98,1

N° échantillon	147		148		149		150		151		152	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Argile	4,9	5,4	12,2	13,7	8,3	10,4	7,1	8,8	8,7	10,2	14,2	15,6
Limon fin	12,0	12,3	7,5	8,3	5,5	6,6	5,5	7,1	10,6	10,7	13,7	14,4
Limon grossier	8,0	8,0	3,8	3,8	2,6	2,7	2,6	2,6	4,5	4,5	7,4	7,5
Sable fin	49,8	52,8	30,1	31,7	25,0	26,5	32,6	35,8	63,1	63,5	51,9	53,9
Sable grossier	18,7	21,7	36,1	43,5	44,0	52,8	38,1	45,2	8,4	8,5	7,0	7,6
Total	93,1	100,2	89,7	101,0	85,4	99,0	85,9	99,5	95,3	97,4	94,2	99,0



## V - INFLUENCE DE LA REPARTITION DU GYPSE

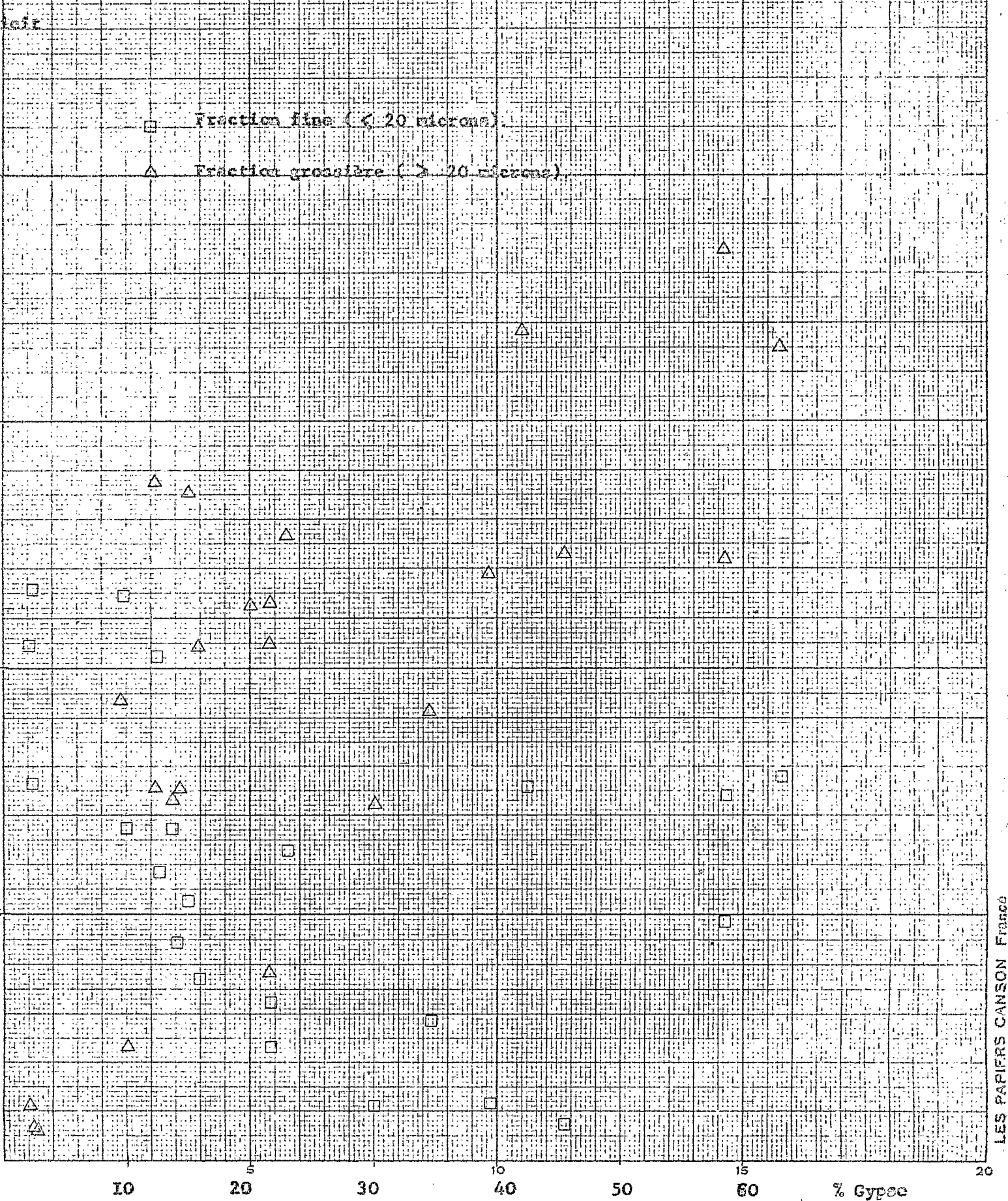
Nous savons que lors des calculs effectués pour la correction de la constante de STOKES, nous avons fait l'hypothèse que le gypse était uniformément réparti dans les diverses fractions. Or justement la comparaison des valeurs obtenues à 50° et 105° au niveau de chaque fraction montre que ce n'est pratiquement jamais le cas. Il semble, au contraire, que la répartition du gypse entre les différentes fractions évolue quand la teneur globale varie. Ainsi on peut voir sur la figure 5 que pour les faibles teneurs, inférieures à 15 % environ, le déficit entre le séchage à 50° et 105° est plus fort pour les particules fines que pour les grossières, alors que c'est l'inverse pour les teneurs plus élevées. Dans le premier cas, où la teneur en gypse des particules fines est plus élevée que dans l'échantillon global, on a donc une surestimation de ces fractions. Quand la teneur est relativement plus élevée pour la fraction grossière, on aura une sous-estimation des particules fines.

Ceci apparaît nettement si l'on compare les résultats du tableau V à ceux du tableau VI. Par l'analyse classique on obtient toujours plus d'argile et de limon et toujours moins de sable que par l'analyse corrigée.

D'ailleurs si l'on se rapporte aux seules fractions grossières, leur variation est sensiblement proportionnelle à celle de la teneur en gypse. On observe cependant une forte remontée de la teneur en gypse dans les particules fines pour des teneurs globales supérieures à 30 %. Ces résultats pourront être utilisés pour comprendre la dynamique des encroûtements gypseux.

Figure 5

Comparison du déficit (en %) des fractions sableuses  
et fines en fonction de la teneur en gypse



BIBLIOGRAPHIE

- C OUTINET S. 1965 - Méthodes d'analyse utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Agro. Trop. 12, pp 1242-1253
- F.A.O. 1972 - Méthodes d'analyse physique et chimique des sols. Bull. n° 10
- GARDET J.J., GUILHOT B., SOUSTELLE M. 1970 - Etude des formes hydratées du sulfate de calcium. Bull. Soc. Chi. Fr. n° 10 pp 3377-3382
- HESSE P.R., 1974 - The Euphrates pilot irrigation project. Methods of soil analysis. F.A.O. Raqqa
- POUGET M. 1966 - Mesures d'humidité dans des échantillons de sols gypseux. E.S. 63 SP HER Tunis.
- VERGER F. 1976 - Les techniques d'analyse granulométrique. Ed. C.N.R.S.
- VIEILLEFON J. 1976 - Inventaire critique des sols gypseux de Tunisie. ES 97 DRES.
- VIEILLEFON J. (à paraître) - Recherches sur les mesures d'humidité dans les sols gypseux.

PROTOCOLE D'ANALYSE

- 1 - Traiter 10 g. d'échantillon de sol par 40 ml d'une solution à 50 g/l de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$ , additionnée de triéthanolamine, dans un tube à centrifugation de 50 ou 100 ml.  
Agiter une heure à l'agitateur mécanique.
- 2 - Centrifuger à 2000 t/mn pendant 10 minutes et jeter le liquide surnageant. Ajouter 40 ml d'eau distillée et agiter au vibreur pour homogénéiser la suspension ; ce lavage a pour but d'enlever les ions  $\text{Ba}^{++}$  qui sont des flocculants énergiques ; poursuivre lavage et centrifugation jusqu'à disparition complète de Ba, contrôlé par l'absence de trouble quand on ajoute une goutte de chromate de potassium.
- 3 - Ajouter 15 ml d'une solution dispersante contenant 4 % d'hexamétaphosphate de sodium et 1% de carbonate de sodium amenée à pH 8,2 ; agiter au vibreur.
- 4 - Laisser reposer 30 minutes exactement.
- 5 - Laver la pâte de sol à l'eau distillée ; agiter 2 minutes et décantier la suspension sur un tamis de 50 microns sous un jet de pissette.
- 6 - Transvaser le refus du tamis dans une capsule ; décantier et faire sécher en étuve ventilée à 40-50° ; un tamisage ultérieur à sec avec un tamis de 200 microns permet de séparer les fractions 2-0,2 et 0,2-0,05mm.
- 7 - Transvaser le filtrat dans une allonge d'un litre ou dans un ballon de même contenance ; y ajouter 15 ml de la solution dispersante et agiter 15 à 16 heures à l'agitateur mécanique.
- 8 - Effectuer les prélèvements pour les fractions (A + L) et (a) aux profondeurs et aux temps commandés par la température et la teneur en gypse ; sécher à 40 - 50° .
- 9 - Siphoner le contenu des allonges pour éliminer les particules de dimension inférieure à 20 microns. Recueillir le reliquat ; décantier, sécher et peser la fraction correspondant à 0,02-0,05 mm.

Note : Compte tenu du point 5, il est nécessaire de programmer la manipulation de façon à ne jamais excéder le temps de contact de 30 minutes.