

MESURES D'HUMIDITÉ SUR LES ÉCHANTILLONS DE SOLS GYPSEUX.

par

M. POUGET*

Résumé

Le gypse naturel cristallisé ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) présent dans les sols gypseux, se déshydrate presque complètement en sulfate anhydre (CaSO_4) au cours de la mesure d'humidité à l'étuve à 105°C (capsule non couverte). En fonction du taux de gypse de l'échantillon, une correction est proposée pour obtenir l'humidité réelle.

Dans les sols gypseux du sud Tunisien, les mesures d'humidité sont très souvent utilisées pour l'établissement de profils hydriques, capacité de rétention, etc.. La méthode classique : dessiccation de 16 à 24 heures à l'étuve à 105°C ne peut s'appliquer parfaitement aux échantillons gypseux. En effet, le gypse $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ se transforme, dans certaines conditions, en sulfate semi-hydrate $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$, le terme final de la déshydratation étant l'anhydrite CaSO_4 .

P. JOLIBOIS et P. LEFEVRE, étudiant ce phénomène, montrent que la déshydratation du gypse naturel cristallisé est différente selon que l'on opère en atmosphère sèche ou en atmosphère saturée de vapeur d'eau. Dans ce dernier cas, on observe un arrêt de la déshydratation, correspondant au départ de 1,5 molécules d'eau (semi-hydrate), jusqu'à 160°C environ. Ainsi, l'étude de la perte de poids du gypse contenu dans un creuset, fermé par un couvercle, placé à l'étuve à 141°C , confirme l'existence de cette limite de déshydratation très nette ($\text{SO}_4\text{Ca}, 1/2\text{H}_2\text{O}$). Vers 200°C , un nouveau départ de 0,5 molécules d'eau se produit rapidement, la déshydratation est alors complète (SO_4Ca).

Par contre, dans l'air sec, ces mêmes auteurs obtiennent directement une déshydratation totale, sans le palier intermédiaire du semi-hydrate, et ceci même à une température de 60°C ; (la vitesse de la déshydratation est accrue pour des températures supérieures).

Compte-tenu de ces données expérimentales précieuses, on est conduit à préciser le devenir d'un échantillon de sol gypseux au terme d'une dessiccation à l'étuve à 105°C c'est-à-dire, dans

* Chargé de recherches O.R.S.T.O.M., Tunis.
avec la collaboration technique de Mme **M. J. Pouget**

un air sensiblement sec, de toutes façons non saturé. Il est permis de penser que la mesure d'humidité sur de tels échantillons est surestimée, en raison même du départ d'eau de constitution du gypse s'ajoutant à l'eau normalement fixée par le sol, à un taux précisément recherché. On se propose donc de déterminer l'importance quantitative de l'eau en "excès" introduite dans la mesure, ceci en fonction de la teneur en gypse.

I - LES MESURES D'HUMIDITÉ

MODE OPÉRATOIRE

Le principe est simple : on dessèche simultanément les échantillons de deux façons :

- d'une part, à l'étuve à 105°C dans une capsule non couverte (durée : 16 à 24 heures) ;
- d'autre part, suivant un procédé permettant d'éviter une déshydratation du gypse tout en obtenant une dessiccation correcte, qu'il est facile de vérifier par comparaison avec celle donnée à l'étuve, en utilisant des échantillons témoins non gypseux.

Pour cela, on opère sous vide dans un dessiccateur contenant de l'acide sulfurique concentré du commerce où l'on dispose les échantillons (1) placés dans des capsules en porcelaine (durée : 3 à 4 jours, ou plus si nécessaire, jusqu'à obtention de dessiccation maximum).

Le gypse est dosé par la méthode gravimétrique (précipitation des sulfates par le chlorure de baryum) et est exprimé en % de terre séchée à l'air. Pour quelques échantillons, ce dosage, refait à la thermobalance, a donné des résultats très voisins, aux erreurs d'expérience près.

CHOIX DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons étudiés ont été prélevés pour la plupart au cours d'études pédologiques dans le sud tunisien, quelques-uns provenant cependant du nord et du centre du pays. Ils constituent une gamme assez complète des sols de Tunisie :

- **sols peu évolués** d'apport éolien ou fluvio-éolien, à teneur variable en gypse ;
- **sols isohumiques** (bruns steppiques) présentant en profondeur un horizon encroûté renfermant du gypse en microcristaux bien visibles répartis dans la masse, ou en amas très finement microcristallisés tapissant les pores tubulaires (gypse : de 10 à 30 %) ;
- **sols calcimorphes à croûte et encroûtement gypseux de surface** : formations très typiques du sud tunisien, contenant 40 à 90 % de gypse ;
- **sols halomorphes** présentant, au dessus de la nappe, une croûte ou un encroûtement gypseux, avec 30 à 60 % de gypse ;
- **sols des oasis**, dans lesquels la mise en culture déjà ancienne a provoqué une évolution rapide, beaucoup plus poussée que dans les zones avoisinantes où la pédogenèse est ralentie par le climat semi-aride actuel. Cette évolution se manifeste par une accumulation de matière organique, la précipitation du gypse au niveau des racines ou au dessus de la nappe phréatique, et la formation de gley ou de pseudo-gley.

En définitive, les échantillons étudiés, qui proviennent soit d'horizons superficiels, soit d'horizons profonds, offrent une gamme variée aussi bien dans les teneurs en gypse (0 à 90 %) que

(1) Echantillons séchés à l'air ou plus humides prélevés dans le sol en place (ex. : profil PC 190).

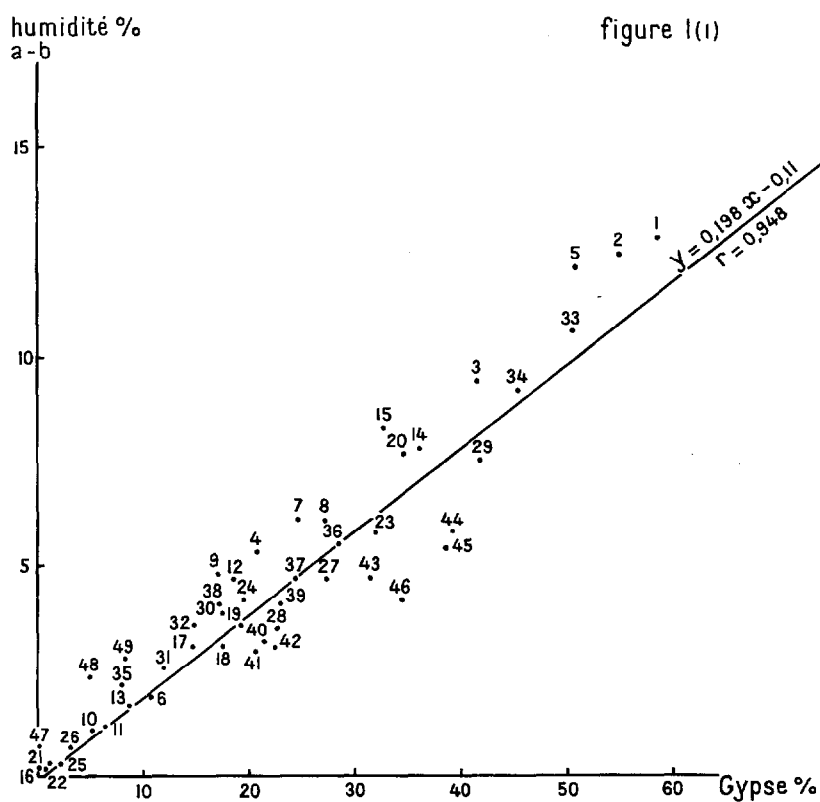
dans ses différentes nuances morphologiques (gypse microcristallisé diffus, macrocristallisé, amas, nodules, pseudomycélium) ou génétiques (apport éolien, encroûtements de surface, encroûtements et croûtes de nappe actuels, etc.). Ces échantillons présentent en outre une gamme étalée de composition granulométrique, la teneur en éléments fins 0 - 20 μ variant de 8 à 83 %.

RÉSULTATS

Les résultats analytiques (tableau I.1) et la figure 1 permettent de voir immédiatement la relation étroite existant entre, d'une part le taux de gypse et, d'autre part, la différence (a - b) % entre la perte de poids (a) à l'étuve à 105°C et l'humidité (b) obtenue par dessiccation sous vide en présence d'acide sulfurique ; l'humidité % est exprimée par rapport à la terre initiale.

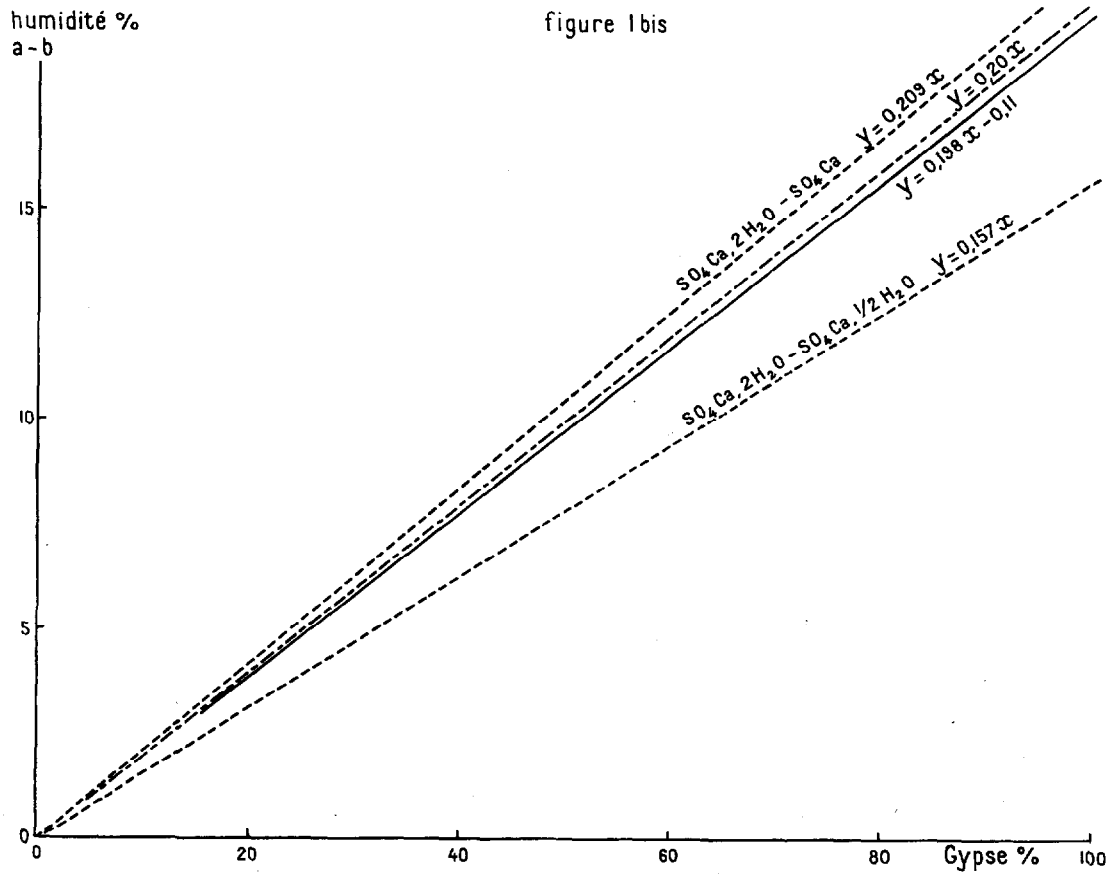
Le calcul, portant sur 49 échantillons les plus représentatifs (gypse de 0 à 60 %), montre l'existence d'une régression linéaire remarquable dont l'équation s'exprime par :

$$y = 0,198 x - 0,11 \quad r = 0,948 \quad P > 0,001 \quad T H S$$



INTERPRÉTATION

Il est intéressant de comparer (figure 1 bis) la droite expérimentale à celles, théoriques, obtenues par la déshydratation d'un échantillon dont le taux de gypse varierait de 0 à 100 % :



- Transformation en semi-hydrate ($\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$) : $y = 0,157 x$

- Transformation en sulfate anhydre (CaSO) : $y = 0,209 x$.

Ainsi, la différence d'humidité (a - b) représente un départ d'eau nettement supérieur à la deshydratation en semi-hydrate et légèrement inférieur à la transformation en sulfate anhydre.

En définitive, la dessiccation à l'étuve à 105°C d'un échantillon gypseux dans une capsule non couverte conduit à la **déshydratation pratiquement complète du gypse en sulfate anhydre**

Ce résultat est également obtenu avec des cristaux de gypse finement broyés à 0,5 mm :

$$\begin{aligned} \text{gypse dosé} &= 93,6\% \\ (\text{a} - \text{b}) &= 18,4\% \quad \text{avec } \text{b} = 0. \end{aligned}$$

II - APPLICATIONS

MESURE DE L'HUMIDITÉ RÉSIDUELLE

exprimée en % de terre initiale.

Pour les mesures de routine, la droite $y = 0,198 x - 0,11$ peut se simplifier en :

$$y = 0,20 x$$

La différence (a - b) est donc sensiblement égale au cinquième du taux de gypse de l'échantillon. Ceci revient à diminuer la mesure à l'étuve d'une valeur égale au cinquième du taux de gypse.

Exemple n° 37 (tableau I) :

humidité % à l'étuve = 5,9

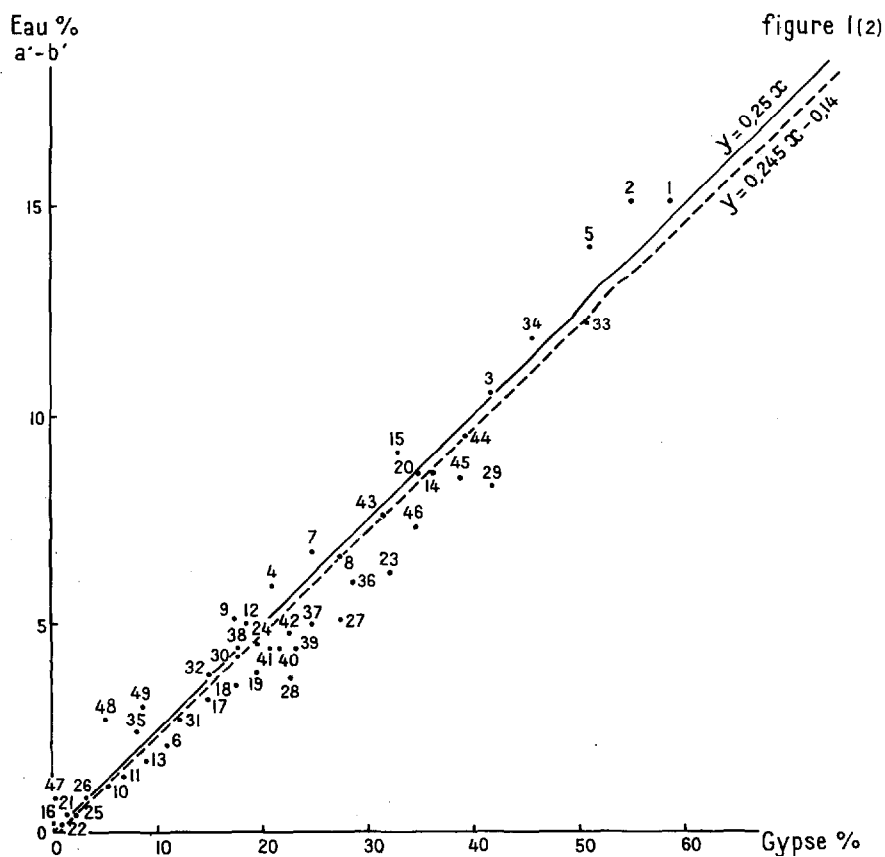
gypse % = 24,3

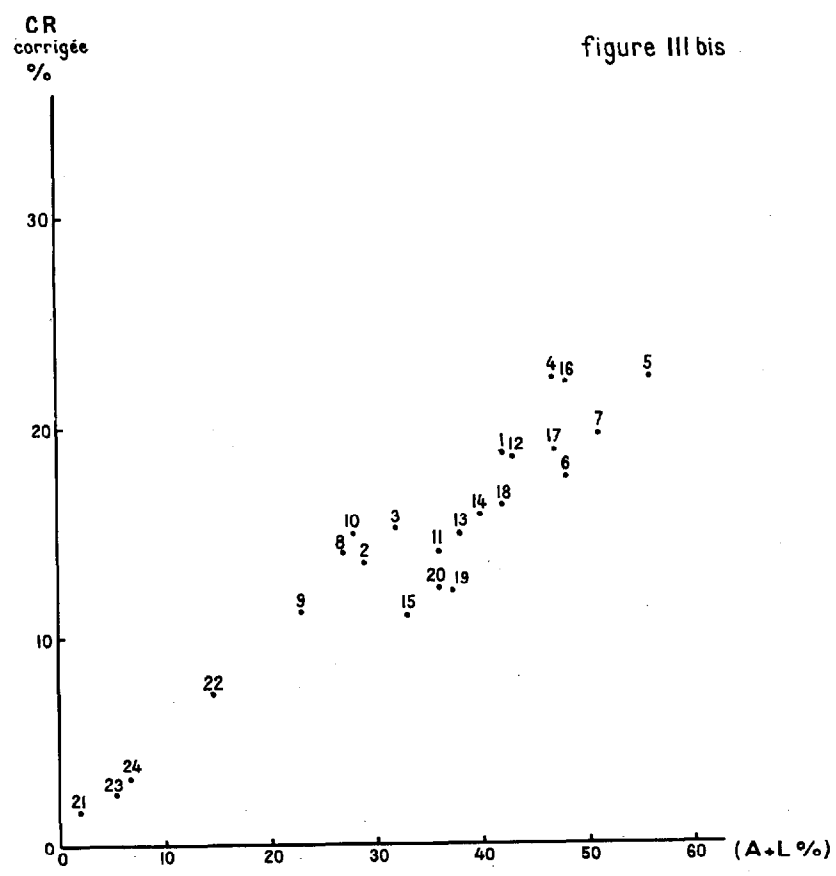
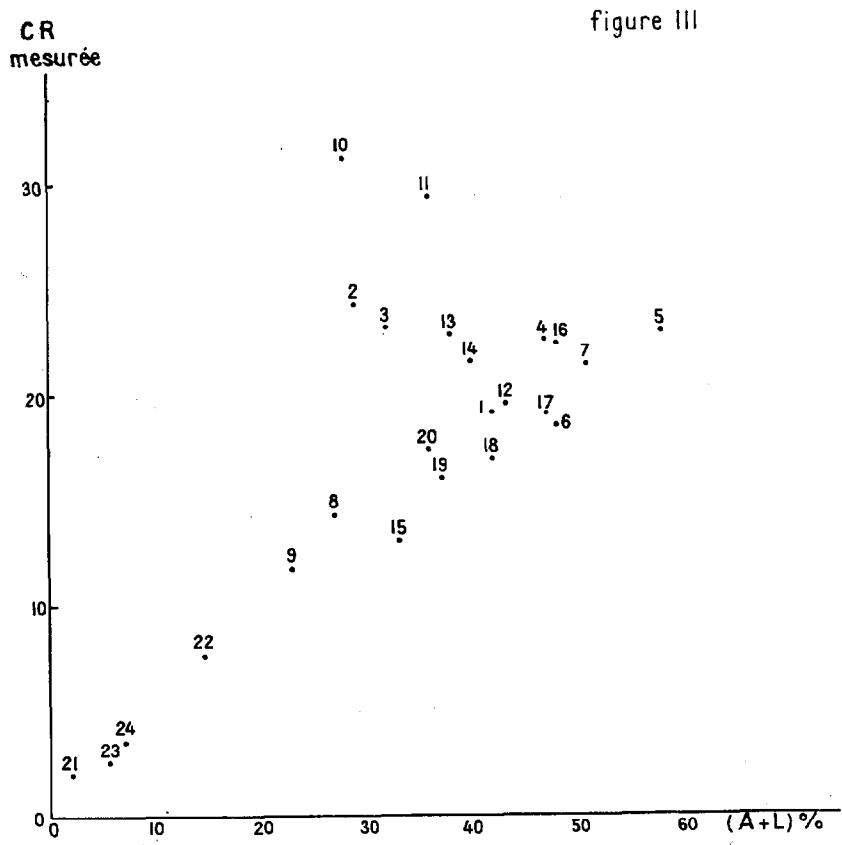
donc humidité résiduelle corrigée = $5,9 - \frac{24,3}{5} = 1,0\%$.

MESURE DE LA CAPACITÉ DE RÉTENTION

Généralement, la capacité de rétention ou les mesures d'humidité à différentes valeurs de pF sont exprimées en % de **terre séchée à l'étuve**.

En se plaçant dans ces conditions (valeurs d'humidité exprimées en % de terre séchée à l'étuve ou terre séchée sous vide) le calcul précédent permet d'obtenir la corrélation remarquable (tableau I-2) :





$$r = 0,975 \quad P > 0,001 \quad T H S$$

et l'équation de la droite de régression (figure 1.2) :

$$y' = 0,245 x - 0,14.$$

Expression que l'on peut simplifier et écrire : $y' = 0,25 x$

Le résultat de la mesure à l'étuve doit donc être diminué d'une valeur égale au quart du taux de gypse.

Deux exemples illustrent une telle correction :

Oasis d'Oued Zira (presqu'île de Kebili)

En bordure du Chott Djerid, les oasis sont souvent installées sur des sables dunaires gypseux ; la teneur en gypse de ces sols oscille entre 40 et 60 % pour une texture sableuse à limono-sableuse. Le tableau 2 résume les différentes valeurs, mesurées et corrigées, de la capacité de rétention (1) (méthode Richards).

Oasis de Gafsa

Une autre série d'échantillons de l'oasis de Gafsa (P. MARTINI) montre une corrélation meilleure entre, d'une part, la teneur en éléments fins (A + L)% et, d'autre part, la capacité de rétention corrigée. (Tableau 3, figures 3 et 3 bis). On note, figure 3, la dispersion des points 10, 11, 2, 3, etc., comparativement à la figure 3 bis où la correction a été faite.

Pour 24 échantillons, le calcul de corrélation a donné les coefficients suivants :

$$r = 0,726 \quad \text{avec les valeurs mesurées}$$

$$r = 0,951 \quad \text{avec les valeurs corrigées}$$

III - CONCLUSIONS

Dans les sols gypseux, le dosage du gypse est indispensable pour obtenir une mesure d'humidité correcte.

En effet, la déshydratation du gypse intervient en s'ajoutant à la valeur de l'humidité recherchée. Dans les conditions habituelles de ces mesures, le gypse naturel plus ou moins finement cristallisé se transforme en sulfate anhydre : résultat en accord avec les travaux de P. JOLIBOIS et P. LEFEVRE.

Aux mesures effectuées à l'étuve à 105°C, doit être retranchée une valeur égale au cinquième ou quart du gypse %, selon que l'humidité est exprimée par rapport à la terre initiale ou séchée à l'étuve.

IV - BIBLIOGRAPHIE

BUREAU (P.) et ROEDERER (P.) - 1960 - Contribution à l'étude des sols gypseux du sud tunisien : croûtes et encroûtements gypseux de la partie sud du Golfe de Gabès. (Mult.) SSEPH (E.S. 33), Tunis.

COQUE (R.) - 1962 - *La Tunisie présaharienne, étude géomorphologique.* Armand Colin, Paris.

(1) Pour des sols ayant une telle texture, le pF 2,7 est trop élevé pour la capacité de rétention. D'autre part, les granulométries sont difficiles malgré l'utilisation d'oxalate d'ammonium.

- JOLIBOIS (P.) et LEFEVRE (P.) - 1923 - Sur la déshydratation du gypse. *C.R. Ac. Sc.*, 176, p.1317-1320.
- MARTINI (P.) - Etude pédologique de l'oasis de Gafsa. (à paraître).
- POUGET (M.) - 1965 - Etude pédologique de la zone de Gabès-nord. (Mult.) SSEPH, Tunis, n°246.
- POUGET (M.) - 1965 - Etude pédologique des oasis de Gabès. (Mult.) SSEPH, Tunis, n° 274.
- TRICHET (J.) - 1963 - Description d'une forme d'accumulation de gypse par voie éolienne dans le sud tunisien. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, V, p.617-621.

Tableau n° 1

Numéro de l'échantillon	Profondeur	Type de sol	Gypse % x	(A + L) %	1 (1)			1 (2)			
					Humidité % de terre initiale			Humidité % de terre séchée			
					Eau % perdue à 105° a	Eau % perdue sous vide b	Différence d'humidité a - b = y	Eau % perdue à 105° a'	Eau % perdue sous vide b'	Différence d'humidité a' - b' = y'	
P GN 21 n°	1	10 - 60	Encroûtement gypseux de surface	58,6		14,1	1,3	12,8	16,4	1,3	15,1
68	2	110 - 130	Sol salin (croûte gypseuse de nappe)	55,1	31	15,3	2,9	12,4	18,1	3,0	15,1
80	3	50 - 80	Sol salin (encroûtement gypseux fossile)	41,7	20	10,1	0,7	9,4	11,2	0,7	10,5
121	4	130 - 150	Peu évolué steppique	20,6	36	8,1	2,8	5,3	8,8	2,9	5,9
152	5	20 - 40	Encroûtement gypseux de surface	51,0		12,7	0,6	12,1	14,6	0,6	14,0
153	6	10 - 60	Sol salin	10,8	19	3,6	1,7	1,9	3,8	1,7	2,1
201	7	100 - 160	Peu évolué steppique	24,6	19	7,1	1,0	6,1	7,7	1,0	6,7
211	8	70 - 90	Brun steppique	27,4	17	6,9	0,8	6,1	7,4	0,8	6,6
	9	90 - 150	" " " " " "	17,4	16	5,8	1,0	4,8	6,1	1,0	5,1
219	10	10 - 30	Peu évolué d'apport	5,2	12	2,0	0,9	1,1	2,0	0,9	1,1
	11	30 - 60	" " " " " "	6,4	11	1,8	0,6	1,2	1,9	0,6	1,3
	12	60 - 140	" " " " " "	18,4	8	5,2	0,5	4,7	5,5	0,5	5,0
233	13	30 - 50	Peu évolué d'apport à caractère de salinité	8,6	17	2,8	1,1	1,7	2,8	1,1	1,7
	14	50 - 80	" " " " " "	36,1	20	8,7	0,9	7,8	9,5	0,9	8,6
	15	80 - 140	" " " " " "	32,7	22	9,0	0,7	8,3	9,9	0,8	9,1
239	16	70 - 100	Brun steppique	0,1	28	1,1	0,9	0,2	1,1	0,9	0,2
252	17	70 - 100	Brun steppique	14,6	21	4,2	1,1	3,1	4,3	1,1	3,2
PC	4	80 - 100	Gypse microcristallisé diffus	17,4	31	7,9	4,8	3,1	8,5	5,0	3,5
	13	0 - 35	" " " " " "	19,4	19	4,7	1,1	3,6	4,9	1,1	3,8
	16	100 - 140	Gypse microcristallisé diffus avec amas et nodules gypseux	34,8		9,0	1,3	7,7	9,9	1,3	8,6
	17	0 - 40	Gypse en amas et nodules, gley radulaire	1,1	15	1,9	1,6	0,3	2,0	1,6	0,4
	22	40 - 100	" " " " " "	0,6	21	2,2	2,0	0,2	2,3	2,1	0,2
	23	100 - 145	" " " " " "	32,0	27	6,9	1,1	5,8	7,4	1,2	6,2
	24	145 - 175	" " " " " "	19,5	13	5,1	0,9	4,2	5,4	0,9	4,5
21	25	0 - 45	Gypse microcristallisé diffus	2,1	16	2,0	1,7	0,3	2,1	1,7	0,4
	26	45 - 70	" " " " " "	3,2	20	2,5	1,8	0,7	2,6	1,8	0,8
	27	70 - 100	Amas et nodules gypseux, gley radulaire	27,5	27	6,1	1,4	4,7	6,5	1,4	5,1
	28	110 - 160	" " " " " "	22,7	28	5,0	1,5	3,5	5,2	1,5	3,7
	29	90 - 150	" " " " " "	41,9		8,4	0,9	7,5	9,2	0,9	8,3
	30	40 - 70	" " " " " "	17,5	24	5,3	1,4	3,9	5,6	1,4	4,2
31	31	40 - 70	Gypse microcristallisé diffus	12,0	23	4,3	1,7	2,6	4,5	1,8	2,7
	32	0 - 40	" " " " " "	14,9	22	4,9	1,3	3,6	5,1	1,3	3,8
37	33	140 - 170	Amas et nodules gypseux, gley radulaire	50,7	43	11,7	1,1	10,6	13,3	1,1	12,2
	39	70 - 130	Amas et nodules gypseux	45,5	26	10,4	1,2	9,2	13,0	1,2	11,8
41	35	60 - 80	Gypse microcristallisé diffus	8,0	25	4,1	1,9	2,2	4,3	1,9	2,4
106	36	0 - 35	" " " " " "	28,5	25	6,6	1,1	5,5	7,1	1,1	6,0
	37	35 - 70	" " " " " "	24,3	23	5,9	1,2	4,7	6,2	1,2	5,0
	38	70 - 110	" " " " " "	17,6	17	4,8	0,7	4,1	5,1	0,7	4,4
	39	110 - 130	" " " " " "	23,0	12	5,5	1,4	4,1	5,8	1,4	4,4
190	40	0 - 20	Gypse microcristallisé, amas et nodules gypseux, gley radulaire	21,5		16,5	13,3	3,2	19,8	15,4	4,4
	41	20 - 40	" " " " " "	20,7		19,0	16,0	3,0	23,4	19,0	4,4
	42	40 - 60	" " " " " "	22,3		21,0	17,9	3,1	26,6	21,8	4,8
	43	60 - 80	" " " " " "	31,7		23,7	19,0	4,7	31,1	23,5	7,6
	44	80 - 100	" " " " " "	39,2		24,5	18,7	5,8	32,4	22,9	9,5
	45	100 - 120	" " " " " "	38,8		23,5	18,1	5,4	30,7	22,2	8,5
	46	120 - 140	" " " " " "	34,5		26,2	22,0	4,2	35,5	28,2	7,3
P SM 2 n°	47	0 - 40	Peu évolué d'apport	0,1	46	3,0	2,3	0,7	3,1	2,3	0,8
M Ga 253	48	40 - 80	Salé à alcalis	5,0	83	6,6	4,2	2,4	7,1	4,4	2,7
G S 67	49	> 145	Brun steppique	8,3		4,9	2,1	2,8	5,1	2,1	3,0

Tableau n°2 Oasis d'Oued Zira (M. POUGET)

Numéro de l'échantillon	Profondeur en cm	Gypse %	Correction = gypse/4	CR mesurée pF 2,7	CR corrigée pF 2,7	(A + L) %	
P OZ	1	0 - 20	41	10,3	25,0	14,7	30,0
		20 - 50	58	14,5	36,7	22,2	31,0
	2	0 - 50	51	12,8	31,5	18,7	25,0
	3	0 - 40	36	9,0	23,9	14,9	24,0
	15	0 - 55	50	12,5	26,2	13,7	26,0

Tableau n°3 Oasis de Gafsa (P. MARTINI)

Numéro de l'échantillon	Profondeur en cm	Gypse %	Correction = gypse/4	CR mesurée pF 2,7	CR corrigée pF 2,7	(A + L) %	
Ma Ga 27 n°1	35 - 60	1,6	0,4	19,1	18,7	42,0	
	2	60 - 95	43,1	10,8	24,3	13,5	29,0
3	95 - 130	31,9	8,0	23,2	15,2	32,0	
31	4	0 - 15	1,5	0,4	22,7	22,3	47,0
	5	15 - 60	3,3	0,8	23,1	22,3	58,0
	6	60 - 120	3,2	0,8	18,4	17,6	48,0
7	120 - 180	7,1	1,8	21,4	19,6	51,0	
	8	0 - 20	1,1	0,3	14,3	14,0	27,0
	9	20 - 60	1,8	0,5	11,7	11,2	23,0
10	60 - 90	65,0	16,3	31,2	14,9	28,0	
11	90 - 150	60,8	15,2	29,3	14,1	36,0	
42	12	0 - 20	3,8	1,0	19,5	18,5	43,0
	13	20 - 60	32,4	8,1	22,9	14,8	38,0
14	60 - 140	22,9	5,7	21,5	15,8	40,0	
15	140 - 200	8,5	2,1	13,0	10,9	33,0	
48	16	0 - 20	1,6	0,4	22,5	22,1	48,0
	17	20 - 80	1,0	0,3	19,1	18,8	47,0
	18	80 - 120	2,2	0,6	16,9	16,3	42,0
19	120 - 140	15,7	3,9	16,1	12,2	37,0	
20	140 - 160	19,9	5,0	17,3	12,3	36,0	
87	21	0 - 50	1,2	0,3	2,0	1,7	2,0
	22	50 - 90	1,0	0,3	7,6	7,3	14,5
	23	90 - 130	0,9	0,2	2,5	2,3	5,5
24	130 - 160	0,7	0,2	3,5	3,3	6,5	