

432703

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
200, RUE DORCHESTER SUD, 7e  
QUÉBEC, (QUÉBEC)  
G1K 5Z1

ETUDE DE L'INFLUENCE DU POURCENTAGE DE  
CONCASSE SUR LA PORTANCE D'UNE CHAUSSEE  
A PARTIR D'ESSAIS DE LABORATOIRE

QTRD

^ CANQ  
TR  
GE  
SM 4  
219



Direction générale du Génie		N° de classement: RTQ-86-13	
Titre du rapport Influence du pourcentage de concassé sur la portance d'une chaussée à partir d'essais de laboratoire.			
Auteur du rapport Paul Flon, ing.		Rapport d'étape <input checked="" type="checkbox"/>	An Mois Jour
But de l'étude ou de la recherche Étude des relations qualité du gravier vs dégradation vs distribution granulométrique vs pourcentage de concassé vs stabilité de la fondation routière.		Rapport final <input type="checkbox"/>	8, 6   0, 6
		N° de dossier	
		N° du contrat	

Etude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Laboratoire Central Ministère des Transports 2700, rue Einstein Sainte-Foy, G1P 3W8	Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Laboratoire Central Ministère des Transports 2700, rue Einstein Sainte-Foy, G1P 3W8
---	---

Renseignements supplémentaires

Cette étude a fait l'objet d'un stage effectué par un étudiant de l'Université de Sherbrooke, Guy Tousignant. Elle s'inscrit dans le cadre d'une recherche générale visant à préciser l'influence de différents indices de qualité des granulats sur le comportement des fondations de route.

Resumé du rapport

Deux sortes de matériaux ont été tamisés, l'un granitique, l'autre schisteux; de nombreux échantillons ont été reconstitués, pour différents pourcentages de sable (35%, 47,5%, 60%) et pour différents pourcentages de concassé (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). Une grande quantité d'essais d'identification, proctor et CBR ont été réalisés.

Il apparaît que le pourcentage de sable a une influence beaucoup plus forte sur la stabilité de la chaussée que le pourcentage de concassé ou de particules ayant au moins une face fragmentée. Le pourcentage de sable devrait se situer entre 35% et 47,5%. La nature du sable n'a pas été étudiée dans ce travail. Un pourcentage compris entre 50% et 70% de granulats fragmentés est celui qui se rapproche le plus de l'optimum; il augmente l'indice CBR d'environ 30%.

Nous pensons donc que c'est surtout le faible pourcentage de sable, la distribution très régulière de la granulométrie, et la bonne qualité des granulats, qui contribuent le plus à la stabilité de la chaussée, bien davantage que le degré de concassage; cette étude laisse sous-entendre alors qu'on pourrait bien souvent éviter de concasser les graviers.

La difficulté d'interprétation des résultats provient surtout du manque de différence entre le matériau concassé à 100% et le matériau naturel, déjà fragmenté naturellement. Cette difficulté d'interprétation soulève cependant le problème de l'appréciation encore trop reliée à l'opérateur du véritable pourcentage de concassé et de la qualité de la fracture elle-même. On est limité d'autre part par la piètre performance de l'essai CBR pour évaluer la portance en laboratoire.

Mots-clés pourcentage de concasse - face fragmentée - portance - pourcentage de sable - granulo- métrie - qualité des granulats - dégradation - granitique - schisteux - CBR.	<input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée	<input type="checkbox"/> Diffusion interdite
	<p align="center"><i>Yvan Tremers</i></p> <p align="center">Signature du directeur général</p>	
		18, 6   0, 6   1, 7   Date

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
200, RUE DORCHESTER SUD, 7e  
QUÉBEC, (QUÉBEC)  
G1K 5Z1

ETUDE DE L'INFLUENCE DU POURCENTAGE DE CONCASSE SUR LA  
PORTANCE D'UNE CHAUSSEE A PARTIR D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Préparé par: Guy Tousignant, étudiant  
Stagiaire au Laboratoire  
Central.

du 6 janvier au 18 avril  
1986

Revu par : Paul Flon, ing.  
Laboratoire Central  
Ministère des Transports

Sainte-Foy, le 22 avril 1986

## TABLE DES MATIERES

	PAGE
TABLE DES MATIERES	I
LISTE DES TABLEAUX	II
LISTE DES GRAPHIQUES	III
REMERCIEMENTS	V
INTRODUCTION . . . . .	1
1. Procédure de travail . . . . .	2
2. Caractéristiques des matériaux . . . . .	4
2.2 Granulométrie . . . . .	5
2.3 Densité et absorption . . . . .	6
2.4 Durabilité et résistance à l'abrasion . . . . .	7
2.5 Perméabilité (figures 4 à 11) . . . . .	9
2.6 Pourcentage de particules fragmentées . . . . .	10
2.7 Coefficient d'écoulement des gravillons . . . . .	13
3. Analyse des résultats . . . . .	15
3.1 Masse volumique sèche $\rho_d$ (figures 12, 13, 14, 15, 16). . . . .	15
3.2 Dégradation des granulats (tableaux 13 à 19) . . . . .	17
3.3 Teneur en eau (figures 17 à 21) . . . . .	20
3.4 Indice CBR (figures 22 à 31) . . . . .	21
4. Conclusion . . . . .	23

## LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
1. Granulométrie des mélanges (% passant) . . . . .	5
2. Granulométrie des sables (% passant) . . . . .	5
3. Densité (bulk) et absorption . . . . .	6
4. Durabilité et résistance à l'abrasion . . . . .	7
5. Exigences du C.C.D.G. . . . .	8
6. Coefficient de perméabilité . . . . .	9
7. Pourcentage de particules ayant au moins une face fragmentée . . . . .	10
8. Pourcentage de particules fragmentées dans nos mélanges . . . . .	11
9. Coefficient d'écoulement de la ligne médiane du fuseau . . . . .	13
10. Coefficient d'écoulement de différentes grosseurs de matériaux (en secondes) . . . . .	14
11. % de dégradation à 0% de concassé . . . . .	18
12. Granulométrie après Proctor d'un mélange à 35% de sable . . . . .	19
13. Gravier granitique limite inférieure 35% de sable (g1-100). . . . .	26
14. Gravier granitique ligne médiane 47.5% de sable (g1-100) . . . . .	27
15. Gravier granitique limite supérieure 60% de sable (g1-100). . . . .	28
16. Gravier granitique ligne médiane 47.5% de sable (g1-100) . . . . .	29
17. Gravier schisteux limite inférieure 35% de sable (g1-100) . . . . .	30
18. Gravier schisteux ligne médiane 47,5% de sable (g1-100) . . . . .	31
19. Gravier schisteux limite supérieure 60% de sable (g1-100) . . . . .	32

## LISTE DES GRAPHIQUES

	PAGE
1. Mélanges des limites inférieure et supérieure . . . . .	33
2. Mélanges ligne médiane sable (gl-6300, gl-100) . . . . .	34
3. Granulométrie des sables . . . . .	35
4. Perméabilité au Proctor modifié, gravier granitique naturel, après saturation . . . . .	36
5. Perméabilité au Proctor modifié, gravier granitique naturel, 24 hres après saturation . . . . .	37
6. Perméabilité au Proctor modifié, gravier granitique concassé, après saturation . . . . .	38
7. Perméabilité au Proctor modifié, gravier granitique concassé, 24 hres après saturation . . . . .	39
8. Perméabilité au Proctor modifié, gravier schisteux naturel, après saturation . . . . .	40
9. Perméabilité au Proctor modifié, gravier schisteux naturel, 24 hres après saturation . . . . .	41
10. Perméabilité au Proctor modifié, gravier schisteux concassé, après saturation . . . . .	42
11. Perméabilité au Proctor modifié, gravier schisteux concassé, 24 hres après saturation . . . . .	43
12. Masse volumique (granitique) vs % concassé . . . . .	44
13. Masse volumique (granitique) vs % particules fragmentées . . . . .	45
14. Masse volumique (schisteux) vs % concassé . . . . .	46
15. Masse volumique (schisteux) vs % particules fragmentées . . . . .	47
16. Masse volumique (granitique) vs % concassé . . . . .	48
17. Teneur en eau (granitique) vs % concassé . . . . .	49
18. Teneur en eau (granitique) vs % particules fragmentées . . . . .	50
19. Teneur en eau (schisteux) vs % concassé . . . . .	51

LISTE DES GRAPHIQUES (suite)

	PAGE
20. Teneur en eau (schisteux ) vs % particules fragmentées . . . . .	52
21. Teneur en eau (granitique) vs % concassé . . . . .	53
22. C.B.R. (granitique) vs % concassé . . . . .	54
23. C.B.R. (granitique) vs % particules fragmentées . . . . .	55
24. C.B.R. (granitique) vs % concassé . . . . .	56
25. C.B.R. (schisteux) vs % concassé . . . . .	57
26. C.B.R. (schisteux) vs % particules fragmentées . . . . .	58
27. C.B.R. (0% concassé) vs % sable . . . . .	59
28. C.B.R. (25% concassé) vs % sable . . . . .	60
29. C.B.R. (50% concassé) vs % sable . . . . .	61
30. C.B.R. (75% concassé) vs % sable . . . . .	62
31. C.B.R. (100% concassé) vs % sable . . . . .	63

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier messieurs Paul Flon, Gaëtan Lefebvre, Georges Lauzier, Lucien Arial, du laboratoire Central qui ont apporté une aide technique et pratique, ainsi que monsieur Michel Côté du Centre Régional de Québec.

## INTRODUCTION

Cette étude a pour but d'optimiser la construction de chaussées en réduisant les exigences de concassage, sans trop réduire la portance de la fondation supérieure.

L'étude a été faite sur des matériaux 19-0a (fondation supérieure), car la portance est étudiée en laboratoire par l'essai CBR, donc dans un moule proctor (granulats inférieurs à 20 mm).

Les essais ont été réalisés sur un gravier plutôt granitique et sur un gravier plutôt schisteux; l'étude devra s'étendre à d'autres matériaux de qualité différente. Tout en signalant les limites des essais proctor et CBR pour évaluer la portance, ce travail permettra de dégrossir le problème de l'influence de faces fragmentées des granulats sur la portance d'une chaussée.

## 1. Procédure de travail

Au départ, nous avons choisi deux matériaux ayant des propriétés et qualités différentes. Le premier est un matériel non dégradable et le second dégradable.

Les essais ont été faits selon les normes du B.N.Q. et de l'A.S.T.M., sur les deux matériaux de façon identique.

Nous allons travailler avec un gravier de calibre 20-0, afin de répondre aux exigences granulométriques du C.C.D.G. pour une fondation supérieure. Aussi, le fuseau d'exigences devra répondre à la norme de l'essai Proctor; On aura 100% passant au tamis 20 mm au lieu de 90 à 100%.

Etant donné que l'on va utiliser plusieurs mélanges, on devra séparer les graviers à différentes grosseurs de tamis:

- passant 20 mm...retenu 14 mm
- passant 14 mm...retenu 10 mm
- passant 10 mm...retenu 5 mm
- passant 5 mm.

Les mélanges seront:

- limite inférieure du fuseau (35% de sable)
- ligne médiane du fuseau (47.5% de sable)
- limite supérieure du fuseau (60% de sable)

Pour la partie du gros granulat, nous allons reconstruire les mélanges voulus à partir des matériaux tamisés. Tandis que pour le granulat fin, nous allons utiliser le même sable pour chaque série d'essais. Auparavant, ce sable aura été tamisé au tamis 5 mm. Et

afin d'éviter toute ségrégation, le sable sera séparé à l'aide d'un séparateur, à la quantité voulue.

Dans cette étude, on aura 7 séries de mélange; et le seul paramètre qui va varier est le pourcentage de concassé (0,25,50,75, 100%). Les séries d'essais sont:

1. Gravier granitique - ligne médiane - sable gl-6300
2. Gravier granitique - limite supérieure- sable gl-100
3. Gravier granitique - limite inférieure- sable gl-100
4. Gravier granitique - ligne médiane - sable gl-100
5. Gravier schisteux - ligne médiane - sable gl-100
6. Gravier schisteux - limite supérieure- sable gl-100
7. Gravier schisteux - limite inférieure- sable gl-100

On entend par concassé, le gravier qui a été concassé et tamisé industriellement, qui a donc subi une transformation ou une manipulation, et qui est stocké à un endroit autre que celui du gravier naturel. Celui-ci peut présenter dans son état naturel une ou deux faces fragmentées; le gravier concassé peut présenter une face concassée industriellement et une autre face fragmentée naturellement. Le terme fragmenté s'appliquera dans le texte au gravier naturel, mais aussi au gravier concassé qui pouvait présenter une face fragmentée avant de se faire concasser, ou qui était déjà suffisamment fragmenté naturellement pour pouvoir passer tous les tamis sans subir de concassage.

On signalera en dernier lieu que la majorité des essais n'ont été faits qu'une seule fois, sauf indication contraire, alors qu'il serait nécessaire d'en faire deux pour chacun des essais proctor et CBR; on a préféré, dans un premier temps, couvrir davantage le sujet.

## 2. Caractéristiques des matériaux

Pour l'étude, nous avons utilisé 3 granulats différents. Divers essais ont été effectués sur ceux-ci, afin de déterminer leurs propriétés physiques et mécaniques.

### 2.1. Identification

- Gravier granitique: -Provenance: carrière P.E.B.
  - Municipalité: Lac St-Charles
  - Nom géologique: granit, gneiss granitique
  - Minéraux primaires: feldspath, quartz, mica
  - Description de la texture: granulaire, gneissique
  - Nombre pétrographique: 119  
(effectué sur pass.20mm ret.14 mm)
  - Numéro: gravier granitique naturel gl-6300  
          gravier granitique concassé gl-6000
  
- Gravier schisteux: -Provenance: banc Marcel Goulet
  - Municipalité: St-Damien
  - Nom géologique: grès, chlorite, quartz
  - Minéraux primaires: chlorite, quartz
  - Description de la texture: granulaire, schistosité
  - Nombre pétrographique: 189  
(effectué sur pass.20mm ret.14 mm)
  - Numéro: gravier schisteux naturel gl-5700  
          gravier schisteux concassé gl-5600
  
- Sable granitique: -Provenance: P.E.B.-sable-(bas)
  - Municipalité: Lac St-Charles
  - Numéro: sable gl-100

2.2. Granulométrie

Tableau.1: Granulométrie des mélanges (% passant)  
voir graphiques 1, 2

Tamis	fuseau modifié 20 - 0	limite inférieure sable gl-100	ligne médiane sable gl-100	ligne médiane sable gl-6300	limite supérieure sable gl-100
20 mm	100	100	100	100	100
14 mm	68 - 93	68	80.5	80.5	93
10 mm	---	52	66	66	82
5 mm	35 - 60	35	47.5	47.5	60
2.5 mm	---	30	41	30	52
1.25mm	19 - 38	25	34	25	43
630 um	---	17	23	21	29
315 um	9 - 17	9	12	19	16
160 um	---	5	7	18	8
80 um	2 - 8	2.5	3.4	17.0	4.3

Tableau.2: granulométrie des sables (% passant)  
voir graphique 3

Tamis	gl-100	gl-6300
5 mm	100	100
2.5 mm	87	64
1.25mm	72	52
630 um	49	45
315 um	26	41
160 um	14	38
80 um	7.2	35.7

2.3. Densité et Absorption

Tableau.3: Densité (bulk) et absorption

Matériel	Densité	Absorption (%)
granitique naturel		
pass.20mm-ret.14mm	2.62	0.7
pass.14mm-ret.10mm	2.62	0.8
pass.10mm-ret. 5mm	2.61	1.0
granitique concassé		
pass.20mm-ret.14mm	2.62	0.7
pass.14mm-ret.10mm	2.62	0.9
pass.10mm-ret. 5mm	2.60	1.2
schisteux naturel		
pass.20mm-ret.14mm	2.62	1.5
pass.14mm-ret.10mm	2.60	2.0
pass.10mm-ret. 5mm	2.58	2.2
schisteux concassé		
pass.20mm-ret.14mm	2.66	1.0
pass.14mm-ret.10mm	2.63	1.4
pass.10mm-ret. 5mm	2.61	1.9

## 2.4. Durabilité et Résistance à l'abrasion

Tableau.4: Durabilité et résistance à l'abrasion

Matériel	Micro-Deval (%)	Los Angeles (%)	MgSO <sub>4</sub> (%)
granitique naturel	11.0	48.0	3.3
granitique concassé	11.0	48.0	3.5
schisteux naturel	42.0	30.0	22.8
schisteux concassé	30.0	24.0	9.8

On remarque que le gravier schisteux concassé a moins de pertes que le naturel, aux essais Micro-Deval, Los Angeles et durabilité au MgSO<sub>4</sub>. Au moment du concassage, de nombreuses particules friables sont brisées et passent le tamis 5 mm. Le pourcentage de particules friables est donc supérieur dans le gravier schisteux naturel que dans le gravier schisteux concassé, plus résistant à l'abrasion et à la durabilité que le gravier schisteux naturel. Par contre, les graviers granitiques naturel et concassé ont les mêmes pourcentages de perte aux différents essais.

En général, le matériel granitique est beaucoup plus dur et résistant que le matériel schisteux (Micro-Deval et MgSO<sub>4</sub>). Par contre, le gravier granitique est plus fragile (moins tenace) que le gravier schisteux (essai Los Angeles).

Les exigences qui apparaissent au Cahier des Charges et Devis Généraux du ministère des Transports sont résumés ci-dessous.

Tableau 5: Exigences du C.C.D.G.

Essais	Fondation supérieure
Nombre pétrographique max.	200
Durabilité MgSO <sub>4</sub> %max.	20
Los Angeles %max.	50
Micro-Deval %max.	33

Les graviers granitiques naturel et concassé, ainsi que le gravier schisteux concassé, répondent aux exigences. Tandis que le gravier schisteux naturel dépasse les limites maximales pour les essais Durabilité MgSO<sub>4</sub> et Micro-Deval.

## 2.5 Perméabilité (figures 4 à 11)

Les échantillons ont été compactés au proctor. On a fait des essais de perméabilité sur le mélange de la ligne médiane du fuseau (47.5% sable g1-100). Deux séries de lecture ont été prises sur chaque moule, à un intervalle d'environ 24 heures. La perméabilité a été calculée à partir de la courbe dont le débit était constant (c'est-à-dire la deuxième série d'essais, après stabilisation pendant 24 heures).

Tableau 6: Coefficient de perméabilité

Matériel	K (cm/s)
granitique naturel	$6.3 \times 10^{-4}$
granitique concassé	$6.5 \times 10^{-4}$
schisteux naturel	$7.6 \times 10^{-5}$
schisteux concassé	$1.9 \times 10^{-4}$

Le coefficient de perméabilité est le même pour les graviers granitiques. Remarquons que le gravier naturel a déjà un pourcentage de particules fragmentées élevé (environ 30%), tandis que le gravier concassé a environ 85% de particules fragmentées (voir paragraphe 2.6). Les deux ont une forme cubique assez similaire.

Pour le gravier schisteux naturel, celui-ci contient environ 70% de particules allongées (le concassé en contient beaucoup moins) et beaucoup de particules friables. On peut aussi expliquer que le gravier naturel a un coefficient de perméabilité plus faible que le gravier concassé.

En résumé, pour une certaine granulométrie, la forme des grains influence beaucoup la perméabilité.

2.6. Pourcentage de particules fragmentées

Cette essai consiste à séparer manuellement les particules ayant au moins une face fragmentée, de celles intactes.

Tableau.7: Pourcentage de particules ayant au moins une face fragmentée.

Matériel	particules ayant au moins une face fragmentée (%)	
granitique naturel	moyenne:	32
pass.20mm-ret.14mm		32
pass.14mm-ret.10mm		36
pass.10mm-ret. 5mm		29
granitique concassé	moyenne:	86
pass.20mm-ret.14mm		92
pass.14mm-ret.10mm		81
pass.10mm-ret. 5mm		84
schisteux naturel	moyenne:	34
pass.20mm-ret.14mm		34
pass.14mm-ret.10mm		34
pass.10mm-ret. 5mm		34
schisteux concassé	moyenne:	90
pass.20mm-ret.14mm		91
pass.14mm-ret.10mm		92
pass.10mm-ret. 5mm		88

NOTE: DANS CETTE ETUDE, QUAND L'ON PARLE DE POURCENTAGE DE CONCASSE, C'EST LE POURCENTAGE DE GRAVIER CONCASSE CONTENU DANS LE MELANGE.

Les graviers naturels (granitique ou schisteux) contiennent environ 30 à 35% de particules ayant au moins une face fragmentée. Ce pourcentage est assez élevé pour un gravier naturel. Aussi, il faut mentionner que ces matériaux ont été:

- mis en sacs
- transportés
- tamisés (tamis 20, 14, 10, 5mm)
- manutentionnés de nombreuses fois

Toutes ces opérations sur les matériaux pourraient causer de la ségrégation, désagrégation, augmentation de particules fragmentées. Afin d'éviter le plus d'erreurs possible, il est bon d'avoir une bonne planification des essais.

Pour un mélange donné, on a un certain pourcentage de particules ayant au moins une face fragmentée:

Tableau 8: Pourcentage de particules fragmentées dans nos mélanges.

% concasse	0%	25%	50%	75%	100%
granitique	32%	45.5%	59%	72.5%	86%
schisteux	34%	48%	62%	76%	90%

Souvent, les granulats ont deux à trois faces de fragmentées. Pour ce qui est du gravier granitique naturel, les arêtes sont émoussées. On peut penser que le fort pourcentage de faces fragmentées résulte des nombreuses années pendant lesquelles les graviers ont été soumis aux agents naturels d'érosion. Par contre, les arêtes du gravier granitique concassé sont angulaires et vives.

Pour le gravier schisteux naturel, environ 50% des particules ayant au moins une face fragmentée ont les arêtes émoussées; pour l'autre 50%, elles sont angulaires. Dans les mêmes conditions climatiques (érosion) que le gravier granitique, le gravier schisteux va être altéré plus rapidement. Ces observations sont sûrement des caractéristiques d'un granulat dégradable (gravier schisteux) et non dégradable (gravier granitique).

Les pourcentages de faces fragmentées du matériau naturel rendra difficile l'interprétation de l'influence du pourcentage de concassé que l'on va imposer (0, 25, 50, 75, 100%) dans les différentes préparations d'échantillons.

Par exemple, si on prépare un mélange à 25% de concassé, le tableau 8 indique que le mélange contiendra, en fait, 45,5% de graviers granitiques fragmentés, et 48% de graviers schisteux fragmentés. L'influence étudiée n'est donc pas celle à 25% de concassé, mais davantage, sans atteindre 45,5% ou 48%, car un gravier à face fragmentée avec arêtes émoussées n'a pas le même comportement qu'un gravier à face fragmentée avec arêtes vives. Par contre, quelques granulats du gravier théoriquement concassé à 100% peuvent très bien présenter aucune face fragmentée: le tableau 8 montre qu'on obtiendrait au maximum 86% (gravier granitique) et 90% (gravier schisteux) de faces fragmentées, au lieu de 100%. C'est au niveau 75% de concassé qu'on a réellement 75% de faces fragmentées (72,5% et 76% exactement).

Remarquons que le 45,5% de faces fragmentées granitiques (25% de concassé) du tableau 8, est la somme de 24% de faces fragmentées du gravier naturel et de 21,5% de faces fragmentées du gravier concassé.

## 2.7. Coefficient d'écoulement des gravillons

Cet essai est lié à la forme et la texture des granulats: un granulat rugueux et anguleux prendra plus de temps à s'écouler qu'un granulat rond et lisse. L'essai est réalisé selon une norme Afnor.

-1re Série d'essais:

- Mélange: ligne médiane du fuseau
- Dimension du matériel: pass.20mm - ret.5mm
- Hauteur du volet: 60 mm

Tableau.9: Coefficient d'écoulement de la ligne médiane du fuseau

	Coefficient d'écoulement (secondes)
<b>granitique</b>	
0% concassé	30
50% concassé	35
100% concassé	38
<b>schisteux</b>	
0% concassé	39
50% concassé	40
100% concassé	45

La progression des valeurs nous permet déjà d'appréhender quelle sera l'influence du pourcentage de concassé, et qu'elle sera peut-être plus forte sur les graviers granitiques que sur les graviers schisteux.

- 2e série d'essais:

Tableau 10: Coefficient d'écoulement de différentes grosseurs de matériaux (en secondes).

	Hauteur du volet (mm)	concassé 0%	concassé 50%	concassé 100%
<b>granitique</b>				
pass. 20mm-ret. 14mm	42	--	--	--
	60	32	--	41
pass. 14mm-ret. 10mm	42	42	45	50
	60	31	34	37
pass. 10mm-ret. 5mm	42	41	46	50
	60	28	31	34
<b>schisteux</b>				
pass. 20mm-ret. 14mm	42	--	--	--
	60	--	--	53
pass. 14mm-ret. 10mm	42	56	58	60
	60	42	44	47
pass. 10mm-ret. 5mm	42	49	51	54
	60	34	37	40

Ces chiffres permettent de se rendre compte que les granulats schisteux sont plus anguleux que les granulats granitiques, quel que soit le pourcentage de concassé. Cette caractéristique devrait conférer à la fondation de gravier schisteux un niveau de portance relativement bon.

### 3. Analyse des résultats

La majeure partie des résultats d'essais, essais proctor modifié et CBR, apparaissent aux tableaux 13 à 19. De nombreuses courbes ont été tracées en fonction du pourcentage de concassé aux graphiques 12 à 26, la masse volumique, la teneur en eau, l'indice CBR. L'influence du pourcentage de sable dans l'échantillon ressort aux figures 27 à 31.

Les courbes proctor n'ont pas été reportées dans ce rapport, mais sont conservées dans le dossier du laboratoire. Signalons que l'optimum proctor a parfois été interprété, dans le cas par exemple des mélanges à 35% de sable, plus favorable à la ségrégation; des fines peuvent être entraînés dans le fond du moule, on peut observer des pertes d'eau en cours de compaction, et le point correspondant peut se trouver à une masse volumique forte, au lieu de contribuer à former un véritable côté droit humide de la courbe en cloche, à masse volumique plus faible. Il s'agit alors de situer l'optimum proctor sur la courbe juste avant ces phénomènes de saturation.

On remarquera aussi aux tableaux des résultats d'essais n° 13 à 19, que la masse volumique CBR est toujours légèrement inférieure à celle de la courbe proctor lue pour la teneur en eau CBR. Ceci est sans doute dû à l'imprécision du tracé de la courbe proctor, ou de la présence d'une plaque de base dans le moule CBR, ce qui provoque peut être une vibration qui change très légèrement le degré de compactage.

#### 3.1 Masse volumique sèche $\rho_d$ (figures 12, 13, 14, 15, 16)

Les essais Proctor ont été compactés à l'énergie "proctor modifié",

On remarque que toutes les masses volumiques calculées au Proctor sont supérieures à celles du CBR, puisque lors du compactage des moules CBR, on travaillait à 95% de la teneur en eau optimum, pour se rapprocher des conditions in situ où on exige en général 95% de la compaction Proctor.

On s'aperçoit qu'en diminuant le pourcentage de sable dans le mélange (sans tenir compte du pourcentage de concassé), la masse volumique sèche augmente. En faisant varier le pourcentage de sable de 60 à 35%, on a une différence de masse volumique d'environ 80 à 100 kg/m<sup>3</sup>, pour les deux sortes de gravier.

Dans le cas du gravier granitique (graphique 12), la masse volumique sèche est en général maximum entre 50% et 75% de concassé, plus près de 50% que de 75% pour les différents pourcentages de sable. La différence pour un pourcentage de sable donné entre le maximum et le minimum de masse volumique, n'excède cependant pas 40 kg/m<sup>3</sup>; on constate aussi qu'un deuxième maximum se situe à 0% de concassé, ce qui, rappelons-le, correspond déjà en fait à 32% de fragmenté; le 60% de "concassé" correspondrait bien quant à lui, à 60% de "fragmenté" (figure 13). Il est difficile de dire pour l'instant si deux maximums (donc pour environ 30% et 60% de particules fragmentées) existent réellement dans ce gravier granitique de bonne qualité. Dans le cas du gravier schisteux (figures 14 et 15),  $\rho_d$  atteint un maximum de 50% de concassé (ou 62% de fragmenté), mais peut continuer d'augmenter très légèrement jusqu'à 100%.

En regardant les courbes granulométriques (graphique 3), on peut dire que le sable gl-6300 a une granulométrie serrée, et celle du sable gl-100 est étalée. Le sable gl-6300 contient 35% de passant le tamis 80  $\mu$ m, tandis que le gl-100 en contient 7%.

La masse volumique sèche a été tracée en fonction du % de concassé pour les deux sortes de sable, dans le cas de la médiane du fuseau, soit 47,5% de sable (graphique 16). Le mélange avec le sable gl-6300 donne un  $\rho_d$  moins constant que celui avec le sable gl-100; celui-ci est inférieur d'environ 70 kg/m<sup>3</sup> à l'autre, quel que soit le pourcentage de concassé. On en conclut que la masse volumique sèche est, dans ce cas, d'autant plus grande et instable que le % de particules fines est plus grand.

Le pourcentage de particules fines dans un mélange a donc une bonne influence sur la masse volumique sèche. Comme il est très difficile de travailler avec ce type de matériel et d'avoir des résultats constants, c'est le sable gl-100 qui a été utilisé pour la suite des essais.

### 3.2 Dégradation des granulats (tableaux 13 à 19)

Après chaque essai proctor, nous avons fait une granulométrie sur le matériel. Ces analyses figurent aux tableaux 13 à 19. On s'aperçoit que le pourcentage passant par tous les tamis est supérieur à la granulométrie théorique. On a pu vérifier cet écart en récupérant tout le matériel d'un proctor à teneur en eau optimum, puis en faisant la granulométrie. Le mélange à 35% de sable pour le gravier granitique (tableau 13) présente des différences plus grandes, avant et après essai, puisqu'il contient davantage de grosses particules susceptibles de se faire casser par l'impact Proctor; ces granulats se dégradent un peu plus si le pourcentage de concassé augmente, si le mélange contient peu de sable. Par contre, le % de concassé n'intervient pas pour la ligne médiane ou la limite supérieure du fuseau, le pourcentage de sable dans le mélange étant trop grand par rapport au pourcentage de pierre. Pour les graviers schisteux (tableaux 18 à 20), le % de concassé n'intervient pas non plus, même pour la limite inférieure (35% de sable); ceci est dû au fait que ces granulats schisteux sont moins fragiles sous impact que les granulats granitiques.

On a calculé le pourcentage relatif de dégradation à 0% de concassé au tableau 11 ci-dessous, c'est-à-dire la différence du pourcentage granulométrique entre après et avant Proctor, rapportée au % passant avant Proctor, pour chaque tamis:

Tableau 11: % de dégradation à 0% de concassé

% de sable tamis	gravier schisteux			gravier granitique		
	35%	47,5%	60%	35%	47,5%	60%
14 mm	13	1	0	10	2	0
10 mm	25	9	4	17	8	0
5 mm	34	6	7	26	8	0
2,5 mm	33	10	2	23	7	0
1,25 mm	32	9	0	24	12	0
630 µm	47	17	3	35	22	14
315 µm	67	33	6	44	42	19
160 µm	80	28	25	40	28	37
80 µm	116	44	28	68	44	35

Ce tableau serait identique pour les autres % de concassé, sauf pour le gravier granitique à 35% de sable, où on observerait donc une légère augmentation de la dégradation avec le % de concassé.

Le tableau indique que les graviers schisteux se dégradent plus que les graviers granitiques, si le mélange contient 35% de sable. Par contre, la dégradation est similaire pour les deux sortes de graviers à 47,5% de sable, et très légèrement plus forte à 60% de sable pour le gravier granitique.

Ces résultats signalent l'importance de la relation dégradation du gravier vs fuseau granulométrique vs qualité du gravier, relation qui mérite qu'on s'y intéresse davantage à l'avenir.

En plus du problème de dégradation du granulat, le tableau 12 permet d'identifier le problème de ségrégation de l'échantillon au moment de l'arasage, après compaction proctor.

Tableau.12: Granulométrie après Proctor d'un mélange à 35% de sable (% passant)

Tamis (% passant théorique)	Gravier granitique			Gravier schisteux		
	après Proctor	arasage	arasage + Proctor	après Proctor	arasage	arasage + Proctor
20 mm (100)	100	100	100	100	100	100
14 mm (68)	78	65	75	78	73	77
10 mm (52)	64	48	60	63	55	61
5 mm (35)	45	32	42	44	39	43
2.5mm (30)	39	29	37	37	--	--
1.25mm (25)	33	25	31	31	--	--
630 um (17)	25	18	23	23	--	--
315 um ( 9)	15	10	14	14	--	--
160 um ( 5)	9	6	8	8	--	--
80 um (2.5)	4.4	2.7	3.9	5.0	--	--

- gravier granitique:- A l'opération d'arasage, il y a eu un peu de ségrégation. On a enlevé trop de gros granulats du moule: environ 3% (35-32).
  - A l'étape de compaction du moule, environ 15% du gros granulat [(65-55)/65] s'est brisé à une dimension inférieure à 5 mm (on avait 65% de pierre avant proctor et 55% après proctor).
- gravier schisteux :- L'opération d'arasage a aussi entraîné une certaine ségrégation, mais dans l'autre sens: on a enlevé trop de sable dans l'échantillon en arasant.
  - Environ 14% de granulats se sont fragmentés sous l'impact proctor [(65-56)/65].

Donc, à l'essai Proctor, il y a du bris et de la ségrégation pour un gravier contenant peu de sable. Le problème de ségrégation de l'arasage ne semble pas primordial, car c'est davantage un problème d'échantillonnage, non relié à l'essai Proctor.

En résumé, pour chacun des mélanges, on peut dire que le pourcentage de concassé ne semble pas avoir une grosse influence sur la masse volumique sèche déterminée à l'essai proctor, puisque sa variation ne dépasse pas  $50 \text{ kg/m}^3$ , soit environ 2% de variation.

### 3.3 Teneur en eau (figures 17 à 21)

La teneur en eau optimum pour un gravier schisteux est plus élevée que celle d'un gravier granitique. Elle est de l'ordre de 7% par rapport à 6% pour un gravier granitique (graphiques 17, 19). Les figures montrent aussi que plus le mélange contient du sable, plus la teneur en eau optimum est élevée.

On constate enfin que la teneur en eau optimum du gravier granitique semble augmenter avec le pourcentage de concassé dans le mélange (graphique 17), avec un semblant de maximum près de 70% de concassé (ou fragmenté voir figure 18), tout au moins pour les courbes 35% et 47,5% de sable. Tandis que pour le gravier schisteux (figures 19 et 20), plus le pourcentage de concassé est élevé, plus la teneur en eau optimum a tendance à diminuer, au-delà de 50% de concassé (ou fragmenté voir figure 20). Ces données concordent avec celles de la masse volumique sèche et laissent entrevoir que la densification et la portance devraient être optimums entre 50% et 75% de concassé pour le gravier granitique, et autour de 50% ou inférieur à 50% pour le gravier schisteux. Là encore, la qualité du matériau intervient, aussi bien la minéralogie du granulat que la quantité de fines dans le sable (figure 21).

Pour ce qui est du mélange de la ligne médiane avec le sable gl-6300 (graphique 21), la teneur en eau varie beaucoup; quand elle est maximale (environ 50% de concassé ou 60% de fragmenté), la masse volumique sèche se rapproche du minimum, le maximum se situant plutôt à 25% de concassé, ou 45% de fragmenté. Rappelons que le sable gl-6300 contient 35% de passant 80  $\mu\text{m}$  alors que le gl-100 en contient 7% (figure 3) ou 17% et 3,4% respectivement dans la granulométrie cumulative de l'échantillon reconstitué (tableaux 15 et 17).

Les teneurs en eau CBR, mesurées au moulage, sont toujours inférieures de 5% environ à la teneur en eau optimum proctor.

En raison des teneurs en eau assez constantes pour chaque matériau, on peut conclure que le pourcentage de concassé a relativement peu d'influence sur la teneur en eau.

#### 3.4 Indice CBR (figures 22 à 31)

Les moules ont été compactés à l'énergie proctor modifié. Tous les essais ont été effectués au laboratoire Central sur la même presse.

Les allures des courbes CBR vs % concassé sont consistantes avec celles des courbes  $\rho_d$  vs % de concassé; on relèvera les points suivants:

- L'indice CBR croit en sens inverse du pourcentage de sable: il est nettement plus élevé à 35% de sable qu'à 60% (près de deux fois plus), quel que soit le matériel, granitique ou schisteux.

- Il est compris entre 50 et 75% de concassé (figure 22) ou 59 et 72,5% de fragmenté (figure 23), pour le gravier granitique; il semble plus proche de 75% s'il y a peu de sable dans le mélange, et voisin de 50% ou de 100% s'il y a beaucoup de sable. A la figure 24, on présente deux mélanges identiques (gravier granitique à 47,5% de sable), dont l'un (sable gl-6300) contient davantage de fines (17% de passant 80  $\mu$ m): son maximum CBR se situe à 45% ou 100% de concassé, sensiblement au même niveau en valeur absolue que le sable qui contient 5% de fines; le sommet de ce dernier se trouve à 75% de concassé.

- Pour le gravier schisteux, l'indice CBR maximum se situe autour de 50% de concassé (figure 25), ou 62% de fragmenté (figure 26), pour 35 ou 47,5% de sable. Il se situe à 25% de concassé si le mélange contient 60% de sable.

- En observant les figures 27 à 31 on confirme que l'optimum est nettement plus marqué à 35% de sable qu'à 60%, tout au moins pour le gravier granitique et, quel que soit le pourcentage de concassé. Pour le gravier schisteux, la différence est plus faible mais la tendance est la même. Le maximum de CBR pour le gravier granitique semble donc être obtenu à un pourcentage de sable plus faible que pour le gravier schisteux.

- Quand le mélange contient beaucoup de sable, l'influence du pourcentage de concassé sur l'indice CBR est moindre: celui-ci varie peu à 60% de sable, tandis qu'un optimum se dégage bien à 35 ou 47,5% de sable, quel que soit le matériel. En d'autres termes, plus il y a de sable dans le mélange, moins grande est l'influence du pourcentage de concassé sur la capacité portante. Ainsi, le pourcentage de sable optimum, pour lequel l'indice CBR est le meilleur serait 25-30% pour le gravier granitique et 35-40% pour le gravier schisteux.

- L'indice CBR varie de 20 à 35% (30% en moyenne), sous l'influence du pourcentage de concassé, entre sa valeur la plus faible et sa valeur la plus forte. Ces deux valeurs sont cependant très élevées (comprises entre 120 et 265 pour le gravier schisteux, entre 135 et 340 pour le gravier granitique) et rencontrent de toute façon les exigences quant à la portance de ces matériaux en fondation routière. Même si cette variation de 30% est significative en soi, les matériaux utilisés dans cette étude présenteraient donc une résistance et une qualité suffisantes pour les utiliser en construction routière sans les concasser, à condition sans doute d'adopter la granulométrie la plus graduelle possible, comme c'était le cas dans cette étude puisqu'on a reconstitué la granulométrie pour chaque essai. D'autres matériaux auraient sans doute donné des indices plus faibles; on peut aussi incriminer l'essai CBR, connu pour donner des résultats plus ou moins précis, et dont l'utilisation ou l'interprétation est très empirique: l'essai CBR est un moyen peu performant pour évaluer la portance en laboratoire, mais c'est le seul moyen dont on dispose.

Même si les matériaux utilisés dans cette étude sont suffisamment bons pour être employés sans leur faire subir un concassage supplémentaire, on retiendra la forme des courbes et la valeur comparative de tous les résultats de l'étude. D'ailleurs, ces résultats concordent grosso modo avec une étude partielle réalisée sur le sujet en 1981 au laboratoire Central (figure E.7 rapport "Influence de la qualité de granulats dans les fondations d'une chaussée", Avril 1981).

#### 4. Conclusion

Cette étude et en particulier la difficulté d'interprétation des résultats soulève l'existence de deux problèmes différents:

- l'appréciation encore trop reliée à l'opérateur du véritable pourcentage de concassé ou de fragmenté, et la connaissance exacte de l'importance de l'arête vive ou émoussée d'une face fragmentée d'un granulat.

- La piètre performance de l'essai CBR pour évaluer la portance en laboratoire.

Malgré ces imprécisions, les résultats de ce travail sont consistants et trouvent des explications dans l'observation de la qualité des granulats utilisés. De façon générale, et en tout cas pour les matériaux choisis pour cette étude, on pourra prévoir une meilleure portance de la fondation supérieure si l'on tient compte des deux tendances suivantes qui se dégagent de cette étude:

- le pourcentage de sable devrait être compris entre 35% et 50% plutôt qu'entre 35% et 60% comme l'exige le CCDG. Plus précisément, il devrait être plus proche de la limite inférieure de 35% pour un matériau granitique que pour un matériau schisteux. On a relevé le cas d'un indice CBR deux fois plus fort à 35% qu'à 60% de sable. Le pourcentage optimum de sable serait même de 25-30% pour le matériau granitique, et 35-40% pour le matériau schisteux.

- le pourcentage de particules ayant plus d'une face fragmentée (soit naturellement, soit par concassage) devrait se situer entre 55% et 75% pour un matériau granitique, entre 50 et 65% pour un matériau schisteux.

Cette fourchette constitue une condition optimum. Il ne sert à rien le plus souvent d'utiliser des graviers davantage fragmentés; ça peut même être nuisible parfois. Le pourcentage de 50% reste une valeur raisonnable. Le pourcentage optimum dépend évidemment de la qualité du granulats employé et de la bonne gradation granulométrique des matériaux. Par exemple, il peut être plus faible que la fourchette précitée, si le pourcentage de sable est de 60%, surtout dans le cas du gravier schisteux.

Le pourcentage de fragmenté fait varier l'indice CBR de 20 à 35%, 30% en moyenne. Si l'on pouvait davantage se fier à la valeur CBR et à la façon d'utiliser cette valeur, on pourrait affirmer avec plus de certitude qu'il est bien souvent inutile de concasser le gravier (comme c'est le cas dans notre étude), surtout si par exemple il est suffisamment fragmenté naturellement ou s'il est bien gradué. En tout état de cause, il est vraisemblable que les exigences de concassage sont trop souvent trop élevées.

Il apparaît aussi assez nettement dans cette étude que le pourcentage de sable a une influence plus forte sur la stabilité de la chaussée que le pourcentage de concassé ou fragmenté.

Notons enfin que la dégradation des matériaux dépend bien sûr de la qualité du granulat lui-même, mais aussi du pourcentage de sable. Par exemple, le gravier schisteux de cette étude se dégrade plus que le gravier granitique à 35% de sable, ce qui ne semble pas être le cas à 60% de sable. Le gravier granitique quant à lui, se dégrade un peu plus si le pourcentage de concassé augmente, et si le pourcentage de sable est faible (35%); ce qui ne s'observe pas dans le cas du gravier schisteux.

Ce travail a permis de jeter les bases d'une vaste étude permettant de préciser pour différents granulats de qualité donnée, l'optimum du pourcentage de concassé et l'optimum du pourcentage de sable, qu'il est souhaitable d'adopter pour assurer la meilleure stabilité à la fondation. Puisque c'est le cas pour les matériaux choisis pour cette étude, celle-ci laisse sous-entendre que les caractéristiques des matériaux employés peuvent parfois être suffisantes pour obtenir la portance requise, et éviter ainsi de concasser les granulats.

TABLEAU. 13

GRAVIER GRANITIQUE LIMITE INFERIEURE

35% de sable (gl-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
ESSAI PROCTOR					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2215	2204	2221	2217	2194
% teneur en eau	5.9	5.3	5.6	5.7	5.4
ESSAI C.B.R.					
0,1" (2.54 mm)	281*	234	282	272	210*
0,2" (5.08 mm)	328*	285	322	338	253*
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2190*	2163	2170	2179	2143*
$\omega$ (%) au moulage	5.1*	4.7	5.0	4.9	4.8*
courbe proctor	2204	2196	2196	2180	2185
GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100	100	100
14 mm (68)	75	75	78	77	79
10 mm (52)	61	62	65	64	68
5 mm (35)	44	44	46	45	49
2.5 mm (30)	37	37	40	38	42
1.25 mm (25)	31	31	33	32	34
630 $\mu$ m (17)	23	22	25	24	25
315 $\mu$ m (9)	13	13	15	14	14
160 $\mu$ m (5)	7	7	9	8	8
80 $\mu$ m (2.5)	4.2	4.0	4.4	4.3	4.6

Note: \* moyenne de 2 essais

TABLEAU.14

GRAVIER GRANITIQUE LIGNE MEDIANE

47.5% de sable (gl-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
ESSAI PROCTOR					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2213	2210	2207	2190	2191
% teneur en eau	6.2	6.3	6.1	6.6	6.4
ESSAI C.B.R.					
0,1" (2.54 mm)	192	150	215*	234	172
0,2" (5.08 mm)	228	178	236*	270	189
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2129	2112	2140*	2139	2100
$\omega$ (%) au moulage	6.1	5.9	5.8*	6.3	5.8
courbe proctor	2210	2198	2194	2184	2176
GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100	100	100
14 mm (81)	83	82	81	83	82
10 mm (66)	71	71	69	72	71
5 mm (48)	52	53	52	54	54
2.5 mm (41)	44	45	44	45	46
1.25 mm (34)	38	37	36	36	37
630 $\mu$ m (23)	28	27	26	26	27
315 $\mu$ m (12)	17	16	15	15	16
160 $\mu$ m (7)	9	9	9	9	9
80 $\mu$ m (3.4)	4.9	4.8	4.6	4.5	4.7

Note: \* moyenne de 2 essais

TABLEAU.15

GRAVIER GRANITIQUE LIMITE SUPERIEURE

60% de sable (gl-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
ESSAI PROCTOR					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2140	2088	2128	2119	2120
% teneur en eau	6.4	7.0	7.2	7.1	7.5
ESSAI C.B.R.					
0,1" (2.54 mm)	136	158	164	152*	180
0,2" (5.08 mm)	145	178	196	186*	211
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2109	2106	2104	2087*	2120
$\omega$ (%) au moulage	5.5	6.6	6.8	6.3*	6.8
courbe proctor	2123	2085	2120	2090	2082
GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100	100	100
14 mm (93)	92	94	95	95	94
10 mm (82)	81	84	85	86	84
5 mm (60)	60	62	64	64	63
2.5 mm (52)	52	55	56	55	56
1.25 mm (43)	44	47	45	46	48
630 $\mu$ m (29)	33	35	33	34	35
315 $\mu$ m (16)	19	20	19	20	20
160 $\mu$ m (8)	11	12	10	11	11
80 $\mu$ m (4.3)	5.8	6.2	5.7	6.3	5.9

Note: \* moyenne de 2 essais

TABLEAU.16

GRAVIER GRANITIQUE LIGNE MEDIANE

47.5% de sable (gl-6300)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
ESSAI PROCTOR					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2267	2277	2231	2258	2259
% teneur en eau	5.5	6.5	7.0	6.0	6.5
ESSAI C.B.R.					
0,1" (2.54 mm)	122	196	236	164*	240
0,2" (5.08 mm)	144	257	296	191*	293
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2173	2247	2228	2174*	2221
$\omega$ (%) au moulage	5.2	5.4	6.8	6.0*	5.7
courbe proctor	2248	2244	2230	2256	2245
GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100		100
14 mm (81)	95	82	87		83
10 mm (66)	80	68	76		72
5 mm (48)	60	50	59		54
2.5 mm (30)	42	36	41		36
1.25 mm (25)	32	28	32		28
630 $\mu$ m (21)	27	24	27		23
315 $\mu$ m (19)	23	21	23		19
160 $\mu$ m (18)	20	18	20		17
80 $\mu$ m (17)	18.4	16.4	17.9		14.9

Note: \* moyenne de 2 essais

TABLEAU. 17

GRAVIER SCHISTEUX LIMITE INFERIEURE

35% de sable (gl-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
ESSAI PROCTOR					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2241	2240	2256	2256	2260
% teneur en eau	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3
ESSAI C.B.R.					
0,1" (2.54 mm)	170	197	236	189	232
0,2" (5.08 mm)	185	241	265	221	269
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2201	2203	2224	2194	2201
$\omega$ (%) au moulage	6.2	5.8	6.1	5.4	5.2
courbe proctor	2236		2240		
GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100	100	100
14 mm (68)	77	76	77	76	76
10 mm (52)	65	64	65	65	65
5 mm (35)	47	47	47	47	47
2.5 mm (30)	40	39	39	40	39
1.25 mm (25)	33	32	31	33	32
630 $\mu$ m (17)	25	23	24	25	25
315 $\mu$ m (9)	15	14	15	15	15
160 $\mu$ m (5)	9	8	9	9	9
80 $\mu$ m (2.5)	5.4	5.0	5.0	5.3	5.4

TABLEAU.18

GRAVIER SCHISTEUX LIGNE MEDIANE

47.5% de sable (gl-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
<b>ESSAI PROCTOR</b>					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2190	2192	2205	2214	2215
% teneur en eau	6.9	7.0	6.8	6.6	6.6
<b>ESSAI C.B.R.</b>					
0,1" (2.54 mm)	171	175	218	170	167
0,2" (5.08 mm)	200	204	244	187	211
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2154	2133	2156	2166	2183
$\omega$ (%) au moulage	6.1	6.9	6.7	5.8	5.6
courbe proctor	2157	2188	2202	2170	2161
<b>GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS</b>					
%pass. theorique					
20 mm (100)		100	100	100	100
14 mm (81)		82	83	83	82
10 mm (66)		72	72	72	71
5 mm (48)		54	54	54	54
2.5 mm (41)		45	46	46	45
1.25 mm (34)		37	38	38	36
630 $\mu$ m (23)		27	28	27	25
315 $\mu$ m (12)		16	17	16	15
160 $\mu$ m (7)		9	10	9	9
80 $\mu$ m (3.4)		4.9	5.4	5.1	4.9

TABLEAU.19

GRAVIER SCHISTEUX LIMITE SUPERIEURE

60% de sable (g1-100)

% CONCASSE	0%	25%	50%	75%	100%
<b>ESSAI PROCTOR</b>					
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2145	2157	2168	2166	2169
% teneur en eau	7.7	7.4	7.4	7.4	7.2
<b>ESSAI C.B.R.</b>					
0,1" (2.54 mm)	120	154	118	132	137
0,2" (5.08 mm)	137	201	137	149	153
$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2083	2117	2115	2112	2092
$\omega$ (%) au moulage	7.1	7.0	6.9	7.1	6.9
courbe proctor	2130	2154	2142	2148	2156
<b>GRANULOMETRIE APRES PROCTOR TAMIS</b>					
%pass. theorique					
20 mm (100)	100	100	100	100	100
14 mm (93)	93	92	91	93	91
10 mm (82)	85	82	82	84	83
5 mm (60)	64	62	62	64	64
2.5 mm (52)	53	52	55	55	54
1.25 mm (43)	42	43	47	45	47
630 $\mu$ m (29)	30	31	36	34	34
315 $\mu$ m (16)	17	19	22	20	20
160 $\mu$ m (8)	10	10	13	12	11
80 $\mu$ m (4.3)	5.5	5.2	7.3	6.3	6.2





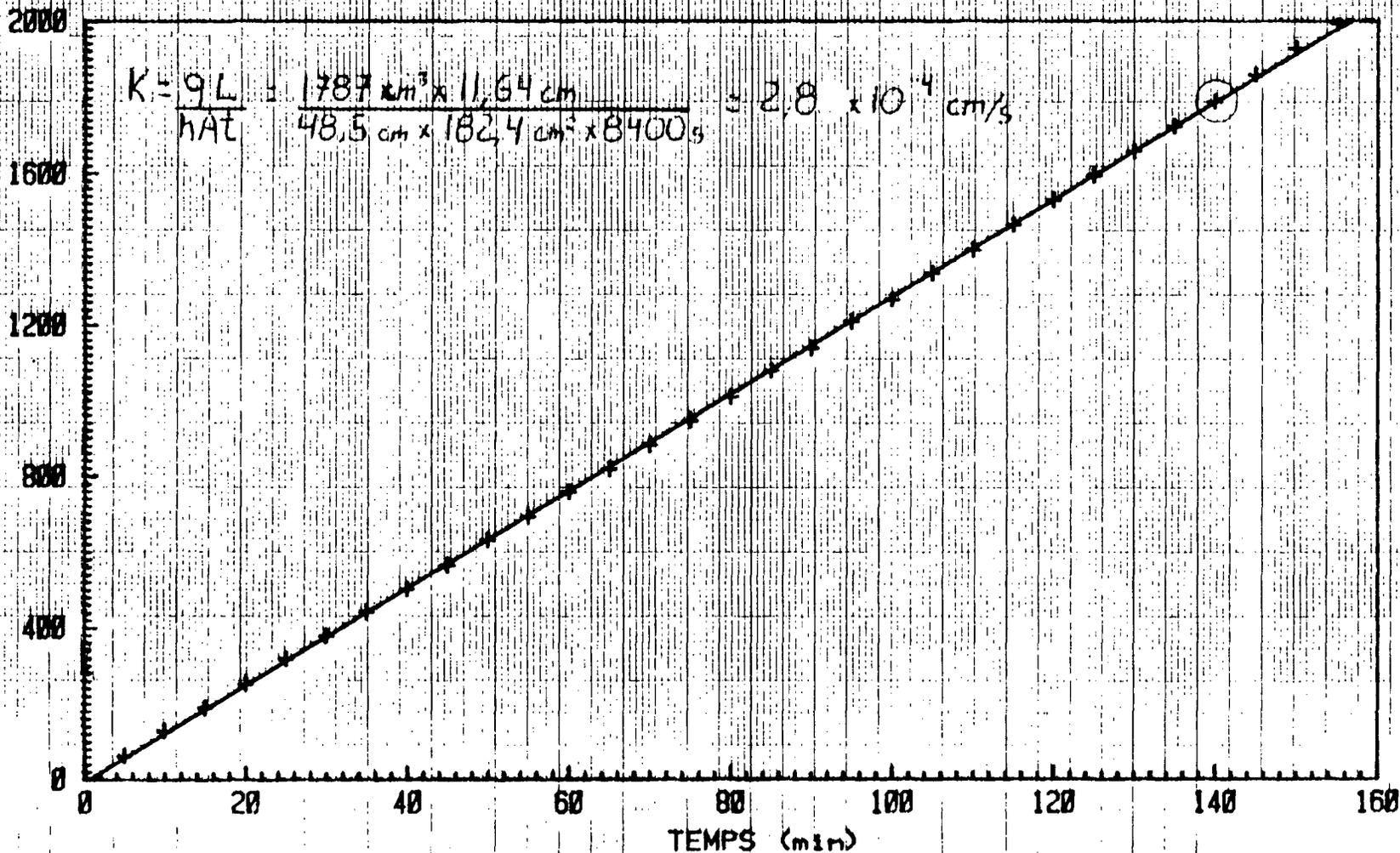


# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER GRANITIQUE NATUREL

APRES  
 SATURATION



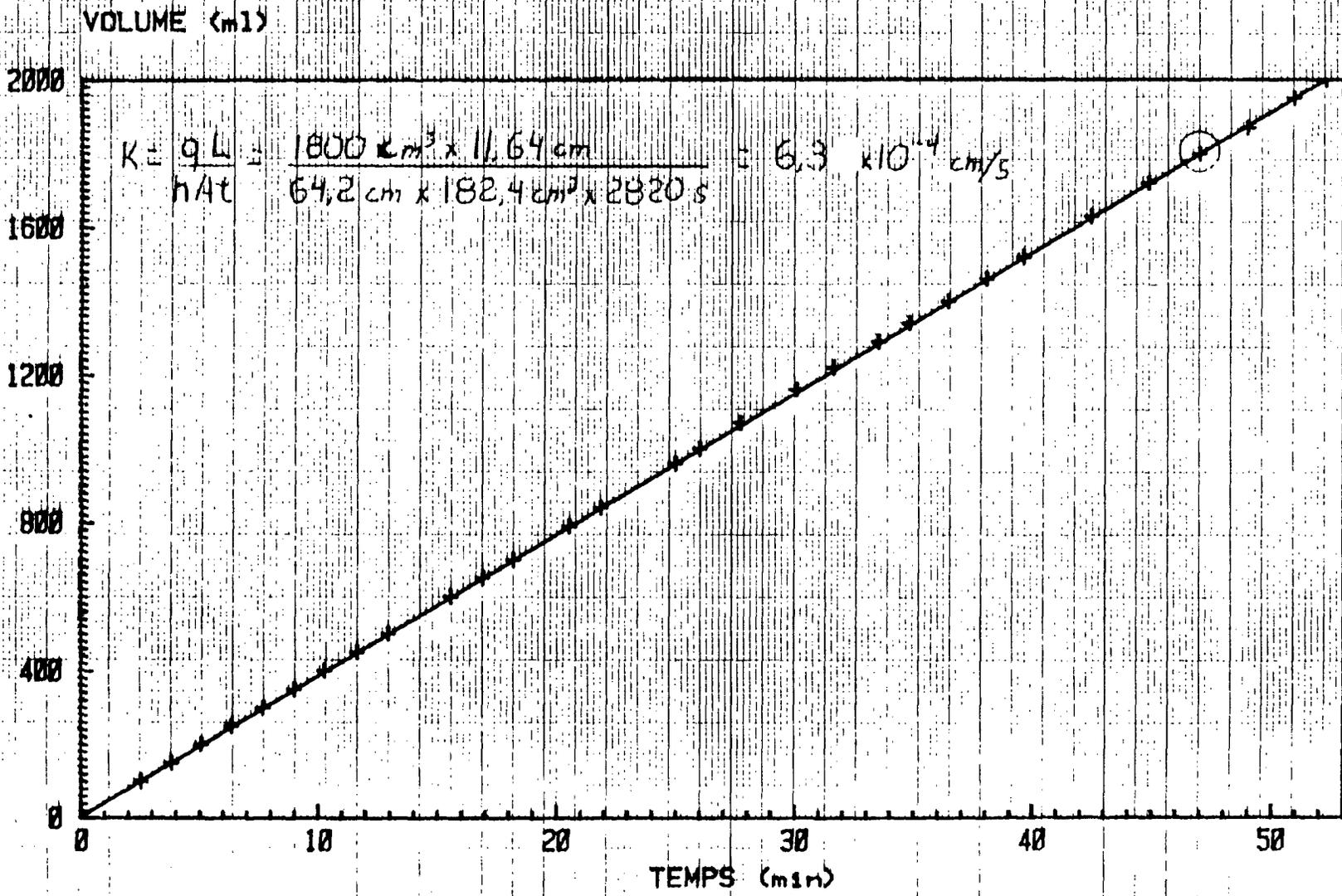
VOLUME (ml)



Graphique . 4

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER GRANITIQUE NATUREL

24h APRES  
SATURATION



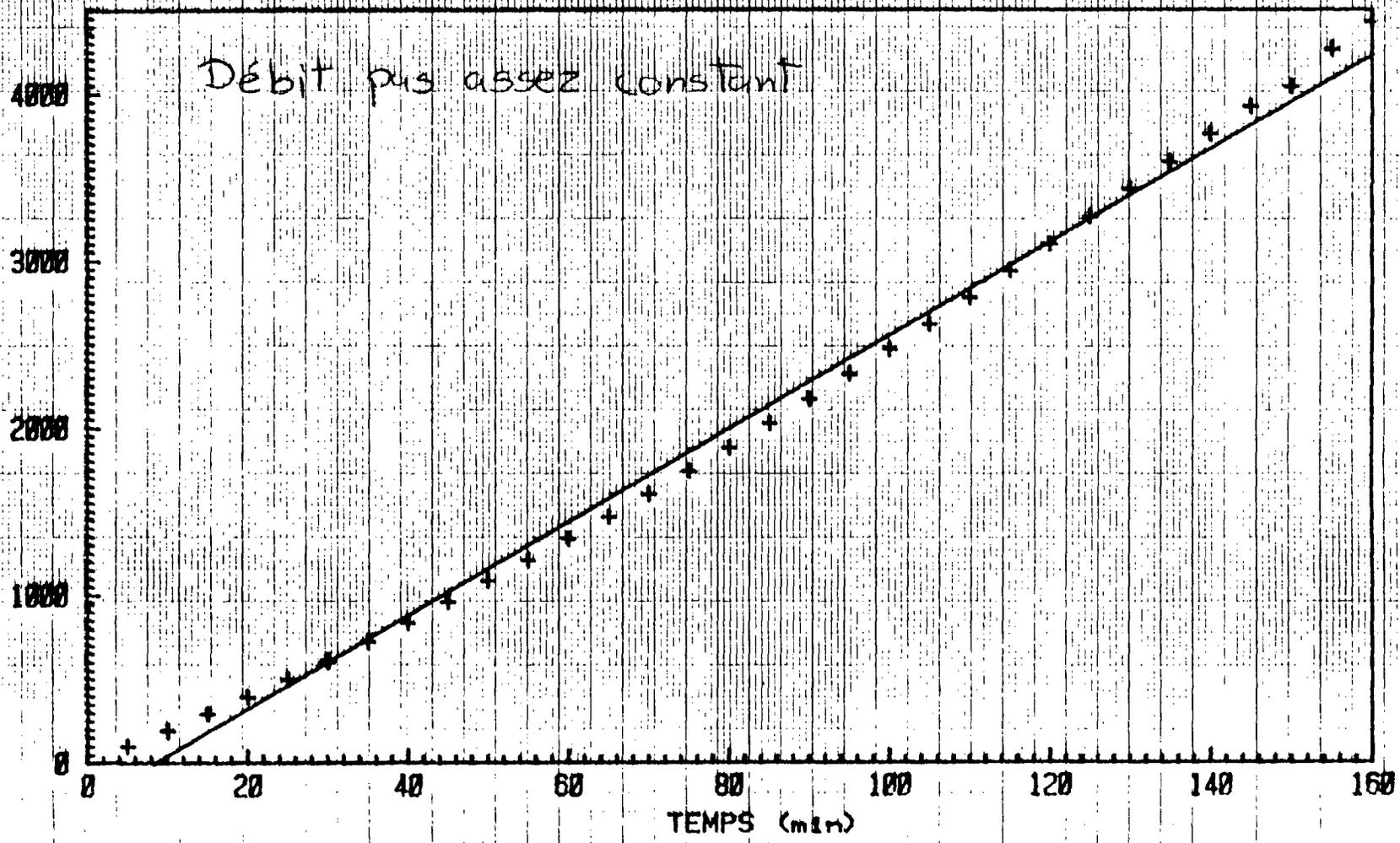
Graphique.5

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER GRANITIQUE CONCASSE

APRES  
SATURATION



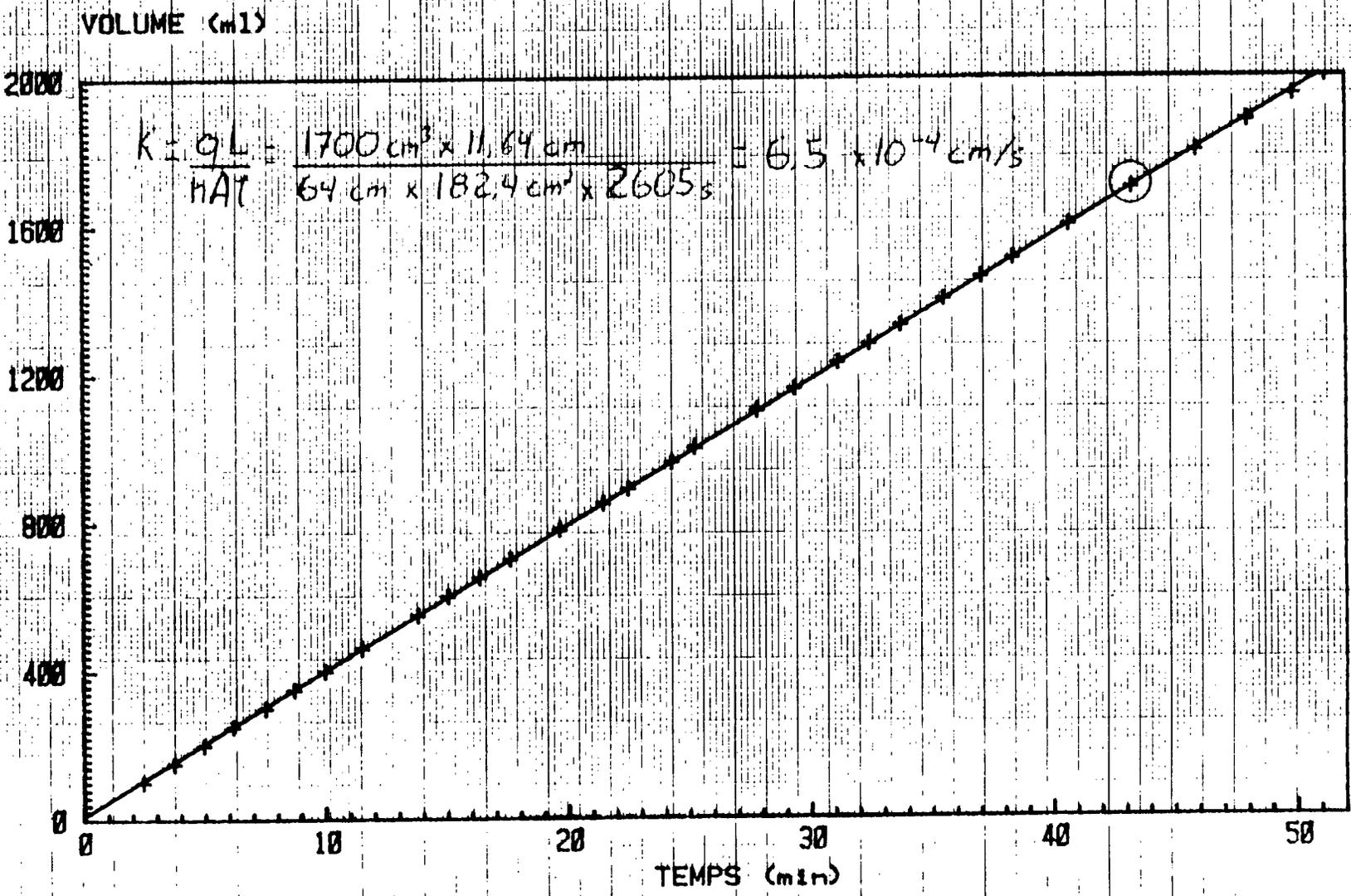
VOLUME (ml)



Graphique . 6

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER GRANITIQUE CONCASSE

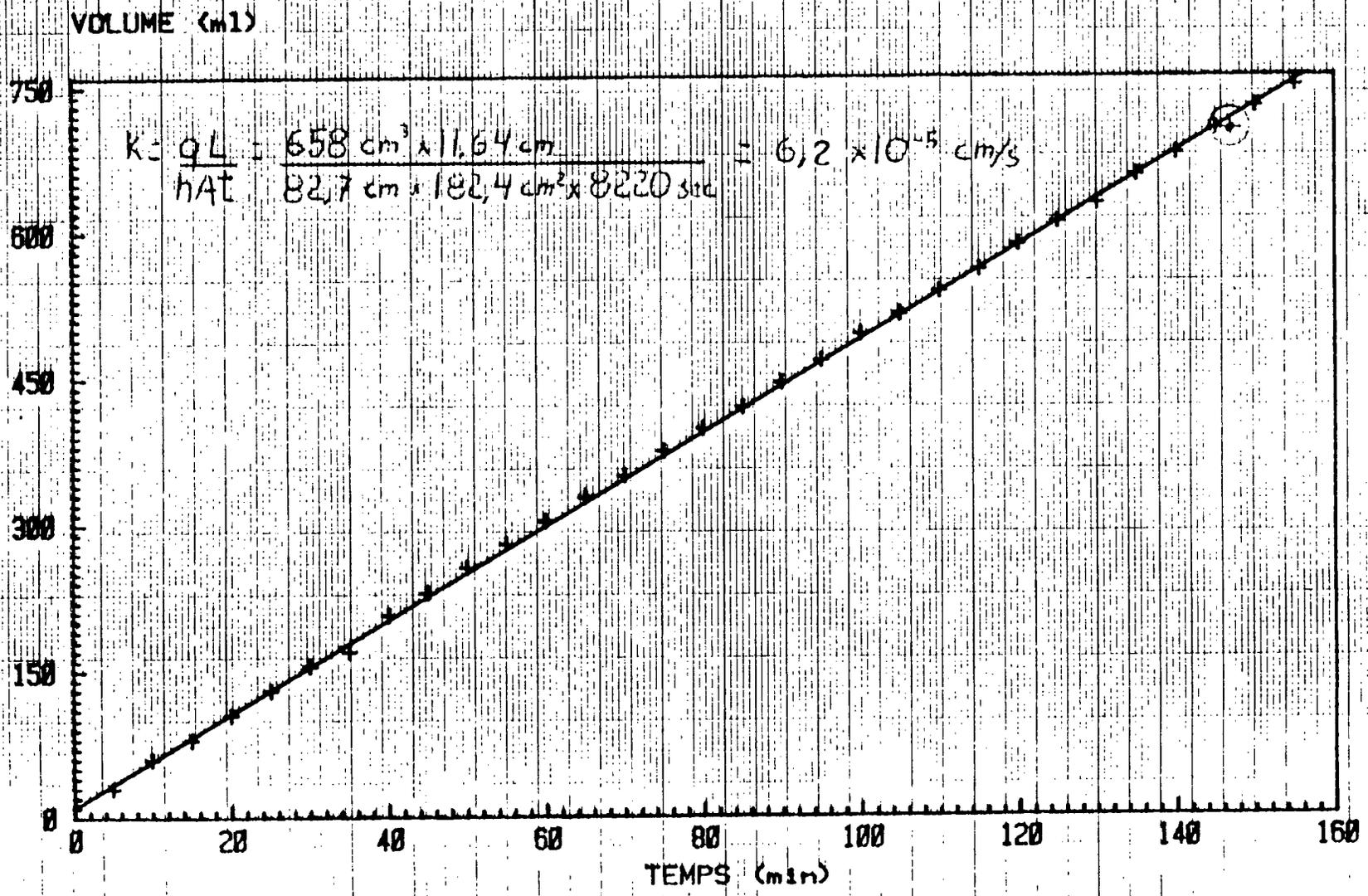
24h APRES  
SATURATION



Graphique. 7

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER SCHISTEUX NATUREL

APRES  
SATURATION

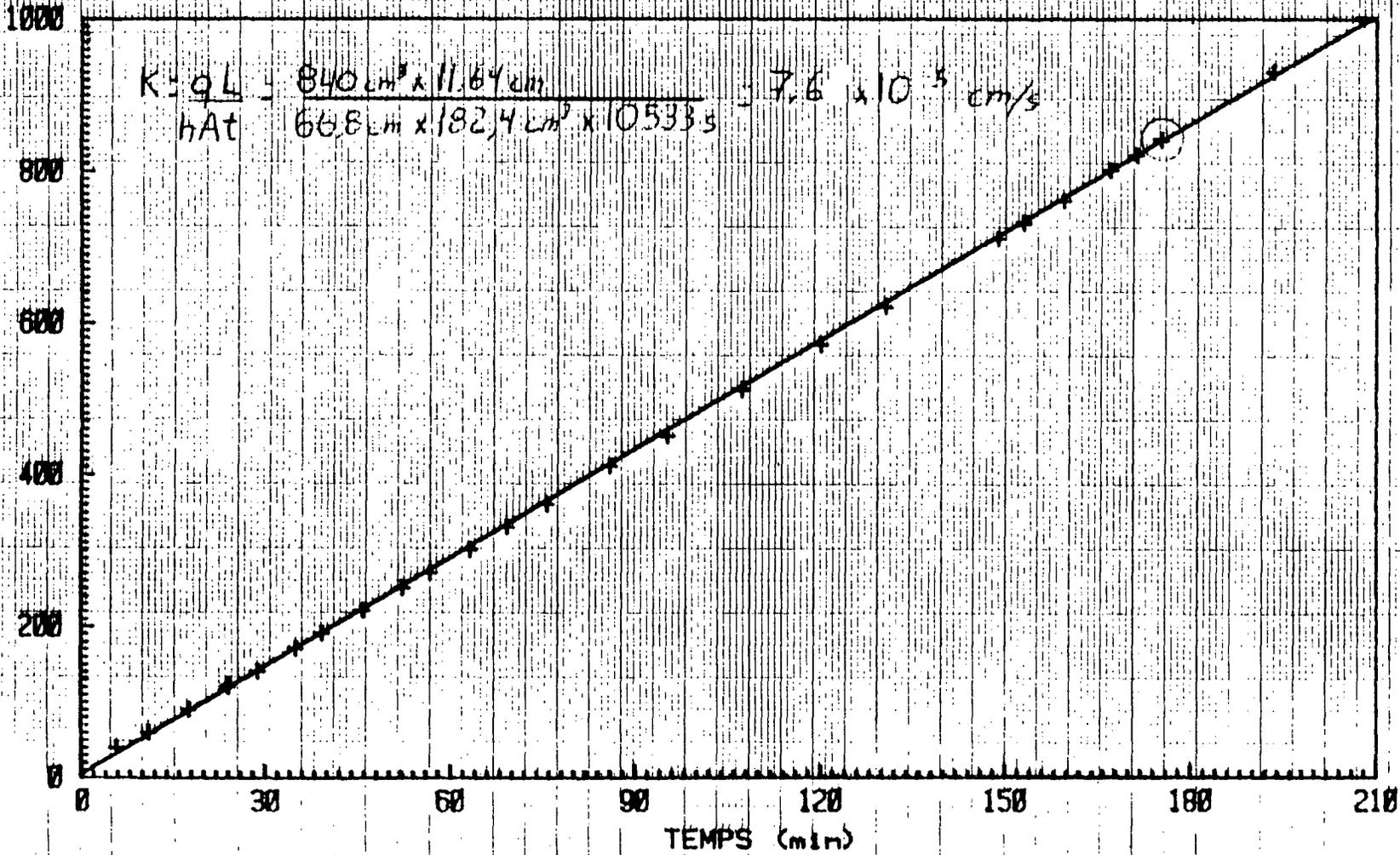


Graphique. 8

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER SCHISTEUX NATUREL

24 H. APRES  
SATURATION

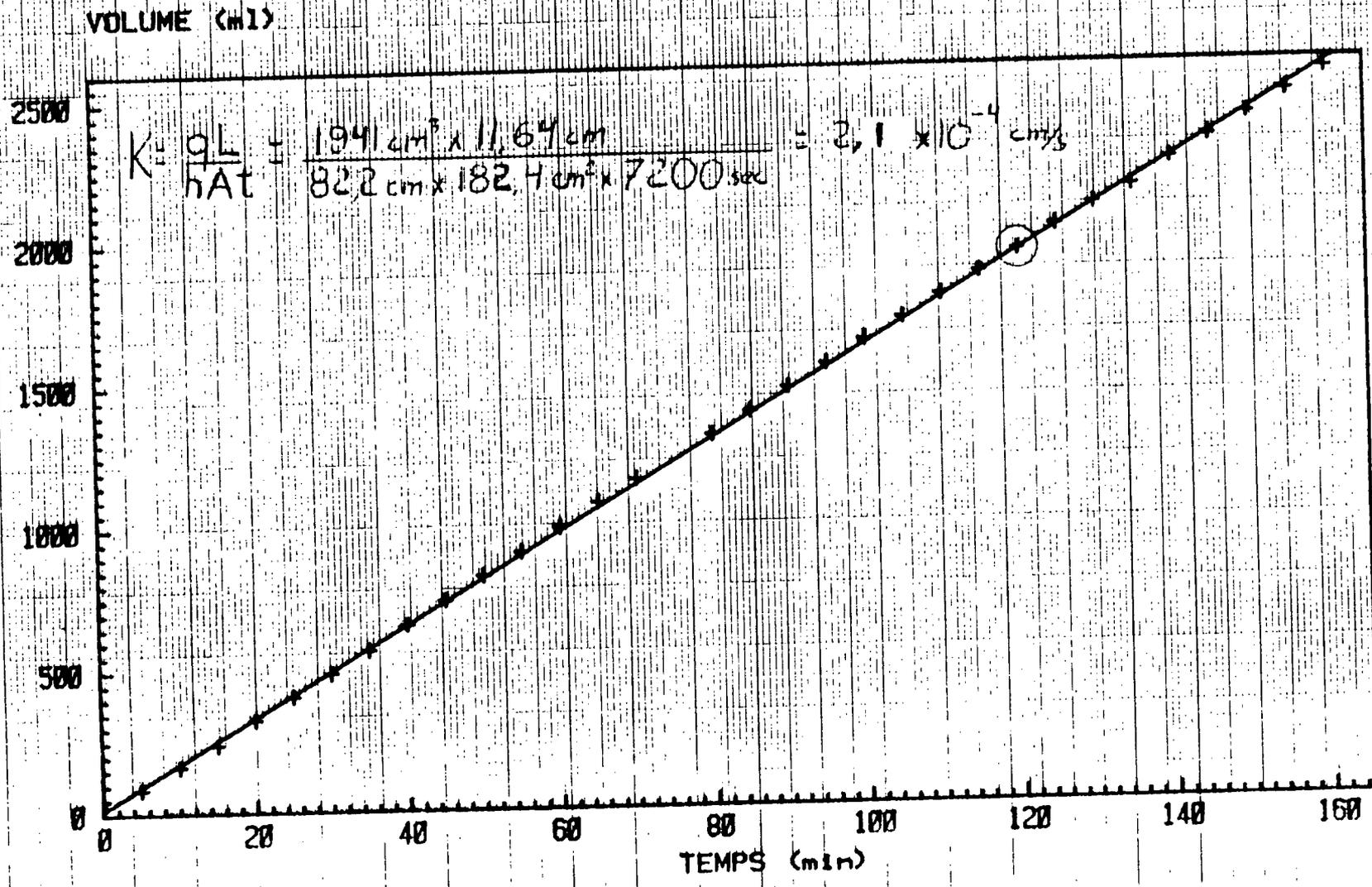
VOLUME (ml)



Graphique. 9

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE GRAVIER SCHISTEUX CONCASSE

APRES  
SATURATION

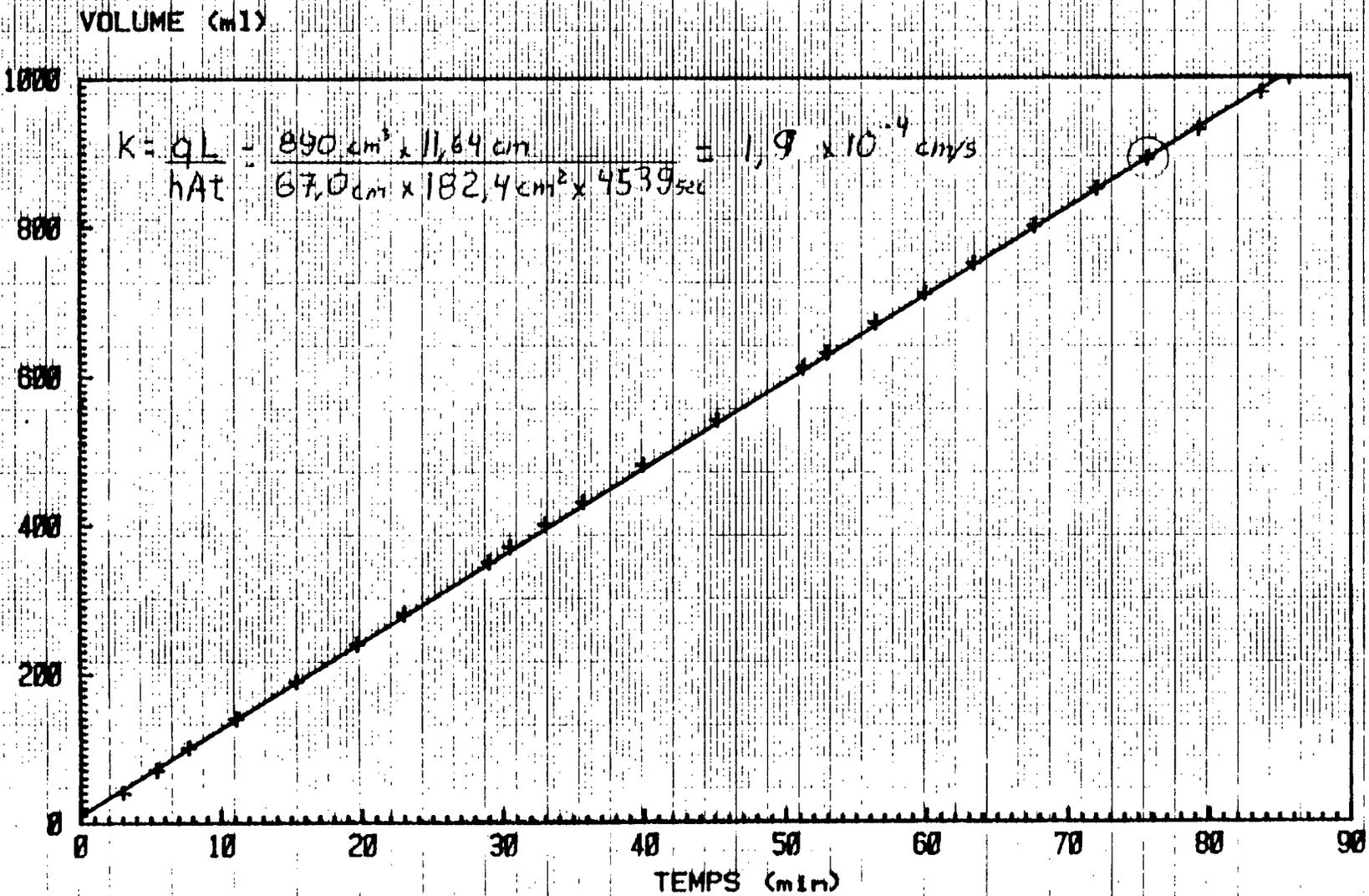


Graphique. 10

# PERMEABILITE AU PROCTOR MODIFIE

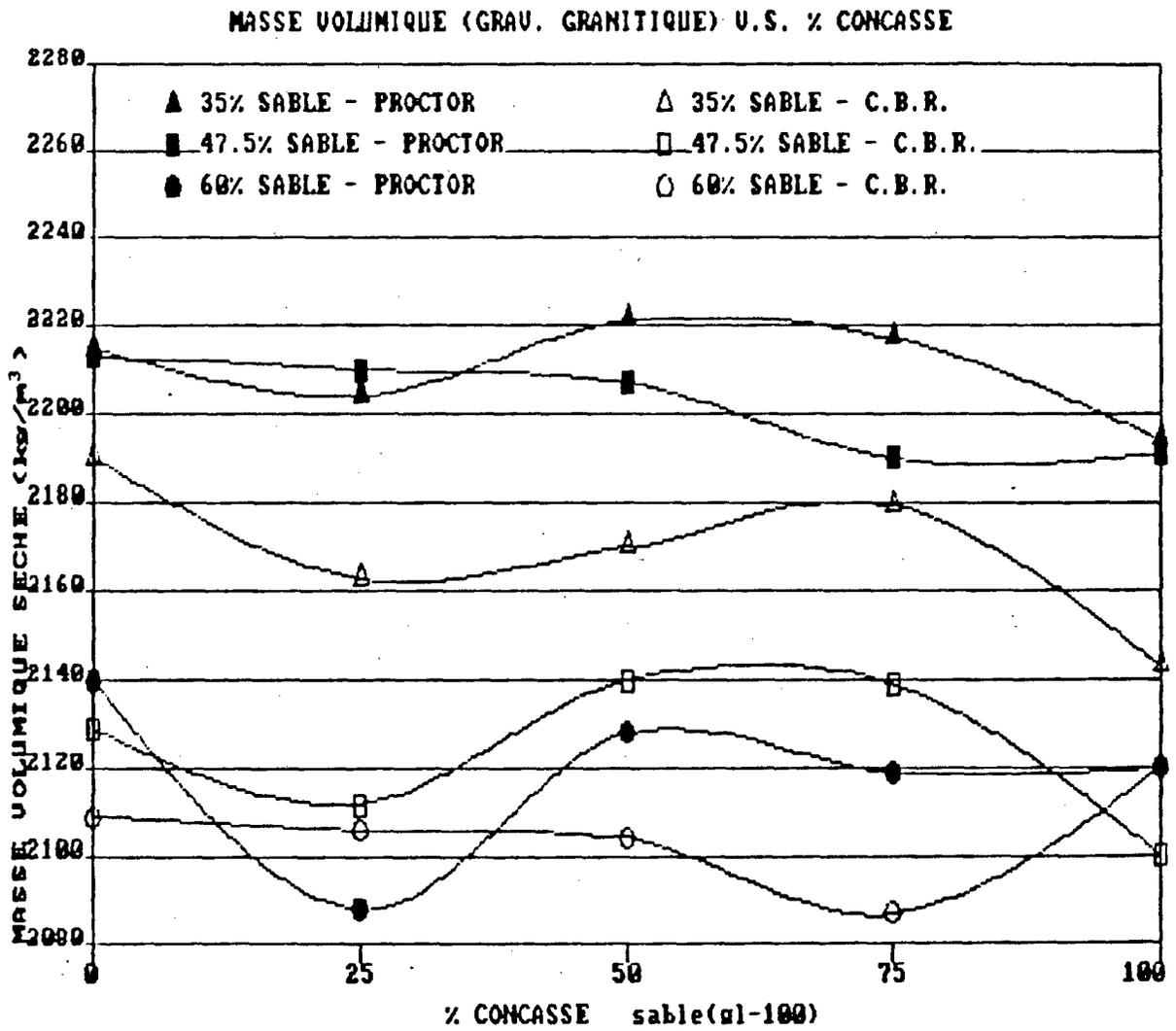
## GRAVIER SCHISTEUX CONCASSE

24h~~res~~ APRES  
 SATURATION

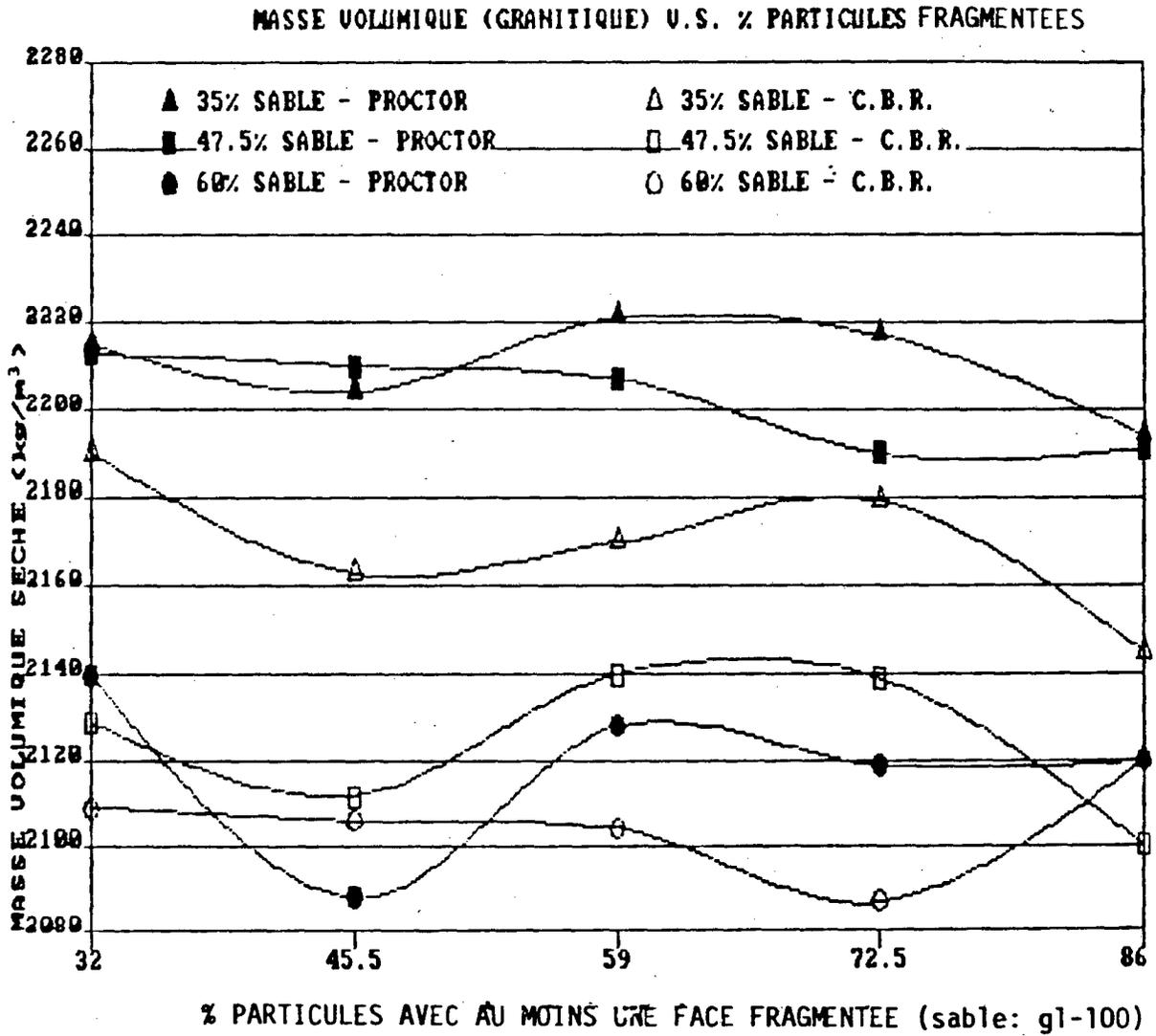


Graphique. 11

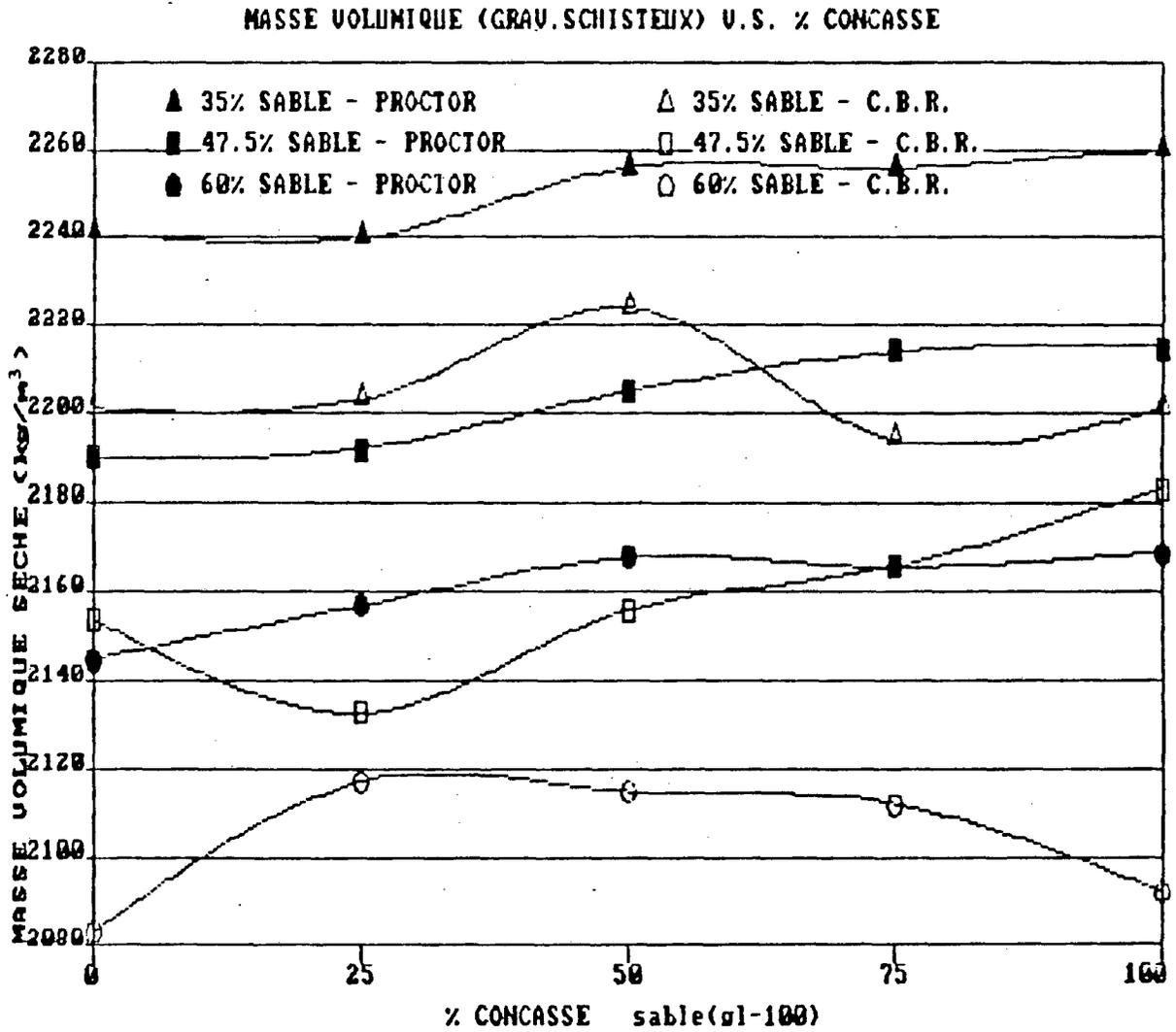
Graphique.12



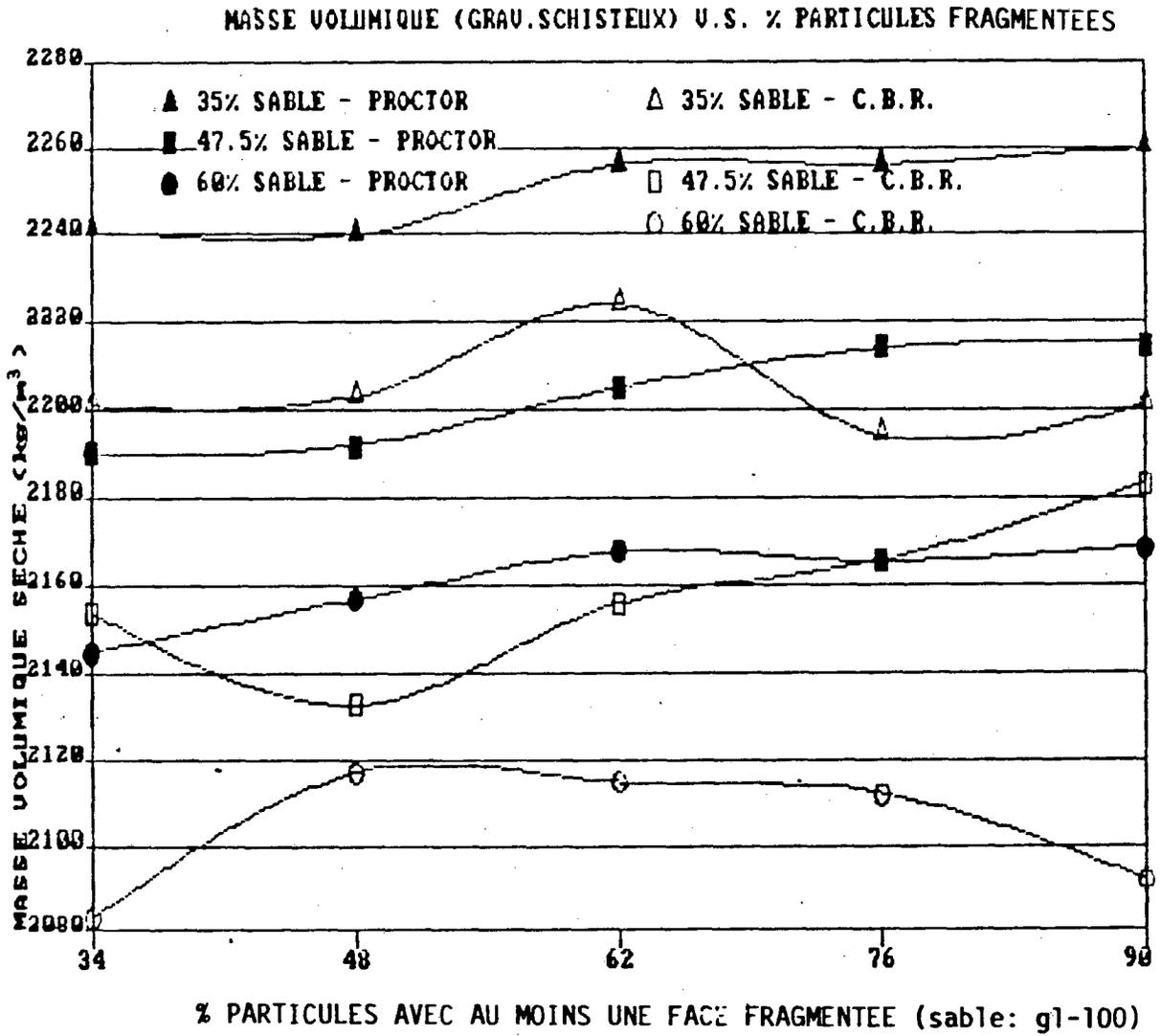
Graphique.13



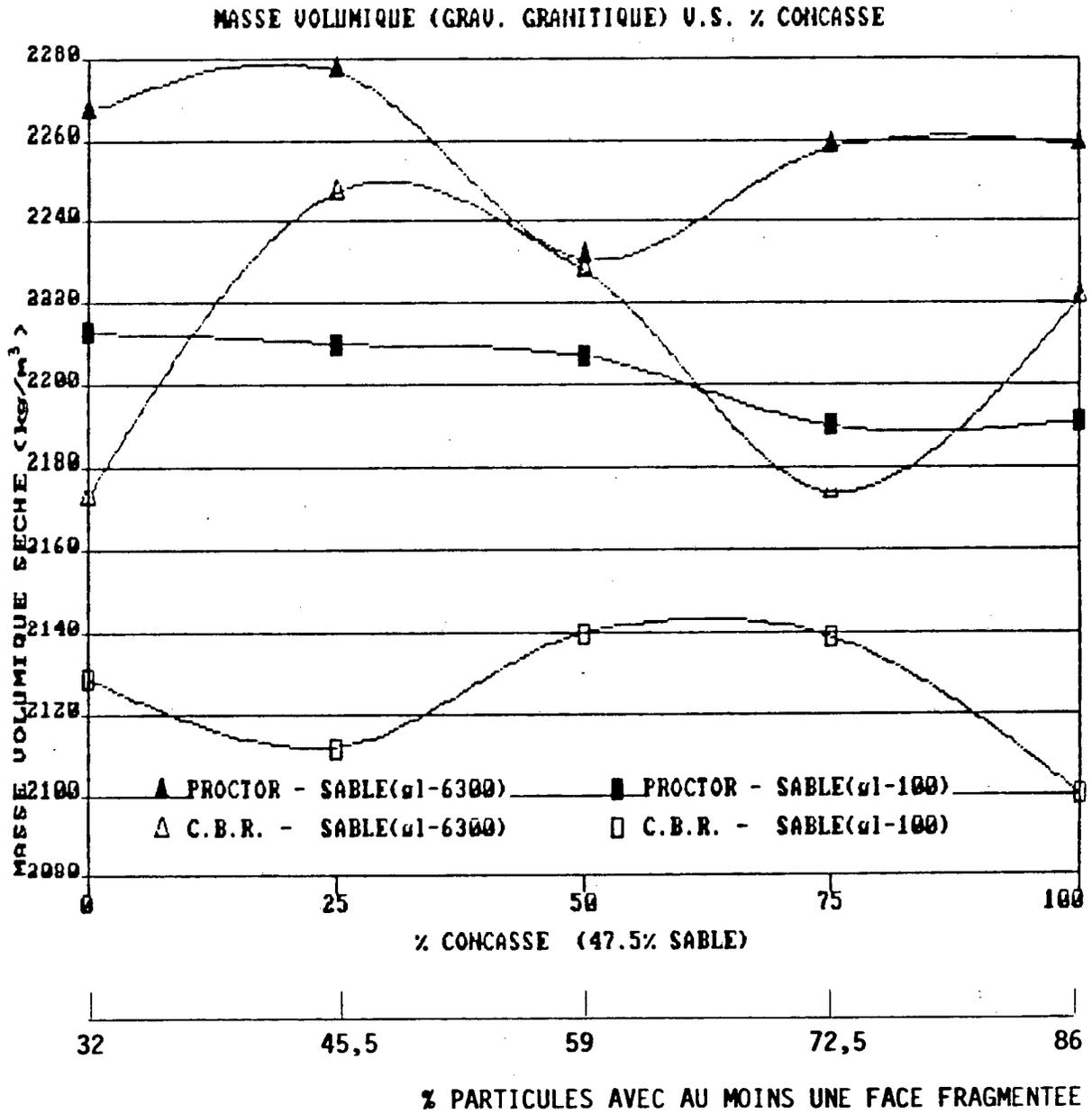
Graphique.14



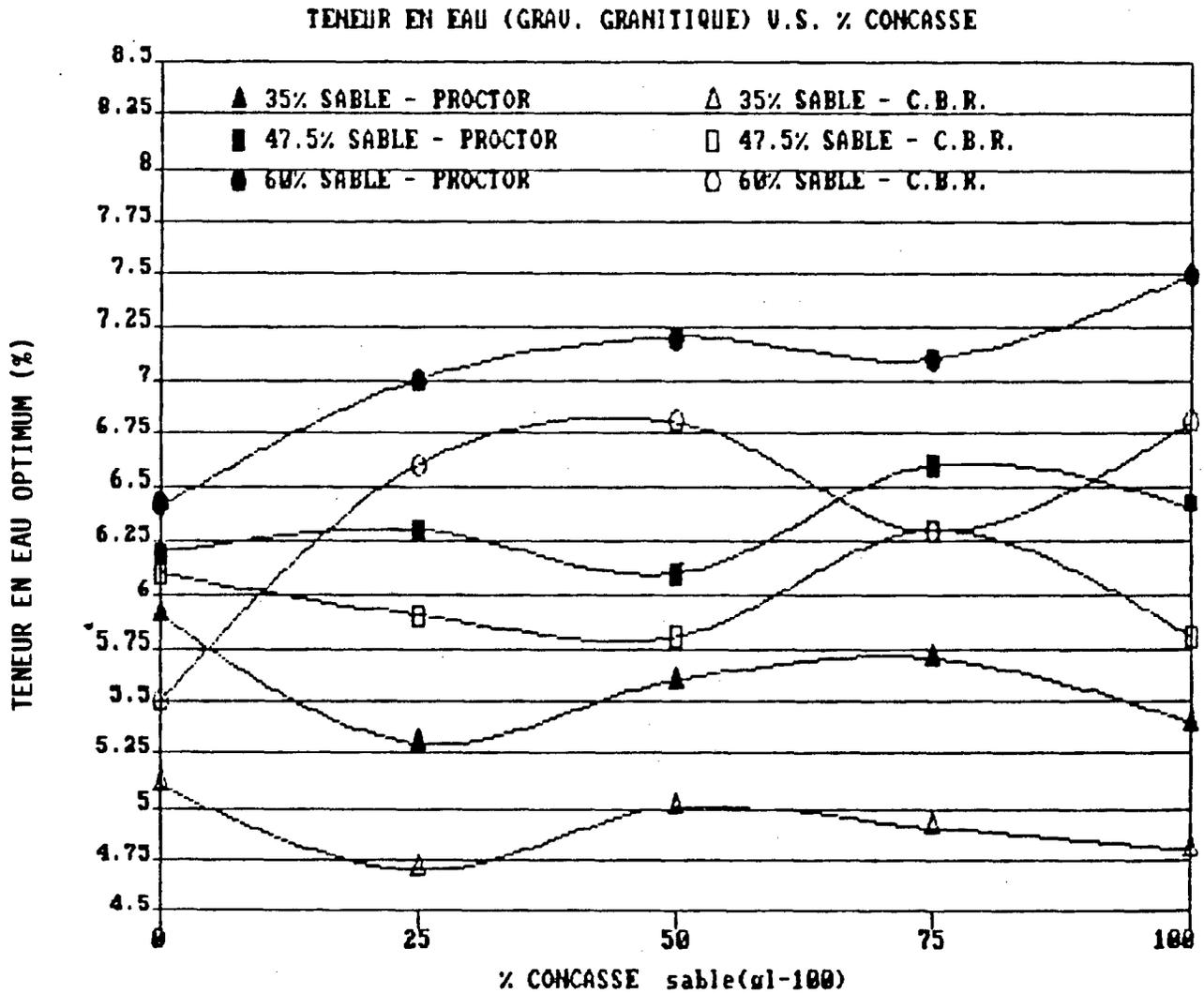
Graphique.15



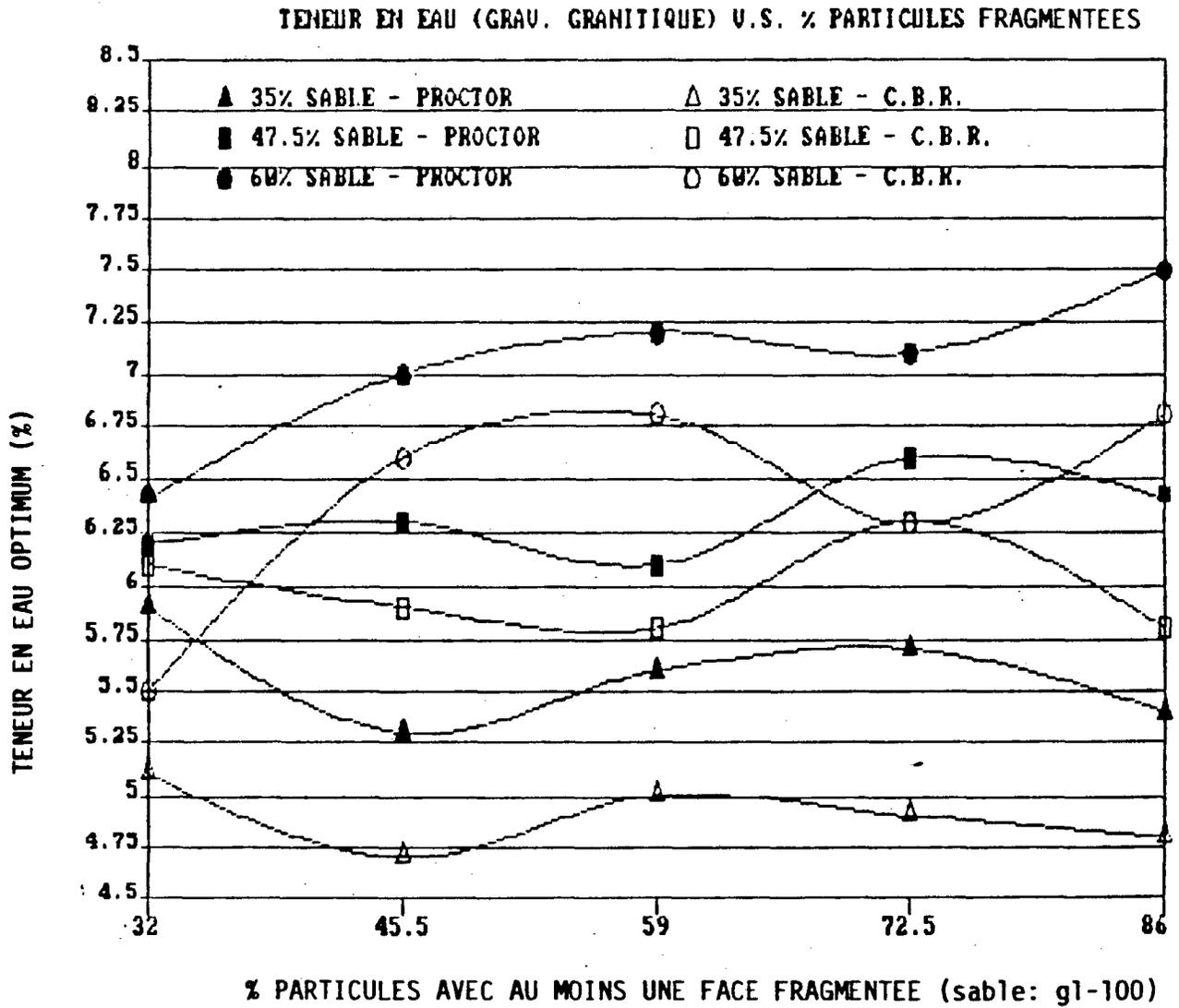
Graphique.16



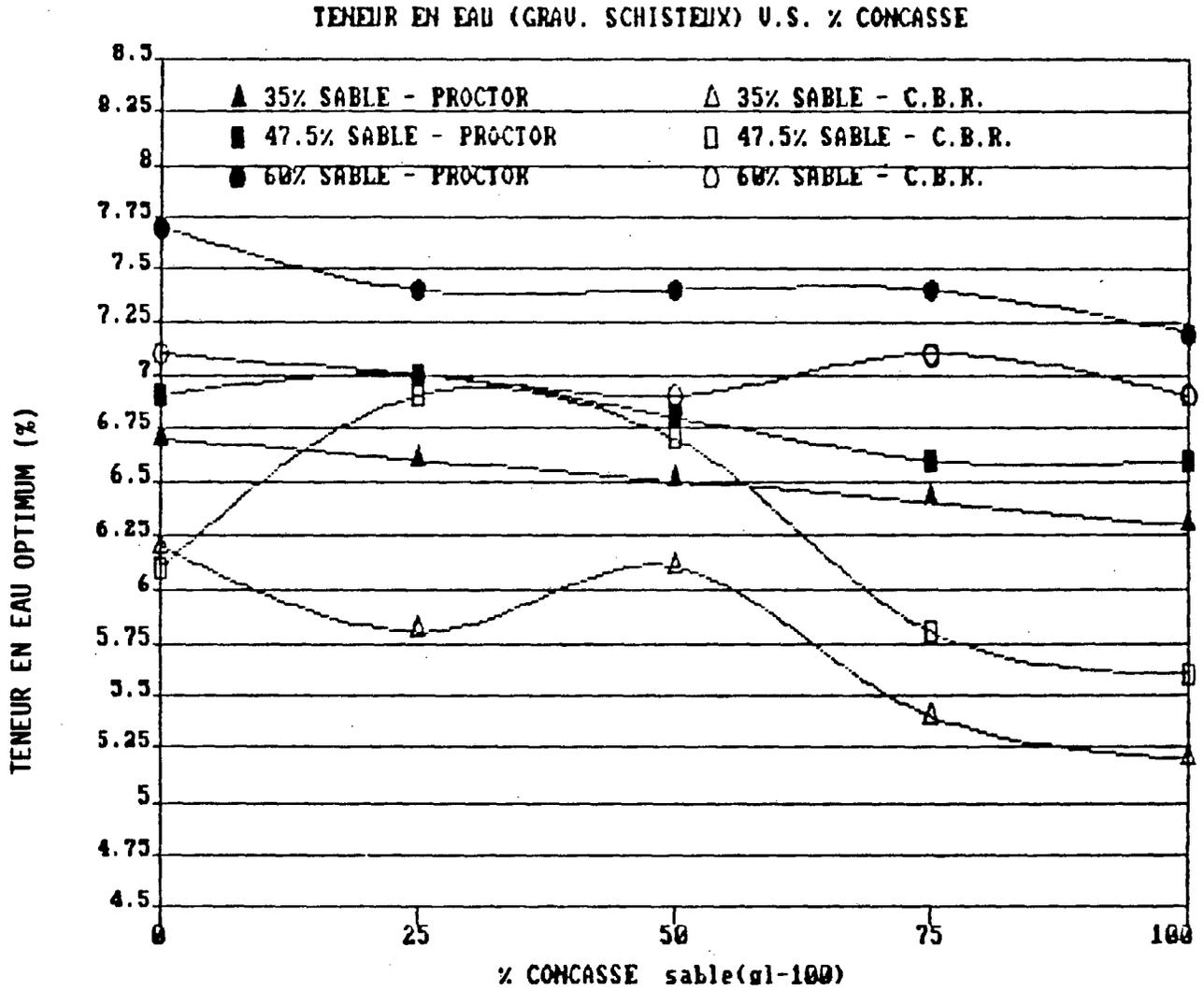
Graphique.17



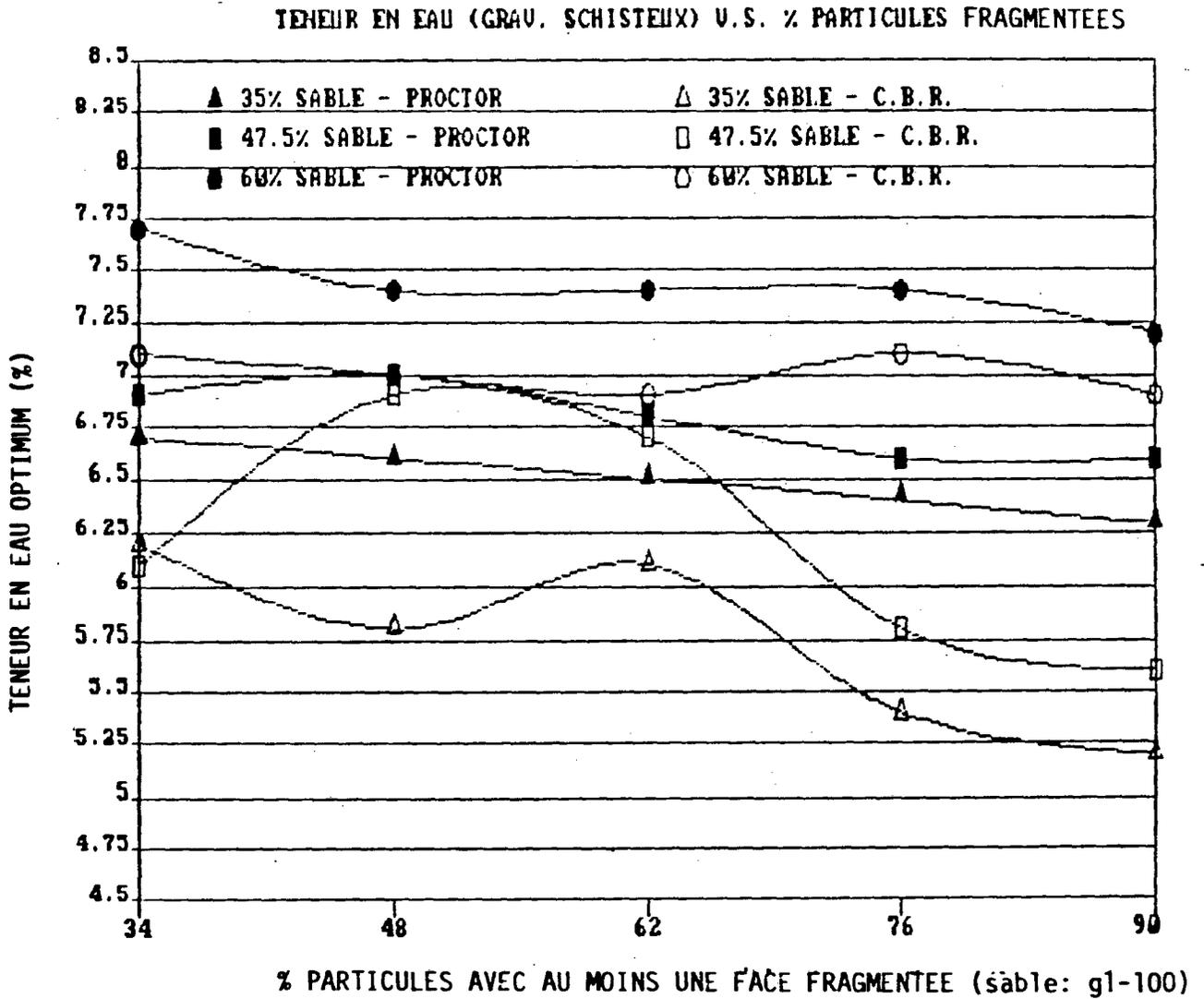
Graphique.18



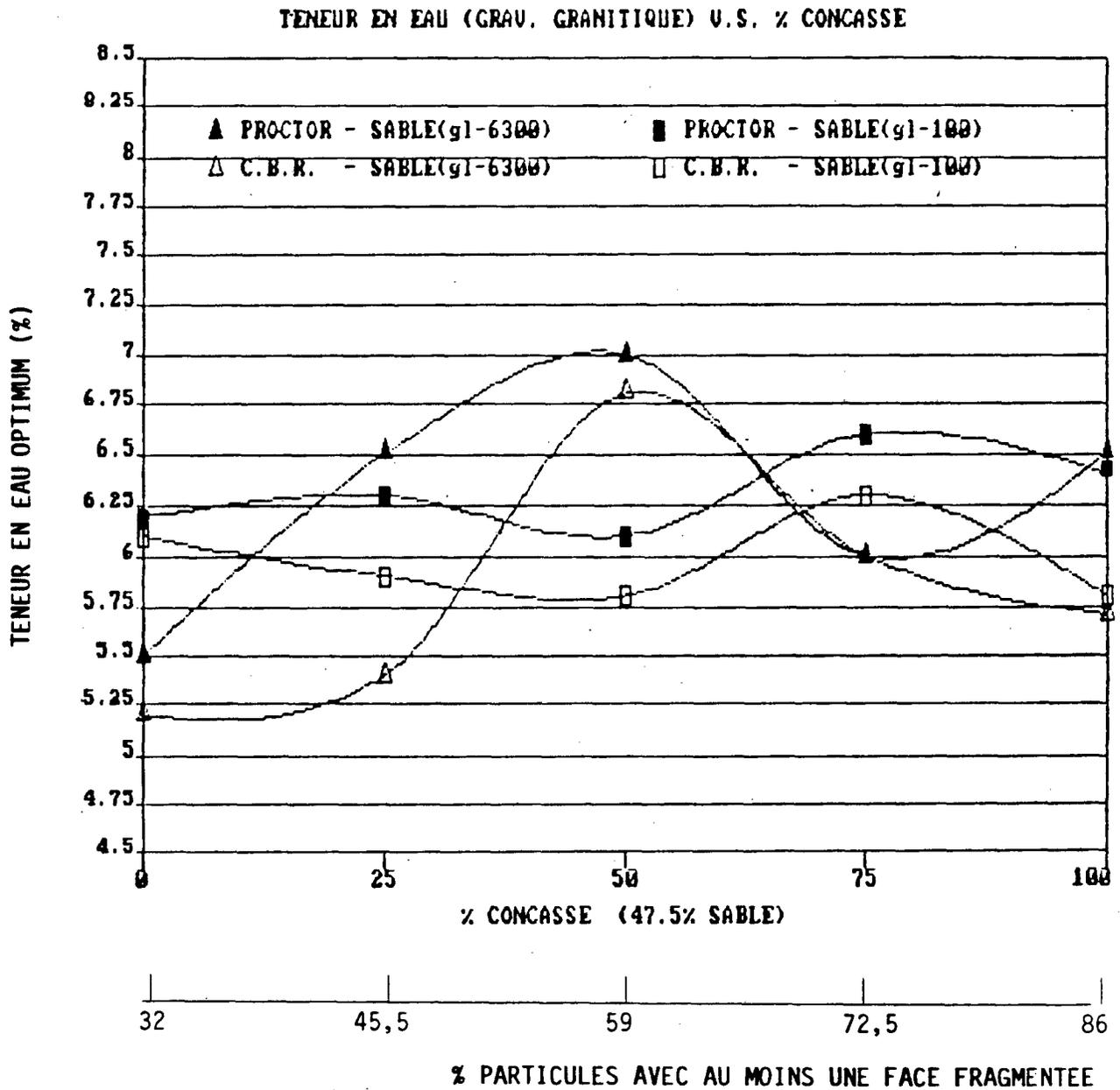
Graphique.19



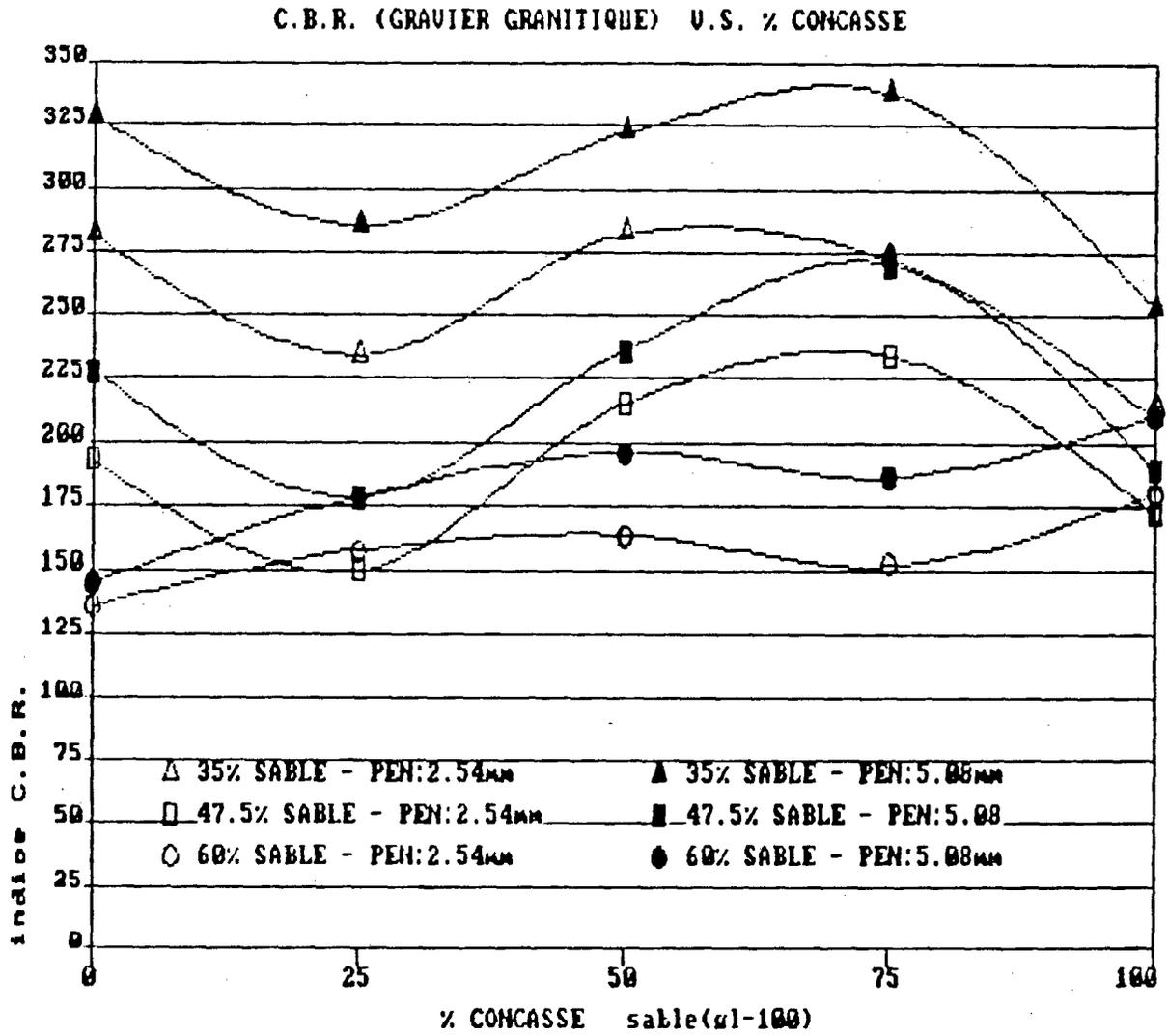
Graphique.20



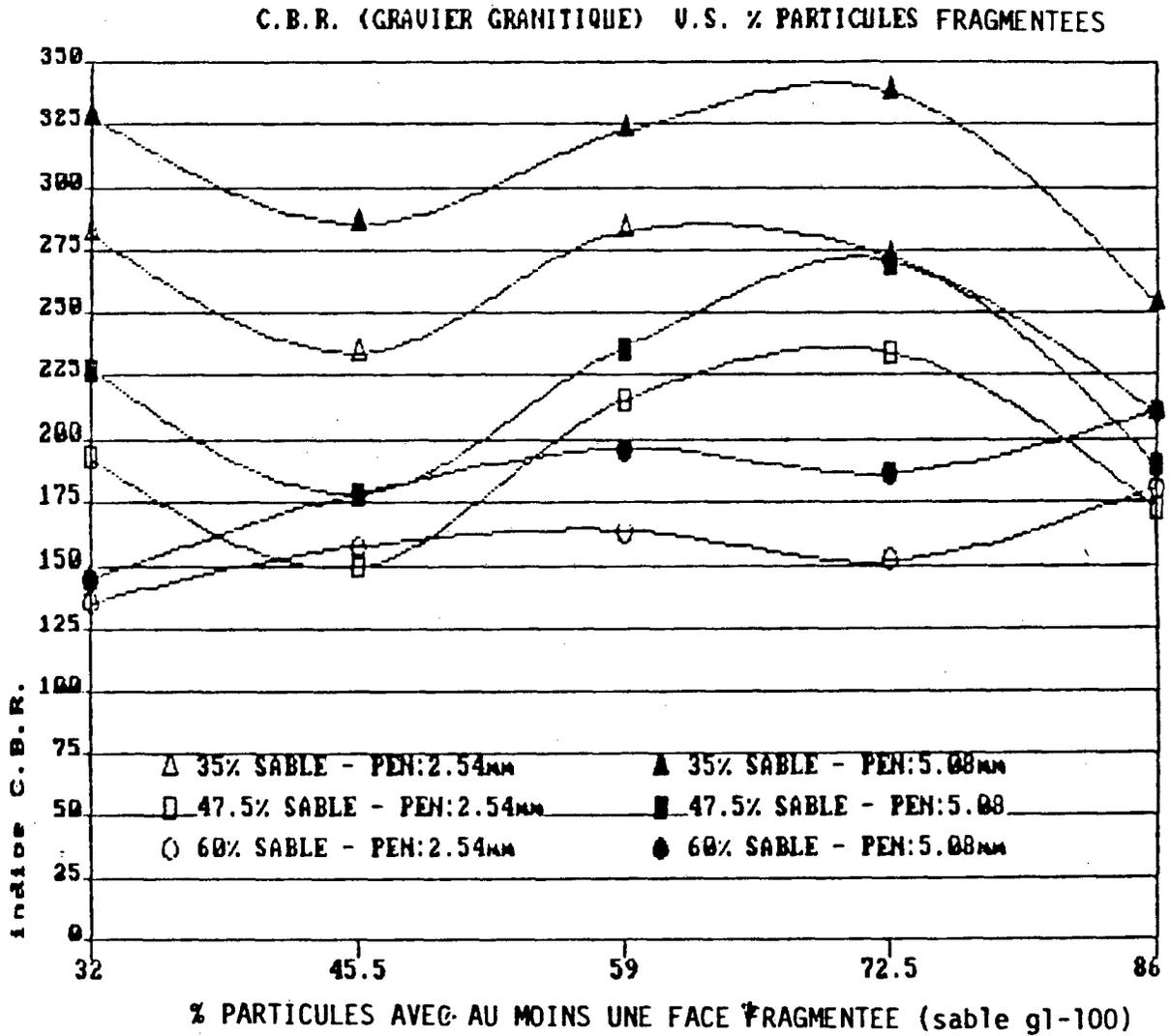
Graphique.21



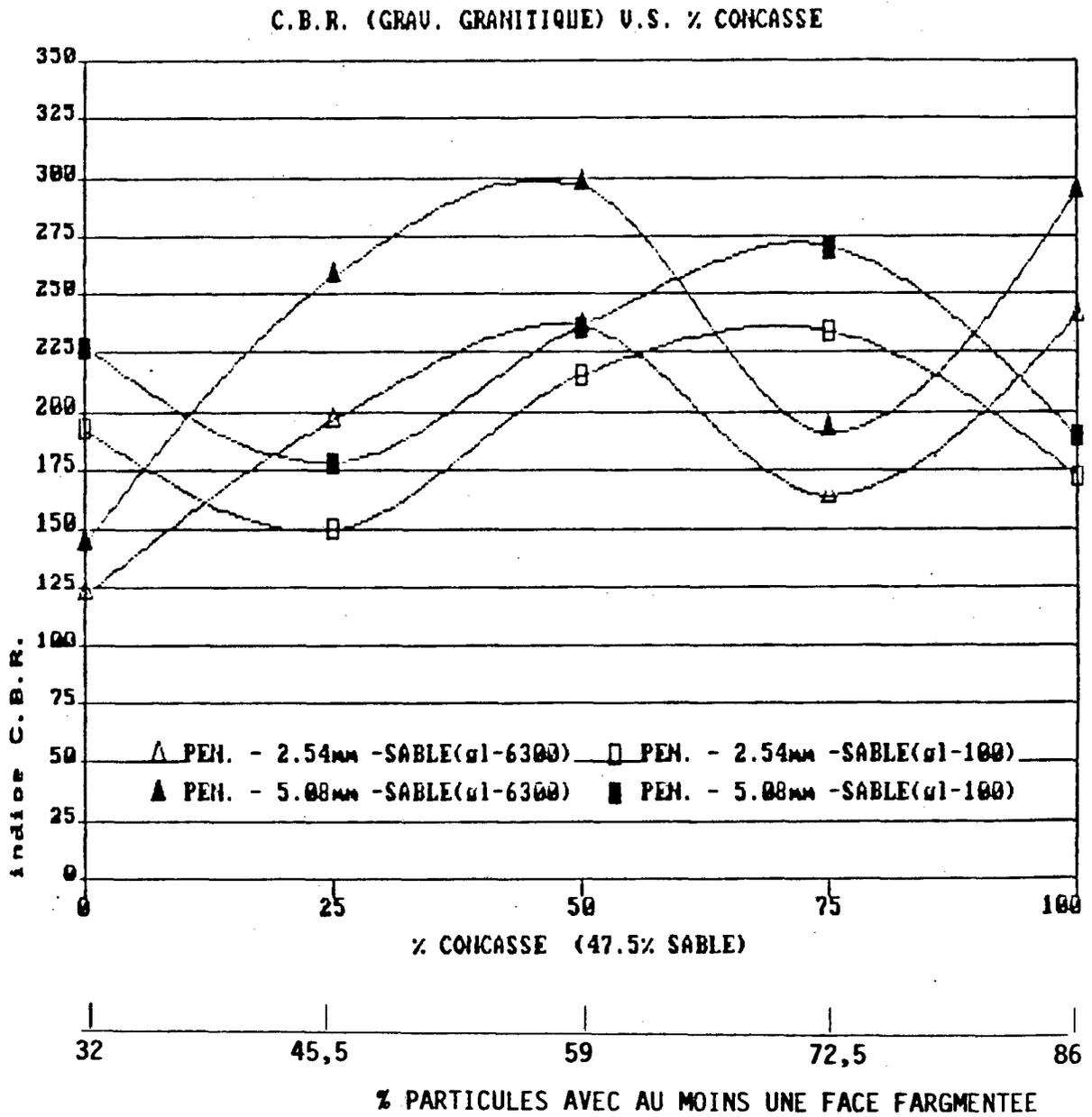
Graphique.22



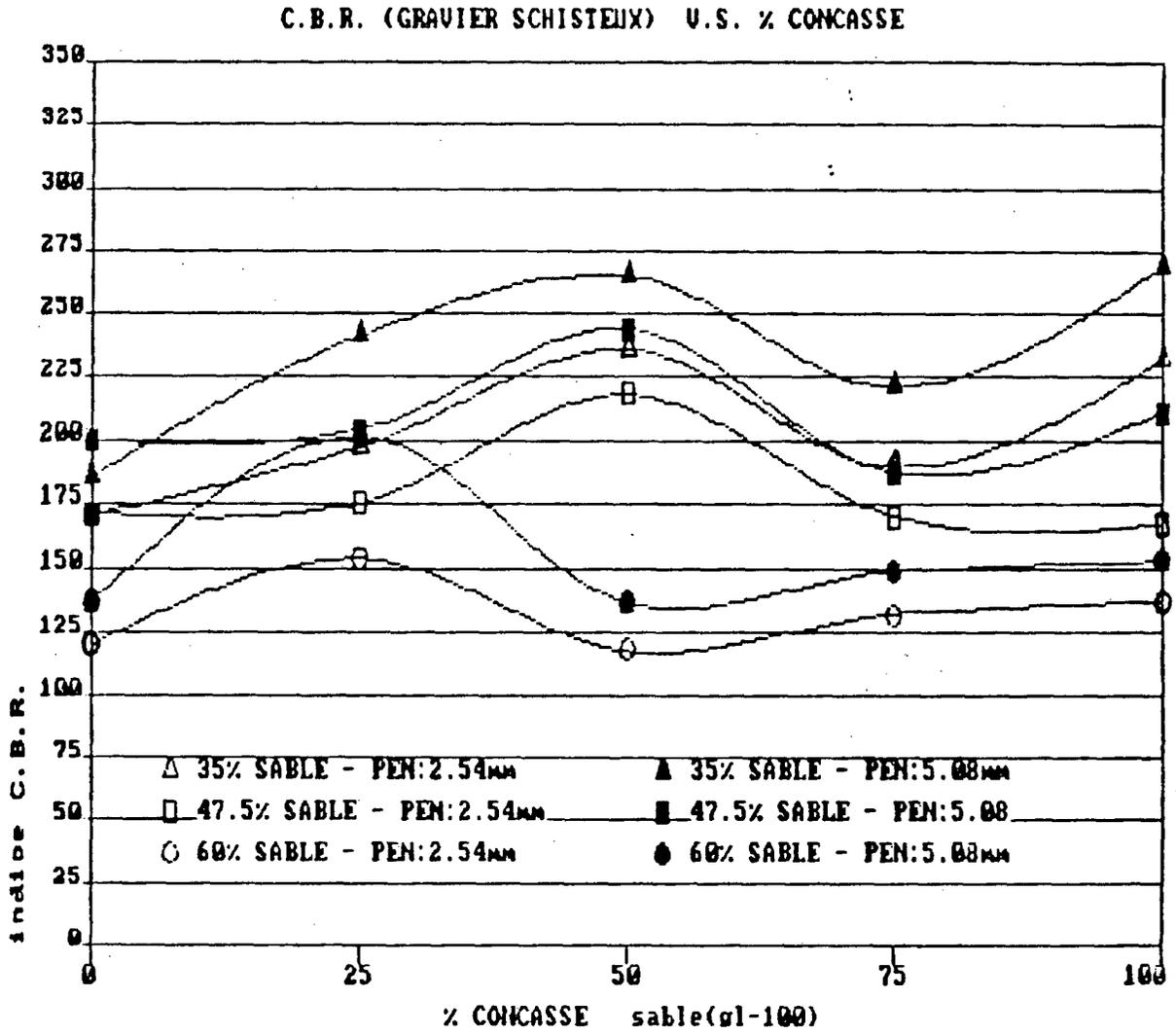
Graphique.23



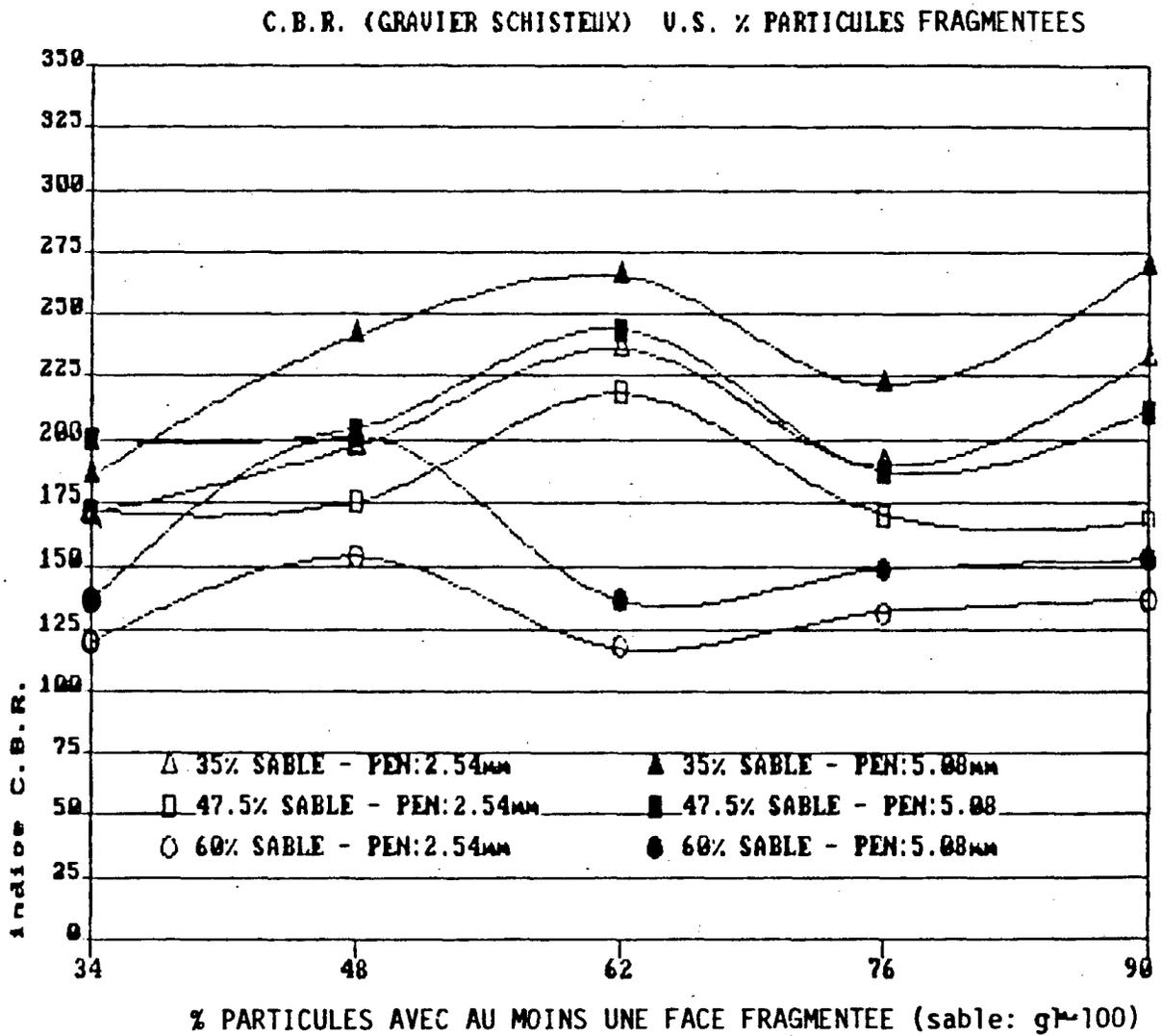
Graphique.24



Graphique.25

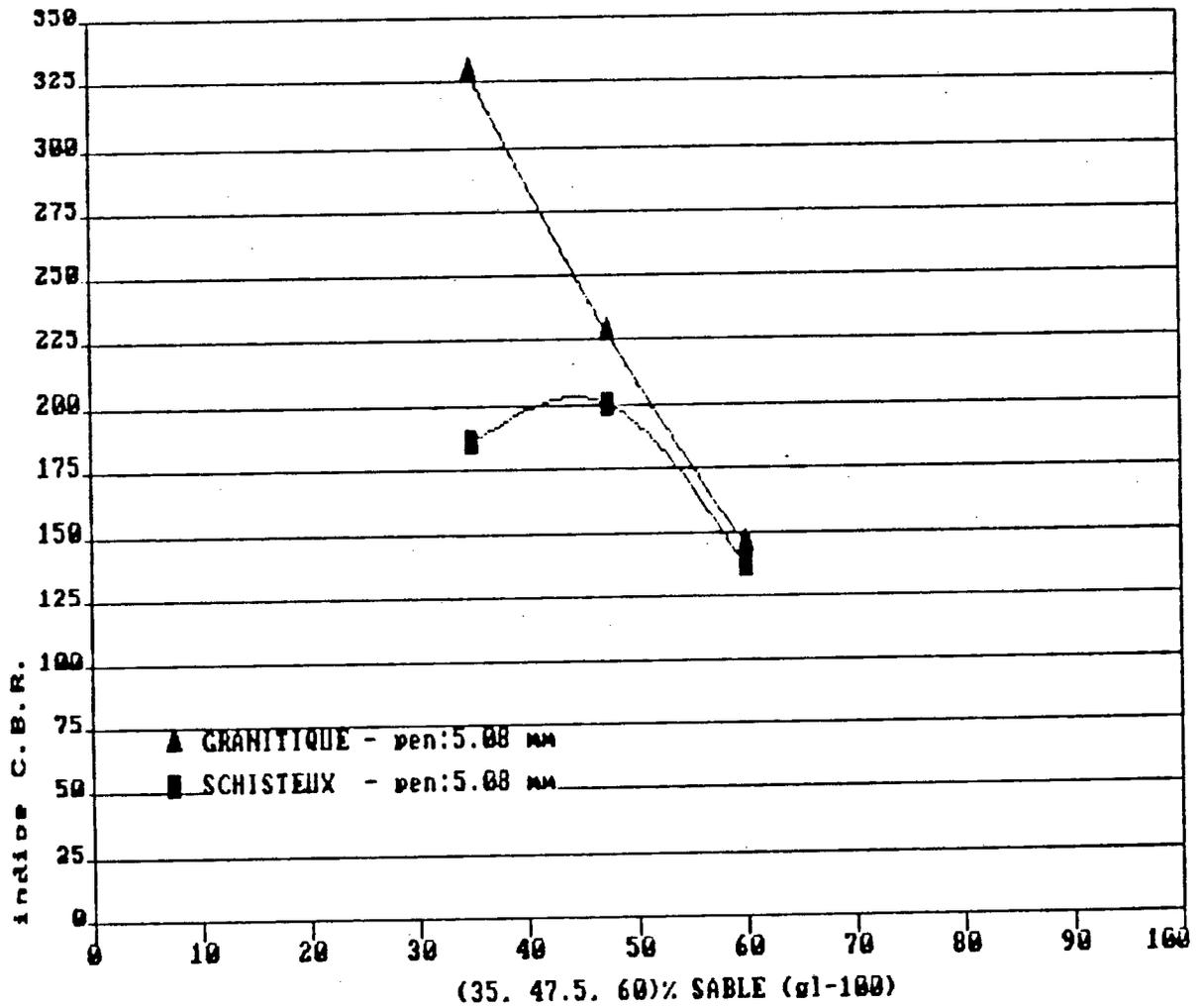


Graphique.26

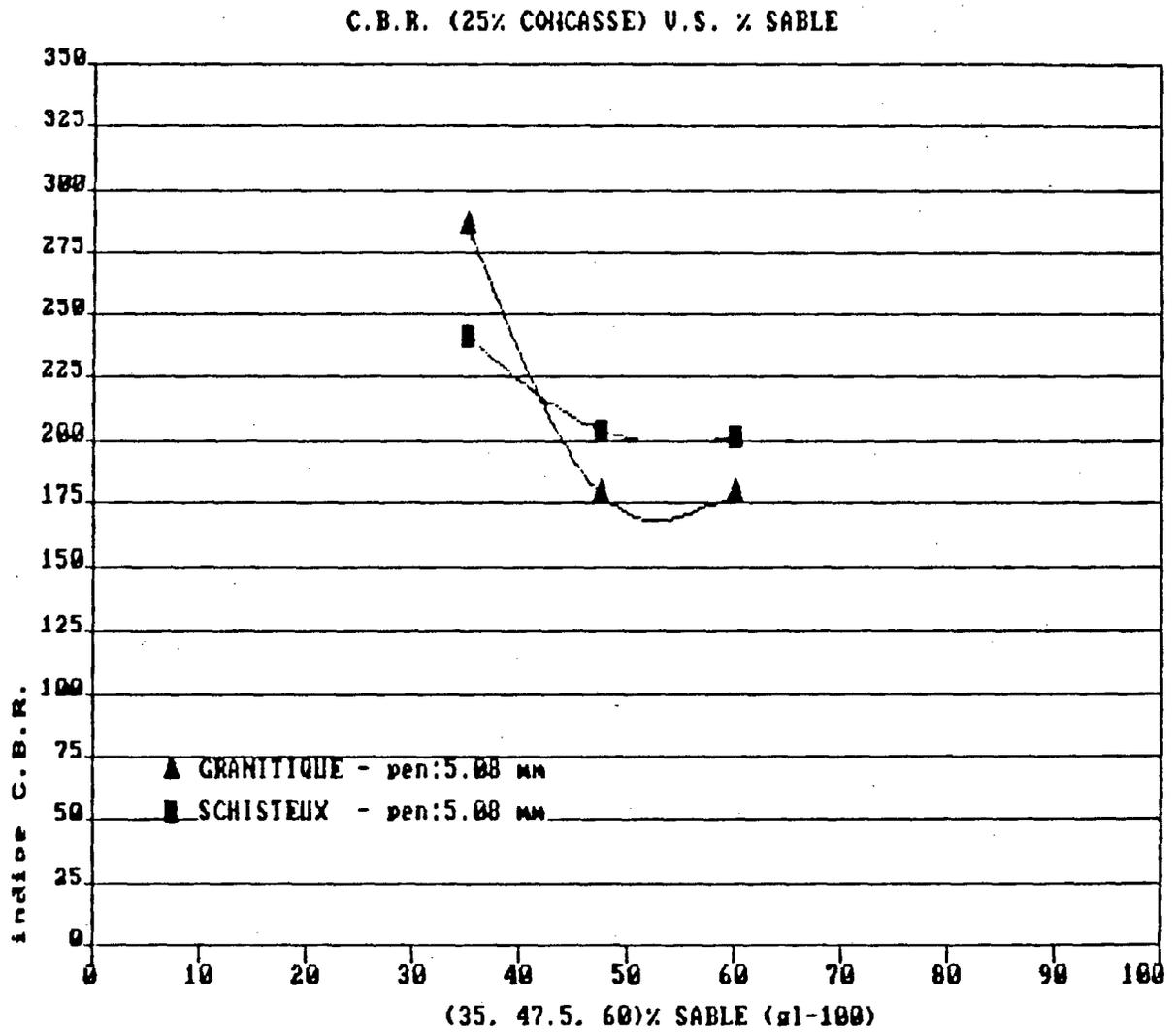


MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
200, RUE DORCHESTER SUD, 7e  
QUÉBEC, (QUÉBEC)  
G1K 5Z1

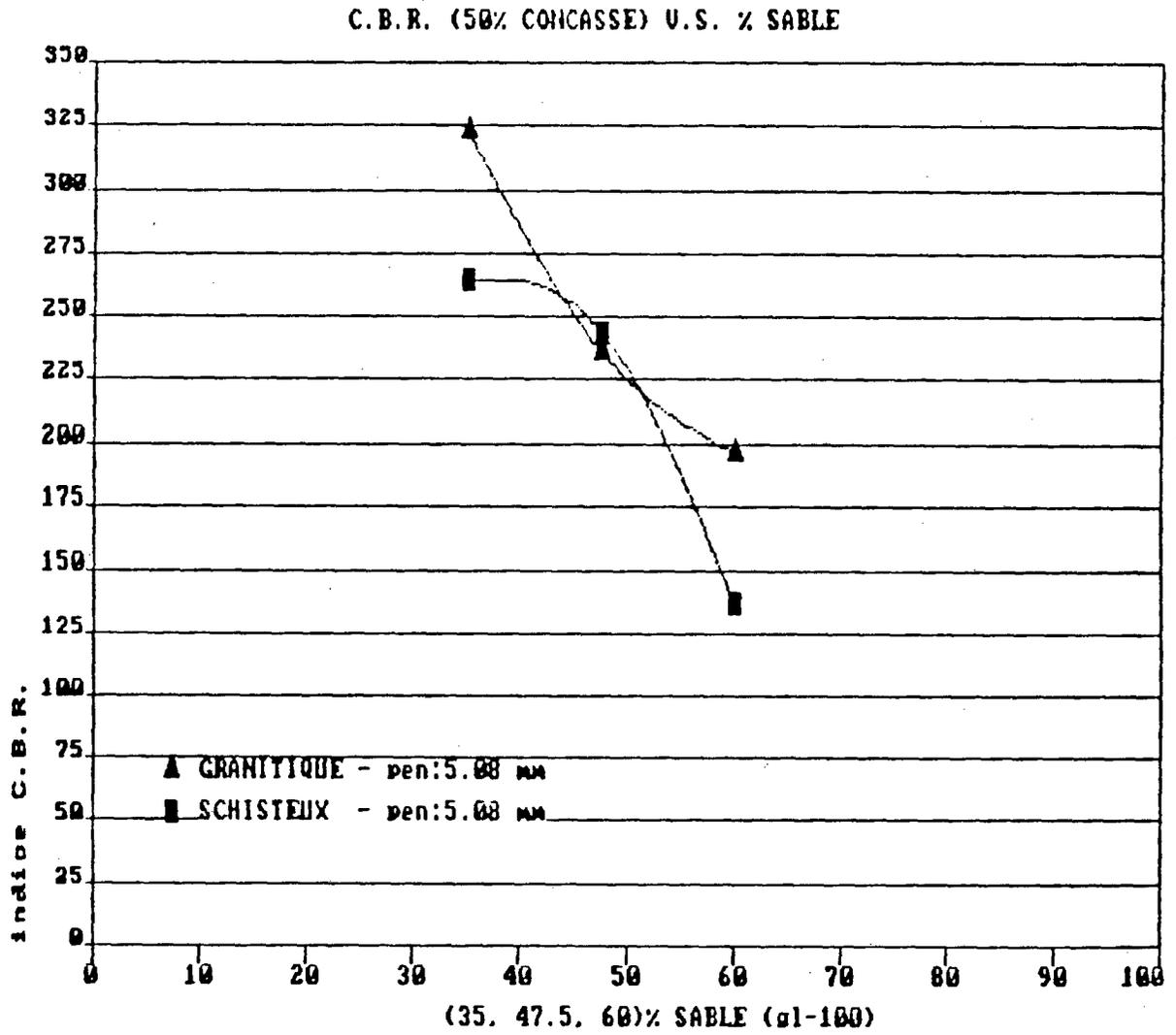
C.B.R. (8% CONCASSE) U.S. % SABLE



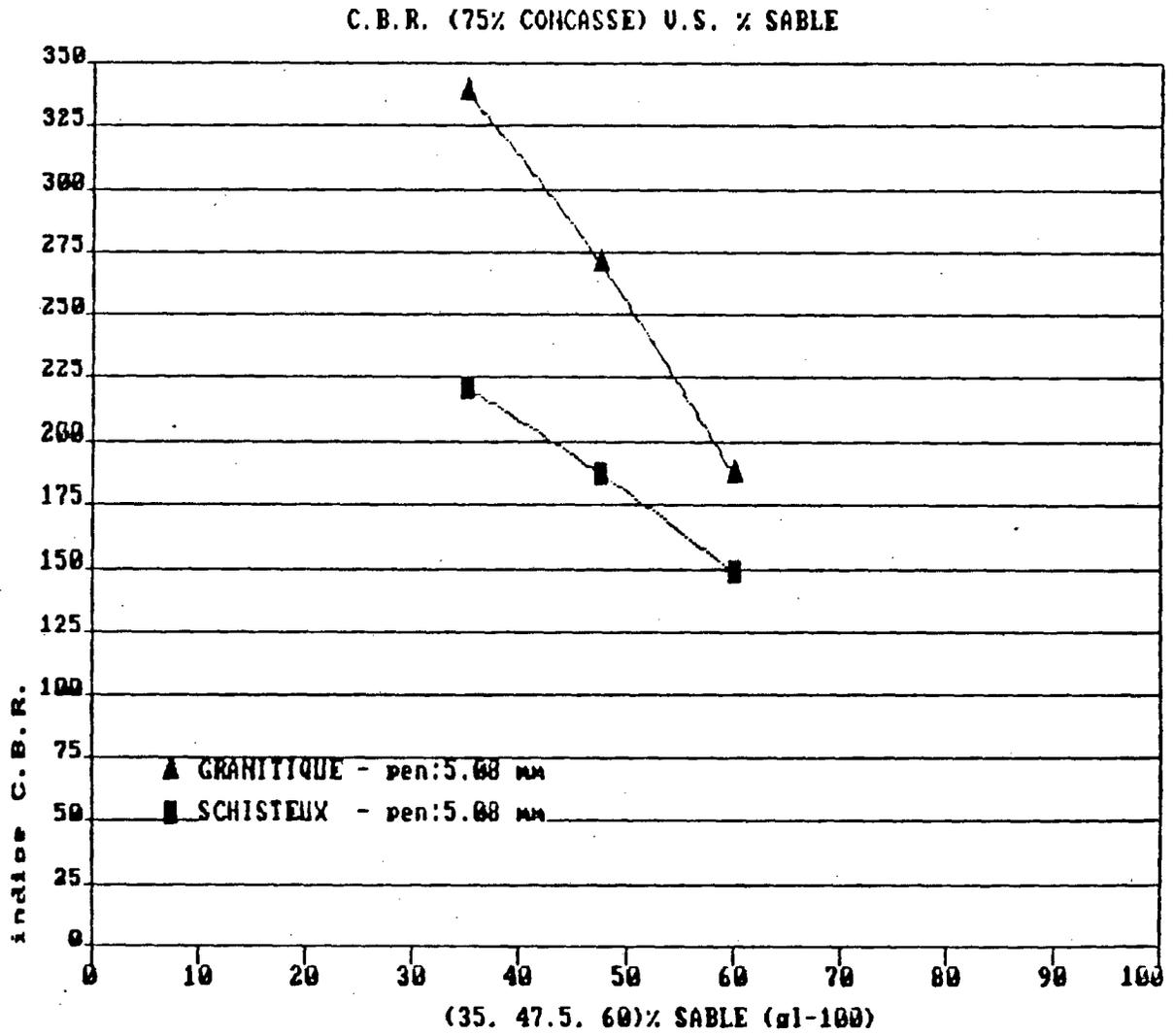
Graphique.28



Graphique.29



Graphique.30



Graphique.31

