



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

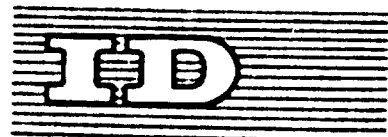
CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



D02855



Distr. LIMITÉE

ID/WG.81/21
12 janvier 1971

Original : FRANÇAIS

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

Journées d'études régionales sur le développement
des industries des matériaux de construction
à base d'argile en Afrique

Tunis, 6-12 décembre 1970

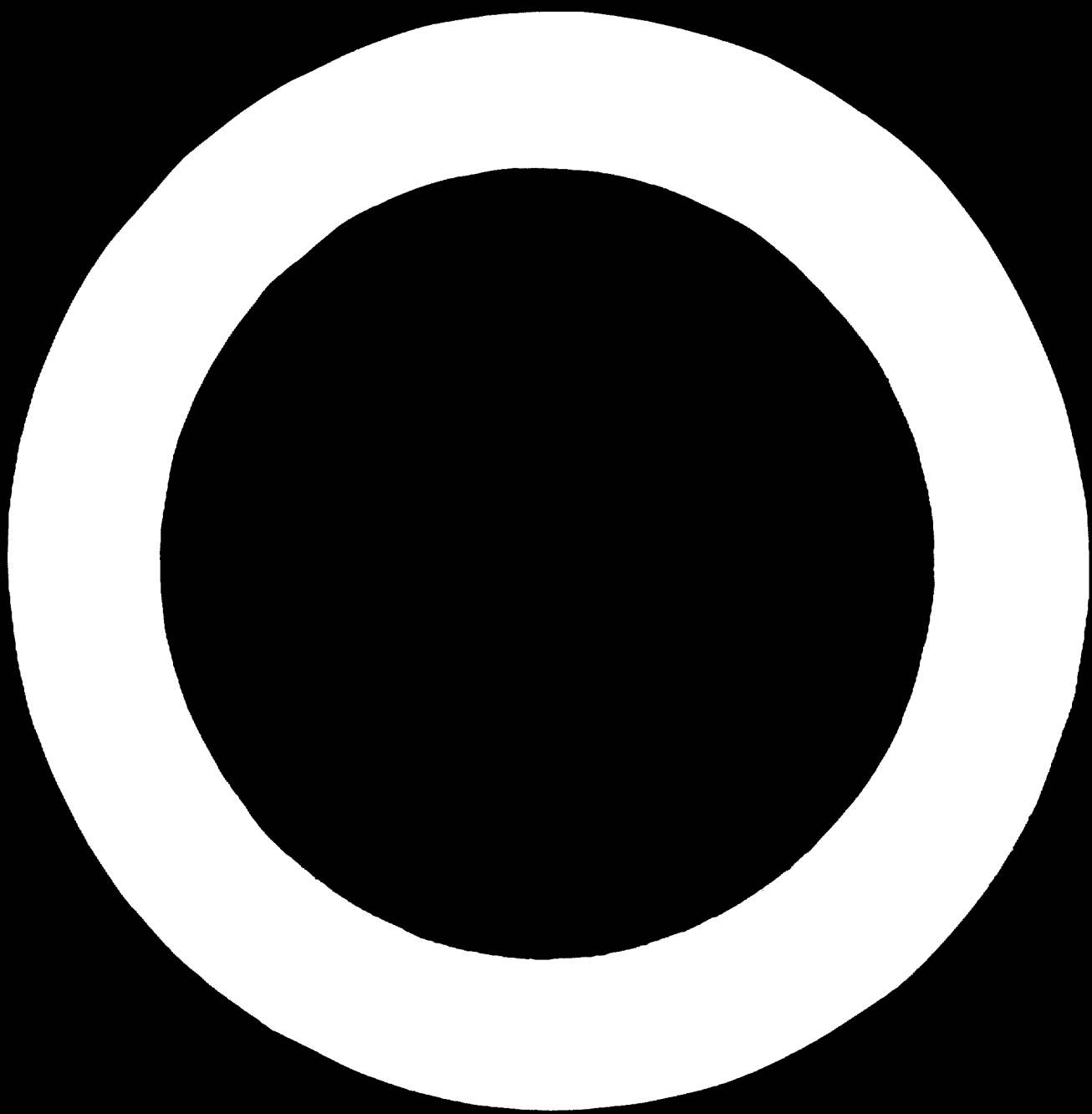
CONTRIBUTION MAROCAINE^{1/}

par
Abderrahman Affia
Ingénieur
Ministère de l'intérieur

^{1/} Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les vues du Secrétariat de l'ONUDI. Le présent document a été reproduit tel quel.

id.71-141

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.



L'argile a depuis longtemps été le matériau traditionnel pour la construction au Maroc.

Cette argile a d'abord été utilisée telle qu'elle, mélangée avec de la chaux et de la paille, le tout étant humidifié et compacté entre des coffrages. Ce procédé encore utilisé actuellement a permis la mise sur pieds de nombreuses réalisations ainsi que le témoigne la plupart de nos remparts et bon nombre de constructions pour habitat, notamment dans le Sud Marocain. Actuellement on trouve au Maroc

- une vingtaine de briqueteries
- une usine de produits réfractaires
- 17 usines de produits Céramiques

ainsi qu'une fabrication foraine, toujours difficile à estimer Globalement; l'indice de la construction a suivi depuis 1960 la progression suivante:

Année	1960	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Indice	100	87	102	125	107	127	142	156	143	170

Cette étude est présentée en trois parties.

1^{ère} partie: Données d'ordre physique et chimique relatives à une dizaine de gisements marocains étudiés par le Service des Gites minéraux de la direction des mines et de la géologie.

2^e partie : Caractéristiques technico-économiques et situation générale dans les secteurs suivants:

- les briqueteries
- les réfractaires
- les produits céramiques

et à titre de comparaison, nous rendons compte de la situation dans les secteurs parallèles suivants:

- les ciments et chaux
- les agglomérés de ciment.

3^e partie: Le Béton de Terre stabilisé - résultats et conclusion d'études menées au Centre Expérimental de recherche et de Formation (C.E.R.F.), organisme de la direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, ministère de l'Intérieur.

ière PARTIE

Données d'ordre physique et chimique relatives
à une dizaine de gisements d'argile marocains -

recueillies au Service des gites minéraux de la
direction des mines et de la géologie

Données Générales sur certains

Gisements Etudiés -

La direction des mines et de la géologie, Division de la géologie, service d'étude des gites minéraux a entrepris une étude sur un certain nombre de gisements du point de vue de l'analyse chimique et minéralogique ainsi que de leur aptitude à être utilisés dans l'un des secteurs utilisant des matériaux de construction à base d'argile.

Nous donnons ci dessous les conclusions de ces études ainsi que des tableaux de résultats relatifs à ces gisements.

Les gisements ont été classés en catégorie géologique basée sur leur genèse:

1° Argiles des séries Sédimentaires

Tarjicht : Silurien Oujda Jurassique Supérieur

Khénifra Permien Fès-Salé : Miocène

2° Argiles hydrothermales

Sibara: altération de grès au contact d'un microgranite

Ouenfouda: Kaolinisation de roches volcaniques acides

Maasa : dépôt lié au volcanisme tertiaire

3° Argiles d'altération superficielle

Bénaïmed: altération de schistes siluriens

Romani : - b° -

Le tableau de la page suivante donne des indications sur ces gisements et leur classification.

	Gisement	Classification	Observations
I. <u>Séries Sédimentaires</u>			
TARJICHT	Tonnage 600 000T Irregulier	Argiles à carreaux de grès, grès sanitaire peut servir aux carreaux de faïence avec des précautions.	présence de soufre et de chaux libre
KHENIFRA	Insignifiant	argile à céramique de bâtiment carreaux de grès	Les passées décolorées conviennent pour les carreaux de faïence ou la faïence blanche à 1200°C
OUJDA	Illimité	argile à terre cuite où à poterie - briques	Cuit rouge - forte présence de calcaire
... ..	Illimité	argile maigre calcaire pour briques et poteries	
... ..	Illimité	argile grasse calcaire pour poteries et carreaux de grès	
II. <u>Argiles Hydrothermales</u>			
SIBRA	Sans doute peu important doit être précisé	argile à faïence	Risques de grésage suivant la qualité du produit
GUENFOUDA	Mériterait d'être mieux reconnu Irregulier	argile à faïence	
M... ..	Reconnu sur 15 000m ² Réserves précisées par la SERMI, coût d'extraction probablement élevé	appoint pour porcelaine	le fort retrait limite le pourcentage d'emploi dans une pâte (5%)
III. <u>Argiles d'altération</u>			
BENNEJED	Insignifiant	Argile à carreaux de faïence	
ROMANI	Inconnu	argile à carreaux de faïence	Teneur en Fe ₂ O ₃ Irrégulier

I. Argiles des Séries Sédimentaires

1°) Le gite de T A R G I C H T

Situé dans l'anti Atlas occidental à 200 kms d'Agadir et 109 km de Tiznit, il a fait l'objet de nombreux travaux géologiques. On peut dire qu'il est parfaitement connu et les résultats de son étude peuvent être, sans trop de craintes étendus à l'ensemble des séries siluriennes régionales.

L'argile de Targicht dans sa plus grande partie oit beige, mauve et brun violacé et relativement peu plastique en pâte forme, peut être considérée comme une argile à carreaux de grès, grès sanitaires ou ceramique de batiment. Des déformations sont possibles, les échantillons sont très heterogenes et il faudrait pouvoir les sélectionner dans le gisement. Nous ignorons si cette opération est économiquement rentable.

Nous donnons sur le tableau ci-dessous les résultats d'essais chimiques et physiques effectués sur des argiles de Targicht

2°) Argiles de MENIFRA

Les études de laboratoire montrent que ces sédiments ont des caractères céramiques certains: forte présence de kaolinite, retrait pratiquement nul etc.... l'échantillon rouge conserve sa couleur à la cuisson.

ARGILE DE TARGICHT (en %)
(mélange de deux puits)

Essais chimiques	Essais physiques
Si O ₂	Eau de Gachage
Al ₂ O ₃	Pâte assez longue
Fe O ₃	retrait (séchage 4 cuisson 6,6
CaO	
MgO	légère déformation des bequettes qui se vitrifient assez fortement après cuisson à 1080° C
Na ₂ O	
K ₂ O	Tainte gris mauve
SO ₃	Chaud libre néant
H ₂ O (constitution)	Porosité 1,70
Humidité à 110°	

3°) REGION L'OUJDA

La série argileuse de base du Jurassique supérieur de la région d'Oujda fournit depuis longtemps des matériaux pour la briqueterie de Jerrada. Ce sont des argiles claires, de couleur crème un peu marron, ne contenant que peu de chaux - La moyenne des trois analyses donne 3,1% de CO_3Ca . Toutefois elles contiennent un assez fort pourcentage de $FeO_3 + TiO_3$ (6,37% $FeO_3 + 0,40\% TiO_2$) elles se déforment au séchage et à la cuisson et produisent une teinte de cuisson rouge brique, on les rangera parmi les argiles à terre cuite ou à poterie.

Il n'y a pas de problème de réserves lorsqu'on exploite une couche suffisamment puissante.

Des résultats d'analyse chimique et d'essais physiques sont données au tableau de la page suivante:

4°) Les séries miocènes de FES et de SALE.

Presque toutes les briqueteries industrielles du Maroc (RABAT, FES, MEKRES, TETOUAN) sont alimentées avec des argiles bleu verdâtres homogènes constantes dans leur répartition sur la presque totalité du MAROC et qui proviennent des couches miocènes (Tortonien). à FES comme à SALE les argiles se présentent en masse considérable et il n'y a pas de problème concernant leur extraction.

ARGILES DE LA REGION D'OUJDA

- 7 -

Echantillons et localisation	Analyse minéralogique aux RX	Analyses chimiques Résultats en %		Essais physiques Résultats en %
O. 19 832 Argiles callo-oxfordiennes briqueterie d'Ain Senah au Sud d'Oujda x = 818,50 y = 450,650	Montmorillonite Illite Kaolinite Chlorite (très peu)	SiO ₂ Oxydes totaux CaO MgO S total Perte au feu	61,12 25,00 2,60 traces 0,03 10,55	Eau gachage pour pâte plastique ferme 22 pâte courte Retrait { Séchage 3. cuisson(950°) 3 Teinte après cuisson 950° C rouge brique Chaux libre: présence
O. 19 833 Argile verdâtre du callové Oxfordien Bidi Aissa Oujda x = 831,850 y = 426,300	Montmorillonite Kaolinite Illite	SiO ₂ oxyde totaux CaO MgO S total Perte au feu	72,13 14,45 4,56 traces 0,03 8,67	Eau de gâchage pour pâte plastique ferme 23 pâte courte Retrait { Séchage(1) 3 Cuisson(2) 4 légère déformation en (1) et (2) Teinte après cuisson = rouge brique pâle chaux libre = assez forte présence
O. 19.834 Argiles vertes callo-oxfordiennes Bidi-Mimoun Oujda x = 824,000 y = 431,300	Montmorillonite Illite Kaolinite Chlorite	SiO ₂ Oxydes totaux CaO MgO S total Perte au feu	63,85 23,80 2,16 traces 0,04 9,40	Eau de gâchage pour pâte plastique ferme 23 Pâte longue Retrait { Séchage 5 cuisson 5 Teinte après cuisson rouge brique foncé Chaux libre = assez forte présence

On notera:

- la faible teneur de ces argiles en oxydes totaux, jamais supérieure à 8% à FES.
- la forte proportion de silice
- l'existence de carbonates représentant 44% de l'échantillon à SALE et 32% à FES.

La plasticité des pâtes fermées est généralement médiocre. Les argiles de FES se comportent mal, elles ne supportent pas le choc de température puisqu'elles se déforment et grèsent à 1000° C en prenant des teintes foncées.

A SALE les résultats sont semblables, en particulier la teinte de cuisson et la plasticité de la pâte.

On classera ces argiles comme:

marnes maigres pour briques et poteries à FES

marnes plus grasses pour poteries et carreaux de grès à SALE

II les Argiles Hydrothermales

1°) Le gîte de SIBARA:

ses coordonnées lambaires sont $x = 374$, $y = 313,9$
la kaolinisation de ces argiles est loin d'être complète et l'anal se aux rayons X ne décèle que 10 à 15% de kaolin mélangé à l'argile Illitique primaire des grès. Les essais physiques et chimiques sont encourageants. Le gîte est cependant fort mal connu et il ne semble pas à priori que des réserves importantes y existent.

2°) Le kaolin de GUENFOUDA

Les coordonnées lambdaire de ce site sont:

$$x = 808,5 \quad y = 431,4$$

le kaolin se présente sous forme de masses blanches silicieuses d'aspect compact de la fluorine colore en trainées violette certains amas. Le produit kaolinique contient en proportions variables de la kaolinite et un feldspath plagioclase, un peu d'illite est également visible.

3°) l'halloysite de MAAZA

situé à 7 km à l'ouest de MELILLA le site a déjà été exploité par la Société de recherches d'Argile au Maroc, le minéral

essentiel est l'alloysite, kaolin hydraté à structure allongée de la forme $Al_2O_3 \times SiO_2 \cdot nH_2O$ (en moyenne $x = 2$ en supposant tout le SO_3 sous forme d'Alunite; $n = 2,1$)

Les rayons X font apparaître la présence à peu près constante d'un sulfate (alunite sulfate double d'Aluminium et de potassium)

l'analyse chimique fait apparaître une forte teneur en Alumine, de 32 à 38%; d'importants pourcentages en SO_3 ainsi qu'une proportion élevée d'eau.

Les essais physiques montrent que la roche est très avide d'eau (43% d'eau de gachage en moyenne), elle a un grand pouvoir plastique mais les chiffres de retrait atteints sont catastrophiques et les éprouvettes se fendillent ou cassent à la cuisson, ce retrait n'est jamais inférieur à 7% en cru et 18% en cuit. Cette argile d'une grande régularité et d'une pureté exceptionnelle peut être considérée comme argile d'appoint pour porcelaine dure ou tendre et pour pâtes céramiques.

III. Argile d'Altération Superficielle

1°) l'Argile de BENAHMED

coordonnées $x = 313,30$ $y = 285,80$

site exploité à petite cadence par une Société de CASABLANCA (200T/an)

Les résultats physiques et chimiques sont encourageants, l'argile est plastique et non calcaire et présente un retrait acceptable mais contient de nombreuses inclusions ferrugineuses.

Le tableau de la page 10 donne des résultats d'essais physiques et chimiques effectués sur des argiles de ce site.

CONCLUSIONS

Les argiles sédimentaires n'ont pas donné les résultats escomptés; malgré l'importance du tonnage et la facilité d'extraction, les qualités physiques restent médiocres (exception faite pour la région de KHENIFRA)

- l'alloysite de MAAZA, bien que d'excellente qualité ne peut être qu'un produit d'appoint relativement cher.

- certains espoirs demeurent concernant de petits gîtes de kaolin à SIBARA et GUENFOUDA (une prospection rapide est souhaitable).

ARGILE DE BENAHMED (en %)

RAYON X	ANALYSE CHIMIQUE		ESSAIS PHYSIQUES	
! Montmorillonite	! SiO ₂	! 54,64	! Eau de gachage	! 33
! Kaolinite	! Oxydes Totaux	! 35,55	! Pate	! assez longue
! CaO	! CaO	! 0,85	! Retrait (	! séchage 5,75
	! MgO	! néant			! cuisson 7
	! S total	! traces	! Teinté (905°C)	! rose
	! Perte au feu	! 8,29	! chaux libre	! néant

L'inconnu demeure celle des gisements du type BENAHMED dont on ignore la répartition dans les schistes du MAROC Central, une prospection d'assez grande envergure est nécessaire, elle ne pourra être menée à bien qu'au bout d'un temps relativement long.

RESULTATS DES ETUDES TECHNOLOGIQUES EFFECTUEES
SUR DES ECHANTILLONS D'ARGILE DE TANGER

Les résultats de tous les échantillons portent sur les essais suivants:

- analyse chimique
- Rayons X
- essais technologiques

Ils montrent pour l'ensemble de ces matériaux:

- une teneur en Alumine comprise entre 18 et 21% en Al_2O_3
- une teneur en chaux variant de 1,5 à près de 4% en CaO
- des teneurs élevées en Fer allant d'environ 3 à 8,40% en Fe_2O_3
- une prédominance d'après les rayons X de montmorillonite pour les échantillons et de chlorite mélangée à de la montmorillonite pour les deux autres. Par contre, la kaolinite n'existe qu'en faibles proportions dans les trois échantillons.
- Enfin un retrait élevé pour tous ces matériaux même après cuisson à 1085° C: de 5 à 10% après séchage à 110° C et de 8,8 à 14,8% après cuisson à 1085° C

Ces matériaux se cuisant par blanc par suite de la présence d'une forte teneur en fer, manifestant un retrait important à la cuisson à une température supérieure à 1000° C avec déformation des éprouvettes à cette température (présence de chaux libre) ne peuvent convenir pour la préparation de pâtes destinées à l'industrie céramique (carreaux de faïence, vaisselle, appareils sanitaires).

Toutefois, ils peuvent servir pour la fabrication de la poterie colorée (genre poterie horticoles) et pour celle de briques et tuiles pour le bâtiment.

2 ème P A R T I E

- Situation du Secteur en 1969
- Bilan des ressources et utilisation en 1969
- Evolution de la production de 1960 à 1969

Pour les Sous Secteurs

1. - Les produits réfractaires
2. - Les produits céramiques
3. - Les agglomérés de Ciment
4. - Les ciments et chaux.

1°) Les produits réfractaires

- 13 -

Nous classons ici les briques réfractaires et les produits réfractaires à usage industriel.

La seule entreprise du sous Secteur satisfait la quasi totalité des besoins du marché qui est caractérisé par une stagnation voire même une certaine régression depuis 1965. Le tableau de la page suivante fait le point de situation de ce sous Secteur.

2°) Les produits Céramiques

Sous cette rubrique, nous classons les éléments de construction en terre cuite = brique, tuiles, hourdis, boisseaux, poteries horticoles diverses.

La production de ce sous secteur, stagnant depuis 1960 s'est relevée de façon sensible en 1969, cet accroissement de la demande a entraîné la mise à l'étude de nouveaux projets qui pourraient accroître, à court terme, le potentiel de fabrication de produits céramiques.

Cette activité faiblement mécanisée a des repercussions importantes de l'emploi.

On estime la production foraine dans ce sous secteur à 45000 tonnes par an.

Le tableau 15 fait le point de situation de ce sous secteur (activité industrielle et non foraine).

3°) Les agglomérés de Ciment.

Ici nous classons les éléments en béton simple ou armé = tuyaux, buses, carreaux, traverses, caniveaux, hourdis, canaux, bordures - ouvrages en amiante ciment.

La production d'agglomérés de ciment (en particulier amiante ciment) a été particulièrement élevée en 1969 en raison de l'importance de la demande dans le bâtiment et l'équipement à l'irrigation des périmètres agricoles.

La capacité du secteur suffit à assurer la complète satisfaction des besoins, quelques exportations sont même réalisées.

Le tableau 16 fait le point de ce sous secteur.

4°) Les ciments et chaux

nous considérons ici les ciments artificiels

La fabrication de ciment artificiel est en pleine expansion au Maroc, les cinq entreprises du sous secteur ont travaillé en 1969 à 90% de leur potentiel de production, malgré les importants investissements d'extension réalisés au cours de cette même année.

L'extension de cette industrie est appelée à se poursuivre au cours des prochaines années afin de faire face à la demande.

A noter que la fabrication de chaux par certaines unités industrielles pour leurs besoins propres (les sucreries par exemple) ne sont pas repris dans le tableau où est donnée la mise au point de ce sous secteur.

p 17

N.B. La monnaie marocaine est le Dirham; 5 Dirham = 1 Dollar U.S.

./14

PRODUITS REFRACTAIRES

Situation du Secteur en 1969

Désignation	Unité	Quantités	Valeurs en 1000 OH
Nombre d'usines en activité		1	
Nombre réalisant 50% de la production			
Capacité de production		11500	
Production 1969	T	8500	5300
- dont vendue au Maroc		3700	2600
- dont exportée		4800	2700
Taux d'utilisation de la capacité %		74	
Investissements totaux (bruts)			2857
Investissements en 1969			430
Amortissements en 1969			72
Permanents Marocains		39	
Emplois Etrangers		10	
saisonniers		10	
Valeur ajoutée en % du chiffre d'affaire HT	%	49	

Bilan des ressources et utilisations en 1969

	Production	Importations	Exportation	Consom. mation intérieure	Augmentation du stock
Quantités	8500 t	636	4800	4336	0
Valeurs 1000 OH	5300	862	2700	3462	0

Evolution de la production de 1960 à 1969

Nature des produits	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Production en 1000 T	5,2	5,2	5,5	6,6	8,4	11,1	11,6	9	7,9	8,5

PRODUITS CERAMIQUES

Situation du secteur en 1969

Désignation	Unité	Quantités	Valeurs en 1000 DH
Nombre d'usines en activité		17	
Nombre réalisant 50% de la production		3	
Capacité de production		192000	
Production 1969	t	150957	11000
- dont vendue au Maroc		150065	10981
- dont exportée		0	0
Taux d'utilisation de la capacité	%	78	
Investissements Totaux			21433
Investissements en 1969			1000
Amortissements en 1968			722
permanents marocains		672	
Emplois Etrangers		25	
saisonniers		124	
Valeur ajoutée en % du chiffre d'affaire HT	%	49	

Bilan des Ressources et Utilisation en 1969

	Production	Importations	Exportations	Consommation intérieure	Augmentation de stock
Quantités	151 000	0	0	151 000	0
Valeurs 1000 DH	11 000	0	0	11 000	0

Evolution de la Production de 1960 à 1969

	61	62	62	63	64	65	66	67	68	69
Production en 1000 T	114	119	128	132	110	72	90	102	120	151

Agglomérés de CimentSituation du secteur en 1969

Désignation	Unité	Quantités	Valeur en 1000 DH
Nombre d'usine en activité		13	
Nombre réalisant 50% de la prod.		1	
Capacité de production		217 000	
Production 1969	t	158 721	42 330
- dont vendu au Maroc		144 287	43 949
- dont exportée		7 650	2 298
Taux d'utilisation de la capac.	%	73	
Investissements totaux (bruts)			36 275
Investissements en 1969			4 637
Amortissements en 1969			3 149
Permanents Marocains		1 830	
Emplois Etrangers		443	
saisonniers		245	
Valeur ajoutée en % du chiffre d'affaire HT	%	48	

Bilan des Ressources et Utilisations en 1969

Production	Importations	Exportations	Consommation Intérieure	Augmentation de stock
Quantités 158721	0	7660	144287	6774
Valeurs 1000 DH 48330	0	2298	43949	2083

Evolution de la production de 1960 à 1969

Nature des produits	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Production en 1000 T							97	78	92	159

CIMENTS ET CHAUX

Situation du secteur en 1969

Désignation	Unité	Quantités	Valeurs en 1000 DH
Nombre d'usine en activité		5	
Nombre réalisant 50% de la production		1	
Capacité de production		1300000	
production 1969		1168471	109400
- dont vendue au Maroc	t	1157608	108700
- dont exportée		11256	778
Taux d'utilisation de la capacité	%	90	
Investissements totaux (bruts)			136718
Investissements en 1969			22611
Amortissements en 1969			6271
Permanents Marocains		926	
Emplois Etrangers		198	
saisonniers		76	
Labour ajoutée en % du chiffre d'affaire HT	%	47	

Bilan des Ressources et Utilisations en: 1969

	Production	Importations	Exportations	Consom intérieure	Augmentation de stock
Quantités	1168471	11792	11256	1169400	- 393
Valeurs 1000 DH	109400	1874	778	110534	- 38

Evolution de la Production de 1960 à 1969

Nature des produits	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Production en 1000 T					828	803	867	875	1011	1168

Données sur une briqueterie Marocaine au 17 Août 1970

Nature du produit	Dimensions	Nombre au m ²	Poids en kg	Prix carreaux		Prix chantier Rabat en DH	
				Hors Taxe	Taxe com. prise	Hors Taxe	Taxe comprise
Brique 3 trous	28 x 15 x 4,5	21,5	1,9	12,53	14,00	14,29	16,00
" 6 "	28 x 15 x 7	21,5	2,8	17,03	19,00	18,75	21,00
" 8 "	28 x 20 x 10	16,5	4,7	28,86	32,00	32,14	36,00
" 9 "	28 x 15 x 11	21,5	4	25,00	28,00	27,68	31,00
" 12 "	28 x 20 x 15	16,5	6,5	42,43	47,50	47,32	53,00
Hourdis de 15	22 x 30 x 15	15,1	5	45,32	51,00	50,00	56,00
" 20	22 x 30 x 20	15,1	6	57,86	65,00	62,50	70,00
Pleines perforées	22 x 11 x 4,5		2	12,50	14,00	13,80	15,50
" filées	22 x 11 x 4,5		2	12,95	14,50	14,29	16,00
" Repressées	22 x 11 x 4,5		2	22,32	25,00	23,21	26,50
Briquettes	22 x 4,5 x 4,5		1	22,32	25,00	23,21	26,50
Boisseaux 15 x 15	23 x 20 x 20	3,5	8	169,65	190,00	175,00	196,00
" 20 x 20	28 x 26 x 26	3,5	10	187,50	210,00	194,65	218,00

Les prix sont donnés en Dirhams (DH)

1 dollar = 5,06 DH

3^{ème} PARTIE

Le Béton de terre stabilisé (B.T.S)
Résultats et conclusions d'études menées
au C.E.R.F. (Centre Expérimental de Recherche
et de Formation). Direction de l'urbanisme et
de l'habitat - Ministère de l'Intérieur.

La terre ou des mélanges de terre universellement mis en oeuvre dans les pays en voie de développement, bien avant que l'on connaisse le béton, mérite son incorporation dans les techniques d'aujourd'hui peut être plus encore que certains matériaux récents dont la technique est évolutive.

Toute construction en terre nécessite de longues études préalables et sur chantiers des contrôles permanents.

L'étude que nous présentons permet d'identifier les nombreux facteurs intéressants tant les caractéristiques physiques que mécaniques du Béton de terre stabilisé (B. T. S.) : elle doit déboucher sur des spécifications techniques d'emploi.

Les conclusions de l'étude dégagerait:

- (compte tenu des matériaux utilisés en un lieu donné) le mode de définition avant le commencement des travaux et à la suite d'essais sommaires la composition optimale du béton de terre à stabiliser

- les contrôles les plus efficaces à effectuer pendant l'exécution des travaux.

Le B.T.S. étudié a été élaboré à partir des matériaux suivants :

a - Argile 0/5 de salé.

. Granulométrie :

% d'éléments compris entre 0,5 et 5 mm	: 9 %
% " " " 0,08 et 0,5 mm	: 53 %
% " inférieurs à 0,08 mm	: 38 %

. Limites d'Atterberg :

Limite de Liquidité : L.L	= 27,7 %
Limite de plasticité : L.P	= 14,4 %
Indice de plasticité : I.P	= 13,3 %

b - Tout venant 0/25

. Granulométrie :

% d'éléments compris entre	5 et 25 mm	: 34 %
% " " "	0,5 et 5 mm	: 56 %
% " " "	0,08 et 0,5 mm	: 8 %
% " inférieurs à	0,08 mm	: 2 %

Ces deux matériaux étant donnés :

Nous nous proposons de répondre aux questions suivantes :

Question N° 1 : Le B.T.S. est un mélange de Tout venant et d'Argile (Stabilisé au Ciment). Dans quelles proportions chaque constituant doit-il entrer dans ce mélange pour que le B.T.S. ait les meilleures résistances ?

Question N° 2 : Ce mélange optimal étant déterminé, quel est :

2.1. pour un même taux de compactage l'influence du dosage en ciment.

2.2. pour un même dosage en ciment l'influence du taux de compactage

sur les caractéristiques mécaniques du B.T.S.

Nous donnons en Annexe la Technique des Essais.

Réponse à la Question N° 1 :

Nous avons établi en compactant le même mélange à des énergies Proctor différentes que la résistance à la compression des éprouvettes Proctor est fonction croissante de la densité (cf plus bas, Résultats des essais d'écrasement).

Ce premier résultat est important.

En effet, maintenant pour répondre à la question sus posée, il suffit de déterminer le mélange d'Argile et de Tout venant le plus compact, celui dont les grains s'enchevêtront en laissant le moins de vides, celui enfin dont la densité maximum Proctor sera la plus grande (l'énergie de Compactage restant évidemment constante).

Pour ce faire, nous avons confectionné plusieurs mélanges et nous les avons soumis à des Essais Proctor. la stabilisation a été obtenue avec 5 % de ciment, en poids total d'Argile et de Tout venant.

N ° du Mélange	1	2	3	4	5	6
% de Tout venant 0/25	100	90	75	65	50	0
% de Limon	0	10	25	35	50	100

L'énergie de compactage étant de 60 Tm/m³, les résultats enregistrés sur les différents mélanges sont donnés dans le tableau suivant.

Nous constatons que les mélanges dont les grains s'enchevêtront le mieux sont les mélanges n° 3 et 4 constitués de 75 à 65 % de Tout venant et de 25 à 35 % d'Argile.

M é l a n g e N °	1	2	3	4	5	6
teneur en eau optimale : w %	6,9	7,6	8,1	8,1	9	11,2
densité sèche maximale ρ_a	2,10	2,13	2,11	2,13	2,08	1,98
densité humide correspondante	2,21	2,29	2,31	2,31	2,27	2,20
classification du H.R.R.	A1a	A1b	A1b	A1b	A2.4	A2.6

Les mélanges n° 1 et 2 ne contiennent pas assez d'éléments fins pour que leurs vides soient remplis au maximum et les mélanges 5 et 6 ont trop d'éléments fins.

Ainsi le mélange de densité sèche maximum est le mélange n° 3.

Résultats des essais d'écrasement.

Pour chaque mélange (stabilisé avec 5 % de ciment) nous avons confectionné 6 éprouvettes destinées à être écrasées au bout de 7 jours.

Trois éprouvettes ont été écrasées à sec, les 3 autres ont été imbibées 24 heures avant écrasement, ci-dessous, en Kg/cm² les valeurs moyennes obtenues pour chaque mélange.

M é l a n g e N °	2	3	4	5	6
Résistance à Sec à 7 jours : R.S	110,10	112,10	139,6	134,60	132,80
Résistance humide à 7 jours : R.H	127,70	132,10	129,60	125,60	124,00
R.H / R.S	0,69	0,76	0,75	0,74	0,73

Les essais préliminaires nous ont permis de conclure qu'à partir de 7 jours les résistances commencent à plafonner. On peut donc considérer celles-ci comme suffisamment indicatives.

Nous constatons que les mélanges N° 3 et 4 qui présentaient les meilleures densités au compactage Proctor, présentent aussi les plus grandes résistances à l'écrasement et la susceptibilité à l'eau la plus faible.

Afin de relier les caractéristiques physiques d'identification aux caractéristiques de compactage et de résistance nous avons adopté pour chaque mélange comme caractéristique physique son pourcentage d'éléments inférieurs à 0,4 mm et avons tracé les courbes :

$$\gamma_a \text{ max.} = f (\% < 0,4)$$

$$\text{R.S 7 jours} = g (\% < 0,4)$$

$$\text{R.H 7 jours} = h (\% < 0,4)$$

$$\text{Indice de plasticité} = i (\% < 0,4)$$

$$\text{Teneur en eau optimale Proctor} = h (\% 0,4) \text{ cf Graphique 1}$$

Nous constatons que les trois premières courbes passent par un maximum correspondant à des mélanges dont le pourcentage en éléments inférieurs à 0,4 mm est compris entre 20 et 30 %.

A l'aide des méthodes ci-dessus exposées, nous avons à partir d'argile et de tout venant trouvés sur place défini le mélange optimal caractérisé par les données suivantes :

- 75 % de tout venant
 - 25 % d'argile
 - Une densité sèche maximale Proctor de 2,14
 - Une teneur en eau optimale Proctor de 8,10 %
-
- | | | | |
|------------------------------|-------------|---|----|
| - % d'éléments compris entre | 5 et 25 mm | : | 25 |
| - " " " " | 0,5 et 5 | : | 19 |
| - " " " " | 0,08 et 0,5 | : | 16 |
| - " " inférieurs à | 0,08 mm | : | 10 |
- Limites d'Atterberg :
- | | |
|--------|--------|
| L.L. = | 19,4 % |
| L.P. = | 14,6 % |
| I.P. = | 4,8 % |

RESULTATS ET CONCLUSION DES ESSAIS :

Rappelons d'abord les recommandations de l'O.N.U. en égard à la résistance et à la durabilité que doit présenter un B.T.S. pour qu'il soit apte à être utilisé dans l'habitat économique.

a) Résistance à la compression

Il faut une résistance minimum à la compression à l'état humide de 14Kgs/m² (à 28 Jours semble-t-il).

Toutefois, si le béton de terre contient au moins 70 % de sable et de gravier (ce qui est le cas de cette étude) on peut se contenter de 7 Kg/cm² à 28 Jours sur éprouvette mouillée.

b) Durabilité :

Perte de poids maximum admise après 12 cycles de mouillage, séchage et brossage.

	Tous climats	Climats secs (moins de 50 cm/Eau de pluie)
Constructions Urbaines permanentes	5 %	10 %
Constructions rurales avec gare modeste	10 %	10 %

Nous retiendrons le chiffre de 10 % valable dans tous les cas.

Les mélangeurs étudiés sont les suivants (numérotés de 1 à 9).

Un étalonnage préalable a été fait en vue d'établir une relation entre le nombre de coups de dame Proctor et la compacité obtenue, cet étalonnage est donné sur le graphique N° 3 ; sur lequel on peut lire qu'aux compacités de 92, 96 et 100 % correspond respectivement un nombre de coups de 5, 10 et 25.

Compacité /Proctor Standard	Dosage en Ciment		
	3 %	4 %	5 %
100 %	Mélange N° 1	N° 2	N° 3
96 %	N° 4	N° 5	N° 6
92 %	N° 7	N° 8	N° 9

1 - RESULTATS DES ESSAIS D'ECRASEMENT

Les résultats des essais d'écrasement effectués après 7, 14 et 28 jours de durcissement sont donnés dans le tableau

âge donné (14 jours), les variations de la résistance en fonction de l'un des deux paramètres : dosage en ciment ou compacité.

En examinant les différentes courbes, nous constatons que les résistances ne varient guère à partir de 14 jours d'âge des éprouvettes. Nous considérons dans le tableau qui suit les résistances à cet âge, chaque valeur étant la moyenne donnée par 2 essais.

Les éléments constituant le B.T.S. ayant été bien choisis, on constate, à la lecture du tableau suivant, que même dosage en ciment assez économiques, le B.T.S. est relativement peu sensible à l'eau puisque la résistance humide représente de 60 à 80 % de la résistance à sec.

Les figures 5 et 6 nous montrent que même un B.T.S. dosé seulement à 3 % de ciment et compacté à 92 % de l'optimum Proctor Standard présente des résistances suffisantes en regard aux recommandations de l'U.N.U. Cependant, il convient de garder à l'esprit que ce sont là des résultats de laboratoire, et que sur chantier il est bon d'avoir une marge de sécurité afin de tenir compte des dispersions inevitables. Nous pensons qu'en chantier, avec un dosage en ciment de 4 % et une compacité de 100 %, on a toutes les garanties d'avoir des résistances supérieures à celles recommandées par l'U.N.U.

Mélange N°	Dosage	Compacité Proctor- Standard	Résistance à 14 Jours		Teneur en eau après immer- sion	RH RS
			A	sec Humides		
1	3 %	100 %	23,2	17,6	7,3 %	0,75
2	4 %		30,1	24,2	7,10 %	0,80
3	5 %		45,5	32,6	7,16 %	0,71
4	3 %	96 %	20,4	12,2	8,6 %	0,60
5	4 %		21,1	15,2	8,7 %	0,71
6	5 %		29,8	21,9	7,9 %	0,73
7	3 %	92 %	13,3	8,9	9,15 %	0,67
8	4 %		18,7	14,1	8,60 %	0,75
9	5 %		21,9	17,6	9 %	0,80

2/ Résultats des essais de Durabilité

Les essais de durabilité ont donné les résultats représentés par les courbes de la figure n° 7 qui expriment pour différents dosages en ciment et compacité l'évolution de la perte en poids après brossage à la fin de chaque cycle de dessiccation.

Les figures 8 et 9 sont tirées de la figure 7 et montrent pour un cycle donné (le 12°), la variation de la perte en poids en fonction de l'un des deux paramètres : dosage en ciment ou compacité. De ces figures nous tirons le tableau suivant donnant les pertes au bout des 6°, 10°, et 12° cycles pour chacun des mélanges.

Ainsi pour avoir une perte en poids au bout du 12° cycle, inférieure à 10 %, il convient d'avoir un dosage en ciment supérieur à 3,5 % environ.

Pour :

3,5 < dosage Ciment < 4 % compacité 100 %
 4 < dosage Ciment < 4,5 compacité 96 %
 dosage Ciment > 4,5 la compacité peut même descendre à 92 %.

Dosage ciment	Compacité-Proc- tor.5°	Perte en poids en % après			% Accroissement des Pertes	
		6° Cycle	10° Cycle	12° Cycle	entre le 6° et 10° Cycle	entre le 6° et 12° cycle
3 %)	100 %	2,76	7,21	10,71	161 %	288 %
4 % (		1,51	2,67	3,48	77 %	131 %
5 %)		1,08	1,21	1,31	13 %	215 %
3 %)	96 %	5,70	12,90	18,50	126 %	226 %
4 % (		3,10	5,66	7,34	83 %	137 %
5 %)		1,13	2,17	2,35	92 %	107 %
3 %)	92 %	7,61	14,73	23,33	94 %	207 %
4 % (		4,65	8,25	10,05	97 %	115 %
5 %)		2,48	4,16	5,50	68 %	122 %

3/ Considérations d'Ordre Pratique

1 - Préparation du Mélange destiné à être compacté

L'homogénéisation d'un mélange de terre-ciment-eau est une opération délicate mais le succès de la stabilisation dépend dans une large mesure de la qualité de cette opération.

Si le ciment (en quantité forcément faible, s'agissant d'un béton économique) est mal réparti ou risque d'avoir des mottes d'argile ne contenant pas de ciment qui se comporteront comme de la terre non stabilisée et entraîneront la désagrégation des blocs ou des murs.

Si l'on part d'une terre sèche, on commencera toujours par mélanger la terre au ciment à sec et l'on n'ajoutera l'eau que lorsque le mélange terre-ciment sera bien homogène.

La meilleure façon d'opérer semble être la suivante :

On étale la terre sur l'aire de gachage et, après l'avoir saupoudrée avec le Ciment, on la retourne plusieurs fois en la mettant en tas. On prend la précaution d'écraser à la pelle toutes les mottes apparentes. Une fois le mélange terre-ciment bien homogène on ajoute progressivement l'eau en retournant le matériau et en écrasant les mottes qui auront tendance à se former.

2 - Précautions à prendre après le compactage.

L'action du ciment ne se développe qu'autant que chaque particule de ciment peut s'hydrater. Il faut donc éviter la dessiccation prématurée du matériau compacté (bloc ou élément de mur en béton bauché).

A cet effet on le protégera par des nattes ou de vieux sacs de ciment et l'on arrosera régulièrement à partir du deuxième jour pendant sept jours au moins en évitant de diriger un jet violent directement sur les blocs frais.

Dans le cas de la construction par bloc, il est recommandé de ne pas mettre les blocs en oeuvre 14 jours au moins après leur fabrication, ne serait-ce que pour donner le temps au matériau de prendre son retrait.

.....

4°) Conclusion

Il se dégage de cette étude :

- Que si l'on veut à partir d'Argile et de tout venant fabriquer le béton de terre stabilisée (B. T. S.) le plus résistant, il faut mélanger ces deux constituants de base de telle sorte que l'on obtienne le mélange le plus dense (l'énergie de compactage restant constante), des essais Proctor seront donc faits sur différents mélanges, le mélange pour lequel la densité sèche maximale sera la plus grande sera le mélange optimum.

- Que les résistances du B. T. S. plafonne pratiquement à partir de 14 jours d'âge (fig 4 et 4bis).

- Qu'un B. T. S. de composition optimale sera satisfaisant vis à vis des recommandations de l'O. N. U. c'est-à-dire:

-aura une résistance humide à 28 jours supérieure à 7 kg/cm³.

-perdra au plus 10% de son poids au douzième cycle de l'essai de durabilité.

-si sa compacité est égale à 100% de l'optimum Proctor standard (compactage avec une énergie de 60 tonnes/m³) et son dosage en ciment supérieur ou égal à 3,5%

Nous donnons figures 5 et 6 puis 8 et 9 les courbes d'étalonnage des caractéristiques mécaniques des résistances et de durabilité en fonction.

-d'un dosage en ciment variant entre 3 et 5% et d'un taux de compactage variant entre 92 et 100%

Nous pouvons lire sur ces courbes par exemple dans quelle mesure il faut augmenter le taux de compactage pour économiser une certaine quantité de ciment sans pour autant abaisser les quantités du B. T. S. (un B.T.S. dosé à 4% et compacté à 92% de l'énergie standard Proctor a les mêmes qualités de durabilité qu'un B.T.S. dosé à 3% seulement mais compacté à 100%)

Ce sont là des résultats de laboratoire sur chantier pour obtenir le meilleur B.T.S. il convient de garder dans l'esprit l'importance des deux remarques suivantes:

- bien homogénéiser les matériaux.
- laisser et aider le ciment à s'hydrater
- rechercher le matériel qui permet d'obtenir les meilleures compacités permettant ainsi d'adopter des dosages en ciment les plus faibles possibles.

A N N E X E

TECHNIQUE DES ESSAIS

Elle est inspirée de celle des essais américains (Manuel de construction d'habitation en B.T.S.; Publication des Nations Unies 1959).

1°) Essai de compression

Pour chaque essai 6 éprouvettes sont confectionnées 3 destinées à l'essai à sec, les 3 autres à l'essai humide (américain)

a) Essai à sec

les éprouvettes sont conservées à l'ombre et à la température de l'air ambiant durant un temps T

b) Essai humide

* Région où la pluviométrie est 350mm

- Séchage à l'air ambiant pendant un temps t
- Séchage à l'étuve réglé à 60° C pendant 24 heures
- Refroidissement des éprouvettes pendant 4 heures
- Immersion dans l'eau potable pendant 20 heures

Ces conditions sont évidemment plus sévères que celles s'appliquant à des régions où la pluviométrie est 350 mm.

Nous les avons adoptées ; le temps T lors des études est de 7, 14 et 28 jours et le temps t correspondant de 5, 12 et 26 jours.

Le séchage à 60° C a pour but d'une part d'accélérer le vieillissement des éprouvettes, d'autre part d'accentuer le choc capillaire dans l'éprouvette au moment de son immersion.

Cet essai nous permet de connaître:

- La résistance moyenne à la compression à sec: RS.

- La résistance moyenne à la compression humide: .RH
- Le rapport RH/RS.
- Le pourcentage d'eau absorbée par les éprouvettes soumises à l'immersion

2°) Essai de durabilité

Pour chaque essai confectionner 3 éprouvettes A, B, C.

A est utilisé pour l'étude de la variation du volume et de la teneur en eau

B et C servent à déterminer la perte en poids des éprouvettes après essai.

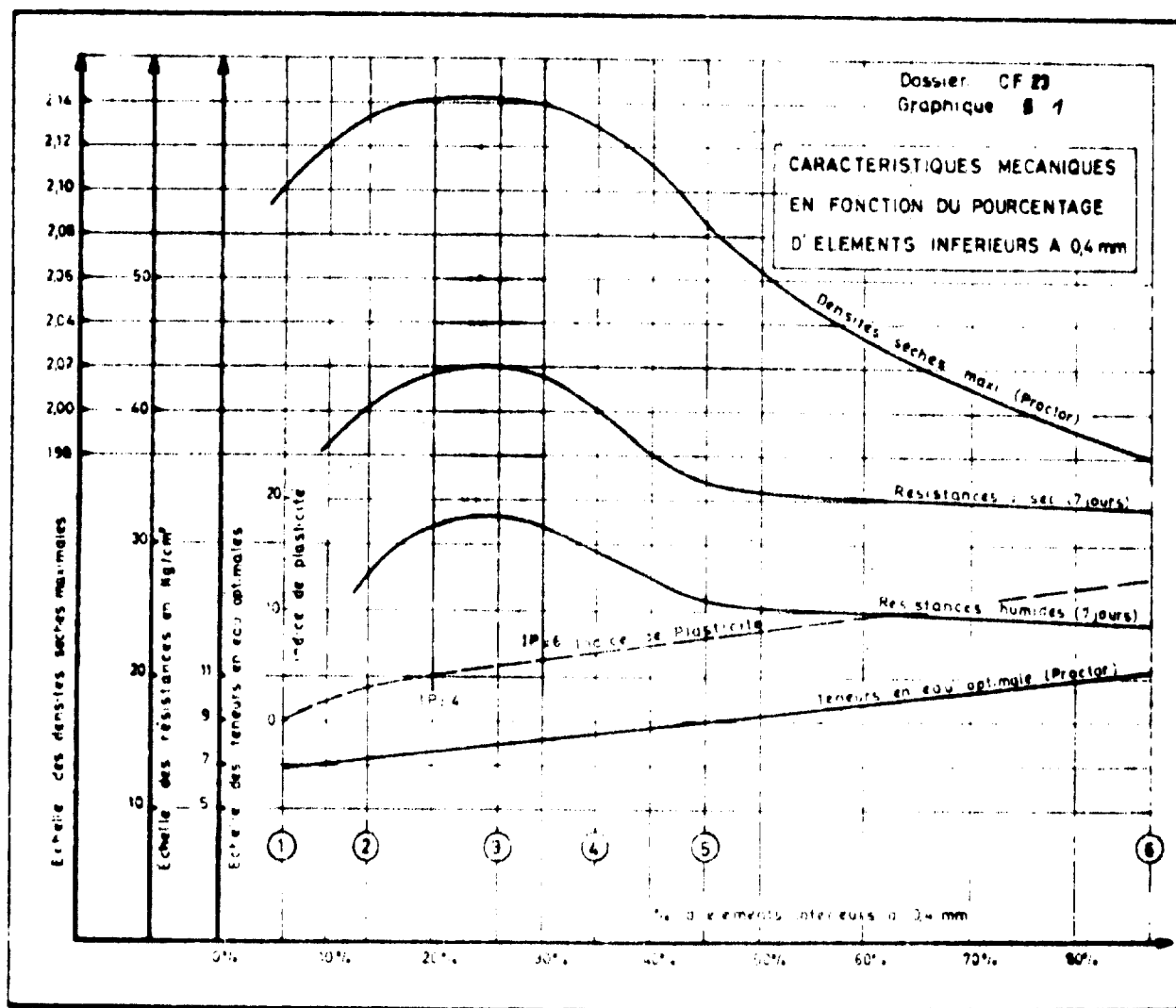
Les éprouvettes sont conservées à l'air pendant 28 jours et sont ensuite soumises à une série de 12 cycles comprenant:

- a) 5 heures d'immersion au bout desquelles l'éprouvette A est mesurée et pesée
- b) 42 heures de séchage à l'étuve réglée à 60° C
 - L'éprouvette A est mesurée et pesée.
 - Les éprouvettes B et C sont soumises à brossage (4 coups aux extrémités 18 à 20 coups sur les parois) et sont ensuite pesées, le cycle complet n'excédant pas 48 heures. On immerge de nouveau les éprouvettes et l'on répète l'opération 12 fois; une fois les 12 cycles terminés, les éprouvettes sont séchées à l'étuve à 110° C jusqu'à poids constant.

Les résultats enregistrés au cours de l'essai permettent de calculer ;

- La variation de volume et de teneur en eau de l'éprouvette A.
- La perte en poids des éprouvettes B et C à l'issue de chaque cycle.

./ Graphiques

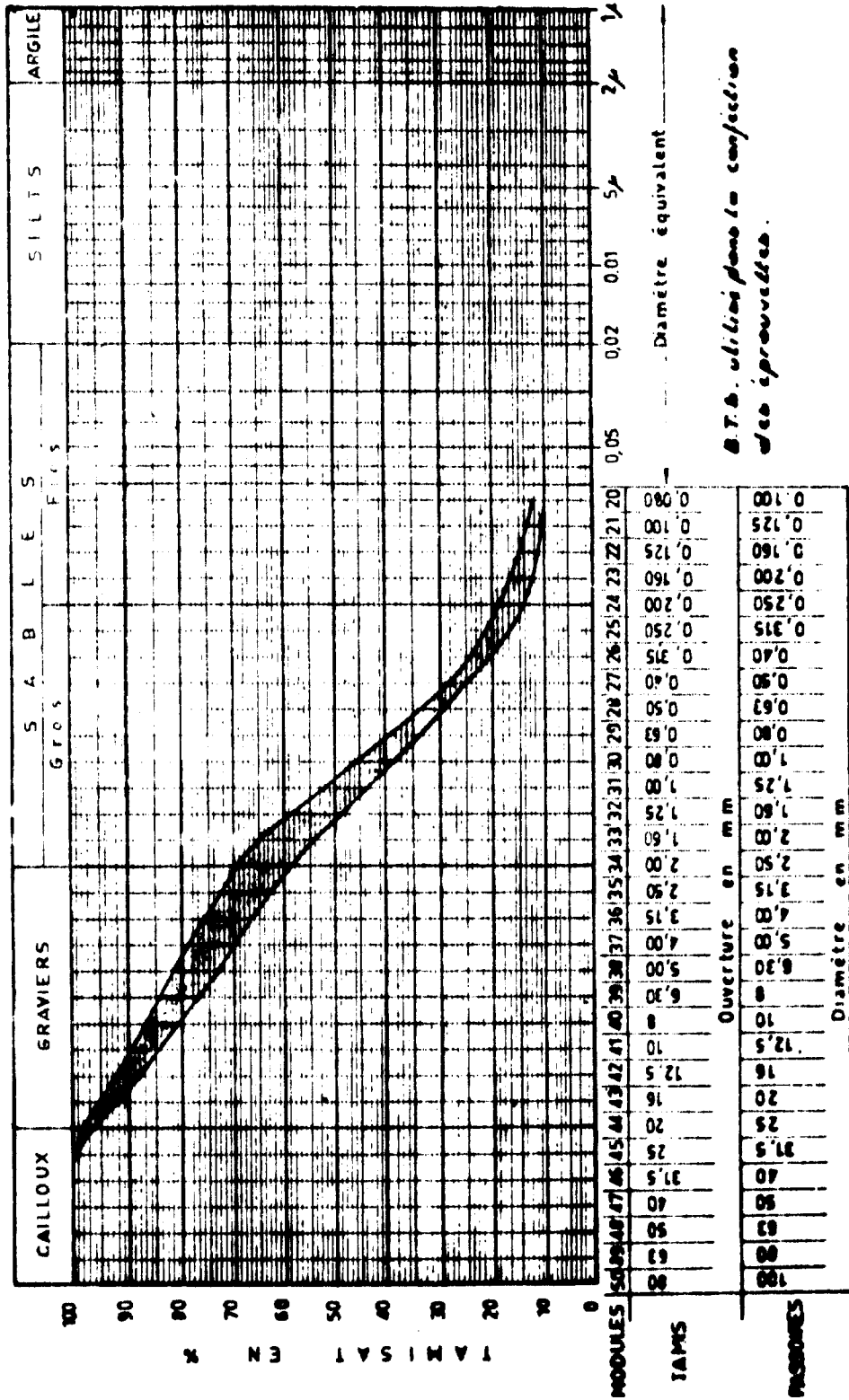


LABORATOIRE PUBLIC
D'ESSAIS ET D'ETUDES
25 Rue d'Avril
CASABLANCA

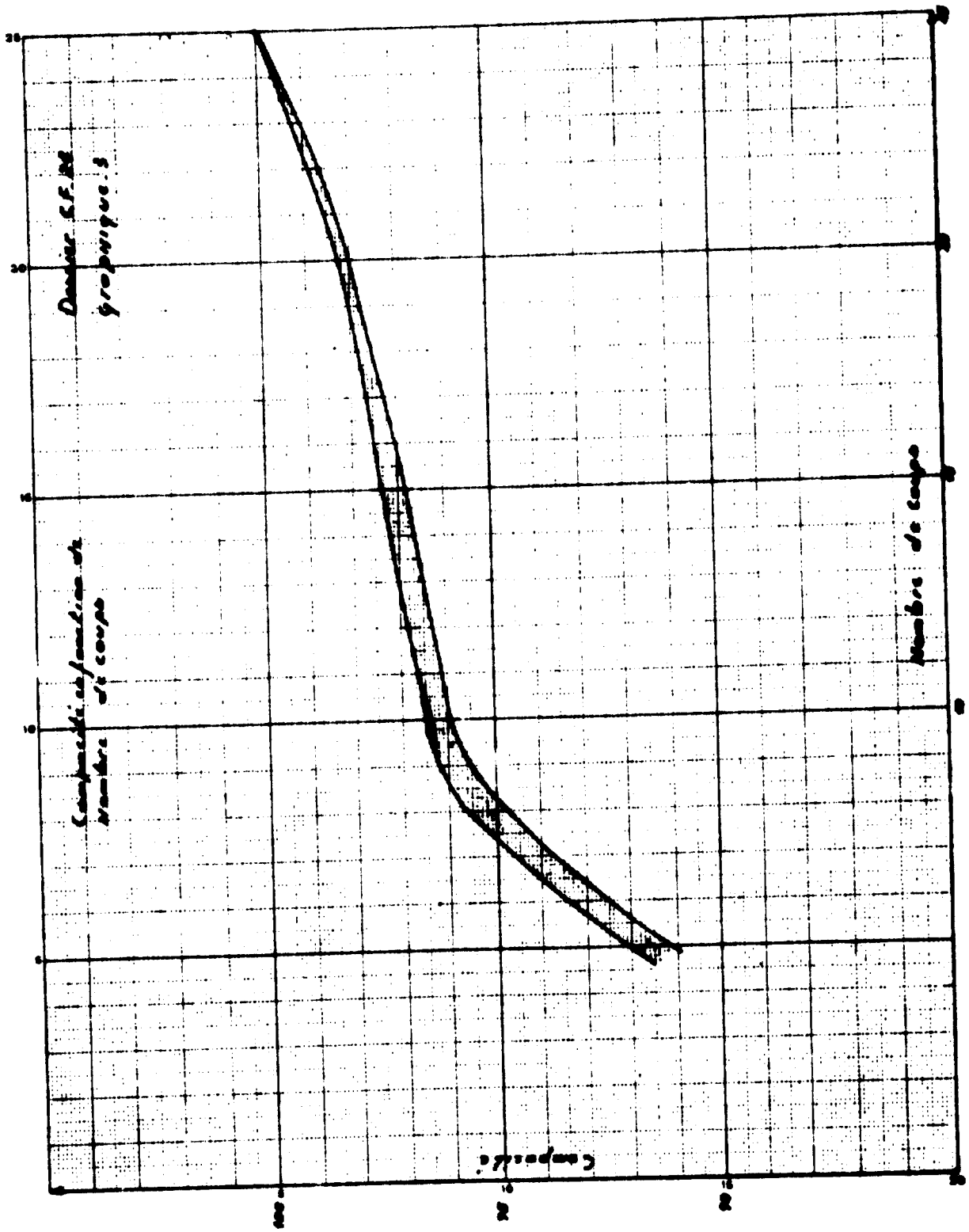
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

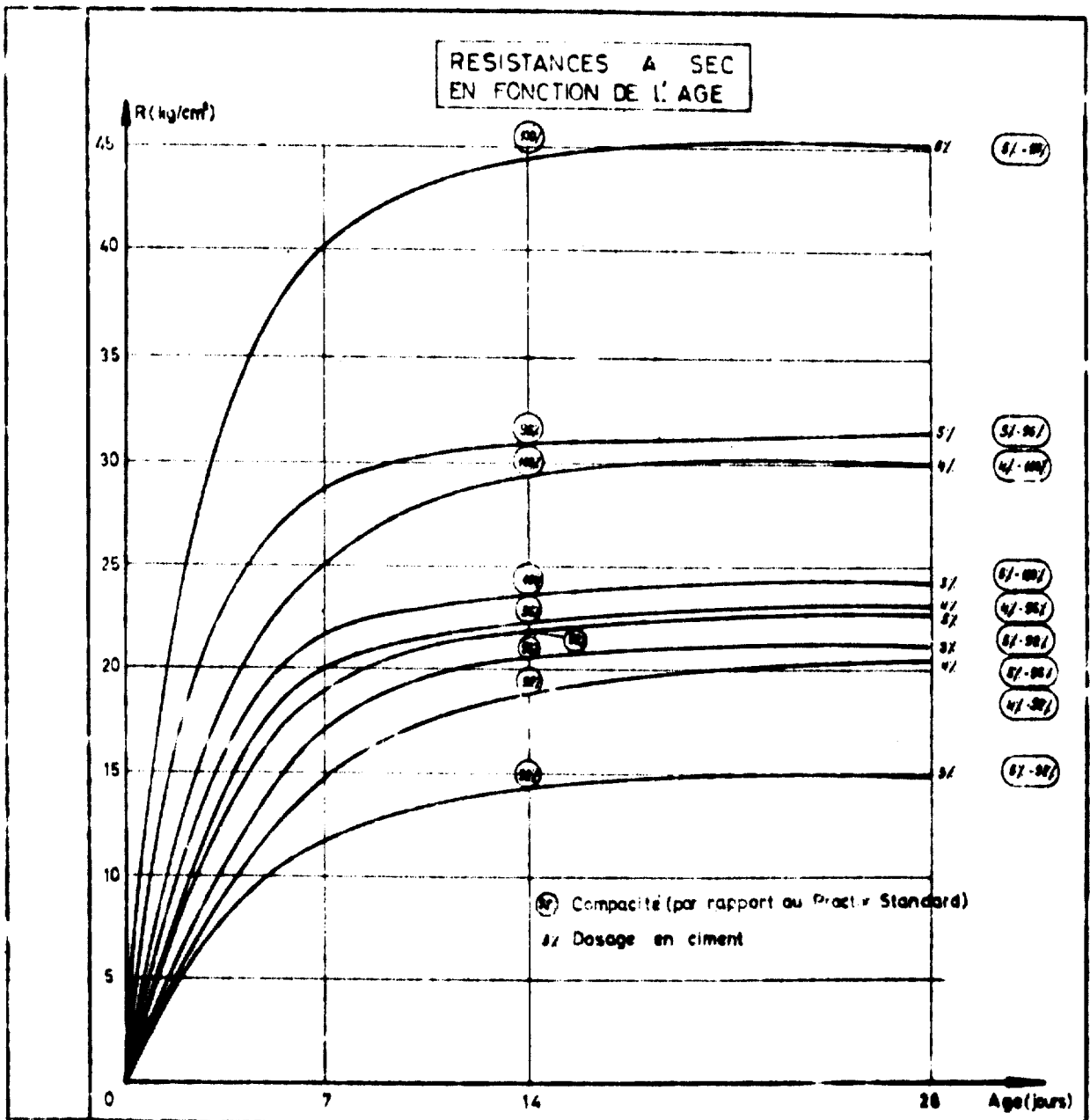
Dossier : **CF. 24**

Graphique 2



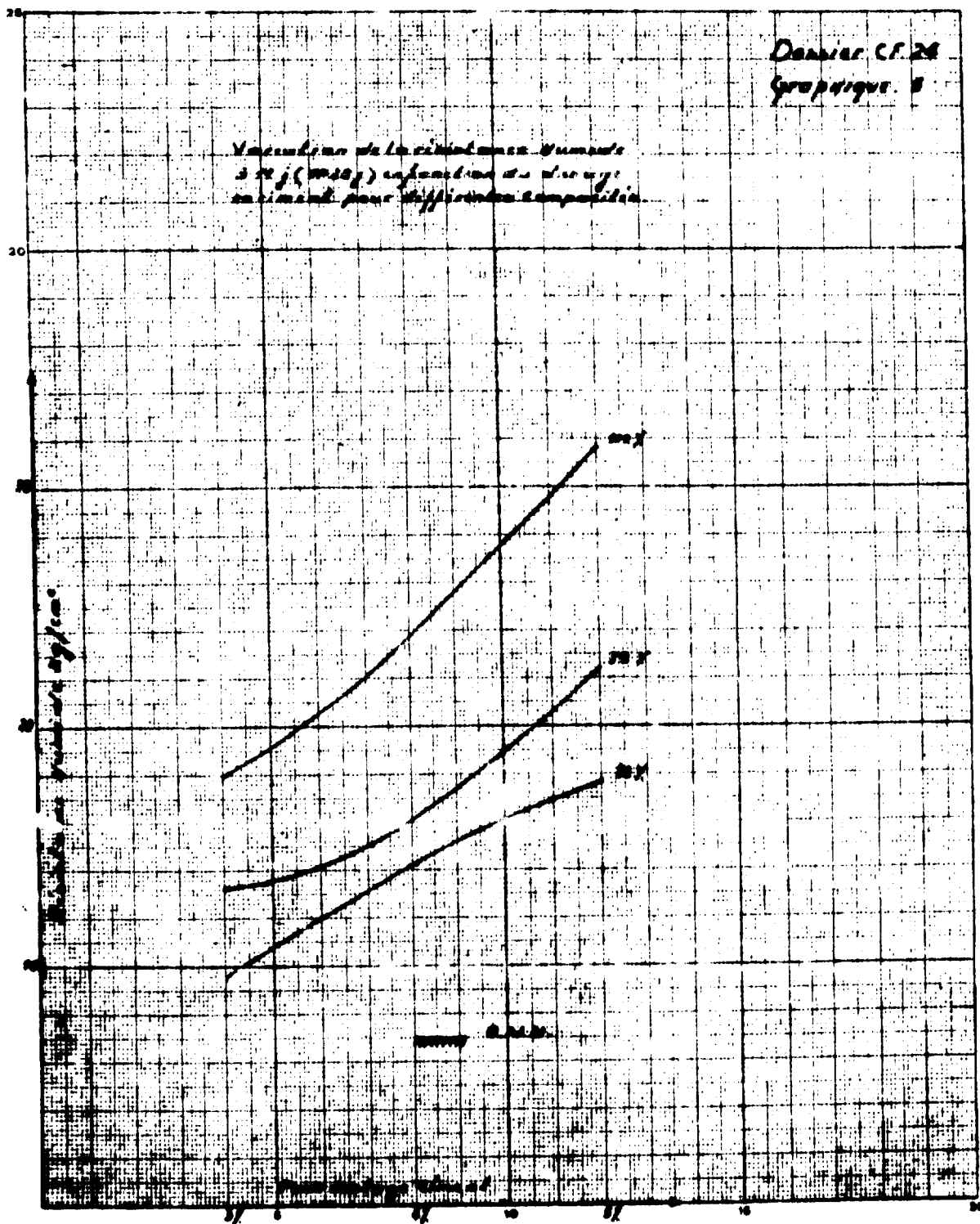
B.T.B. utilisé pour la confection des épreuves.

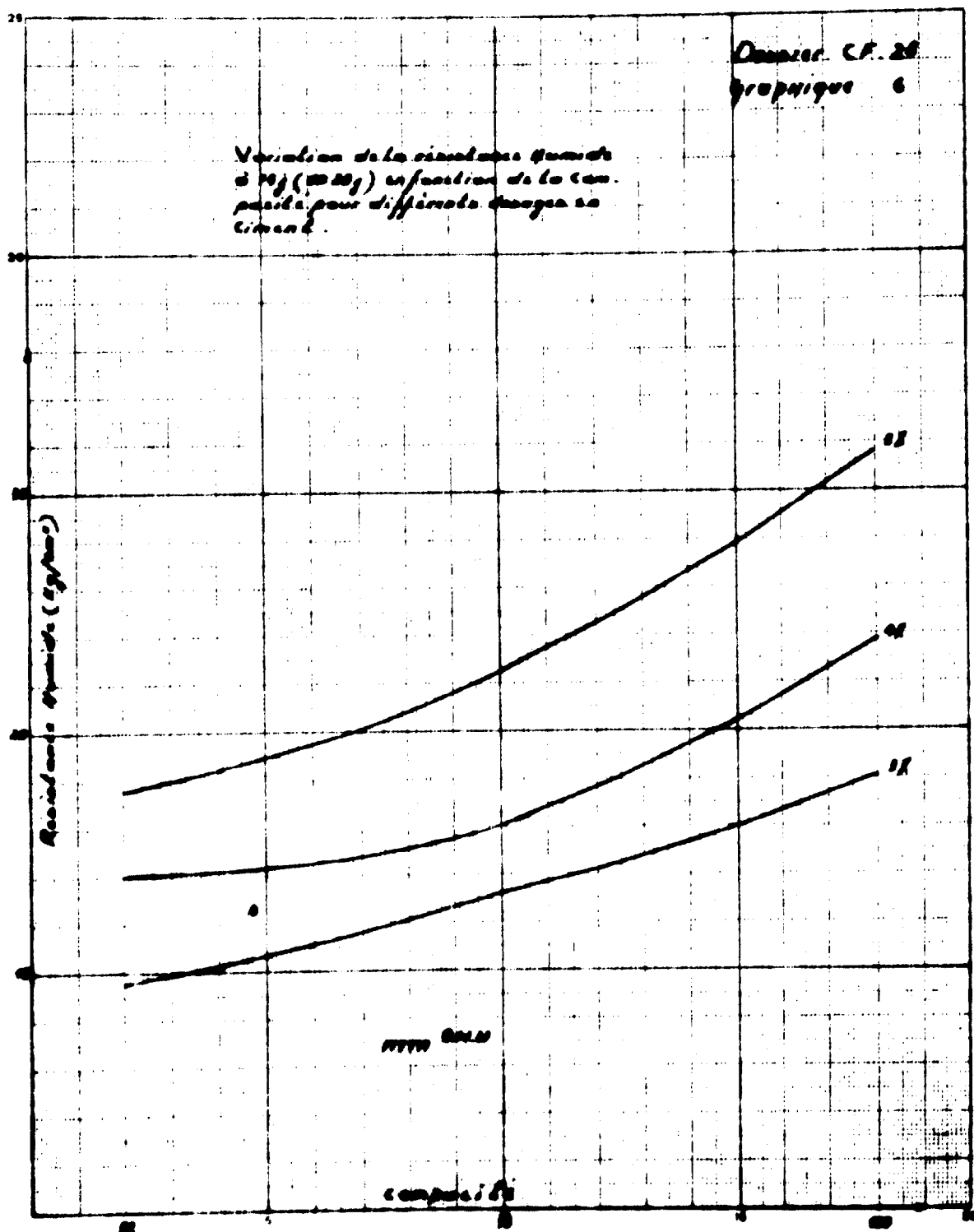


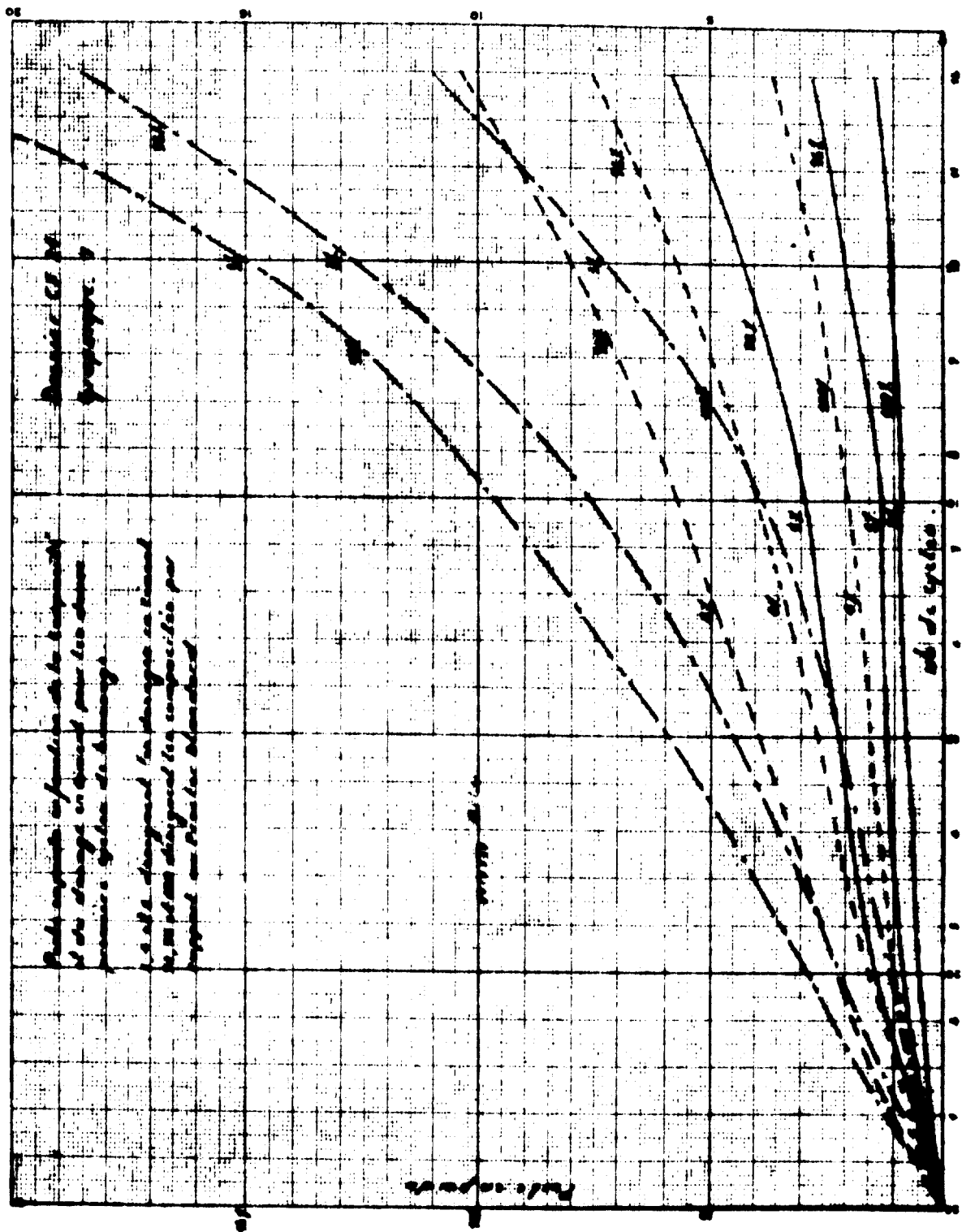


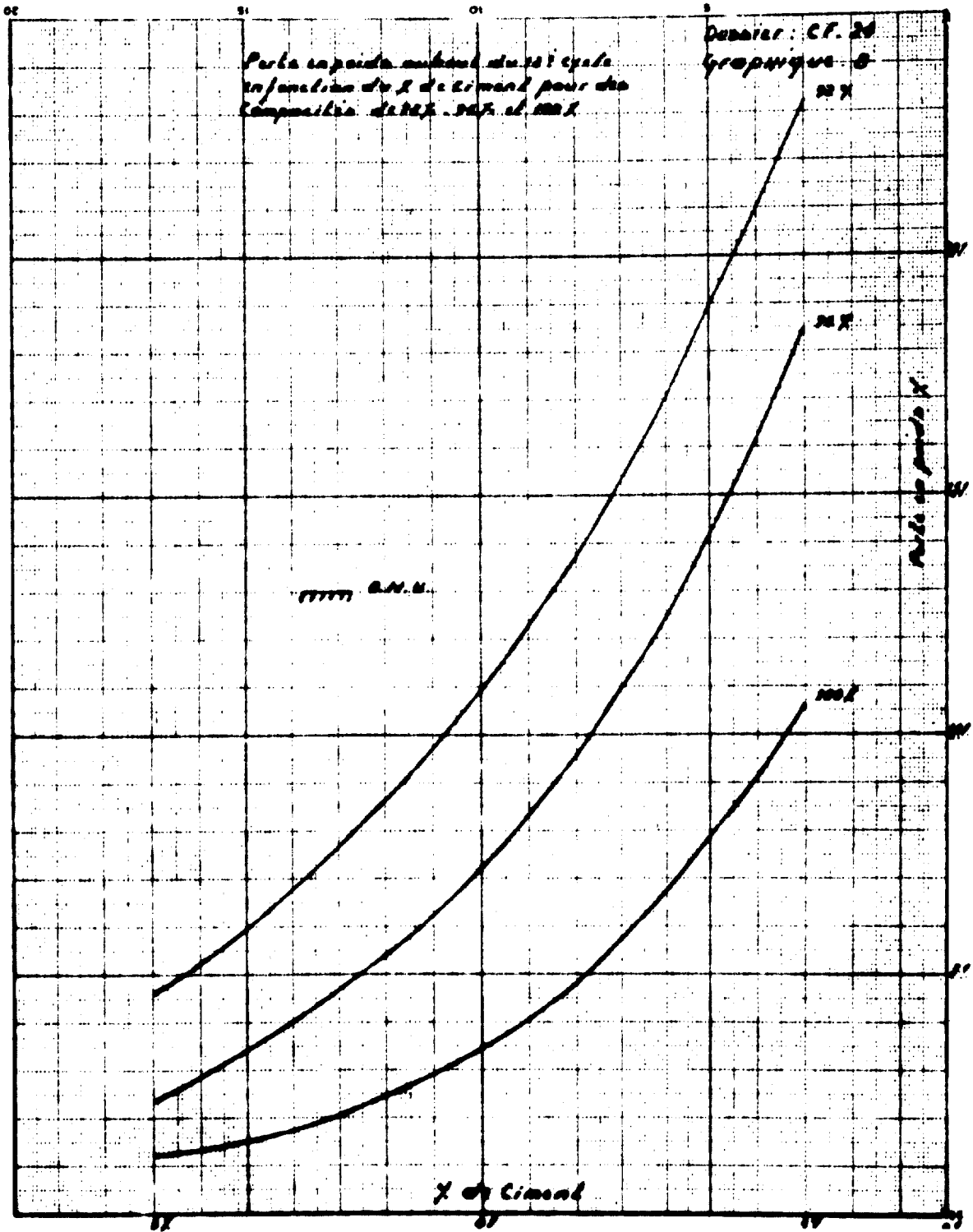
Dossier C.F. 28
Graphique 8

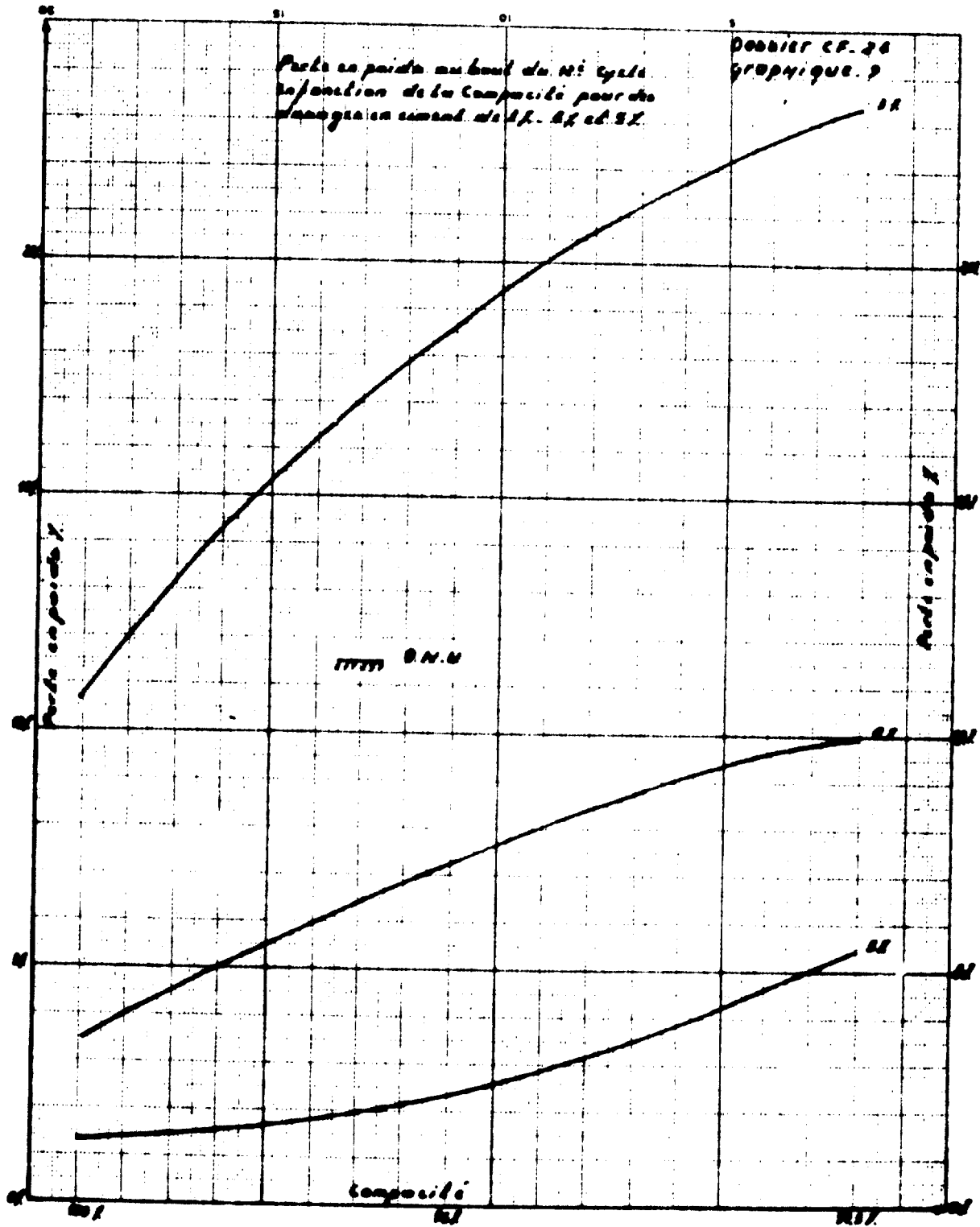
Vaccination de la cirrhose d'urgence
à 70 j (1958) en fonction de la dose
appliquée pour différentes compositions

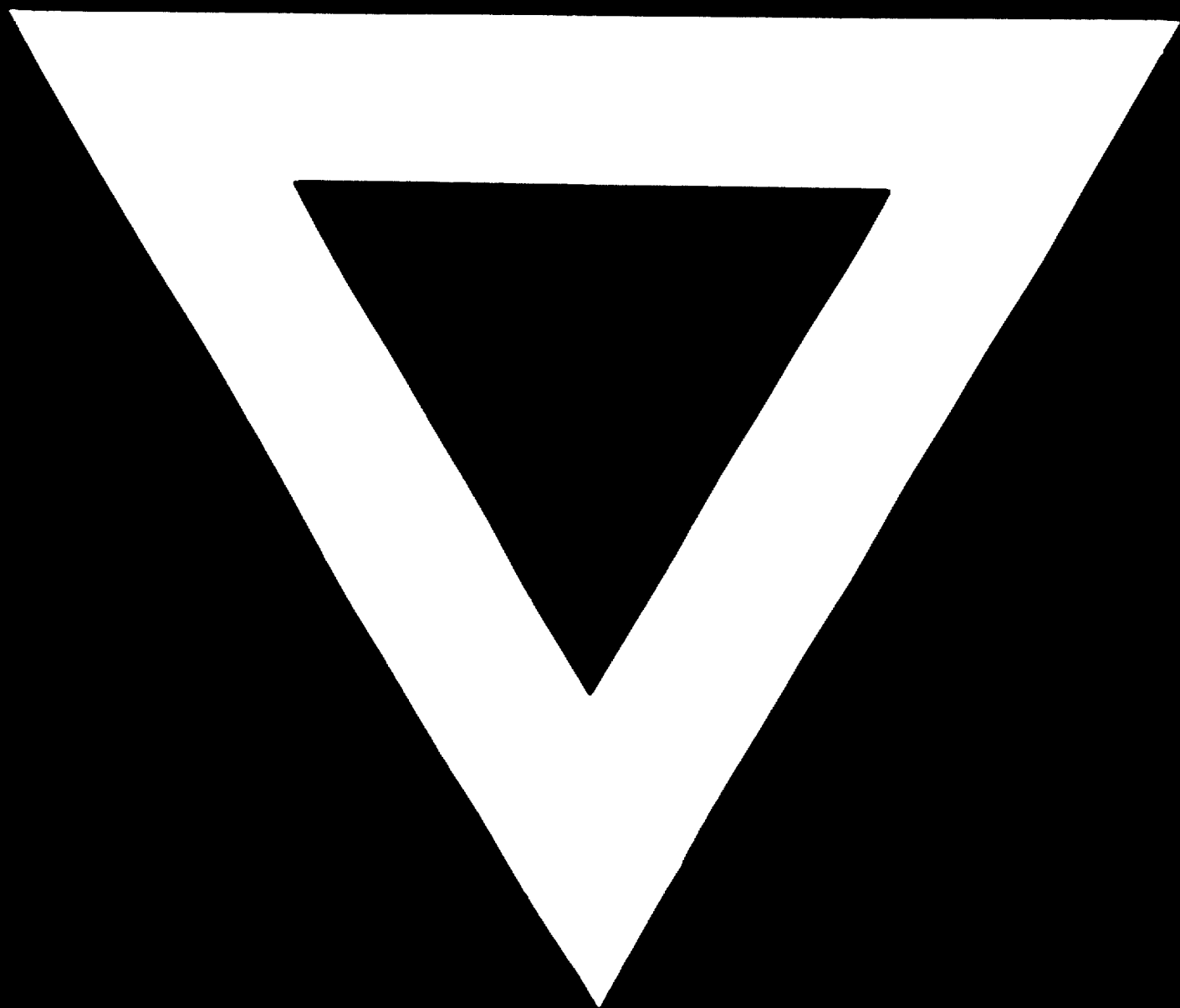












74.10 . 2