



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

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

09325

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr. LIMITEE
UNIDO/IOD.290
8 mai 1979
Français

(R)

ASSISTANCE AU DEMARRAGE D'UNE CIMENTERIE .
RP/BDI/78/002 .

BURUNDI ,

Rapport final .

Etabli pour l'Organisation des Nations Unies
pour le développement industriel

D'après l'étude de M. Bahri Dachraoui ,
expert de l'ONUDI

Notes explicatives

Ces sigles suivants ont été utilisés dans le présent rapport :

ENACCI Entreprise nationale de la chaux et du ciment

ONL Office national du logement

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au tracé de leurs frontières ou limites.

RESUME

La mission relative au projet RP/BDI/78/002 "Assistance au démarrage d'une cimenterie" a eu lieu au Burundi, du 1er novembre 1978 au 31 janvier 1979.

Après avoir procédé à des essais sur les matières premières prélevées dans deux gisements et à la mise au point des installations du laboratoire, l'expert a préparé des tableaux concernant les résistances à la compression et à la flexion des divers matériaux et l'appareil Blaine.

Les essais ont donné des résultats satisfaisants et le liant obtenu répond aux normes.

Avec les moyens disponibles on pourra fabriquer 1000 tonnes par mois de ciment de pouzzolane à la chaux.

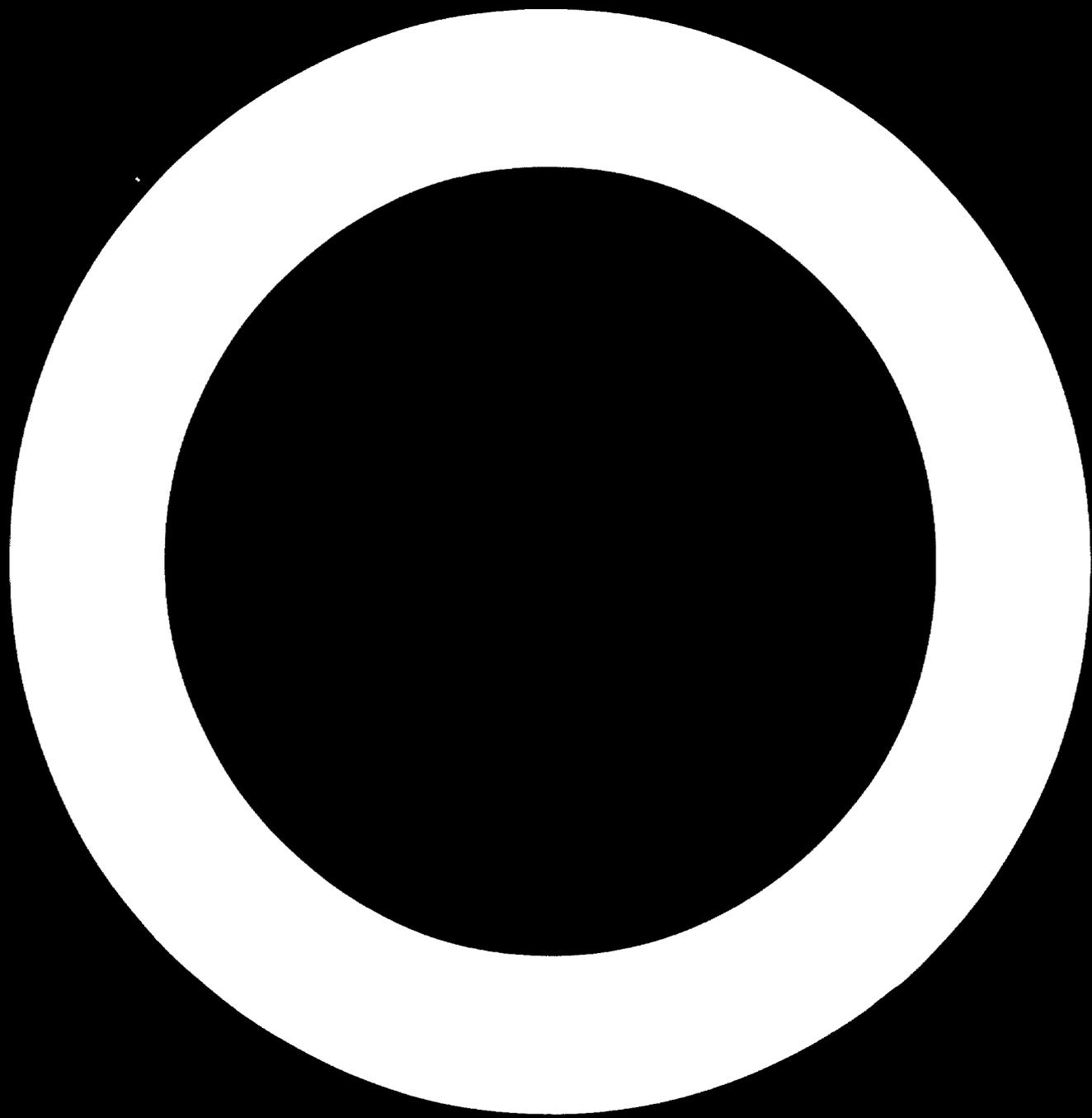
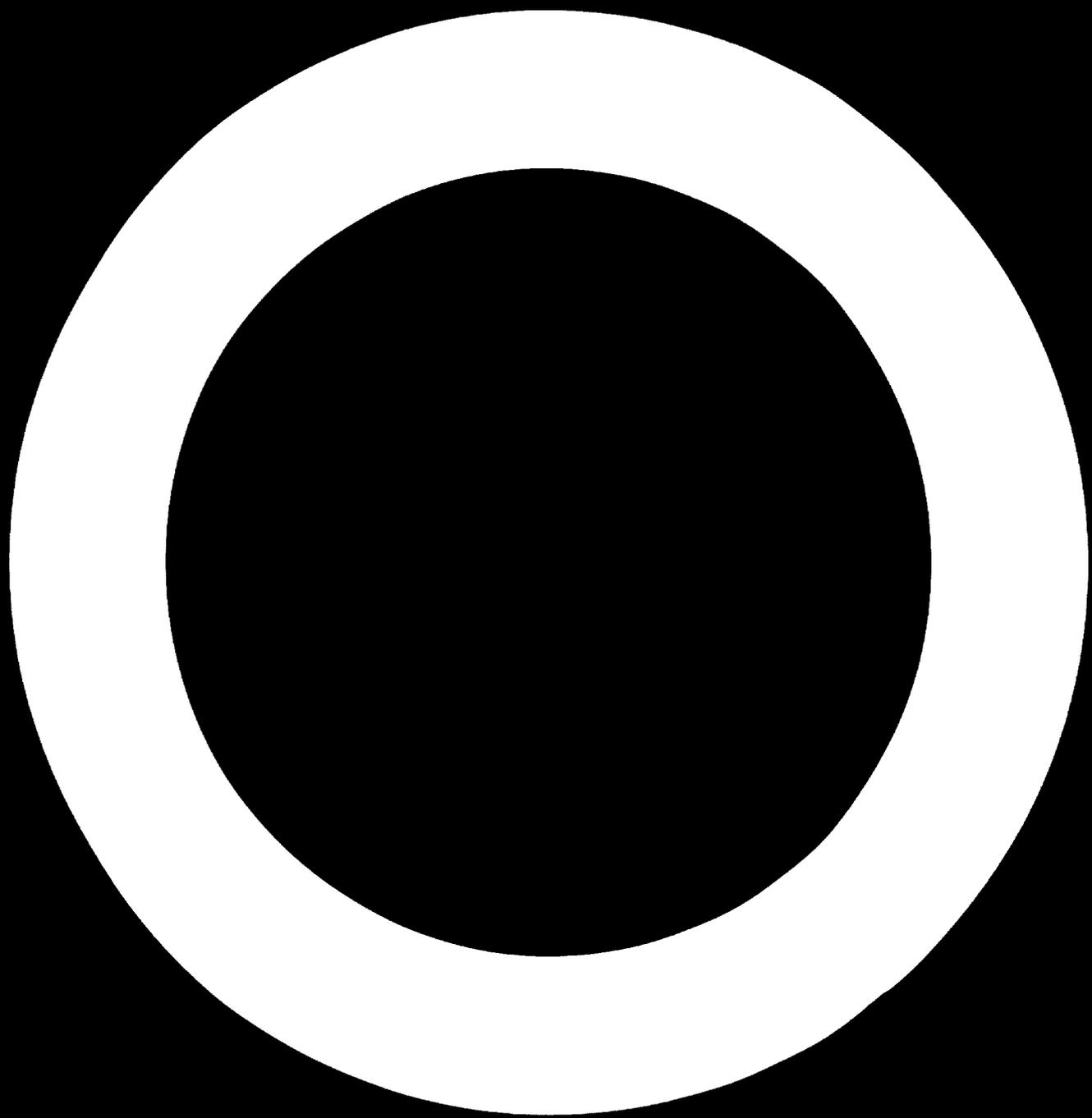


TABLE DES MATIÈRES

<u>Chapitres</u>	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	7
I. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET	8
A. Description des essais	8
B. Résultats des essais	14
II. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	16
Annexe. Tableaux de conversion.....	17
1. Résistances obtenues en kg/cm^2	17
2. Essais divers	18
3. Pouzzolane de Mwumwu et mélange Mutanga + Mwumwu	19
4. Essais divers	20
5. Résistance à la compression	21
6. Résistance à la flexion	22
7. Tableau donnant les valeur de "S" en fonction de "t"	23

Figures

I. Salle des essais physiques	9
II. Salle des essais chimiques	10
III. Four à briques	11
IV. Courbe granulométrique du sable normal	12



INTRODUCTION

La mission avait pour objectif de préparer le laboratoire de l'Entreprise nationale de la chaux et du ciment (ENACCI) - installation des équipements et installation sanitaire et électrique - de former un laborantin cimentier et d'échantillonner les matières premières existant dans les pays et susceptibles d'être utilisées pour la fabrication d'un liant hydraulique. La mission a duré du 1er novembre 1978 au 31 janvier 1979.

Les travaux ont pris fin le 15 décembre 1978, date du commencement des essais. Toutes les matières premières nécessaires ont été préparées en prenant en considération les résultats des analyses effectuées par le consultant de l'ONUDI, M. Olaf Grane durant ses deux missions dans le cadre du projet SM/BDI/73/001.

La situation de l'ENACCI concernant l'unité de broyage de clinker a fait l'objet d'un rapport préliminaire où l'expert a également exposé son travail concernant l'installation des machines du laboratoire et l'approvisionnement en matière première nécessaire pour les essais prévus pour la production du ciment pouzzolanique.

I. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET

Tout d'abord, il a été procédé à l'essai et à la mise au point des installations du laboratoire (voir figure I et II), à savoir :

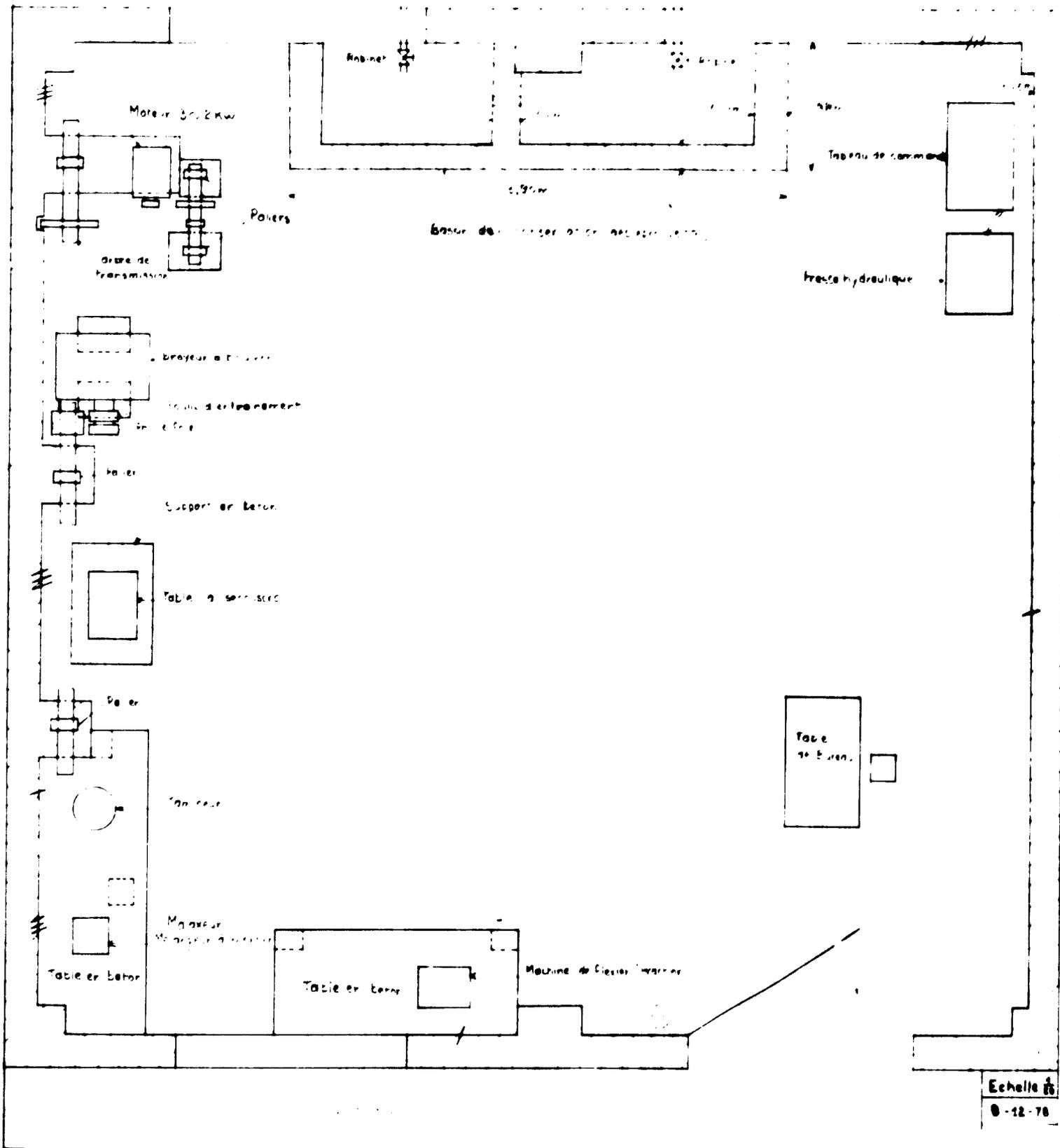
- Presse d'essai de résistance à la compression avec poste de commande
- Machine d'essai de résistance à la flexion
- Mélangeur à mortier
- Table à secousse
- Four électrique
- Balance de précision
- Appareil Blaine pour la finesse du ciment
- Appareil de Vicat pour mesurer le temps de prise
- Moule Le Châtelier pour mesurer l'expansion
- Tamiseuse
- Broyeur à boulets

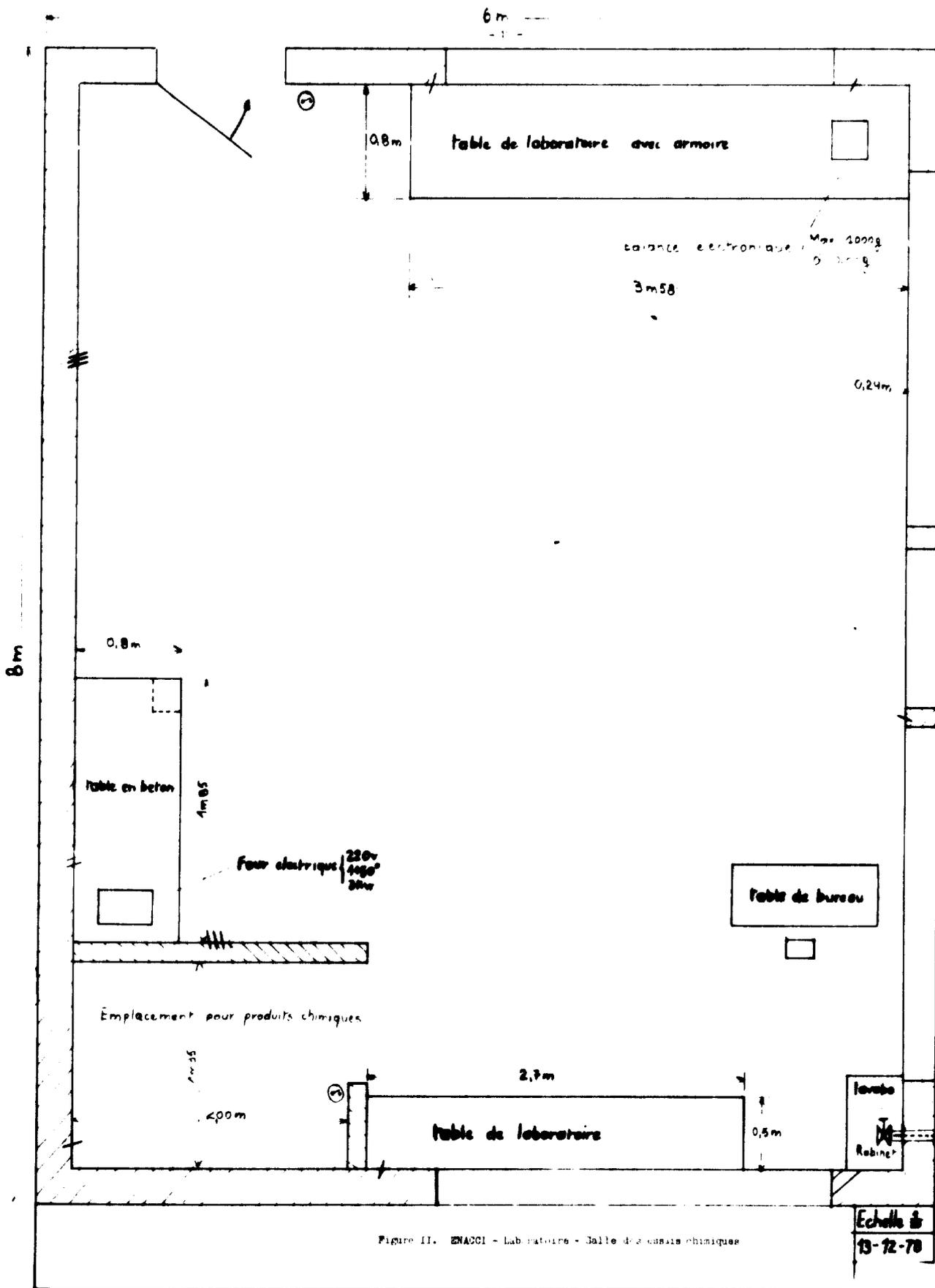
Après la mise au point de toutes les installations, l'expert a préparé des tableaux de conversion afin de faciliter le travail et en même temps éviter les erreurs qui peuvent être commises à chaque opération. Ces tableaux concernent les résistances à la compression et à la flexion, ainsi que l'appareil Blaine (voir annexe).

A. Description des essais

Les essais suivants ont été faits :

- Classification des échantillons en vrac
- Dosage des échantillons à essayer
- Préparation des briques d'argile des deux qualités
- Cuisson de ces briques après séchage pendant 15 jours à l'air libre. La cuisson a eu lieu dans deux fours; l'un électrique à 750°C, et l'autre artisanal selon schéma ci-joint (voir figure III)
- Préparation du sable normal dans des sachets de 1 350 g, selon les normes (P 15 - 403) (voir figure IV)
- Concassage manuel des briques et mouture entre 5 000 et 6 000 cm²/g, dans le petit broyeur à boulets, des échantillons suivants :





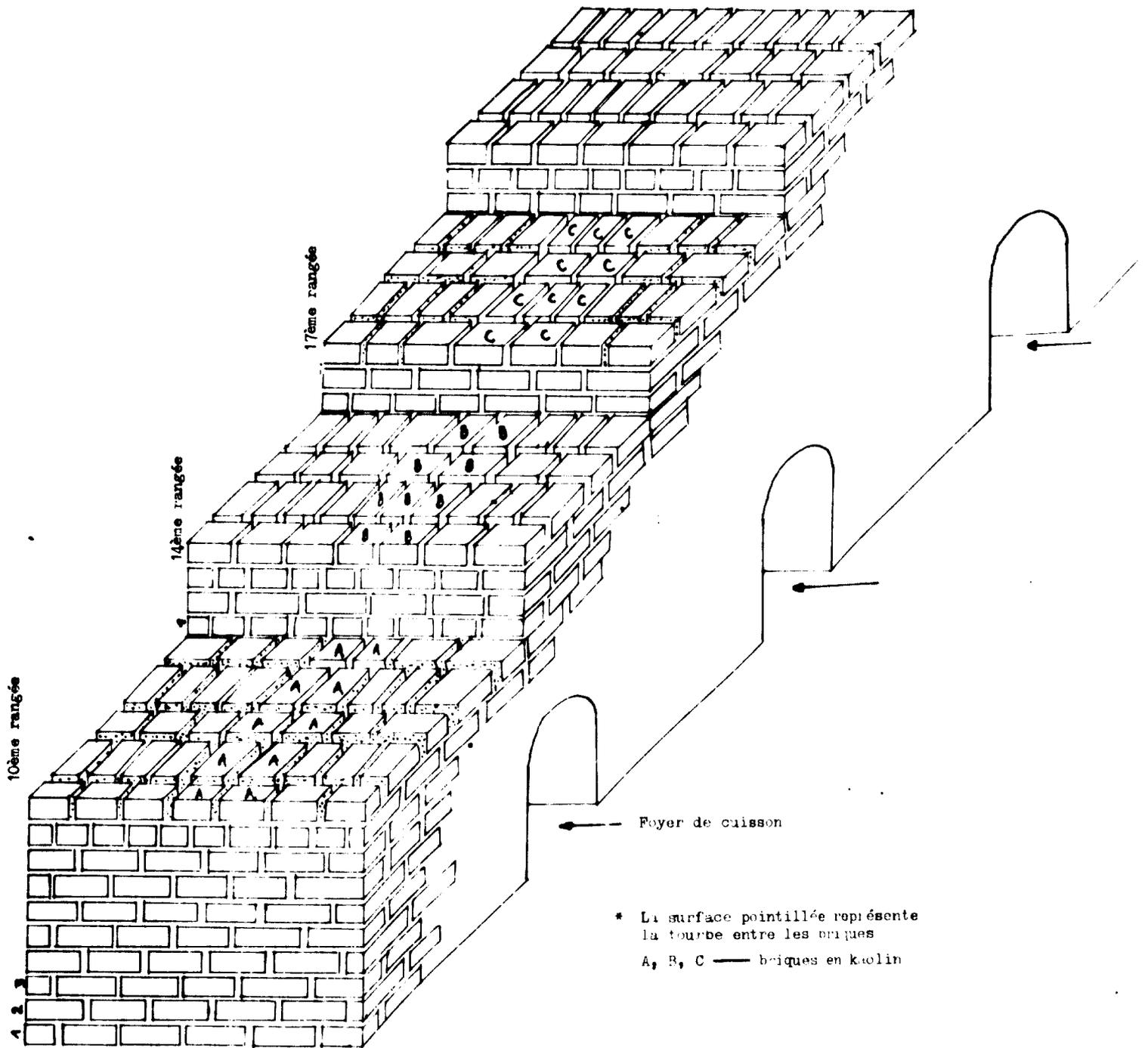
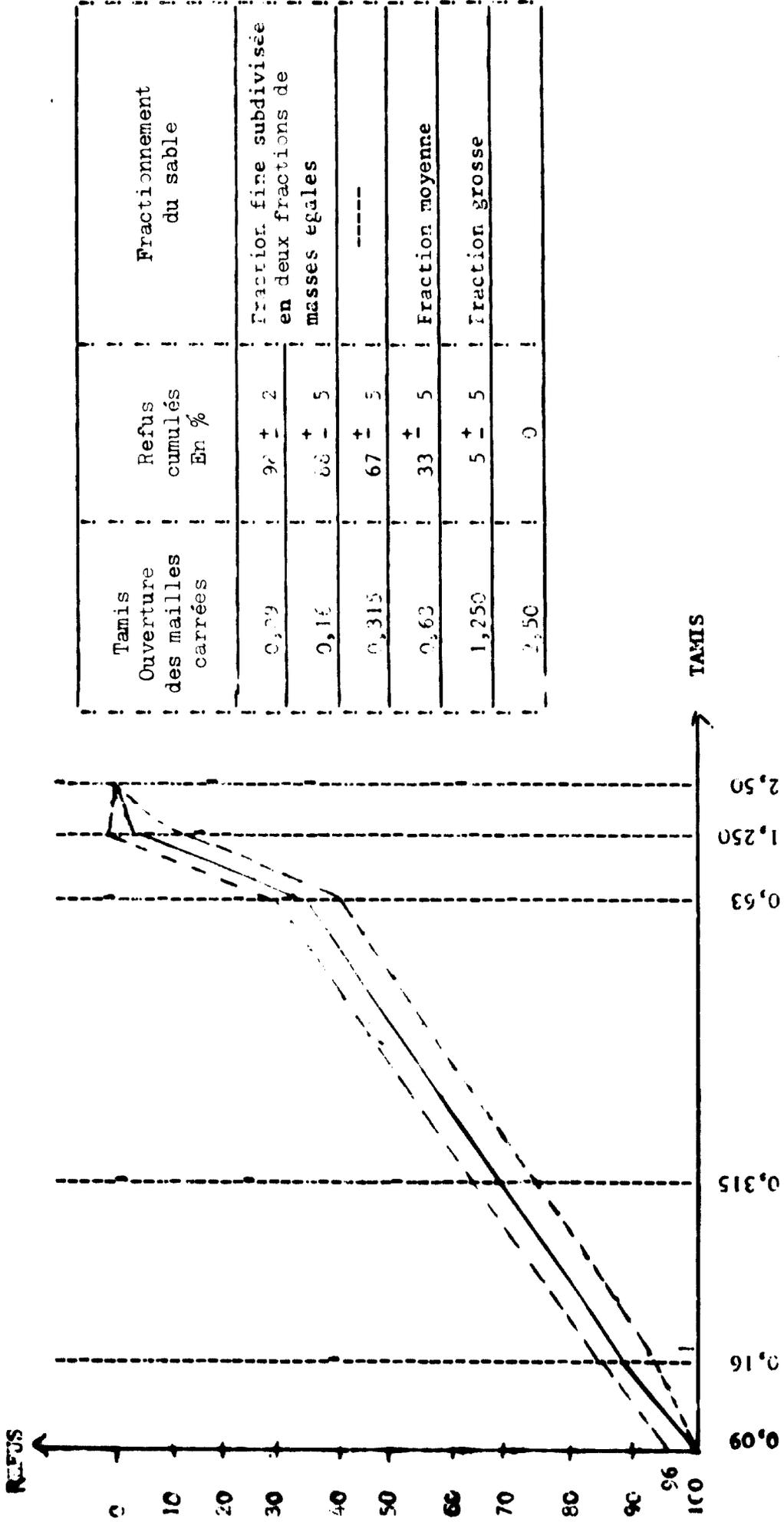


Figure III. Four à briques (ONL) - Vue partielle en élévation



Tamais Ouverture des mailles carrées	Refus cumulés En %	Fractionnement du sable
0,09	90 ± 2	Fraction fine subdivisée en deux fractions de masses égales
0,16	68 ± 5	
0,315	67 ± 5	-----
0,63	33 ± 5	Fraction moyenne
1,250	5 ± 5	Fraction grosse
2,50	0	

Source : Laboratoire ENACCI

a) Préparation locale

Origine du sable : Gabumbu (route de l'aéroport de Bujumbura)

Figure IV. Courbe granulométrique du sable normal

a) Argile de Mutanga activée, d'une part, au four électrique à 750°C et, d'autre part, au four artisanal.

Le pourcentage de chaux ENACCI par rapport à cette argile activée varie entre 30 et 50 %;

b) Argile de Mwunwu (comme ci-dessus).

Le nombre de briques cuites au four artisanal s'élève à 60, disposées comme suit :

Deux rangées de 10 briques de chaque qualité posées près du foyer de combustion et entourées de tourbe;

Puis deux rangées sans tourbe et les deux dernières rangées entourées de tourbe indirectement.

Cette disposition a été choisie pour avoir des échantillons à différentes températures de cuisson afin d'avoir un échantillon représentatif. Ces échantillons préparés ainsi ont été testés sur :

- La résistance à la compression
- La résistance à la flexion
- Le temps de prise
- L'expansion

Tous les essais ont été faits selon les normes françaises suivantes :

- Sable normal et mortier normal : NF - P 15 - 403
- Surface spécifique (perméabilimètre de Blaine) : NF - P 15 - 442
- Malaxeur et malaxage : NF - P 15 - 411
- Appareil à chocs pour entasser le mortier : NF - P 15 - 402
- Appareil de Vicat et moule tronconique : NF - P 15 - 414
- Essais d'expansion à chaud : NF - P 15 - 432
- Essais de prise : NF - P 15 - 431

Quant à la matière première à préparer, les échantillons suivants ont pu être obtenus :

- Argile kaolinique de Mwunwu
- Argile kaolinique de Mutanga
- Chaux préparée à l'ENACCI à partir de travertin de Gihungwe
- Ciment Portland se trouvant sur le marché, de marque Chilanga-Zambie
- Sable prélevé d'un gisement sur la route de l'aéroport de Bujumbura

B. Résultats des essais

Expansion

L'écartement final des pointes des aiguilles n'a jamais dépassé 1 mm, même après six heures d'ébullition et parfois huit heures. Cela s'explique par le fait que la magnésie contenue dans la chaux a été complètement éteinte, que ce soit pendant l'extinction de la chaux, ou bien pendant le gâchage du mortier finement broyé (5 000 à 6 000 blaines).

Temps de prise

Début : deux heures;

Fin : quatre heures avec 40 % de chaux, six heures avec 30 % de chaux.

Résistance à la flexion et à la compression (voir annexe)

Les résistances à la flexion et à la compression augmentent avec le pourcentage de la chaux jusqu'à 40 % de plus ou moins 5 % de cette dernière. Cette augmentation des résistances s'explique par l'effet du grappier (ensemble des matières hydrauliques résistant à la pulvérisation lors de l'extinction de la chaux hydraulique) d'une part, et par le caractère de la réaction de la chaux avec la pouzzolane, d'autre part. Cette réaction est interprétée par l'échange de bases ou bien par combinaison directe.

La première théorie qui revient à rattacher les pouzzolanes aux zéolithes a surtout été invoquée pour les pouzzolanes naturelles mais, pratiquement, comme l'a montré Lea en s'appuyant sur l'ensemble des faits connus, il semble bien que le phénomène d'échange de bases ne peut jouer qu'un rôle négligeable. On doit donc considérer comme probable qu'il y a simple combinaison avec la chaux. Toutefois, aucun auteur n'ayant fait d'expériences de longue durée, il n'est possible de conclure d'une façon définitive que dans le cas des pouzzolanes naturelles au moins.

Cette réserve, en effet, ne s'applique pas au cas des pouzzolanes artificielles, comme il ressort d'une expérience de Lea, qui a étudié la réaction avec la chaux d'une argile qui avait été calcinée après qu'on lui ait enlevé la totalité de ses bases échangeables par électrolyse. Lea a constaté que la réaction observée dans ces conditions est exactement comparable à celle de la même argile simplement calcinée.

La réaction entre la chaux et la pouzzolane s'accompagne d'une solubilisation progressive des éléments de la pouzzolane dans certains réactifs. Celle-ci a été étudiée notamment par Steoppoe, Feret, Vittori et Cereseto. Tous ces auteurs ont déterminé la silice et les sesquioxides solubles par la méthode Florentin, c'est-à-dire à froid dans l'acide chlorhydrique de densité 1,12. Il est vraisemblable aussi que les composés formés dépendent dans une certaine mesure de la pouzzolane étudiée.

Exemples de compositions chimiques de quelques pouzzolanes

<u>Eléments</u>	<u>Burundi (Mutanga Bujumbura)</u>	<u>Grèce (Ile de Santorin)</u>	<u>Italie Latium Segni</u>	<u>Canaries</u>	<u>Trass rhénan</u>
S_iO_2	60	65	48	47	55
$Al_2O_3 + TiO$	20	13	22	20	16
Fe_2O_3	10	6	9	3	4
CaO	1	3	7	4	3
MgO	1	2	3	0,5	1
Alcalis + ND	2	6,5	5,5	0,5	11
Perte au feu	6	4	5	16	10

Enfin, il faut noter que, parce que l'action de la chaux sur une pouzzolane est une action de surface, l'équilibre ne peut être atteint qu'au bout d'un temps très long.

Il faut encore remarquer que tous les essais ont été effectués dans les mêmes conditions pour que les résultats soient relatifs par rapport au ciment Portland-Chilanga-Zambie.

L'argile kaolinique de Mwumwu n'a pas donné de résultats satisfaisants par rapport à celle de Mutanga, ce qui explique qu'elle ait été écartée du circuit de la fabrication de ce liant; de plus, le coût du transport (70 km de la capitale) en est élevé.

II. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les essais réalisés ont concerné les matières premières (pouzzolanes) prises dans deux gisements seulement dont la qualité et le prix de revient ont paru convenables. Les nombreux essais entrepris ont donné des résultats satisfaisants et le liant obtenu répond aux normes AFNOR P-15-306 de la classe 50-100 tout en remplaçant le laitier par la pouzzolane.

Ce liant est exactement ce qu'on peut appeler en terme de métier : le ciment de pouzzolane à la chaux 50-100. Le ciment de pouzzolane à la chaux est un mélange finement broyé de deux parties de pouzzolane et d'une partie de chaux hydratée comme l'a conseillé l'architecte romain Vitruve au premier siècle avant J-C.

Le matériau de construction peut être employé pour la fabrication du béton dont le taux de travail n'est pas élevé, ainsi que dans les travaux de maçonnerie, et il convient très bien aux enduits.

L'emploi de ce ciment à dosage normal dans les travaux cités plus haut est préférable à celui des ciments plus résistants utilisés à faible dose.

Recommandations

1. Mettre en marche l'unité de broyage et d'ensachage de l'ENACCI;
2. Préparer la chaux hydratée dans le four actuel de l'ENACCI;
3. Préparer l'accès au gisement de Mutanga;
4. Procéder à l'activation de pouzzolane de Mutanga sur place par la méthode artisanale utilisée par l'Office national du logement (ONL);
5. Commander des sacs de ciment de 25 kg à cause de la densité de ce liant qui est la moitié de celle du ciment Portland.

Avec les moyens dont dispose l'ENACCI, on pourra fabriquer au moins 1 000 t par mois de ciment de pouzzolane à la chaux à partir du gisement d'argile kaolinique de Mutanga/Bujumbura et de la chaux hydratée préparée à l'ENACCI à partir du calcaire de Gihungwe près de la capitale.

Annexe

TABLEAUX DE DIMENSION

Tableau 1. Résistances brutes en kg/cm²

N° de l'épave	Après 10 jours		Après 21 jours		Après 28 jours	
	Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression
M1	16	21	24	10	21	10
M2	10	13	20	7	20	10
M3	10	14	19	2	17	10
M4	13	17	20	11	20	10
M5	10	10	17	12	19	10
M6	22	31	29	13	28	10
M7	24	30	35	15	30	10

a/ Activation au feu électrique à 750° C

b/ Activation au feu artisanal.

c/ M1 : Mutanga : 80 %
Ciment Portland de Chilanga : 20 %

d/ M2 : Mutanga : 80 %
(Chaux Rosso : 10 %)
Ciment Portland de Chilanga : 10 %

e/ M3 : Mutanga : 80 %
(Chaux ERACCI : 20 %)

f/ M4 : Mutanga : 70 %
Chaux Enacci : 20 %
Ciment Portland de Chilanga : 10 %

g/ M5 : Mutanga : 70 %
Chaux ERACCI : 30 %

h/ M6 : Mutanga : 60 %
Chaux ERACCI : 40 %

i/ M7 : Mutanga : 50 %
Chaux ERACCI : 50 %

Tableau 2. Essais divers

Echantillons	Résistances obtenues en kgf/cm^2					
	Après 7 jours		Après 21 jours		Après 28 jours	
	Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression
Ciment Portland de Chilanga: 100 Z	43	253	46	350	54	394
Ciment Portland de Chilanga: 80 Z Chaux ENACCI : 20 Z	34	175	38	250	40	280

Tableau 3. Pouzzolane de Muumuu et mélange Mutanga + Muumuu

		Résistance obtenues en kgf/cm ²											
		Après 7 jours		Après 21 jours		Après 28 jours							
		Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression						
ECHANTILLON		a/	b/	E	A	E	A						
1	c/	00	05	19	11	09	14	34	53	11	15	53	66
2	d/	06	05	15	15	15	13	69	53	20	14	75	65
3	e/	00	05	16	13	11	08	50	33	13	09	56	36
4	f/	12	06	39	16	19	21	80	91	28	24	24	125

a/... = activation au four électrique à 750 ° C
 b/ = activation au four artisanal

c/W 1 : Muumuu : 70 Z
 Chaux ENACCI : 30 Z

d/W 2 : Muumuu : 70 Z
 Chaux ENACCI 20 Z
 Ciment Portland de Chilanga 10 Z

e/ W 2 : Mutanga 35 Z)
 Muumuu 35 Z) 70 Z
 Chaux ENACCI 30 Z

f/ W 3 : Muumuu 70 Z
 Chaux Mosso 30 Z

Tableau I. Essais divers

Echantillons	Résistances obtenues en kgf/cm ²					
	Après 7 jours		Après 21 jours		Après 28 jours	
	Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression
v a/	06	54	15	72	18	83
v a/	10	51	14	92	15	107
A ^{b/}	16	96	20	109	25	125
b/	15	63	20	97	25	120
b/	16	69	20	105	25	120
01 ^{b/}	03	06	10	31	15	45
02 ^{b/}	05	34	19	91	22	100
03 ^{b/}	00	09	00	31	16	97
04 ^{b/}	08	28	15	61	18	80

a/ Mvumvu activée au four électrique à 900°C.
 b/ Activation au four artisanal.

Tableau 6. Résistance à la flexion

C ^{a/}	R ^{b/}	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R
50	1,25	850	21,25	1650	41,25	2450	61,25	3250	81,25	4050	101,25
100	2,5	900	22,50	1700	42,50	2500	62,50	3300	82,50	4100	102,50
150	3,75	950	23,75	1750	43,75	2550	63,75	3350	83,75	4150	103,75
200	5,00	1000	25,00	1800	45,00	2600	65,00	3400	85,00	4200	105,00
250	6,25	1050	26,25	1850	46,25	2650	66,25	3450	86,25	4250	106,25
300	7,50	1100	27,50	1900	47,50	2700	67,50	3500	87,50	4300	107,50
350	8,75	1150	28,75	1950	48,75	2750	68,75	3550	88,75	4350	108,75
400	10,00	1200	30,00	2000	50,00	2800	70,00	3600	90,00	4400	110,00
450	11,25	1250	31,25	2050	51,25	2850	71,25	3650	91,25	4450	111,25
500	12,50	1300	32,50	2100	52,50	2900	72,50	3700	92,50	4500	112,50
550	13,75	1350	33,75	2150	53,75	2950	73,75	3750	93,75	4550	113,75
600	15,00	1400	35,00	2200	55,00	3000	75,00	3800	95,00	4600	115,00
650	16,25	1450	36,25	2250	56,25	3050	76,25	3850	96,25	4650	116,25
700	17,50	1500	37,50	2300	57,50	3100	77,50	3900	97,50	4700	117,50
750	18,75	1550	38,75	2350	58,75	3150	78,75	3950	98,75	4750	118,75
800	20,00	1600	40,00	2400	60,00	3200	80,00	4000	100,00	4800	120,00

Source : Laboratoire ENACCI.

a/ Charge lue sur le levier en newtons

b/ Résistance en kgf/cm²

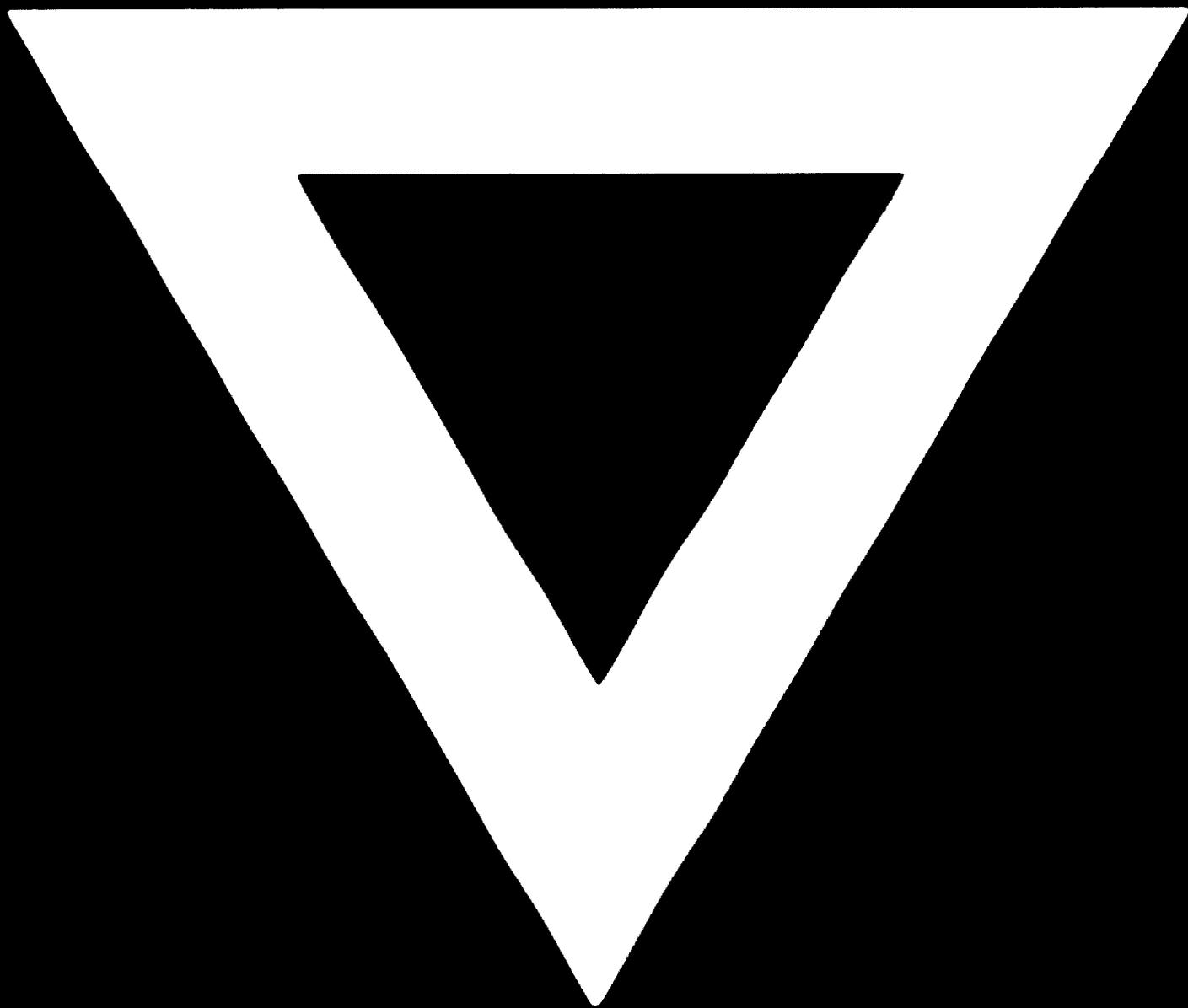
Tableau 7. Tableau donnant les valeurs de "S"^{a/} en fonction de "t"^{b/}

t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
26	2700	151	3391	176	4752	101	5477	151	6693
26 1/2	2807	151 1/2	3313	176 1/2	4769	102	5505	152	6720
27	2834	152	3229	177	4780	103	5532	153	6742
27 1/2	2861	152 1/2	3146	177 1/2	4796	104	5559	154	6763
28	2883	153	3060	178	4812	105	5586	155	6785
28 1/2	2910	153 1/2	2984	178 1/2	4829	106	5614	156	6807
29	2928	154	2906	179	4845	107	5635	157	6829
29 1/2	2965	154 1/2	4022	179 1/2	4861	108	5663	158	6851
30	2987	155	4044	180	4872	109	5690	159	6872
30 1/2	3003	155 1/2	4060	180 1/2	4889	110	5717	160	6894
31	3036	156	4077	181	4905	111	5744	161	6916
31 1/2	3057	156 1/2	4093	181 1/2	4921	112	5766	162	6938
32	3084	157	4115	182	4932	113	5793	163	6960
32 1/2	3107	157 1/2	4131	182 1/2	4954	114	5821	164	6981
33	3120	158	4153	183	4965	115	5842	165	7003
33 1/2	3156	158 1/2	4169	183 1/2	4981	116	5870	166	7020
34	3177	159	4186	184	4998	117	5897	167	7041
34 1/2	3199	159 1/2	4202	184 1/2	5014	118	5919	168	7063
35	3226	160	4224	185	5025	119	5946	169	7085
35 1/2	3248	160 1/2	4240	185 1/2	5041	120	5968	170	7107
36	3270	161	4256	186	5052	121	5995	171	7129
36 1/2	3291	161 1/2	4273	186 1/2	5069	122	6022	172	7145
37	3314	162	4289	187	5085	123	6044	173	7167
37 1/2	3335	162 1/2	4306	187 1/2	5101	124	6071	174	7189
38	3357	163	4327	188	5112	125	6093	175	7210
38 1/2	3379	163 1/2	4333	188 1/2	5128	126	6115	176	7232
39	3401	164	4350	189	5139	127	6142	177	7249
39 1/2	3423	164 1/2	4376	189 1/2	5156	128	6164	178	7270
40	3444	165	4393	190	5172	129	6191	179	7292
40 1/2	3466	165 1/2	4409	190 1/2	5183	130	6213	180	7314
41	3488	166	4425	191	5199	131	6240	181	7330
41 1/2	3510	166 1/2	4447	191 1/2	5211	132	6262	182	7352
42	3531	167	4464	192	5227	133	6284	183	7374
42 1/2	3552	167 1/2	4480	192 1/2	5248	134	6311	184	7390
43	3575	168	4496	193	5254	135	6333	185	7412
43 1/2	3597	168 1/2	4513	193 1/2	5270	136	6355	186	7434
44	3613	169	4529	194	5287	137	6377	187	7450
44 1/2	3635	169 1/2	4545	194 1/2	5303	138	6404	188	7472
45	3657	170	4562	195	5314	139	6426	189	7494
45 1/2	3673	170 1/2	4578	195 1/2	5330	140	6447	190	7510
46	3695	171	4594	196	5341	141	6469	191	7532
46 1/2	3717	171 1/2	4611	196 1/2	5357	142	6496	192	7554
47	3739	172	4627	197	5368	143	6518	193	7570
47 1/2	3755	172 1/2	4643	197 1/2	5385	144	6540	194	7592
48	3777	173	4654	198	5396	145	6562	195	7608
48 1/2	3793	173 1/2	4671	198 1/2	5412	146	6584	196	7630
49	3815	174	4681	199	5423	147	6605	197	7652
49 1/2	3837	174 1/2	4703	199 1/2	5439	148	6633	198	7668
50	3853	175	4720	200	5450	149	6654	199	7690
50 1/2	3870	175 1/2	4731	200 1/2	5466	150	6676	200	7706

a/ S = Surface Blaine en cm²/g.

b/ t = temps en seconde.

B-365



80.12.03