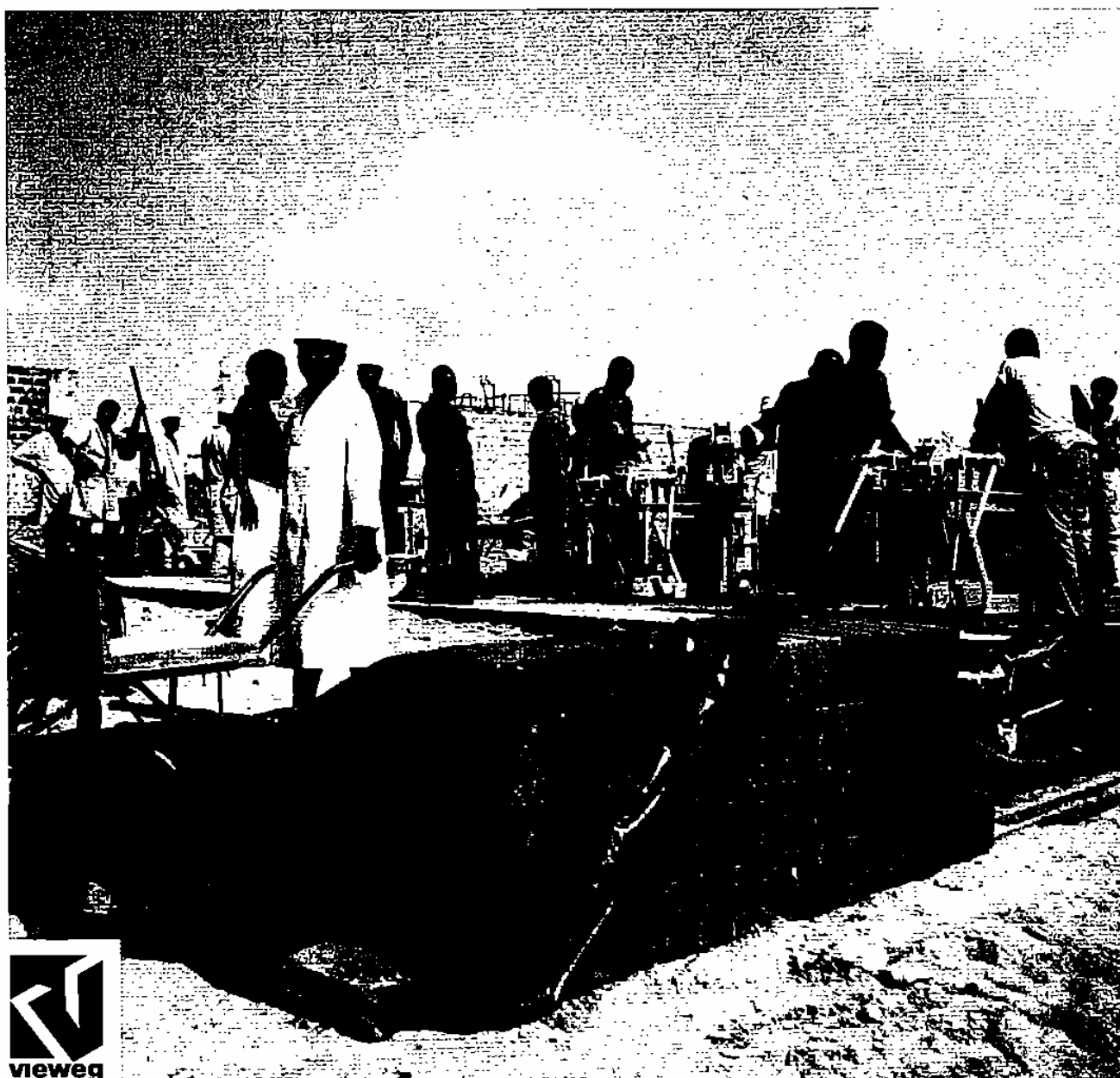

Vincent Rigassi, CRATerre-EAG

Blocs de terre comprimée

Volume I. Manuel de production





GATE - signifie Centre Allemand d'Echange pour les Technologies Appropriées. C'est un département de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, une organisation fédérale mandatée par le Gouvernement de la République Fédérale d'Allemagne qui charge la GTZ de planifier et exécuter les activités de coopération techniques avec les pays du tiers-monde.

GATE a été créé en 1978 par le Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Economique (BMZ) - responsable pour la coopération au développement avec les pays du tiers monde, en consultation avec le Ministère Fédéral Allemand de la recherche et de la technologie (BMFT).

GATE travaille régulièrement dans le domaine de la diffusion des technologies appropriées, de la protection de l'environnement et de la préservation des ressources naturelles. A l'intérieur de la GTZ, GATE est responsable de ces activités sur une base intersectorielle. GATE, grâce à son "Service d'Information sur les Technologies Appropriées (ISAT)" travaille dans les domaines suivants :

1) Diffusion des technologies appropriées

Diffusion et utilisation des technologies appropriées, surtout pour les activités communautaires :

- Coopération avec des groupes non gouvernementaux de technologie appropriée : convention de coopération avec des ONG en Afrique, Asie et Amérique Latine.
- Service d'information : documentation (sur les technologies appropriées), échange d'information, service "question-réponse", publication de brochures techniques, articles et périodiques techniques.
- Financement pour des projets de technologie appropriée à petite échelle.

2) Protection de l'environnement et préservation des ressources naturelles

- Coordination des activités liées à la protection de l'environnement au sein du GTZ.
- Affinage des méthodes et outils pour les études d'impact sur l'environnement.
- Suivi, coordination et évaluation de projets interdisciplinaires et multisectoriels dans le domaine de la protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles.
- Coopération avec les organisations nationales et internationales, les associations et les bureaux d'étude concernés par ces questions.

Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE

c/o Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Postfach 5180 / D-65726 Eschborn / Allemagne / Tél. : (06196) 79-0 / Téléx : 407 501 0 gtz d / Télécopie (06196) 79 48 20

CRATerre-EAG

CRATerre-EAG - le Centre International de la Construction en Terre - Ecole d'Architecture de Grenoble, est constitué de professionnels de haut niveau oeuvrant dans différentes contrées. Depuis 1973, CRATerre-EAG est impliqué à temps plein dans tous les secteurs de la construction en terre, allant de la préservation des monuments et sites historiques jusqu'à la mise en place de filières industrielles de production et construction. Les cinq champs d'activité indissociables de CRATerre-EAG sont :

- 1) **La recherche** : en tant qu'équipe de recherche reconnue officiellement, CRATerre-EAG poursuit plusieurs programmes de recherche fondamentale et opérationnelle dans les domaines aussi variés que l'ethnologie, l'économie, la minéralogie, la géomécanique, la technologie...
- 2) **La consultation** : les interventions de CRATerre-EAG dans ce domaine couvrent les missions d'identification, études de préinvestissement et de faisabilité, montage de programmes, conception de bâtiments, identification des matières premières, élaboration de stratégies...
- 3) **L'application** : les membres de CRATerre-EAG sont constamment impliqués dans des opérations sur le terrain allant de la préparation architecturale jusqu'à la réalisation de projets de construction dans le domaine social ou de l'éducation pour le compte d'organisations gouvernementales ou non gouvernementales.
- 4) **La formation** : en collaboration avec l'Ecole d'Architecture de Grenoble (EAG) et l'Université de Grenoble (USTMG) CRATerre-EAG anime un cours de post diplôme de deux ans pour des architectes ou des ingénieurs. CRATerre-EAG organise aussi des cours intensifs à thème et des sessions de formation professionnelles en collaboration avec d'autres organisations telles que la Réunion Internationale des Laboratoires pour l'Etude des Matériaux et de Structures (RILEM), le Conseil International du Bâtiment pour la recherche, l'étude et la documentation (CIB), l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), le Centre International pour l'Etude de la préservation et la restauration des biens culturels (ICCROM) etc.
- 5) **La diffusion** : par la publication d'ouvrages scientifiques et techniques, une participation active à de nombreuses rencontres professionnelles internationales et l'animation permanente d'un service questions-réponses, CRATerre-EAG joue un rôle important dans la diffusion de l'information et la promotion de la construction en terre.

CRATerre-EAG

Maison Levrat / Parc Fallavier / BP 53 / F - 38092 Villefontaine Cedex / France / Téléx : 308 658 F / Télécopie : (33) 74 95 64 21

Vincent Rigassi, CRATerre-EAG

Blocs de terre comprimée

Volume I. Manuel de production

Une publication de : Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE
une division de : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
en coordination avec le Building Advisory Service and Information Network – BASIN



Responsables scientifiques : Patrice Doat, architecte-professeur ; Hubert Guillaud, architecte-chercheur ; Hugo Houben, ingénieur-chercheur

Auteur : Vincent Rigassi, architecte

Contributions : Pascal Odul, ingénieur-architecte ; Thierry Joffroy, architecte ; Alexandre Douline, technicien supérieur ; Serge Maïni, architecte ; Sébastien d'Ornano, ingénieur ; Philippe Garnier, architecte ; François Vitoux, architecte-professeur

Illustrations : Nicolas Schweizer, illustrateur ; Elena Ochoa, architecte ; Patrick Idelman, dessinateur

Documentation : Marie-France Ruault

Maquette : Régine Rivière ; Christèle Chauvin

Corrections : Violette Petrel

Responsable de l'édition : Titane Galer

© Photographies

CRATerre-EAG : Dario Angulo, Patrice Doat, Sébastien d'Ornano, Hubert Guillaud, Hugo Houben, Thierry Joffroy, Serge Maïni, Pascal Odul, Vincent Rigassi

Sauf : p. 30 photo 1 : FOTOMEDIA Ltd India ; p. 70 photo 5 : Pierrot ; p. 81 photos 1 et 2 : Bruno Pignal ; p.86 photo 3 : Christian Lignon ; p. 86 photo 4 : Philippe Romagnolo

© Dessins : CRATerre-EAG

Avec la participation du Secrétariat de la Recherche Architecturale de la Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU) du Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports

Tous droits réservés.

© Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn 1995

Production et diffusion : Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig

Imprimé en Allemagne par Hochl-Druck, Bad Hersfeld

ISBN 3-528-02081-4

TABLE DES MATIERES

	PRÉFACE	3
INTRODUCTION	HISTOIRE	5
	AVANTAGES DU BTC	6
	QUESTIONS CLÉS	7
	PRODUCTION	8
	LIGNES DE PRODUCTION	9
	MATÉRIAU	12
	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES	13
	LANCEMENT D'UNE PRODUCTION	14
	DÉVELOPPEMENT DU MATÉRIAU	16
	ARCHITECTURE EN TERRE	17
LA TERRE	LA TERRE POUR CONSTRUIRE	19
	PROPRIÉTÉS	20
	SOLS TYPIQUES	22
	COMPORTEMENT DES SOLS À L'EAU	24
	ÉTATS HYDRIQUES D'UN SOL	25
	PROSPECTION	26
	IDENTIFICATION : TESTS DE LABORATOIRE	27
	IDENTIFICATION : TEST DE TERRAIN	28
STABILISATION	CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	31
	LES MOYENS ET LES STABILISANTS	32
	STABILISATION AU CIMENT	33
	STABILISATION À LA CHAUX	34
	CALCUL DU DOSAGE DU STABILISANT	35
ÉQUIPEMENTS	CRITÈRES DE SÉLECTION	37
	PRODUITS	38
	UTILISATIONS	39
	CHOIX DE PRESSE	40
	CHOIX DES ÉQUIPEMENTS DE PRÉPARATION	42
ORGANISATION SPATIALE	DÉFINITION DE LA LIGNE DE PRODUCTION	45
	TYPES D'ÉQUIPEMENTS	46
	MOYENS DE FABRICATION	47
	TYPES DE LIGNES DE PRODUCTION	48
	INVESTISSEMENTS	49
	BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE	50
	BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE À PRESSES MOBILES	52
	BRIQUETERIE MÉCANISÉE	54

PRODUCTION	EXPLOITATION DE CARRIÈRE	57
	TRANSPORTS	58
	STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES	59
	PRÉPARATION MANUELLE	60
	PRÉPARATION MOTORISÉE	61
	DOSAGE	62
	MÉLANGE	64
	PRESSAGE	66
	CURE ET SÉCHAGE	68
	TRANSPORT ET STOCKAGE	70
OPÉRATIONS DE MISE AU POINT	RODAGE DE LA FABRICATION	71
	ESSAIS DE PRODUCTION	72
	INTERPRÉTATION ET TOLÉRANCES DES RÉSULTATS	74
	FORMATION DU PERSONNEL DE PRODUCTION	75
CONTRÔLES DE QUALITÉ	CONTRÔLE DES MATIÈRES PREMIÈRES	77
	CONTRÔLE DE FABRICATION	78
	CONTRÔLE DES BLOCS	79
	CONTRÔLE DE L'ORGANISATION ET DE L'ÉQUIPEMENT	80
	MOYENS DE CONTRÔLE	81
GESTION ET ÉCONOMIE DE LA PRODUCTION	GESTION	83
	CALCUL DES COÛTS	84
	COMMERCIALISATION	85
ANNEXES	CALCUL DES QUANTITÉS DE STABILISANTS	87
	CASSE-BLOC DE BRIQUETERIE	88
	BROQUETTES À PLATEAUX	89
	TAMIS ET BOÎTE DOSEUSE	90
	MATÉRIEL POUR LES ESSAIS DE TERRAIN	91
	MATÉRIEL POUR PETIT LABORATOIRE	92
	EXEMPLES DE FICHES D'ENREGISTREMENT	93
	BIBLIOGRAPHIE	103
	INDEX DES MOTS CLÉS	104

PRÉFACE

Dès les années 1950, de nombreux organismes se sont penchés sur le problème de l'accès au logement des populations à bas revenus. Des recherches ont été engagées notamment sur les matériaux et techniques de construction visant au meilleur emploi possible des ressources locales, tant humaines que matérielles. Cette démarche a connu un nouvel élan lors de la conférence sur les Etablissements Humains de Vancouver en 1976 qui condamnait la transposition des techniques de construction occidentales pour l'habitat économique et recommandait le développement de technologies adaptées aux contextes climatiques, sociaux et culturels, la réduction progressive des importations de produits et services liés à la construction ainsi que la mise en place de normes et réglementations couvrant les besoins primordiaux des usagers en regard de leurs moyens économiques.

En décembre 1988, l'Assemblée Générale des Nations Unies proclamait "la Stratégie Mondiale du Logement jusqu'en l'an 2000", qui vise à garantir l'accès à un logement décent et durable pour tous d'ici l'an 2000 en prenant appui notamment sur le secteur informel omniprésent et incontournable sur le marché du logement. Des ressources humaines et techniques apparaissent particulièrement riches sur les plans de la dynamique sociale et des cultures constructives.

Ce livre est le fruit du travail d'une équipe dont l'objectif s'inscrit pleinement dans cette démarche et en constitue un outil. Il est à considérer comme un état des connaissances techniques actuelles, acquises par de nombreux intervenants.

Cet ouvrage illustre aussi bien les moyens de production, les gestes techniques que les implications économiques. Il fournit des outils pour appréhender, dès le début du projet, la synergie implicite entre matériaux, architecture et dynamique de chantier et donne une approche familière aux cultures traditionnelles que des constructeurs contemporains (Prouvé, Piano ...) intègrent également lorsqu'ils formulent le concept d'"idée constructive".

La technique du bloc de terre comprimée offre aujourd'hui une alternative fiable pour une architecture accessible et de qualité, dont la reconnaissance scientifique, technique, sociale et culturelle n'a été qu'en progression depuis ces cinquante dernières années. Le bloc de terre comprimée est un des rares "matériaux modernes", dont la flexibilité de production a permis son insertion dans les programmes de logements publics et dans les secteurs d'activités privés, formels et informels.

Ce livre a pu être réalisé grâce à la collaboration active que notre équipe a développée ces dernières années avec le GATE/GTZ (coopération allemande) dans le domaine de la diffusion des matériaux et des technologies de construction adaptées, par la formation des hommes et l'application architecturale pilote. Nous remercions tout particulièrement Mme Hannah Schreckenbach, de cet organisme, pour le soutien qu'elle a apporté à l'édition de cet ouvrage ainsi que pour la confiance qu'elle a accordée aux auteurs afin que ce projet soit mené à bien. Nous voulons aussi remercier tous les acteurs de terrain, architectes, entrepreneurs, maçons et briquetiers qui ont donné naissance aux réalisations d'architectures en blocs de terre comprimée et fortifié ainsi le potentiel d'utilité et de qualité de cette technique.

François Vitoux, architecte-professeur à l'Ecole d'Architecture de Grenoble.

HISTOIRE

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance des blocs de terre moulée est pourtant ancienne et c'est à l'aide de piliers en bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIII^e siècle. En France, François Cointeraux, inventeur et propagateur zélé d'un «nouveau pisé», concevait «la crécise» qui était dérivée d'un pressoir à vin. Mais ce n'est qu'au début du XX^e siècle que l'on imagina les premières presses mécaniques qui utilisaient de lourds couvercles rabattus avec force dans le moule. Des presses de ce type ont même été motorisées. L'industrie de la brique cuite a ensuite utilisé des presses à compression statique où la terre était comprimée entre deux plateaux se rapprochant. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la fameuse petite presse «CINVA-RAM», imaginée par l'ingénieur Raul Ramirez, au centre CINVA de Bogota, en Colombie. Elle fut utilisée dans le monde entier. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle vague de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée.

TECHNOLOGIE ÉLABORÉE

Depuis son apparition dans les années 50, la technologie de production du bloc de terre comprimée (BTC), son utilisation en construction a constamment progressé et fourni les preuves de sa valeur scientifique autant que technique.

Un savoir de très haut niveau a été développé par des centres de recherche, des industriels, entrepreneurs et constructeurs, qui fait aujourd'hui de cette technologie l'égale des technologies de construction concurrentes. La production du BTC répond à des exigences scientifiques de contrôle de la qualité des produits, depuis l'identification, la sélection et l'extraction des terres utilisées, jusqu'au suivi de la qualité des blocs à la sortie des presses grâce à des procédures de tests et d'essais sur les matériaux qui sont aujourd'hui codifiées. Ce savoir scientifique garantit la qualité du matériau. Simultanément, l'expérience accumulée sur de très nombreux chantiers par les bâtisseurs a également permis de définir des règles de conception architecturale et de l'art de bâtir qui constituent aujourd'hui des outils de travail de référence pour les architectes et les entrepreneurs ainsi que pour les maîtres d'ouvrages.

DÉVELOPPEMENT

L'installation d'unités de production de blocs de terre comprimée, du mode artisanal au mode industriel, en milieu rural comme en milieu urbain, est associée à la mise en place de filières créatives d'emplois à tous les stades de la production, depuis l'extraction des terres en carrières jusqu'à la réalisation des chantiers de construction. L'emploi du matériau pour la réalisation de programmes d'habitat social, pour la réalisation d'équipements scolaires, culturels ou de santé de bâtiments des administrations publiques, est une contribution au développement de l'économie et du bien-être des sociétés. Intégrée dans des stratégies de développement concertées entre le

secteur public et le secteur privé qui donnent une place importante à la formation des hommes et à la création d'entreprises, la production du BTC est un facteur de développement économique et social. Tel a été le cas dans le cadre d'un programme de construction d'habitat et d'équipements publics considéré aujourd'hui comme une référence internationale, sur l'île de Mayotte dans l'archipel des Comores. L'emploi du BTC qui a suivi la mise en place d'une filière insulaire a été historiquement le levier du développement de l'île de Mayotte fondé sur une économie du bâtiment créatrice d'emplois et de valeur ajoutée locale, monétaire, économique et sociale.

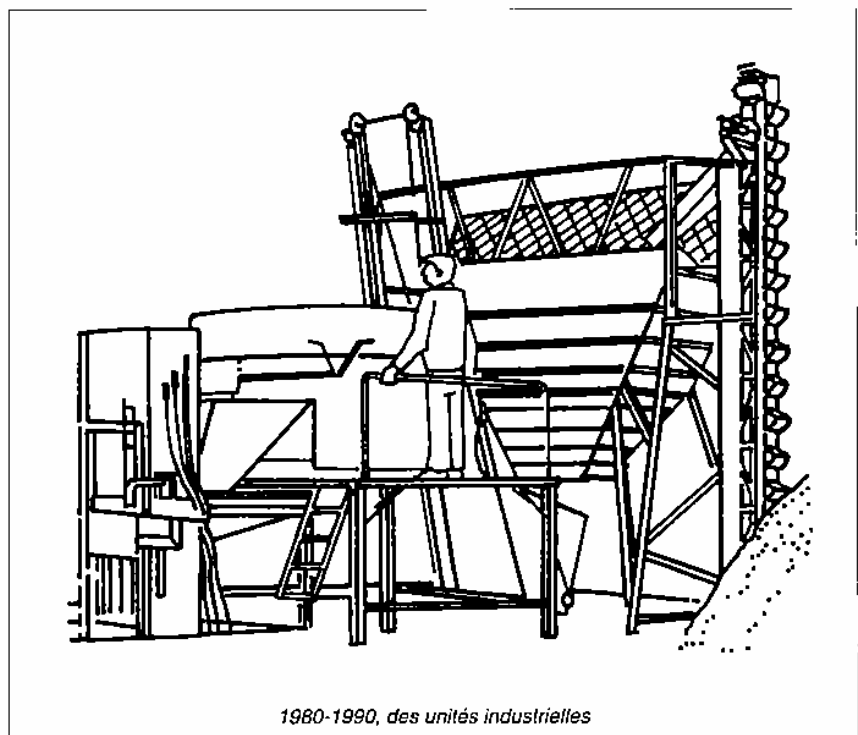
ACCEPTATION SOCIALE

Le BTC constitue une amélioration considérable des techniques traditionnelles de construction en terre.

Lorsqu'un contrôle de qualité garantit les produits, le BTC tient très facilement la comparaison avec d'autres matériaux tels que le bloc de sable - ciment ou la brique cuite. Il conquiert alors l'adhésion des décideurs, des constructeurs et des utilisateurs des bâtiments.

AVENIR

La technologie du BTC a beaucoup progressé grâce à la recherche scientifique et technique, à l'expérimentation, aux réalisations architecturales que soutiennent une large diffusion de documents techniques et une formation universitaire et professionnelle. Un important travail est engagé au niveau de la normalisation qui devrait contribuer à définitivement légitimer cette technique dans les prochaines années.



1980-1990, des unités industrielles

AVANTAGES DU BTC

La technique du bloc de terre comprimée présente plusieurs avantages qui méritent d'être relevés :

- La production du matériau, à l'aide de presses mécaniques de conception et au mode de fonctionnement varié, constitue une réelle amélioration par rapport aux modes traditionnels de production des blocs de terre, que ce soit l'adobe ou les blocs de terre compactés manuellement. On obtient notamment une régularité de la qualité des produits. Cette qualité favorise l'acceptation sociale d'un renouveau de la construction en terre.
- La production du bloc de terre comprimée est généralement associée à la mise en place de procédures de contrôle de qualité qui répondent aux exigences d'une codification, voire d'une normalisation des produits de construction, notamment pour une utilisation en milieu urbain.
- Dans des contextes où les cultures constructives sont déjà marquées par la construction en petits éléments de maçonnerie (brique cuite, pierre, bloc de sable-ciment), le bloc de terre comprimée est très facilement intégré et constitue une ressource technologique supplémentaire utile au développement socio-économique du secteur du bâtiment.
- La flexibilité des modes de production du bloc de terre comprimée, en milieu rural comme urbain, à l'échelle artisanale comme industrielle, est un avantage qui retient l'intérêt des décideurs politiques, des investisseurs et des entrepreneurs.
- La qualité architecturale des ouvrages en blocs de terre comprimée, bien conçus et bien réalisés, conquiert l'intérêt des architectes et des populations qui occupent les bâtiments réalisés avec ce matériau.

PERFORMANCES TECHNIQUES

Le compactage de la terre à l'aide d'une presse améliore la qualité du matériau. Le bloc de terre comprimée présente une forme régulière et des arêtes vives qui sont appréciées par les constructeurs. L'élévation de la densité obtenue par le compactage améliore de façon notable la résistance des blocs de terre à la compression, à l'érosion et à l'action néfaste de l'eau.

FLEXIBILITÉ D'EMPLOI

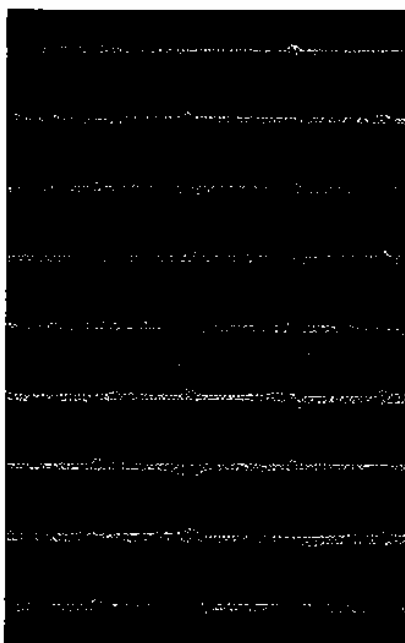
La grande variété des presses et unités de production disponibles sur le marché actuel confère à ce matériau une grande souplesse d'emploi.

De la petite échelle artisanale à la moyenne et grande échelle semi-industrielle ou industrielle, l'emploi du BTC est possible en milieu rural comme en milieu urbain et répond à des besoins, des moyens et des objectifs très variés.

STANDARDS ET MODÈLES

Les blocs de terre comprimée répondent à des dimensions standards et des exigences de qualité qui conviennent pour la réalisation d'importants programmes d'habitat ou d'équipements publics basés sur la conception de modèles architecturaux.

Ces standards de dimension et de forme des blocs ainsi que les modèles architecturaux peuvent être définis avant la mise en oeuvre des programmes, au stade de leur conception avec une grande souplesse d'utilisation.



Aspect d'un mur en BTC

TECHNOLOGIE TRÈS PRATIQUE

Les dimensions courantes des BTC sont adaptées à une grande souplesse d'emploi dans des solutions constructives variées, en maçonnerie porteuse ou en remplissage de structures. Le BTC permet aussi la réalisation d'arcs, de voûtes et de coupoles, ainsi que de planchers à voûtains.

RÉEL INTÉRÊT ARCHITECTURAL

La bonne qualité des blocs de terre comprimée permet la réalisation de très beaux ouvrages en maçonnerie à l'égal des traditions de construction en briques cuites. L'utilisation architecturale du BTC peut aller de l'habitat social à l'architecture

d'habitat de luxe ou d'édifices publics prestigieux. Depuis les années 50, l'expérience des architectes et des bâtisseurs s'est considérablement enrichie de la réalisation d'une architecture très variée dans tous les domaines d'application. L'expérimentation a largement fait place à la maîtrise technologique et architecturale et a permis un développement considérable de la technologie du BTC qui aujourd'hui peut être considérée comme l'égal des autres technologies de construction en maçonnerie de petits éléments.

ALTERNATIVE À L'IMPORTATION

Répondant aux mêmes exigences que les autres matériaux de construction actuels le BTC se pose en alternative technologique aux matériaux d'importation dont l'emploi est souvent justifié en regard de l'exigence de standardisation. Le BTC a pour lui l'avantage d'être produit localement tout en répondant à ces exigences.

QUELQUES CONTRAINTES

La qualité des BTC reste tributaire d'une bonne sélection et préparation des terres et du bon choix du matériel de production. L'utilisation architecturale du matériau doit répondre à des règles de conception et de mise en oeuvre qui sont spécifiques et qui doivent être appliquées par les architectes et les constructeurs. Pour cela, la compétence professionnelle doit être garantie par une formation adaptée. Au plan économique, le BTC peut parfois ne pas concurrencer les autres matériaux locaux. Une étude technico-économique permet de préciser la faisabilité de cette technologie dans chaque contexte d'application.

QUESTIONS CLÉS

Lorsque l'on souhaite s'engager dans la production ou la mise en oeuvre de blocs de terre comprimée, il faut prêter une attention particulière aux différents points suivants :

- la maîtrise d'une nouvelle technique de production,
- la maîtrise de nouveaux principes de construction,
- l'encadrement et la gestion d'un processus de production,
- la commercialisation d'un matériau de construction.

Pour se lancer sans risque et pour vérifier si l'on dispose des éléments suffisants, il est préférable de commencer par se poser les questions suivantes :

RESSOURCES

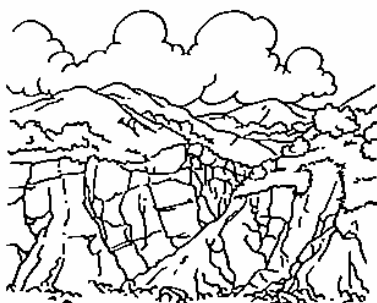
- Avez-vous des informations sur l'aptitude des sols locaux à être utilisés pour la fabrication de BTC ?
- Avez-vous déjà un programme de construction et de quel volume ? Combien de BTC cela représente-t-il (à raison de 33 blocs/m²) ?
- S'il est prévu de vendre les blocs, avez-vous réuni des données sur la demande en matière de matériaux de construction dans votre région ? Avez-vous des indices positifs en ce qui concerne l'attitude de la population quant au BTC ?
- Avez-vous des informations sur les disponibilités et les coûts en matière de stabilisant ?

COMPÉTENCES

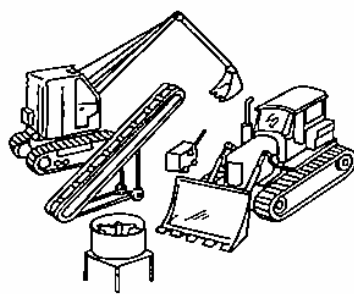
- Etes-vous conscient qu'il ne suffit pas de produire de bons blocs mais qu'il faut garantir une mise en oeuvre correcte pour obtenir des constructions résistantes ?
- Connaissez-vous des entrepreneurs du bâtiment qui maîtrisent les principes de base de la conception et de la réalisation des constructions en BTC ?
- Savez-vous où trouver un appui sur le plan technique et de la formation ?

GESTION/FINANCEMENT

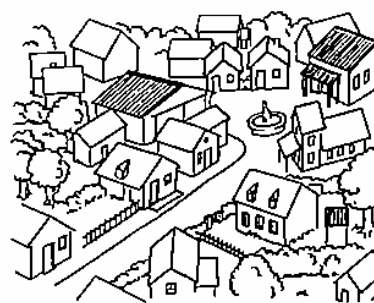
- Avez-vous collecté des informations sur les équipements existants et avez-vous commencé à faire des comparaisons ?
- Avez-vous de l'expérience en matière de comptabilité et de gestion ?
- Etes-vous conscient qu'un projet de ce type ne se réalise pas du jour au lendemain et qu'il faudra compter quelque temps avant que vous puissiez être payé de vos efforts ?



RESSOURCES DISPONIBLES



MACHINES



HABITAT

PRODUCTION

INTRODUCTION GÉNÉRALE

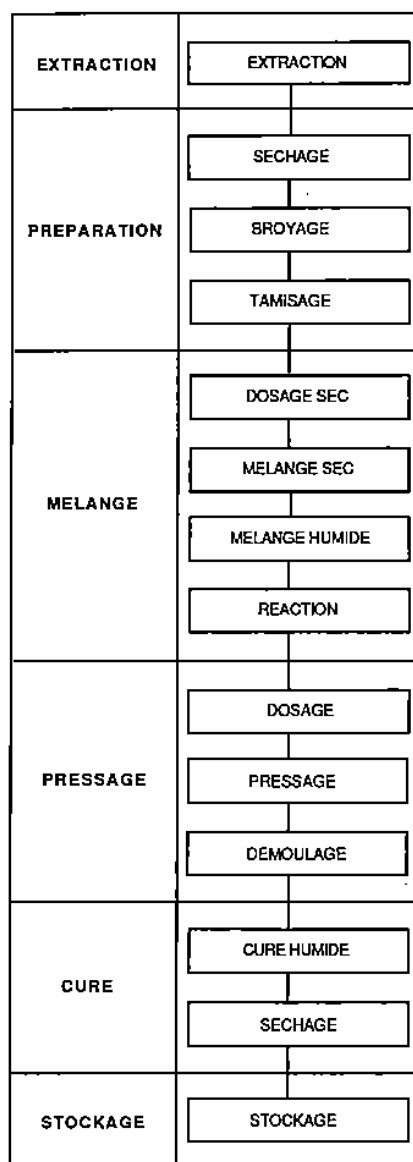
La production de blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits par compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique.

Il n'y a pas de période ou de saison de production particulièrement favorable ou défavorable pour peu que l'on adopte, en cas de saison humide ou de saison chaude, des dispositions de protection des aires de stockage et de production.

Du point de vue assez général des rendements de production, on remarquera qu'ils sont tributaires des modes d'organisation de la production et des types d'équipements employés.

CYCLE DE PRODUCTION

On décrira ici une production de blocs de terre comprimée stabilisée au ciment ou à la chaux correspondant à une organisation de production artisanale à l'aide de tous types de presses sauf unités de production industrielles.



- EXTRACTION de la terre d'une carrière.

- SECHAGE par épandage en couches minces ou en cyclone à air chaud.

- BROYAGE pour désagréger les concrétions d'argile.

- TAMISAGE pour éliminer les éléments indésirables après la préparation générale.

- DOSAGE SEC de la terre en poids ou en volume en vue de son mélange avec l'eau et/ou le stabilisant.

- MELANGE SEC pour un maximum d'efficacité du stabilisant en poudre.

- MELANGE HUMIDE après ajout de l'eau par aspersion, après mélange sec correct.

- REACTION pendant le temps de retenue variable selon la nature du stabilisant.

- DOSAGE de la quantité de mélange pour une densité optimum du bloc.

- PRESSAGE du mélange.

- DEMOULAGE du bloc.

- CURE HUMIDE d'une durée variable selon le climat et la nature du stabilisant.

- SECHAGE qui doit permettre d'atteindre la qualité requise.

- STOCKAGE des produits prêts à l'emploi.

PRESSES

Dans le cas de la production de blocs de terre comprimée, l'action des presses consiste à densifier la terre en resserrant les grains.

Presses manuelles

Seules les actions de compression et de démoulage sont effectuées par la machine actionnée manuellement.

Rendement théorique : 300 à 1 500.

Presses motorisées

Seules les actions de compression et de démoulage sont effectuées par la machine actionnée par un moteur.

Rendement théorique : 1 000 à 5 000.

Unités de production foraine

Unités de production facilement transportables où, en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits sont motorisées et éventuellement automatisées.

Rendement théorique : 1 500 à 4 000.

Unités de production fixes

Unités de production difficilement transportables où, en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits sont motorisées et éventuellement automatisées.

Rendement théorique : 2 000 à 10 000 et plus.

PULVÉRISATEURS

Pour obtenir un mélange homogène des constituants, il faut préalablement briser les mottes.

Broyeur

Il permet de casser les cailloux ou les graviers trop gros et de réduire ainsi la granularité de manière homogène.

Désagrégateur

Il permet de ne désagréger que les éléments liés par les argiles et convient mieux aux terres fines.

CRIBLES

Le criblage est indispensable quand il y a des défauts de texture (trop gros éléments ou matières organiques) ou une pulvérisation imparfaite.

MALAXEURS

Le malaxage est particulièrement important pour la qualité finale du produit. Un mélange homogène est indispensable. Il faut opérer d'abord un malaxage à sec. Pour une humidification homogène, l'eau doit être ajoutée en pluie fine ou en vapeur.

LIGNES DE PRODUCTION

TYPÉLOGIE

L'ensemble des équipements spécifiques permet d'installer diverses lignes de production. Les principaux critères de différenciation sont : la productivité, les investissements et la quantité de main-d'œuvre employée. On trouvera dans ce tableau des exemples typiques allant de la petite unité manuelle à l'unité industrielle. L'attention se porte davantage sur l'unité d'échelle moyenne (types 2 à 5).

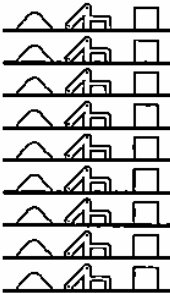
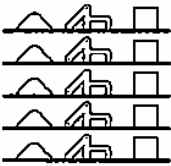
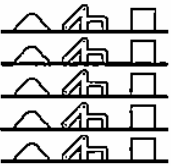
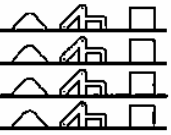



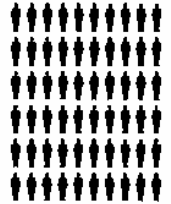
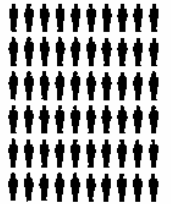
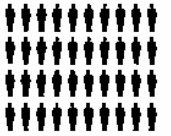







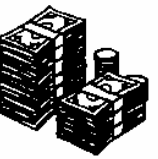
TYPOLOGIE DES LIGNES DE PRODUCTION SELON LEUR EQUIPEMENT						
TYPES	TYPE 1 manuel	TYPE 2 1/4 motorisé	TYPE 3 1/2 motorisé	TYPE 4 3/4 motorisé	TYPE 5 motorisé	TYPE 6 automatisé
Equipements spécifiques	1 presse manuelle	2 presses manuelles 1 malaxeur 250 l	2 presses manuelles 1 malaxeur 250 l 1 désagr./crible*	1 presse motorisée 1 malaxeur 250 1 désagr./crible*	1 presse motorisée 1 malaxeur 250 1 désagr./crible* transport mécanisé **	1 unité automatisée transport automatisé
Production/jour blocs 29,5x14x9	600-1 000	1 200-1 500	1 200-1 500	1 500-2 000	1 500-2 500	5 000-6 000
Main-d'œuvre	9-10	11-13	10-12	9-11	8-10	8-10
Aire de production						
Total (en m ²)	380	630	630	805	2 300	4 900
Espace clos	10	15	15	15	25	100
Espace couvert	30	100	100	55	50	300
Espace plein air	340	515	515	735	2 225	4 500
Investissement Equipements \$	2 000	10 000	14 500	23 000	46 000	83 000
Infrastructure \$ (sans le terrain)	2 250	4 150	4 150	4 500	10 000	38 000
TOTAL (en \$)	4 250	14 150	18 650	27 500	56 000	121 000

- * Type de terre et type de machine pour sa préparation :
- si graveleuse avec mottes argileuses -> broyeur,
 - si fine avec mottes argileuses -> désagrégateur,
 - si caillouteuse-graveleuse sans mottes argileuses -> crible.

- ** Transport mécanisé :
- bandes transporteuses, système doseur, trémie, transpalette ou chariot élévateur (voir tableau types d'équipements).

N.B. : tous les prix sont purement indicatifs et constituent une gamme approximative pour plus de détails, se référer aux constructeurs et au Product Information du GATE. Les productivités indiquées sont calculées en fonction de l'utilisation normale des machines mais leurs variations peuvent être importantes.

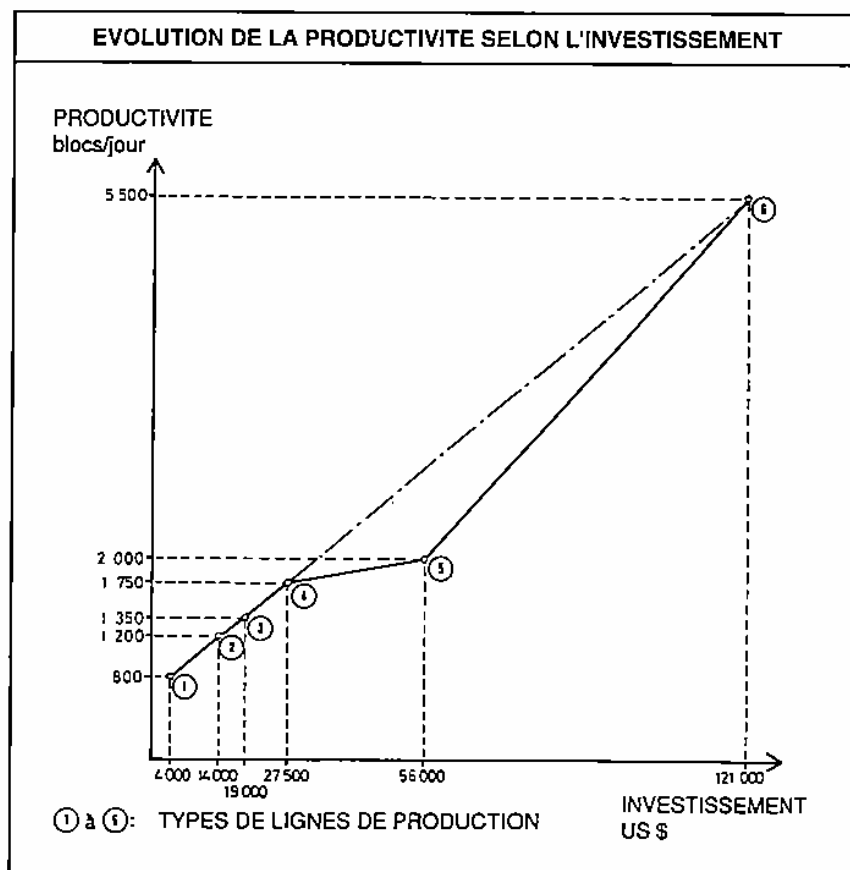
LIGNES DE PRODUCTION

INDICATION DES RAPPORTS PRODUCTIVITE/EMPLOI/INVESTISSEMENT						
Pour produire ≈ 6 000 blocs en 1 jour avec les lignes de production	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4	TYPE 5	TYPE 6
Il faudra : ... x lignes de production	9 lignes 	5 lignes 	5 lignes 	4 lignes 	3 lignes 	1 ligne 
Soit le travail de	86 hommes 	60 hommes 	60 hommes 	40 hommes 	27 hommes 	9 hommes 
et un capital immobilisé (si amortissement en 3 ans)	150 \$/jour 	275 \$/jour 	360 \$/jour 	425 \$/jour 	650 \$/jour 	465 \$/jour 

Commentaire

Le rapport entre le type 1 et le type 6 est environ neuf fois plus élevé pour le premier type en ce qui concerne les quantités de lignes de production et d'ouvriers. Le capital investi illustre le tableau (cf. p.11 Evolution de la productivité selon investissement) où le type 5 nécessite un gros investissement, soit un capital immobilisé plus important que le type 6 et ce, pour une productivité quasi équivalente au type 4.

LIGNES DE PRODUCTION



Commentaire

On constate une stagnation de la productivité alors que l'investissement croît notablement entre la ligne de production 4 et la 5, c'est-à-dire à partir du moment où les transports se mécanisent (production journalière de l'ordre de 2 000 blocs 29,5 x 14 x 9 cm).

Au vu des équipements existants, il apparaît indispensable d'associer le passage des transports mécanisés à une productivité importante de type 6 si l'on veut rentabiliser les investissements (cf. p. 10 Indication des rapports productivité/emploi/investissement pour les capitaux immobilisés).

INDICATION DES CONSOMMATIONS						
Production/jour Blocs 29,5 x 14 x 9 cm		Type 1 600-1 000	Type 2 et 3 1 200-1 500	Type 4 1 500-2 000	Type 5 1 500-2 500	Type 6 5 000-6 000
EXTRACTION	Terre brute/jour (m ²)	4,2	8	12	15	40
	Terre brute/mois(m ³)	93	180	265	330	900
	Nombre de camions 4 à 5 m ³	21	40	59	74	200
	Surface creusée si prof. extract. 1,5 m/mois (m ²)	65	125	180	225	610
STABILISANT	Si stabilisation 6 % kg/jour	300	600	750	900	2 500
	Tonnes/mois	6,3	13	16,5	19,5	54
EAU	Litres d'eau/jour	475	950	1 250	1 460	4 000
	m ³ /mois	10,5	21	27,5	32,5	88,5

Commentaire

Il est indispensable de connaître les consommations de matières premières et les flux de matériaux entre les différents postes en se basant sur les hypothèses du produit ciblé. En effet, de grosses consommations vont nécessiter :

- des ressources naturelles suffisantes (importance des gisements) ;
- des fonds de roulement importants pour avancer les achats de matériaux, les charges et les salaires, particulièrement en début de production.

Les indications ci-dessus sont approximatives et doivent être calculées précisément pour chaque contexte. Toutefois, elles donnent des bases pour une première évaluation.

MATÉRIAU

Les blocs de terre comprimée sont des petits éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions courantes diffèrent cependant des blocs de terre moulée ou des briques cuites et varient selon les types de presses et les moules qui leur sont adaptés.

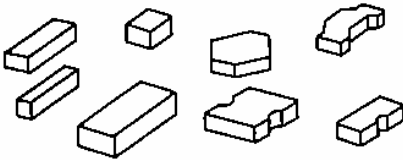
Ce sont principalement des blocs pleins qui sont utilisés pour la réalisation de maçonneries.

Pour cela, la tradition de production des blocs de terre comprimée a adopté des dimensions compatibles avec un poids unitaire de l'ordre de 6 à 8 kg et la possibilité de réaliser des murs de 15, 30 ou 45 cm d'épaisseur. La dimension nominale la plus courante est aujourd'hui de 29,5 x 14 x 9 cm (L x l x h) qui donne un matériau facilement manipulable et très souple dans son utilisation pour de multiples configurations de systèmes constructifs de murs, de loitures (planchers à voûlains, voûtes et coupoles) et d'ouvertures en forme d'arcs.

Il y a 4 genres de blocs :

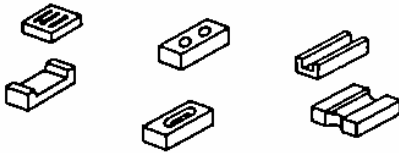
Blocs pleins

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples...). Leur usage est très divers.



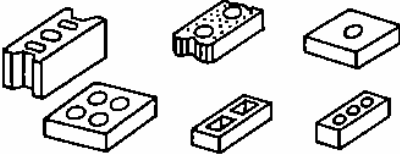
Blocs évidés

On observe généralement de 5 à 10 % d'évidement, voire 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).



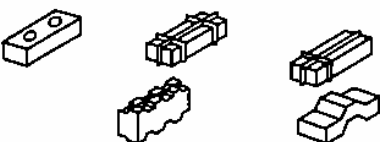
Blocs alvéolaires

Ils ont l'avantage de leur légèreté mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus élevées. Ils sont adaptés à la maçonnerie armée (régions sismiques).

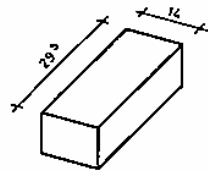


Blocs à emboîtement

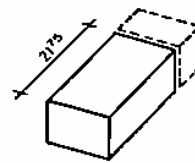
Ils permettent de se passer de mortier pour leur assemblage, mais exigent des moules assez sophistiqués et des pressions de compression élevées. Ils sont souvent utilisés pour des ouvrages non porteurs.



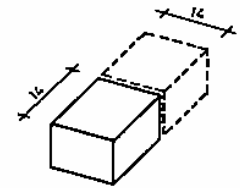
Bloc standard



Bloc 3/4



Bloc 1/2

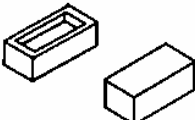
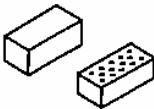
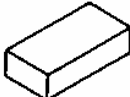
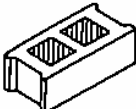
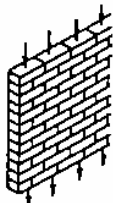
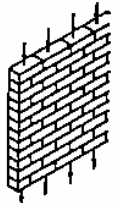
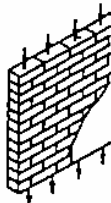
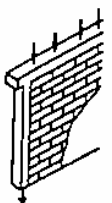


6 PRINCIPALES CATEGORIES D'USAGE

USAGE		TYPES DE BLOCS
maçonnerie porteuse		
maçonnerie de remplissage		
applications particulières	<ul style="list-style-type: none"> - ventilation - câblages - corniches - décoration - arcs et voûtes 	
maçonnerie renforcée		
systèmes constructifs particuliers : imbrication		
systèmes constructifs particuliers : empilement à sec autobloquants		

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

La comparaison des caractéristiques et des performances du bloc de terre comprimée avec d'autres matériaux classiques de maçonnerie ne doit pas se réduire à ne prendre en compte que la résistance à la compression ou la différence des coûts de production. La question est plus complexe. Cette comparaison doit plutôt s'établir sur la prise en compte d'un plus large registre de paramètres dont la forme et les dimensions du matériau, son aspect (surface, texture, esthétique), ainsi qu'un ensemble de performances telles que la résistance à la compression sèche et humide, mais aussi l'isolation thermique, la masse volumique apparente et la durabilité. Mais ce sont plus encore les aspects liés à la production et à l'utilisation du matériau qui mettent en lumière toute la complexité de cette comparaison en intégrant des considérations sur la nature des gisements fournissant la matière première, sur les modes de transformation de cette matière en matériau, sur l'énergie incorporée dans cette transformation ou production, sur la nature du matériau pris comme composant ou élément de construction, sur son état dans le bâtiment construit avec une prise en compte des problèmes de durabilité et d'entretien. Cette comparaison « intelligente » des matériaux entre eux doit, au-delà des considérations scientifiques visant à comparer des matériaux dans des conditions de laboratoire, prendre en compte l'utilisation constructive et architecturale des matériaux. De même, la comparaison des coûts doit être faite à volume égal mais en comparant les m² habitables construits avec divers matériaux ayant chacun leur règles de conception propres.

COMPARAISON ENTRE LE BTC ET D'AUTRES MATERIAUX DE MAÇONNERIE					
Caractéristiques	Unité	BTC	Briques cuites	Adobes	Blocs en béton
FORME ET TAILLE					
Type					
L x l x h	cm	29,5 x 14 x 9	22 x 10,5 x 6,5	40 x 20 x 10	40 x 20 x 15
ASPECT					
- Surface - Intérêt esthétique		lisse moyen à bon	rugueuse à lisse bon à excellent	irrégulière pauvre	rugueuse moyen
PERFORMANCES					
- Résistance en compression	Mpa	1 à 4	0,5 à 6	0 à 5	0,7 à 5
humide		0,02 à 0,2	0 à 0,02	-	0,02 à 0,05
- Dilataion thermique réversible	%	0,81 à 1,04	0,7 à 1,3	0,4 à 0,8	1,0 à 1,7
- Isolation thermique	W/m°C	1 700 à 2 200	1 400 à 2 400	1 200 à 1 700	1 700 à 2 200
- Masse volumique apparente	kg/m ³	faible à très bonne	faible à excellente	faible	faible à très bonne
- Durabilité					
EMPLOI EN MAÇONNERIE					
		porteur 	porteur 	porteur 	remplissage 
		sans enduit	sans enduit	avec enduit	avec enduit

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

(valeur donnée pour un bloc standard)

Tolérance sur dimensions

- longueur : + 1, - 3 mm,
- largeur : + 1, - 2 mm,
- hauteur : + 2, - 1 mm.

Rugosité des faces extérieures

- Les faces extérieures des blocs recevant un enduit et les faces disparaissant dans la maçonnerie doivent être, de préférence, rugueuses.
- Les faces extérieures des blocs ne recevant pas d'enduit doivent être lisses.

Aivées, trous, piqûres, striures

- Pour les faces rugueuses : doivent être limités à 15 % de la surface.
- Pour les faces lisses : doivent être limités à 1 % de la surface.

Masse volumique

- Sec : minimum : 1 700 kg/m³ ou 6,319 kg par bloc ; conseillée : 2 000 kg/m³ ou 7,434 kg par bloc.
- Frais de moulage : minimum : 1 870 kg/m³ ou 6,950 kg par bloc ; conseillée : 2 200 kg/m³ ou 8,177 kg par bloc.

Planitude des surface

- Côtés : la flèche ne doit pas dépasser 1 mm.

- Surfaces de compression : la flèche ne doit pas dépasser 3 mm.

Planitude des arêtes

- La flèche ne doit pas dépasser 2 mm.
- Une rugosité des arêtes peut être admise, pour autant qu'elle soit due au démoulage et non pas provoquée par une mauvaise manipulation.

Obliquité des surfaces

- Pour les faces extérieures, les tolérances de formes et dimensions doivent être respectées.
- Les faces intérieures et évidements doivent être obliques et ne pas avoir d'angles vifs.

LANCEMENT D'UNE PRODUCTION

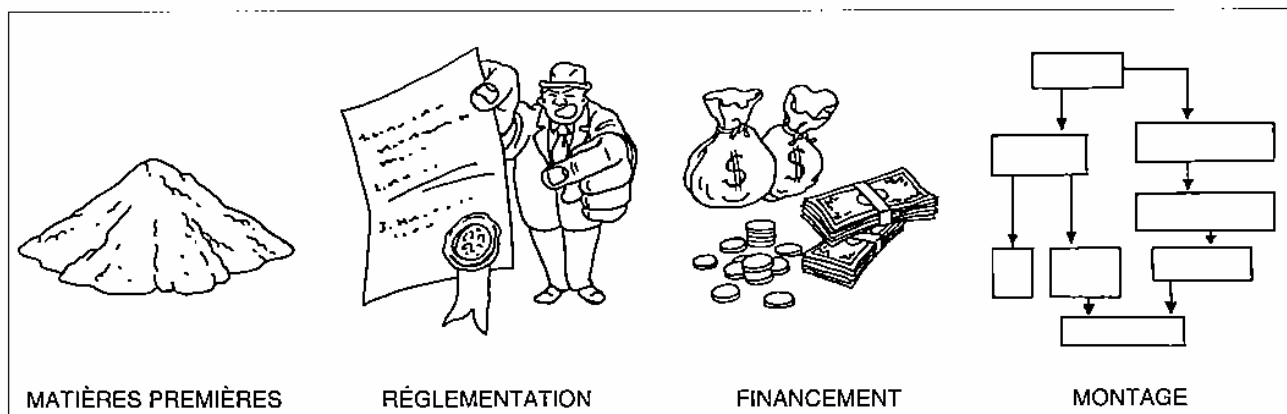
1. L'aptitude des sols locaux à être utilisés pour la fabrication de BTC doit être vérifiée ainsi que le volume disponible et la facilité d'extraction.
2. Dès lors qu'il est garanti de pouvoir disposer de terre en qualité et en quantité suffisantes, la mise en route d'une étude de faisabilité est indispensable. Elle doit comprendre une étude technique du projet incluant, au minimum, une analyse de terre, une description des meilleures techniques de production dans le contexte local, une description de l'équipement nécessaire, un calcul des coûts de production ; une étude de marché doit compléter l'étude technique ; elle doit inclure les données concernant la demande locale en matériaux de construction et les opportunités pour le BTC, la taille et la forme optimales pour les blocs et une indication du prix de vente maximum du BTC afin qu'il soit compétitif par rapport aux autres matériaux de construction.
3. Il faut vérifier que les normes et règlements locaux en matière de construction ne seront pas un obstacle à la production et l'utilisation du BTC.
4. L'étape suivante consiste à s'assurer de pouvoir disposer d'un capital suffisant pour couvrir les investissements de départ et le fonctionnement de l'unité de production durant les premiers mois.
5. Il faut ensuite passer la commande de l'équipement nécessaire et en même temps engager les travaux concernant l'aire de production et les quelques constructions nécessaires : réserve, bureau...
6. Pendant la mise en place de l'équipement, il faut organiser une session de formation aux techniques de production et à la gestion de l'activité. A ce stade, on effectue des tests de production.
7. Une fois que les tests de production ont permis de fixer les derniers paramètres, la production commerciale peut être engagée. Dès que la production commerciale a été lancée, les procédures de contrôle de qualité doivent être mises en application.
8. Avant même ou dès le lancement de l'activité, l'entrepreneur ou le responsable de la production doit se former en matière de comptabilité, de gestion et de commercialisation.
9. Le responsable de la production (ou un technicien qualifié) doit s'assurer que les blocs livrés soient mis en œuvre correctement et, si nécessaire, doit conseiller les utilisateurs.
10. Durant la période de lancement de son entreprise, un producteur avisé veillera toujours à maintenir un contact avec des partenaires de qui il peut attendre des conseils techniques ou commerciaux.

PROJET D'ENTREPRISE

La production de blocs de terre comprimée n'est pas seulement un acte technique ; c'est d'abord un projet d'entreprise. Une entreprise se caractérise par un investissement humain, matériel et financier. Monter le projet d'entreprise consiste à mobiliser ces moyens. Pour cela, l'entrepreneur doit surtout convaincre les partenaires susceptibles de lui fournir un soutien financier et technique. Une définition claire du projet de l'entrepreneur est indispensable avant d'entrer dans le montage proprement dit du projet.

MONTAGE DE PROJET

Une fois conclue la phase préliminaire, il est possible d'engager la phase suivante de montage du projet. Celle-ci consiste à décrire l'ensemble des moyens et méthodes à mettre en œuvre pour parvenir à produire et à commercialiser le volume de blocs déterminé durant la phase précédente. Pour cela, on établit successivement un dossier technique et un dossier financier qui couvrent chaque aspect du projet d'entreprise.



LANCEMENT D'UNE PRODUCTION

PARAMÈTRES

Lors de l'installation d'une briqueterie, un certain nombre de paramètres sont à prendre en considération aux différents stades de production. Le tableau présente de manière simplifiée, la liste de ces paramètres à ne pas négliger.

Installation de la briqueterie

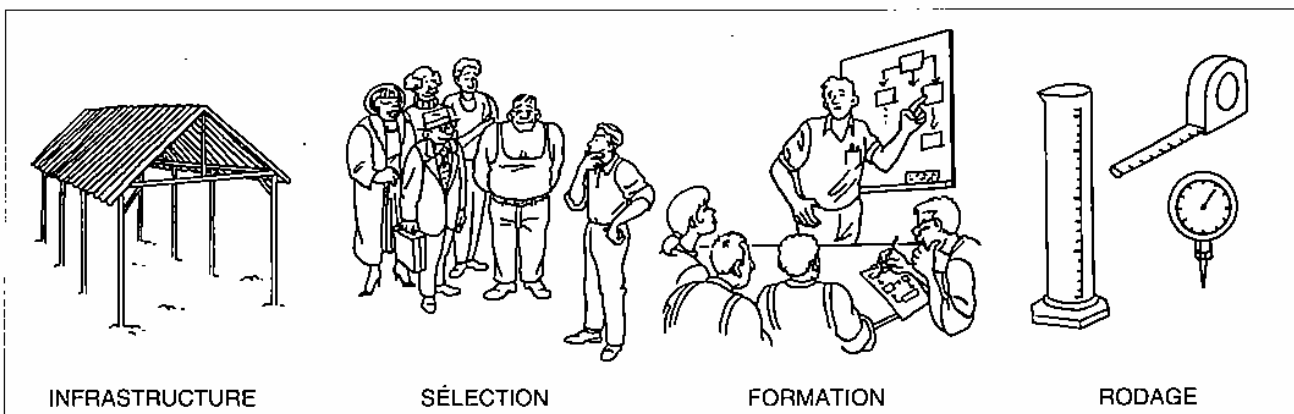
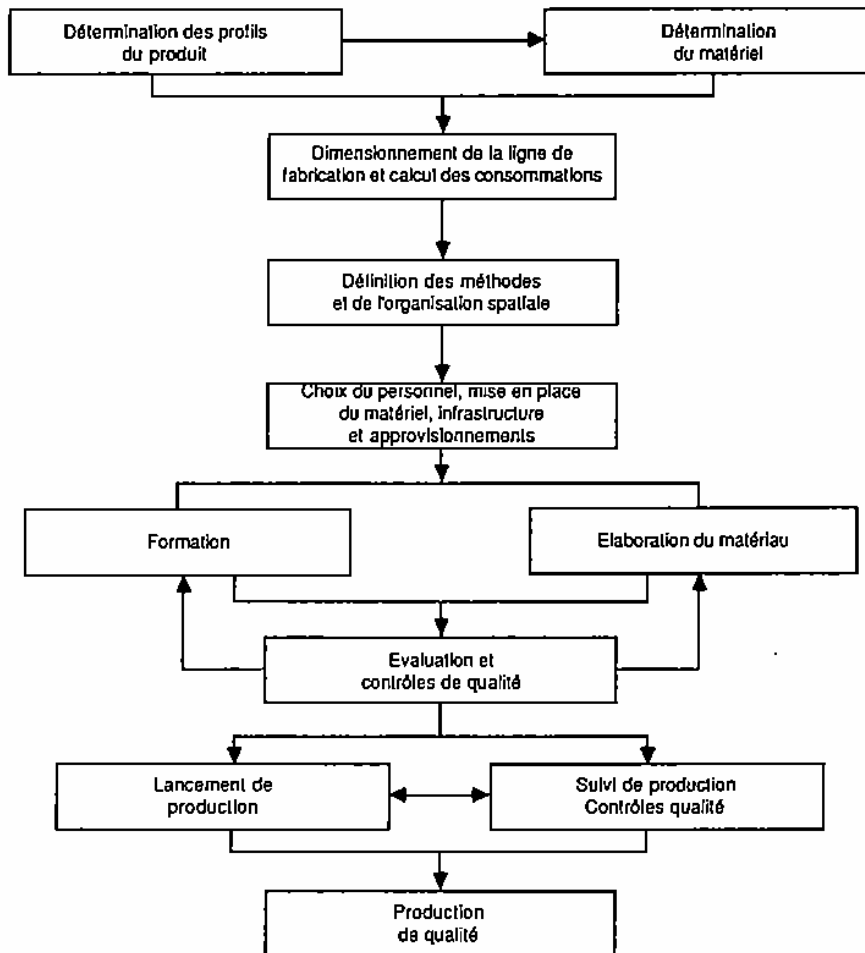
- Coût du terrain (distinguer achat et location et préciser la durée).
- Coût des infrastructures.
- Coût des bâtiments.
- Frais divers.

Préparation du matériau

- Extraction, chargement et transport de la terre (frais d'exploitation de carrière).
- Déchargement et criblage de la terre
- Chargement, transport et déchargement du rejet de criblage.
- Dosage, malaxage des matériaux constitutifs (terre/sable/stabilisation/eau).

Production des blocs

- Alimentation de la presse en matériau et pressage des blocs.
- Transport et stockage des blocs.
- Livraison des blocs sur chantier.



DÉVELOPPEMENT DU MATÉRIAU

ECONOMIE

L'amélioration de l'habitat est une composante d'une stratégie de développement. Il faut donc considérer les retombées sur l'économie locale. Ces effets se font aussi bien sur la réduction des importations que sur la création de petites entreprises avec création d'emplois et acquisition d'un savoir-faire.

D'une manière plus globale, il ne faut négliger ni la réduction de consommation d'énergie, ni l'émergence d'une modernité qui s'inscrit dans la continuité de traditions constructives.

NORMALISATION ET QUALITÉ

Bien souvent, on applique à la construction en terre des documents techniques prévus pour d'autres matériaux et qui, de ce fait, pénalisent le BTC. Il est donc impératif de pouvoir disposer de textes de références appropriés à ce mode de construction. La normalisation vise à encourager la qualité et crée donc une ouverture des marchés vers des clients rendus plus confiants par la crédibilité des producteurs et la fiabilité des matériaux.

FLEXIBILITÉ

La production de BTC est caractérisée par la flexibilité des conditions de création d'unités de production. La possibilité de faire des investissements progressifs, aussi bien sur le plan matériel que technique (formation, compétence), apporte une grande souplesse d'adaptation au contexte en modulant les moyens suivant les besoins et les contraintes du marché.

PARTENARIAT

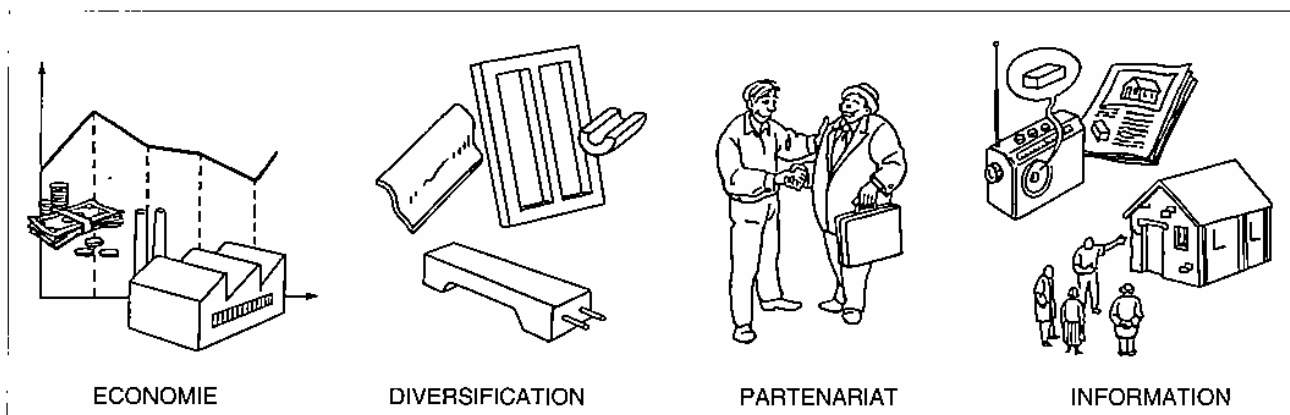
Dans une stratégie nationale de développement, il est souvent plus facile de mobiliser les capitaux pour le lancement de petites unités de production que de grandes usines de matériaux de construction. Les efforts des petits entrepreneurs sont, de ce fait, de plus en plus soutenus par des institutions nationales ou internationales, notamment en favorisant le partenariat avec des organismes techniques ou des constructeurs d'équipements. Ces partenaires peuvent apporter une assistance, non seulement sur les processus de production, mais aussi pour les études préparatoires, pour la commercialisation ou pour la gestion financière ou technique des unités de production.

INFORMATION

Il est indispensable de faire connaître le produit, ses performances et ses potentialités. Plusieurs moyens peuvent être envisagés : les produits doivent être décrits ainsi que leur coût et leur utilisation ou leur performance et contrôlés par des organismes techniques. Il faut aussi pouvoir montrer des constructions réalisées en BTC et rechercher des opportunités pour réaliser des chantiers démontrant une réelle amélioration de l'habitat existant.

DIVERSIFICATION

Il faut être prêt à envisager de nouvelles méthodes de production ainsi que la production de nouveaux produits, qu'ils soient en terre comprimée ou qu'il s'agisse d'éléments constructifs adaptés à la conception propre au BTC. Pour cela, il faut garder le contact avec les utilisateurs et les partenaires afin de rester à l'écoute de l'évolution des besoins et des techniques et pour offrir des services utiles (indications techniques de production et de mise en œuvre, coûts de production et de construction, etc.).



ARCHITECTURE EN TERRE

UNE TRÈS ANCIENNE TRADITION DE CONSTRUCTION

C'est dans la tradition millénaire de la brique de terre crue moulée - plus connue sous le nom de « adobe » - qu'il faut rechercher la lointaine origine de la technique du bloc de terre comprimée. La brique de terre crue demeure liée aux étapes historiques de l'évolution du genre humain. Associée à l'apparition d'une architecture et d'un urbanisme qui fondent l'existence de la révolution urbaine, la brique de terre crue amenait l'organisation sociale et économique de la production des matériaux de construction et de leur utilisation constructive. Cette utilisation, dont le rayonnement allait s'amplifier considérablement, libérait l'homme de matériaux et de techniques rudimentaires aux prouesses architecturales limitées. Une architecture d'habitat durable et de monuments existait, en Mésopotamie (actuel Irak), dans la vallée de l'Indus (Inde), le long du Huanghe (Chine) et du Nil (Egypte), principaux foyers des civilisations.

LA LOGIQUE D'UNE ÉVOLUTION HISTORIQUE

L'évolution récente vers le bloc de terre comprimée s'inscrit dans la logique des apports de la révolution industrielle qui amenait le développement significatif de la brique cuite.

L'exigence d'amélioration de la qualité des matériaux et de la durabilité des ouvrages associée à une meilleure productivité introduisait le compactage. La technologie des presses pour le BTC est directement héritée de l'industrie céramique ou silico-calcaire. C'est la nécessité d'économiser l'énergie et notamment celle de la cuisson, dans des périodes de pénurie (après la Seconde Guerre mondiale, puis la crise pétrolière), qui accélérèrent le développement du bloc de terre comprimée et favorisait l'ouverture de son application architecturale aux régions dont l'économie est trop grevée par les coûts énergétiques.

MODERNITÉ DE L'ARCHITECTURE EN BLOC DE TERRE COMPRIMÉE

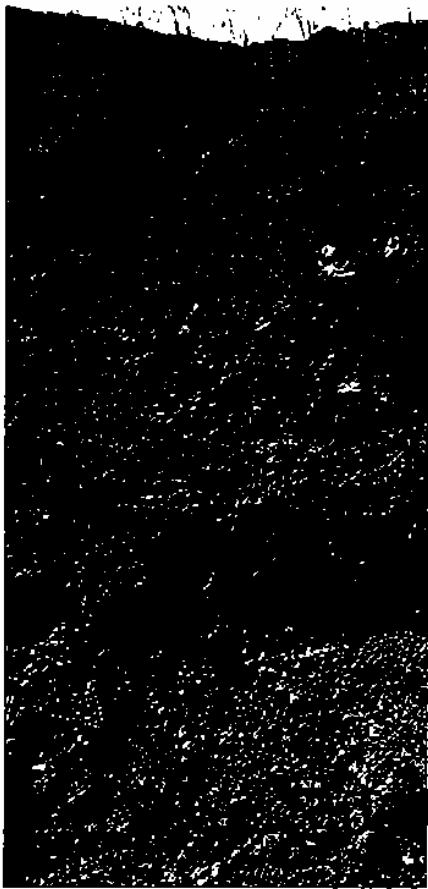
La modernité de l'architecture en BTC n'a rien à envier à la brique cuite comme en témoignent les réalisations contemporaines.

A Mayotte, île des Comores, un vaste programme de plusieurs milliers de logements et édifices publics (écoles, administrations) entrepris depuis dix ans, apporte les preuves irréfutables de cette modernité mais aussi de la beauté de l'architecture en BTC.

Prouver cette modernité, c'est construire dans les actes, c'est développer un marché pour une compétence d'entreprises, c'est diffuser une véritable culture constructive et architecturale dont l'évidence est donnée par un savoir-faire, c'est garantir des retombées sociales et économiques sur les populations et participer ainsi au développement des sociétés.



LA TERRE



Différentes carrières de terre



LA TERRE POUR CONSTRUIRE

GÉNÉRALITÉS

Le sol est la fraction solide de la sphère terrestre. A la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable, qui supporte les êtres vivants et leurs ouvrages et où poussent les végétaux. La terre est formée à partir d'une roche mère par des processus très lents de dégradation et par des mécanismes très complexes de migration de particules. Il en résulte une infinité de sortes de terres avec une variation illimitée de leurs caractéristiques.

La terre végétale ou sol des agronomes, riche en matière organique, surmonte la roche mère, plus ou moins altérée. Lorsqu'ils sont meubles et contiennent peu de matière organique, les niveaux superficiels sont utilisables pour la construction en terre.

COMPOSITION

Les sols sont constitués par des mélanges, en proportions variables, de quatre sortes d'éléments : les graviers, les sables, les silts et les argiles. Le comportement de chacun de ces éléments lui est spécifique et, par exemple, lorsqu'ils sont soumis à des variations d'humidité, certains changent de volume, d'autres non.

Les deux premiers éléments sont stables et les deux autres instables. Cette notion de stabilité, c'est-à-dire d'aptitude à supporter les alternances d'humidité et de sécheresse sans variations des propriétés, est fondamentale pour un matériau de construction.

a) **Les graviers** sont constitués de morceaux de roches plus ou moins dures dont la grosseur est comprise entre 2 et 20 mm environ. Ils sont un constituant stable du sol. Leurs propriétés mécaniques ne subissent aucune modification sensible en présence d'eau.

b) **Les sables** sont constitués de grains minéraux dont la grosseur est approximativement comprise entre 0,06 et 2 mm. Constituants stables du sol, ils ne possèdent pas, lorsqu'ils sont secs, de cohésion mais présentent une forte friction interne, c'est-à-dire une grande résistance mécanique de frottement aux déplacements relatifs des particules qui les composent. Légèrement humides, ils possèdent, par contre, une cohésion apparente, due à la tension superficielle de l'eau occupant les vides situés entre les grains.

c) **Les silts** constitués de grains dont la grosseur est comprise entre 0,002 (2μ) et 0,06 mm environ, possèdent peu de cohésion lorsqu'ils sont secs. Ayant une résistance au frottement généralement plus faible que celle des sables, ils montrent un certain degré de cohésion à l'état humide et peuvent, lorsque leur humidité varie, subir de sensibles variations de volume, de gonflement et de retrait.

Graviers, sables et, à un degré moindre, limons sont donc caractérisés par leur stabilité en présence d'eau. Secs, ils ne possèdent aucune cohésion et ne peuvent donc pas être utilisés seuls comme matériaux constitutifs d'un bâtiment.

d) **Les argiles**, qui constituent la fraction la plus fine des sols (moins de 2μ) ne possèdent pas du tout les mêmes caractéristiques que les autres granulats. La plupart des grains qui les constituent sont de petits minéraux argileux microscopiques parmi lesquels nous retiendrons les kaolinites, les illites et les montmorillonites. Les particules d'argile sont entourées par un film d'eau absorbée et la petitesse des grains fait que leur poids est faible devant les forces dues aux tensions superficielles développées au niveau du film d'eau absorbée. Les forces de volume sont faibles devant les forces de surface.

Le film d'eau absorbée très fortement adhérent aux feuillets forme des ponts entre les micro-particules du sol, ce qui donne à l'argile sa cohésion et l'essentiel de sa résistance mécanique. Il ne peut être éliminé que par une dessiccation poussée. L'argile donne au sol sa cohésion : elle agit comme une sorte de liant entre les éléments plus grossiers qui constituent le squelette.

Cependant, à l'inverse des sables et des graviers, les argiles sont instables, sensibles aux variations d'humidité. Elles possèdent une grande affinité pour l'eau et lorsque leur teneur en eau augmente, les films d'eau absorbée s'épaississent et le volume total apparent de l'argile augmente. Inversement, lors du retrait, au séchage, des fissures peuvent apparaître dans la masse de l'argile et affaiblir sa résistance. Lors d'une nouvelle période d'humidification, ces fentes offriront une voie de passage à l'eau jusqu'au cœur du matériau. Le «gonflement-retrait», variations de volume des sols argileux avec la teneur en eau, voilà l'ennemi !

Ce que nous avons dit jusqu'ici concerne des teneurs en eau inférieures à la «limite de liquidité» et pour lesquelles les argiles sont cohérentes. Pour des teneurs en eau élevées, les argiles acquièrent une consistance «liquide» et perdent toute cohésion.

EXPLOITATION

Les couches ou horizons exploitables sont rarement en surface (sauf dans des zones arides), en raison de la présence de trop nombreuses matières organiques. La profondeur de cette terre organique excède rarement 1 à 2 mètres. La terre exploitable est rarement en profondeur en raison de la présence de nombreux cailloux ou même de roche. La profondeur ou hauteur du sol exploitable est très variable, allant de quelques centimètres à plusieurs mètres.



PROPRIÉTÉS

GÉNÉRALITÉS

D'une terre à l'autre, les propriétés sont changeantes et dépendent de la nature et du mélange complexe des fractions granulaires qui les composent. C'est souvent la fraction granulaire dominante d'une terre qui caractérise ses propriétés fondamentales et régit son comportement.

On distingue d'une part des propriétés chimiques liées à la présence de sels, d'oxydes, de carbonates ou de sulfates et, d'autre part, des propriétés physiques nombreuses telles que la couleur, la stabilité structurale, l'adhérence, la masse volumique apparente, la teneur en eau, la porosité ou indice des vides, le pouvoir adsorbant, le potentiel et la diffusion capillaire, la perméabilité, le retrait linéaire, la résistance sèche et d'autres encore. La connaissance de ces propriétés chimiques et physiques permet de préciser la qualité et le comportement d'une terre pour la construction.

On observera cependant que la connaissance exhaustive des propriétés chimiques et physiques d'une terre n'est pas toujours nécessaire. Il convient en effet de bien connaître trois propriétés fondamentales qui sont :

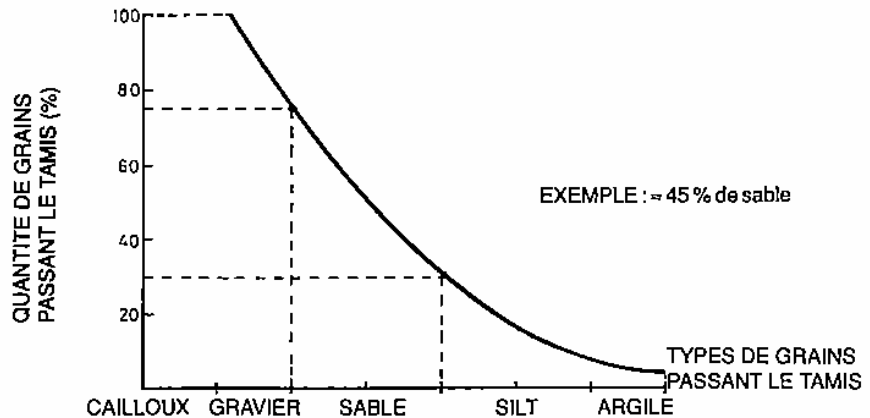
- la texture ou granularité de la terre qui correspond à la quantité centésimale en graviers, sables, silts ou limons et argiles ;
- la plasticité de la terre ou aptitude à être modelée ;
- la compressibilité de la terre ou potentialité à réduire au maximum ses vides donc, sa porosité.

TEXTURE OU GRANULARITÉ

Elle se mesure par analyse granulométrique pour les fractions de grains grossiers (graviers, sables, silts) et par analyse sédimentométrique pour les fractions fines argileuses.

Les éléments tels que les graviers et les sables sont les éléments résistants du matériau ; les argiles assurent la cohésion de l'ensemble et les silts ont une fonction intermédiaire, moins nette.

En définissant une courbe optimale, nous allons essayer de tirer parti au mieux des qualités des éléments du sol.



PLASTICITÉ

La plasticité définit la propriété de la terre à subir des déformations sans réaction élastique notable caractérisée par une fissuration ou une pulvérisation.

La plasticité d'une terre ainsi que les limites entre différents états de consistance sont déterminées par les mesures des limites d'Atterberg.

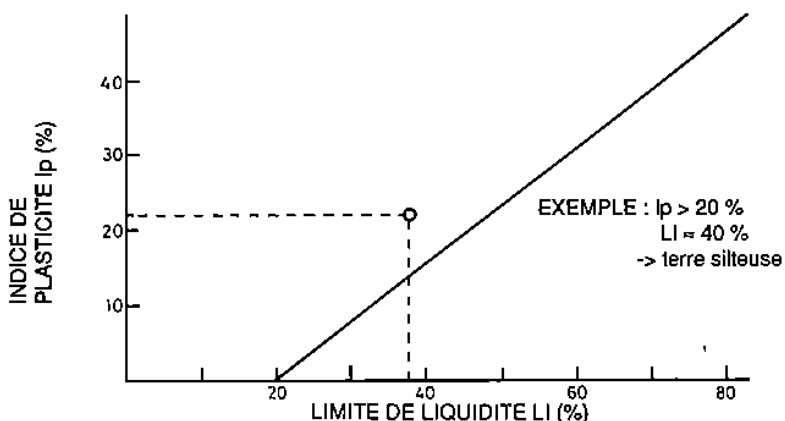
Elles s'effectuent sur la fraction « mortier fin » de la terre (\varnothing des particules $< 0,4$ mm). La quantité d'eau exprimée en pourcentage qui correspond à la limite de transition entre l'état de consistance fluide et l'état plastique est nommée limite de liquidité (LI). Entre l'état plastique et l'état solide, la transition est nommée limite de plasticité (Lp). A LI, le sol commence à manifester une certaine résistance au cisaillement. A Lp, la terre cesse d'être plastique et devient cassante.

L'indice de plasticité (Ip) égal à $LI - Lp$ précise la plage de comportement plastique de la terre.

La combinaison de LI et de Lp précise la sensibilité de la terre aux variations d'humidité. Les propriétés plastiques d'une terre sont représentées sur le diagramme de plasticité.

Exemples pour certains sols :

- sableux : Ip de 0 à 10, LI de 0 à 30 ;
- silteux : Ip de 5 à 25, LI de 20 à 50 ;
- argileux : $Ip > 20$, $LI > 40$.



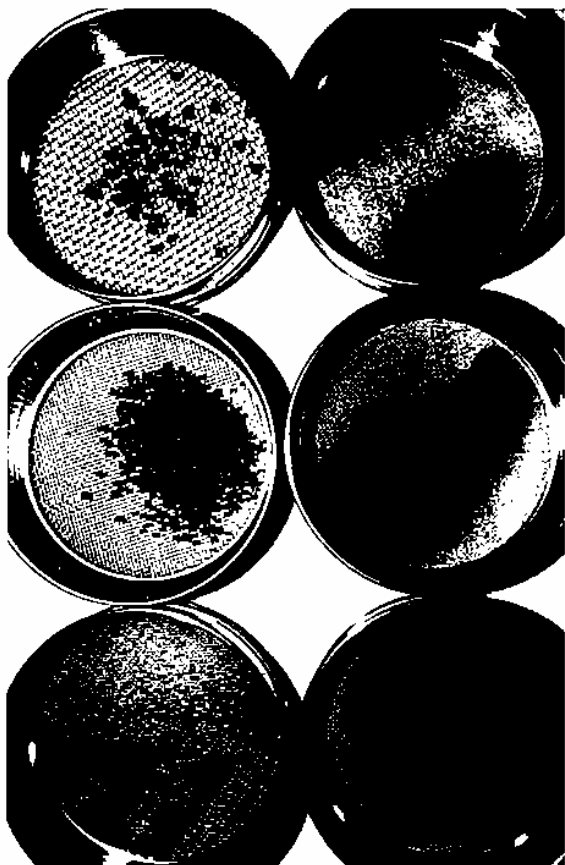
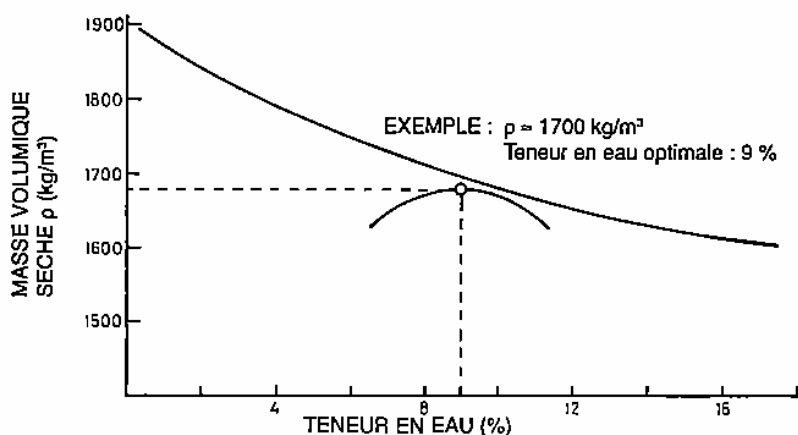
PROPRIÉTÉS

COMPRESSIBILITÉ

La compressibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser comprimer au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale ou TEO). Lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le matériau est comprimé et l'indice des vides décroît. Plus la densité d'une terre peut être augmentée, plus sa porosité sera bloquée et moins l'eau pourra y pénétrer. Cette propriété résulte de l'imbrication plus étroite des particules qui réduit les risques de perturbation de la structure sous l'action de l'eau.

La teneur en eau doit être suffisante pour permettre une lubrification des grains et leur permettre de se réarranger afin d'occuper le moins de place possible. Cette teneur en eau ne doit pas non plus être trop importante car les vides seraient remplis d'eau et, de ce fait, incompressibles.

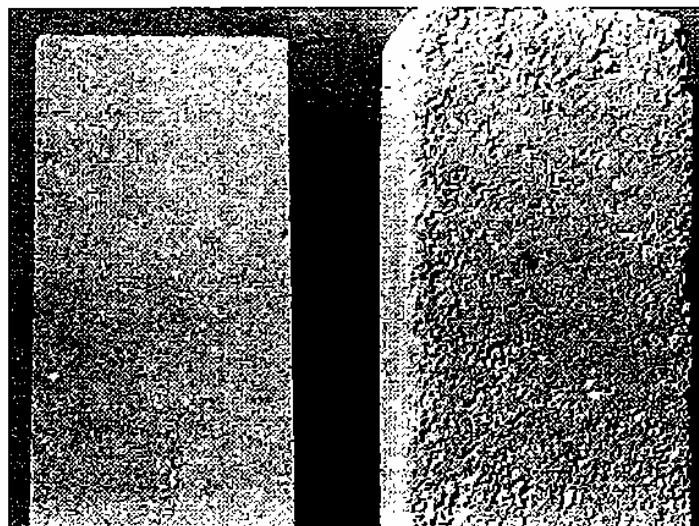
La compressibilité d'une terre est mesurée par l'essai Proctor (cf. p. 27). On la représente sur le diagramme de compressibilité où sont mis en relation la teneur en eau optimale et la densité sèche optimale, pour une énergie de compression donnée.



Granularité



Plasticité

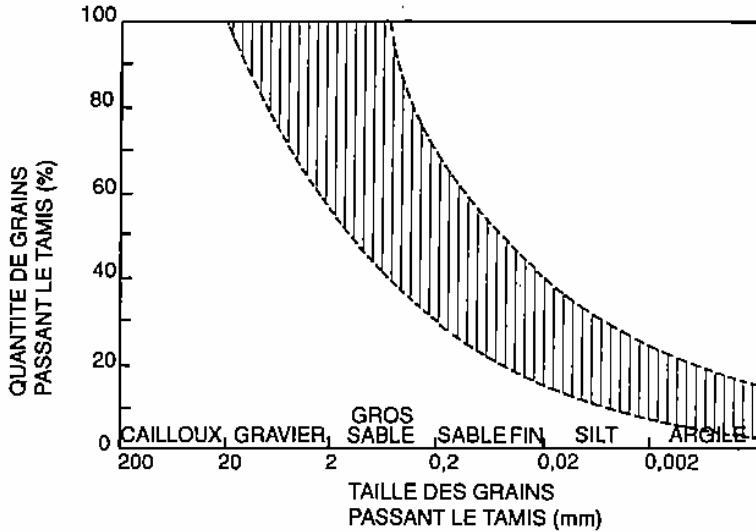


Compressibilité : compact ou poreux

SOLS TYPIQUES

MÉCANISME

Comme il a été vu, la terre est composée de matériaux inertes (graviers, sables, silts) et de matériaux actifs (argiles). Les premiers jouent un rôle de squelette et les seconds de liant, tel un ciment. La terre a donc une structure comparable à celle du béton avec un liant différent. Les proportions de chacun de ces éléments vont déterminer les comportements et propriétés des différents sols. Voici une courbe approximative représentant les types de sols recommandés pour la fabrication de blocs de terre comprimée. On constate que les proportions de chaque élément peuvent notablement varier et ce, en fonction des qualités de chacun d'eux qui peuvent passablement différer, particulièrement pour les argiles. La connaissance des proportions, qui se représente par une courbe granulométrique, est une indication importante mais rarement suffisante à la sélection d'un sol.



PROPORTIONS DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS

- Graviers : 0 à 40 %
- Sables : 25 à 80 %
- Silts : 10 à 25 %
- Argiles : 8 à 30 %

Il est généralement admis que beaucoup de terres qui ne s'inscrivent pas dans les zones recommandées peuvent donner quand même des résultats acceptables en pratique. Toutefois, les terres qui sont conformes donnent dans la plupart des cas, de bons résultats. Les zones indiquées sont destinées à guider l'utilisateur et non à être appliquées comme des spécifications rigides.

REPRÉSENTATION DES SOLS TYPIQUES

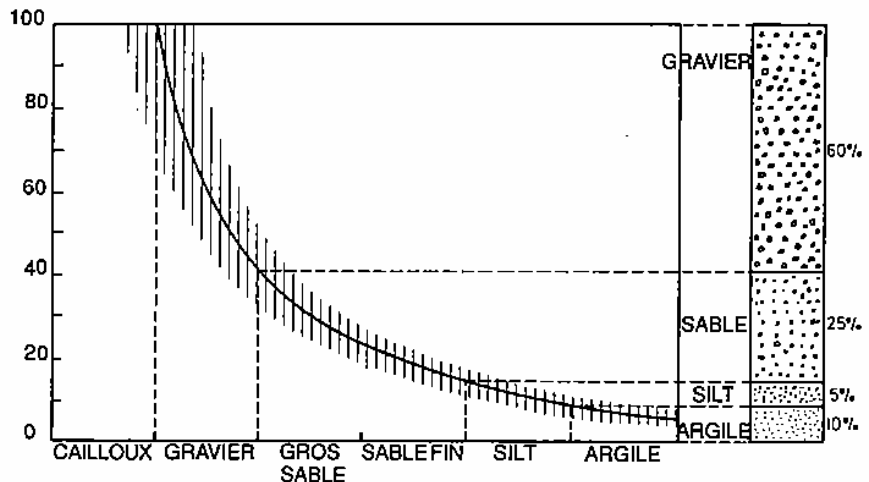
La texture influe sur les propriétés car chaque fraction de grains a des caractéristiques propres qui peuvent définir celles de la terre si celle-ci en contient en quantité suffisante. 8 % d'argile suffisent à donner une propriété de cohésion et de plasticité à la terre. 40 à 50 % de fines argileuses donnent une terre qui a les propriétés d'une argile.

Les proportions peuvent être très variables et de ce fait, on peut dire qu'il y a une infinité de terre ; on peut distinguer quatre grands types de texture.

Les descriptions de chacune des terres font référence aux interprétations des tests de terrain.

Terre graveleuse

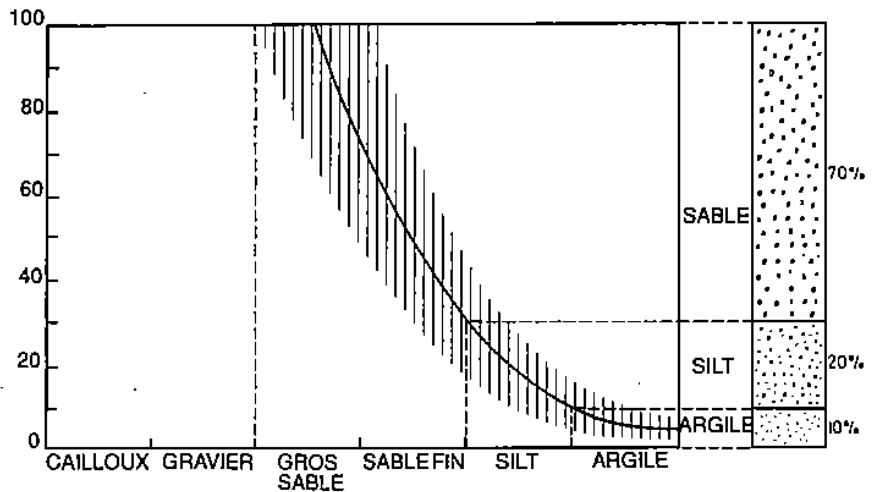
Description : texture très grenue, ne colle pas, peu de cohésion (cigares courts et pastilles friables), peu ou pas de retrait.



SOLS TYPIQUES

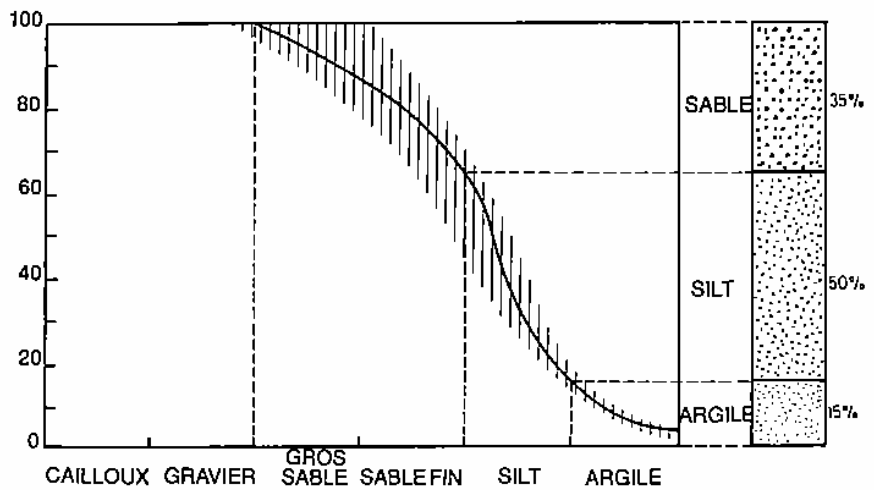
Terre sableuse

Description : texture grenue, ne colle pas, peu de cohésion (cigares courts et pastilles friables), peu ou pas de retrait.



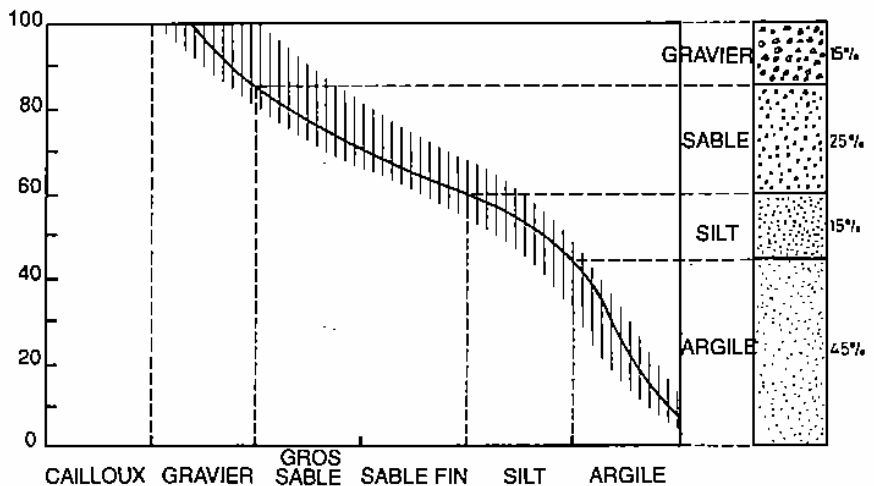
Terre silteuse

Description : texture fine, collante, cohésive (cigares longs et pastilles assez difficiles à casser), retrait assez important.



Terre argileuse

Description : texture très fine, très collante, très cohésive (très longs cigares et pastilles très difficiles à casser), retrait important.

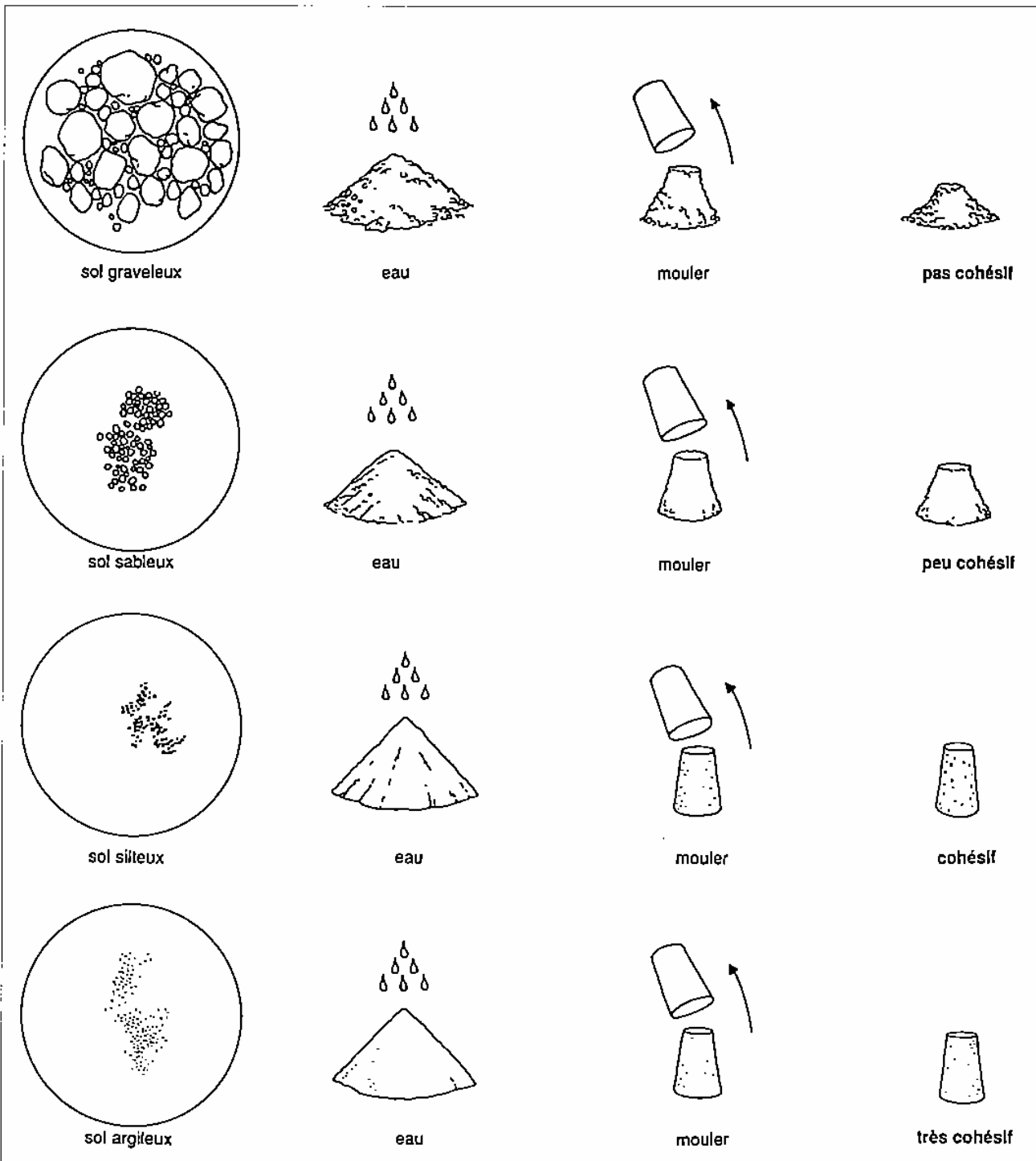


COMPORTEMENT DES SOLS À L'EAU

L'humidification d'un sol va accentuer ses réactions et ses propriétés. Avec l'eau vont intervenir des forces mécaniques dues à des phénomènes de capillarité. Plus les grains seront fins, plus ces forces de tension seront grandes et plus il y aura d'absorption.

De plus, avec les argiles (matériaux actifs), des forces électrostatiques qui interviendront donneront une grande cohésion et une grande plasticité.

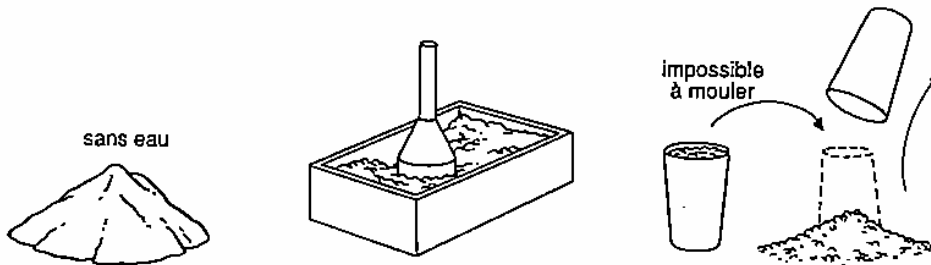
Mouiller un sol permet de déterminer sa capacité d'absorption, sa cohésion et sa plasticité. Des sols typiques vont ainsi avoir des comportements spécifiques.



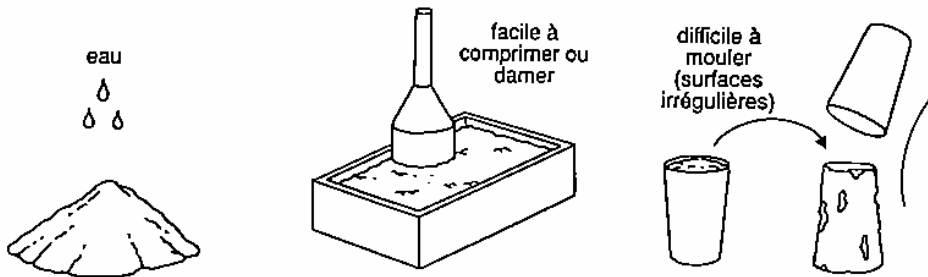
On peut aussi observer les moulages après séchage. Les moulages de sols graveleux, sableux et silteux auront perdu presque toute leur cohésion, contrairement au moulage argileux qui gardera une grande cohésion, même s'il s'est fissuré à cause de phénomènes de retrait.

ETATS HYDRIQUES D'UN SOL

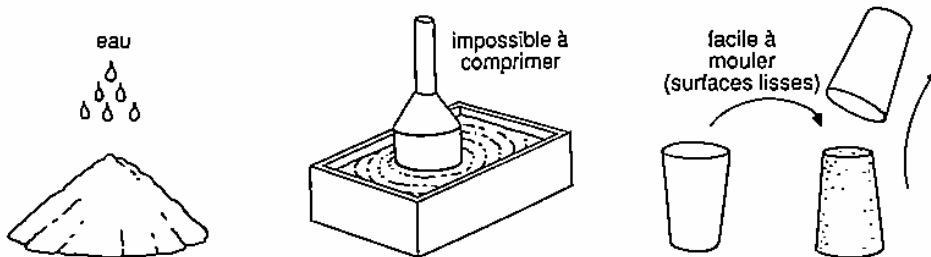
Un sol réagira très différemment selon la quantité d'eau qu'il aura absorbé. On distingue quatre grands états hydriques : sec, humide, plastique et liquide. A l'état hydrique d'un sol coïncidera un mode de mise en oeuvre adéquat. Ceux-ci dépendront de nombreux facteurs, liés aussi bien au type de terre et au système constructif qu'au contexte général (région aride ou non, traditions, savoir-faire, etc.).



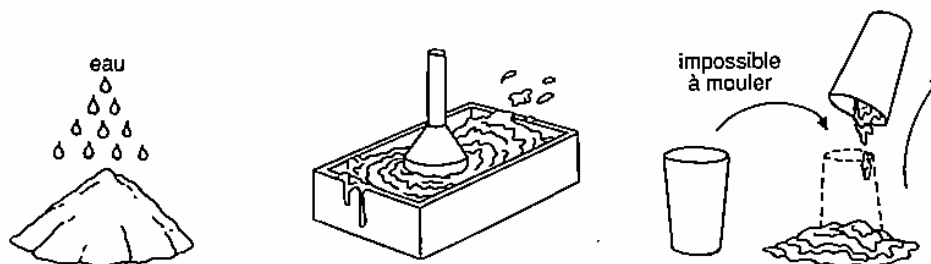
Lorsque la terre est sèche, il est impossible de la façonner ; on ne peut que la creuser ou la découper.



Lorsque la terre est humide, on ne peut la façonner ou la mouler sans qu'elle se casse mais on peut la comprimer ou la damer dans un moule.



Lorsque la terre est plastique, on peut la façonner ou la mouler mais on ne peut plus la comprimer à cause de l'excès d'eau incompressible.



Lorsque la terre est liquide, on ne peut que la couler car elle n'a plus assez de consistance pour être moulée.

PROSPECTION

RECHERCHE DE CARRIÈRE

Avant de travailler sur le terrain, il est souhaitable de collecter les informations existantes : cartes ou notices descriptives issues de travaux géologiques, pédologiques, topographiques, agronomiques ou routiers.

Il est souvent très utile d'interroger les gens du lieu qui pourront apporter des informations déterminantes surtout si l'habitat local est en terre indiquant l'existence de gisements exploités.

Bien souvent, la terre pour construire est recouverte de terre végétale ; il faut donc éviter de se lancer dans des prélèvements incontrôlés et se rappeler que la terre végétale, impropre à la construction, est souvent le seul moyen de subsistance des cultivateurs du lieu.

COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

Elle peut se faire par sondage ou par tranchée mais, le plus souvent, par une complémentarité des deux méthodes. On peut aussi repérer des coupes de terrains existantes (bordures de plateaux, de routes, ...). Les échantillons doivent être pris dans des couches homogènes qui seront choisies, suivant l'ampleur du projet, à «l'œil» ou suivant un échantillonnage statistique.

La quantité et le poids de l'échantillon vont dépendre du nombre d'essais à effectuer ; en principe 1 à 2 kg suffisent pour les essais de terrain. Pour la compressibilité (Proctor), il faut 6 à 10 kg et, si l'on veut faire un bloc standard (29,5 x 14 x 9 cm), il faudra environ 10 kg.

L'échantillon devra être représentatif ; il ne faut pas mélanger différentes terres ni chercher à faire une moyenne mais multiplier les échantillons. Les échantillons seront identifiés par une étiquette et accompagnés d'une fiche indiquant toutes les données utiles à l'identification (lieu de prélèvement, type d'utilisation, nom du préleveur, etc.).

EQUIPEMENT PROSPECTION

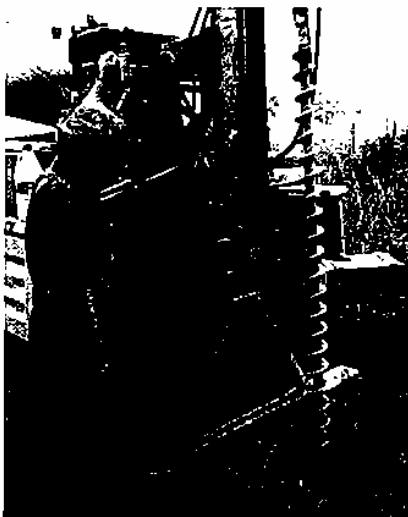
Pour creuser : l'équipement peut être manuel (pelle, pioche, bêche, tarière) ou mécanisé (machine de forage).

Certaines tarières permettent seulement de creuser mais d'autres forment elles-mêmes des carottes. Parfois, un petit marteau pointu (type géologue) ou un canif peuvent suffire lors d'un prélèvement en surface.

Conditionnement : les récipients doivent être résistants pour ne pas s'éventrer ; ils peuvent être en toile ou en plastique si l'on veut maintenir l'état hydrique d'origine. Dans tous les cas, on intégrera une étiquette facilement repérable et solide qui permettra de les identifier.



Tarière manuelle

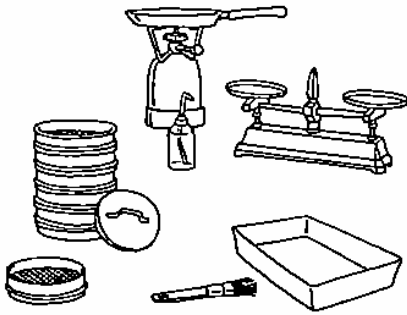


Tarière mécanique

IDENTIFICATION : TESTS DE LABORATOIRE

GRANULOMÉTRIE

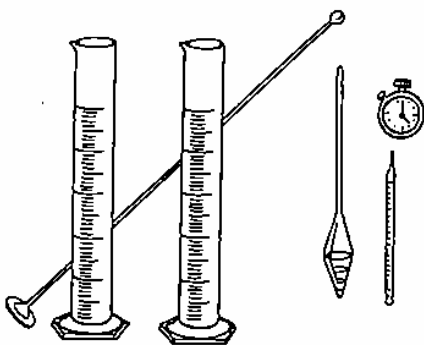
L'essai consiste à filtrer la terre à travers une série de tamis normalisés superposés par ordre décroissant (le plus fin en dessous) et à déterminer les fractions de grains retenues par chaque tamis.



Equipement pour granulométrie

SÉDIMENTOMÉTRIE

L'analyse granulométrique que l'on obtient par tamisage est incomplète. Si elle suffit pour la plupart des applications dans le domaine des travaux routiers, elle est insuffisante pour la construction en terre qui exige une analyse de la texture des fines avec un $\phi < 0,08$ mm. Cette analyse se fait par la sédimentométrie qui utilise la différence de vitesse de chute des particules d'une terre en suspension dans l'eau. Les particules les plus grosses se déposent en premier et les plus fines en dernier. On mesure régulièrement, dans le temps et à une hauteur donnée (diminution de la densité avec l'éclaircissement du liquide), la variation de la densité. La connaissance de la vitesse de chute des particules selon leur taille permet de calculer les proportions par les différentes grosseurs de grains.



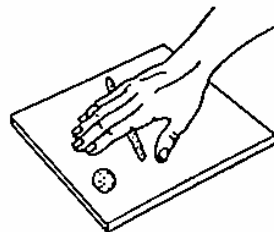
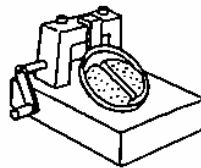
Equipement pour sédimentométrie

LIMITES D'ATTERBERG

Une terre peut avoir différents états de consistance. Elle peut être liquide, plastique ou solide. Le chercheur suédois Atterberg a défini ces différents états hydriques et les frontières qui les séparent par des limites et des indices exprimés en % pondéral de teneur en eau. On peut mesurer cinq limites :

- la limite de liquidité,
- la limite de plasticité,
- la limite de retrait,
- la limite d'absorption,
- la limite d'adhérence.

Les deux premières limites sont les principales et les trois autres, quoique intéressantes, sont peu utilisées. La détermination des limites d'Atterberg est pratiquée sur la fraction «mortier fin» de la terre qui passe à travers le tamis de 0,4 mm car ce sont les seuls éléments affectés par l'eau, modifiant sa consistance.



Equipement pour limites d'Atterberg

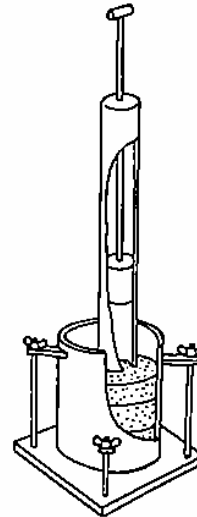
PROCTOR

Pour que le compactage d'une terre soit efficace, il doit être réalisé sur un matériau dont la teneur en eau assure une bonne lubrification des grains leur permettant ainsi de se réarranger entre eux pour occuper le moins de place possible.

En effet, si la teneur en eau est trop élevée, la terre risque de gonfler et la pression de l'engin de compactage sera alors amortie par l'eau qui ne peut être chassée d'entre les grains. A l'opposé, si la teneur en eau est trop faible, la lubrification des grains est insuffisante et la terre ne pourra pas être compactée à son volume minimal.

La teneur en eau optimale (TEO) à laquelle on obtient une densité sèche maximale est déterminée par l'essai Proctor (du

nom de l'entrepreneur américain qui l'a mis au point). Les résultats sont consignés sur un diagramme qui note en ordonnée la masse volumique sèche, ρ_d , exprimée en kg/m^3 et en abscisse la teneur en eau, L , exprimée en % pondéral. Les trois variables principales intervenant sur l'obtention de la masse volumique sèche maximale sont : la texture, l'état hydrique et l'énergie de compactage.

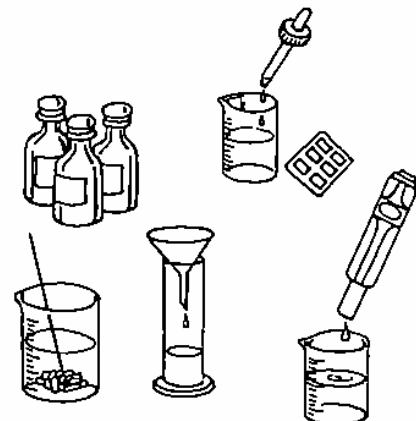


Equipement pour essai Proctor

ANALYSE CHIMIQUE

La présence de matières organiques et de sels solubles est néfaste, l'analyse peut être :

- quantitative en décelant la présence d'éléments et en les quantifiant (filtration ou spectrométrie). Ce type d'analyse nécessite un outillage sophistiqué qui la rend très coûteuse ;
- qualitative, en décelant seulement la présence d'éléments mais sans la quantifier. On recherche souvent les matières organiques, les sulfates et les chlorures. Ce type d'analyse est beaucoup plus simple et économique.



Equipement pour analyse chimique

IDENTIFICATION : TEST DE TERRAIN

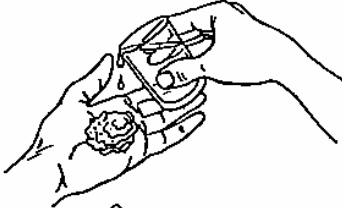
TOUCHER/ODEUR/LAVAGE

Procédure

1.



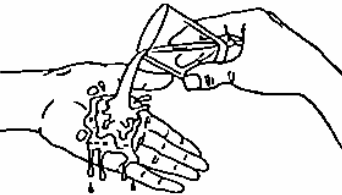
2.



3.



4.



Déroulement

1. On prend une petite quantité de terre dans la paume d'une main et on la frotte à sec afin d'observer sa texture.

2. On mouille un peu cette terre ; si elle commence à dégager une odeur, c'est qu'elle contient des matières organiques.

3. On frotte délicatement la terre mouillée, toujours pour observer sa texture.

4. On lave délicatement la paume de la main afin d'observer si la terre colle ou non.

Interprétation

Texture :

Une texture grossière sèche peut s'avérer être fine mouillée s'il s'agit de conglomérat d'argiles. Des sables, par contre, vont procurer une sensation abrasive ainsi que les silts dans une moindre mesure.

Lavage :

- si la terre ne colle pas et se lave facilement, le sol est graveleux et sableux ;
- si la terre colle et se lave difficilement, le sol est silteux ;
- si la terre colle beaucoup et se lave très difficilement (reste de coloration), le sol est argileux.

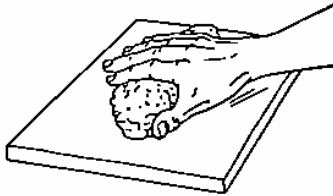
Une bonne terre doit contenir beaucoup de sable et un peu d'argile ; elle doit donc être assez facile à laver et procurer une sensation abrasive.

ESSAI DU CIGARE

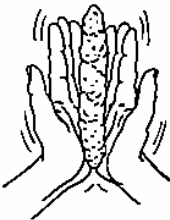
Procédure

1.

2.

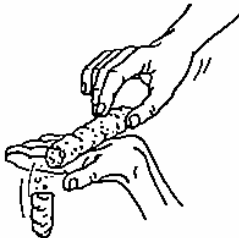


4.



5.

6.



Déroulement

1. Retirer les graviers de la terre.

2. Humidifier et bien malaxer de façon à obtenir une pâte bien homogène.

3. Laisser reposer cette pâte au moins 30 minutes ou plus si possible, afin qu'elle soit très homogène.

4. Rouler cette pâte entre les mains de façon à obtenir un cigare de 3 cm de diamètre.

5. Poser le cigare en travers de la paume de la main et le pousser lentement avec l'autre main.

6. Le cigare se casse. Mesurer la longueur du morceau qui est tombé.

7. Recommencer de même plusieurs fois.

Ce test permet d'observer la cohésion d'une terre et, donc avant tout, les quantités et la qualité d'argiles.

Interprétation

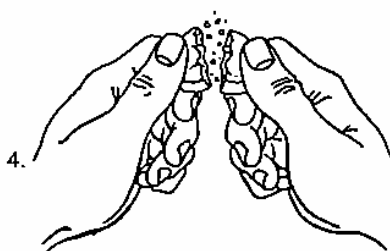
Faire la moyenne des longueurs :

- moins de 5 cm : la terre est trop sableuse,
- plus de 15 cm : la terre est trop argileuse,
- entre 5 et 15 cm : il s'agit d'une bonne terre.

IDENTIFICATION : TEST DE TERRAIN

ESSAI DE LA PASTILLE

Procédure



Déroulement

1. Procéder comme pour l'essai du cigare, retirer les graviers et bien malaxer afin d'obtenir une pâte homogène.
2. Mouler des pastilles d'environ 3 cm de diamètre et 1 cm d'épaisseur.
3. Après séchage, observer d'éventuels phénomènes de retrait par rapport au moule et/ou la présence de fissures.
4. Casser les pastilles afin d'observer leur résistance.

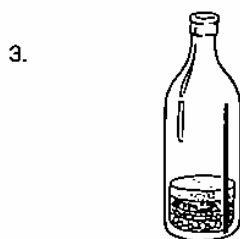
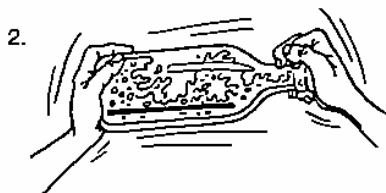
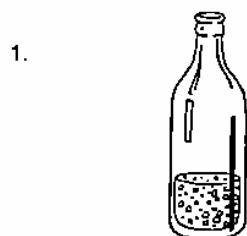
Interprétation

Retrait :
Si la pastille est fissurée ou nettement distante des parois du moule après séchage, la terre est trop argileuse.

Rupture :
- très difficile à casser et rupture avec un claquement : la terre est très argileuse ;
- difficile à casser mais sans trop d'effort et en arrivant à la réduire en poudre entre pouce et index : la terre est sableuse-argileuse, c'est une bonne terre ;
- très facile à casser et se réduit très facilement en poudre : la terre est sableuse ou silteuse.

ESSAI DE SÉDIMENTATION OU DE LA BOUTEILLE

Procédure



Déroulement

1. Dans un flacon cylindrique transparent d'au moins un 1/2 litre, on met environ un 1/4 de terre et 3/4 d'eau.
2. On agite bien le flacon en le bouchant avec la main.
3. On laisse reposer le flacon au moins 30 minutes puis on observe la sédimentation.

Interprétation

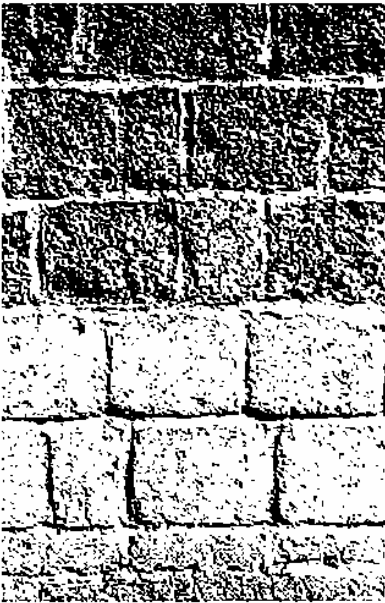
Les gros éléments (graviers) sont déposés au fond ; ils sont recouverts des sables eux-mêmes recouverts des silts et les argiles sont en haut.

On observe les épaisseurs de chaque couche et on obtient des proportions indicatives de chaque constituant. Ces valeurs sont approximatives ; en effet, les graviers ayant un fort taux de vide sembleront «très épais» comparés à des argiles ayant un faible taux de vide. On peut néanmoins observer si la terre est bien graduée (présence de tous les éléments) et si l'un d'eux n'est pas excessivement majoritaire.

STABILISATION



Divers systèmes de protection : conception (soubassement), stabilisation et échantillon témoin



Erosion d'un mur non stabilisé en soubassement



Mélange manuel de terre et ciment



Erosion des blocs non stabilisés

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

DÉFINITION

Stabiliser la terre, c'est lui donner des propriétés irréversibles face aux contraintes physiques. De nombreux paramètres interviennent dépendant autant de la conception des bâtiments que de la qualité du matériau, que de l'économie du projet ou que de la durabilité. Pour que la stabilisation soit un succès, le procédé employé doit être compatible avec ces divers impératifs.

PROBLÉMATIQUE

Si l'on construit en terre, deux grandes options de base se présentent.

- Le type de terre du site génère le mode constructif.

- Le mode constructif, prédéterminé, génère l'utilisation d'un type de terre.

Dans le premier cas, l'architecture, donc la conception, prend en compte le contexte du site et détermine des systèmes constructifs assurant la durabilité des bâtiments ; c'est l'architecture qui est le « stabilisant ». C'est la première voie qu'il faut préférer et exploiter.

Dans le deuxième cas, c'est la technique de fabrication, souvent étrangère au site, qui assure la durabilité des matériaux, plus ou moins indépendamment des systèmes constructifs, c'est le procédé et l'ajout de matière qui jouent le rôle de « stabilisant ».

Dans ce chapitre, on traitera le deuxième cas, soit l'amélioration de la terre par l'ajout de stabilisants (matières). A chaque variété de terre correspond le stabilisant approprié.

On dénombre à ce jour plus d'une centaine de produits employés pour la stabilisation de la terre à bâtir. Ces stabilisants peuvent être employés aussi bien dans la masse des murs que dans leur « peau » (dans les enduits par exemple). La stabilisation est pratiquée de très longue date mais malgré cela, la stabilisation n'est toujours pas une science exacte et l'on ne connaît pas à ce jour de stabilisant « miracle », parmi la multitude de possibilités, beaucoup ne devront même pas être envisagées à cause de leur inefficacité ou de leur coût prohibitif.

OBJECTIFS

On ne peut intervenir que sur deux caractéristiques de la terre elle-même : sa structure et sa texture.

On dispose de trois possibilités d'intervention sur la structure et la texture :

- réduire le volume des vides entre les particules : agir sur la porosité ;

- colmater les vides qui ne peuvent être supprimés : agir sur la perméabilité ;

- améliorer les liens entre les particules : agir sur la résistance mécanique.

Les principaux objectifs poursuivis sont :

- obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques : augmenter la résistance à la compression sèche et humide ;

- réduire la porosité et les variations de volume : gonflement-retrait à l'eau ;

- améliorer la résistance à l'érosion du vent et de la pluie : réduire l'abrasion de surface et imperméabiliser.

PROCÉDÉS

On dénombre trois procédés de stabilisation.

- Stabilisation mécanique : on modifie les propriétés de la terre en intervenant sur la structure ; c'est le compactage de la terre qui modifie sa densité, sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.

- Stabilisation physique : les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes.

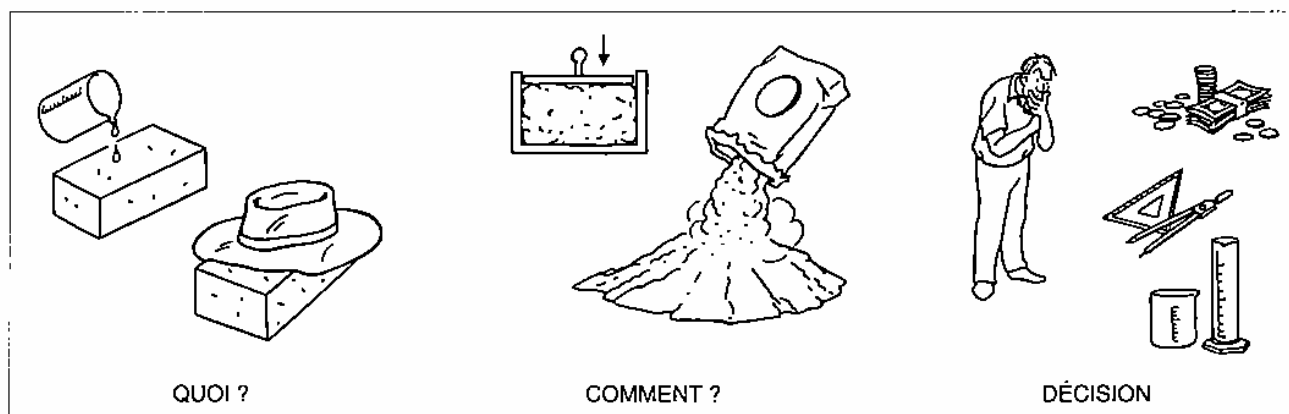
- Stabilisation chimique : la terre est ajoutée d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés.

QUAND STABILISER ?

Il existe une tendance actuelle à la stabilisation systématique mais la stabilisation n'est pas une obligation. On peut très bien s'en passer et bien construire en terre sans stabiliser. Les réalisations des bâtisseurs le prouvent. La stabilisation peut être à l'origine d'un surcoût important : de 30 à 50 % du prix de revient du matériau.

- Ne pas stabiliser lorsque le matériau n'est pas exposé à l'eau : murs protégés, murs enduits, murs intérieurs, architecture bien conçue en fonction de la logique du matériau terre.

- Stabiliser lorsque le matériau est exposé : architecture mal conçue négligeant les règles de l'art de bâtir en terre ou contraintes d'implantation : terrain humide, murs exposés aux pluies battantes, par exemple.



LES MOYENS ET LES STABILISANTS

DENSIFIER

Il y a deux manières différentes pour densifier :

- Soit en manipulant la terre mécaniquement de façon à évacuer un maximum d'air : en pétrissant et en comprimant la terre. La texture de la terre ne varie pas mais on change sa structure car on redistribue les grains. La terre n'est pas simplement comprimée dans son état original, elle est préalablement triturée pour la rendre plus homogène, puis comprimée.

- Soit en comblant un maximum de vides par d'autres grains. Pour opérer de cette deuxième façon, la texture doit être parfaite : le vide laissé entre chaque groupe de grains est comblé par un autre groupe de grains. Il s'agit d'une intervention directe sur la texture.

ARMER

Il s'agit d'introduire une armature dans la terre généralement constituée de fibres d'origine végétale (paille), animale (poils, bourre), minérale ou synthétique (fibres de synthèse). Ce moyen crée un réseau de fibres omnidirectionnel qui améliore la résistance à la traction et au cisaillement et contribue aussi à réduire le retrait.

ENCHAÎNER

Une matrice tridimensionnelle inerte et résistante est introduite dans la terre. Elle induit une consolidation par cimentation (création d'un squelette) qui enrobe les grains et s'oppose aux mouvements du matériau. Le stabilisant principal de ce type est le ciment portland ou certaines colles ou résines. Les principales réactions de consolidation ont lieu dans le stabilisant lui-même et entre le stabilisant et la fraction sableuse de la terre. On observe cependant des réactions secondaires entre le stabilisant et la fraction argileuse. L'argile agit sur l'efficacité de la stabilisation et peut modifier le comportement mécanique du matériau.

LIAISONNER

Dans ce cas, la matrice inerte introduite dans la terre inclut les argiles. On connaît deux mécanismes qui donnent le même résultat :

- Une matrice inerte est formée par les argiles : on utilise les charges négatives et positives des plaquettes argileuses ou leur composition chimique pour les lier entre elles par l'intermédiaire d'un

stabilisant qui joue le rôle de lien ou le rôle de catalyseur de cette liaison. Certains stabilisants chimiques agissent dans ce sens : quelques acides, polymères, flocculants...

- Une matrice inerte est formée avec les argiles. Un stabilisant réagit avec l'argile et forme un nouveau matériau insoluble et inerte par précipitation, une sorte de ciment : c'est une réaction pouzzolanique obtenue notamment avec la chaux.

C'est une réaction lente essentiellement dépendante de la quantité et de la qualité d'argile.

IMPERMÉABILISER

Ce mode de stabilisation contribue à réduire l'érosion à l'eau, le gonflement et le retrait aux cycles répétés de mouillage-séchage. On connaît deux possibilités d'imperméabilisation :

- Tous les vides, les pores, les fissures et micro-fissures sont remplis d'une matière insensible à l'eau. Le bitume est l'un des meilleurs produits agissant dans ce sens. Cette méthode de stabilisation convient particulièrement pour les terres sableuses qui présentent une bonne stabilité de leur volume et qui sont peu affectées par la présence d'eau. Elle est également utilisable pour les terres silteuses et argileuses réclamant une plus grande quantité de stabilisant du fait de leur surface spécifique plus importante.

- Une matrice est dispersée dans la terre qui, au moindre contact avec l'eau, va s'expanser et obturer les accès aux pores. C'est le cas de la bentonite.

HYDROFUGER

Dans ce cas, on modifie l'état de l'eau interstitiel et l'on réduit la sensibilité des plaquettes d'argile à l'eau. Ce moyen qui fait intervenir des produits chimiques (chlorure de calcium, acides, amines quaternaires ou résines) ou bien l'échange ionique contribue à éliminer au maximum l'absorption et l'adsorption d'eau.

LES STABILISANTS






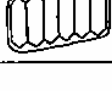
Sables et graviers : ils sont ajoutés lorsque la terre, souvent trop argileuse, n'est pas utilisable en son état brut. En corrigeant la texture, ils permettent de densifier.

Fibres : leur ajout pour armer la terre est très courant dans les adobes traditionnelles mais incompatible avec le processus de compression des BTC car il donne trop d'élasticité au mélange.

Bitume : il permet d'imperméabiliser mais il exige une distribution homogène qui réclame un procédé nécessitant beaucoup d'eau, comme les adobes.

Résines et produits chimiques : ils cumulent souvent plusieurs moyens de stabilisation. Leur efficacité est dans la plupart des cas dépendante de terres et de procédés très spécifiques demandant réflexion avant usage. Il faut tenir compte de leur disponibilité souvent précaire et de leur coût généralement élevé et variable.

Ciment et chaux : le ciment qui permet d'enchaîner et la chaux de liaisonner seront vus plus en détail ci-après.

MOYENS DE STABILISATION DES TERRES REMANIÉES		
MOYENS	PRINCIPE	SYMBOLE
DENSIFIER	CRÉER UN MILIEU DENSE QUI BLOQUE LES PORES ET LES CANAUX CAPILLAIRES	
ARMER	CRÉER UNE ARMATURE OMNI-DIRECTIONNELLE QUI RÉDUIT LE MOUVEMENT	
ENCHAÎNER	CRÉER UN SQUELETTE INERTE QUI S'OPPOSE A TOUT MOUVEMENT	
LIAISONNER	FORMER DES LIAISONS CHIMIQUES STABLES ENTRE LES CRISTAUX D'ARGILE	
IMPERMÉABILISER	ENTOURER LES GRAINS DE TERRE D'UN FILM IMPERMÉABLE ET BOUCHER LES PORES ET CANAUX	
HYDROFUGER	ÉLIMINER AU MAXIMUM L'ABSORPTION ET ADSORPTION D'EAU	

STABILISATION AU CIMENT

GÉNÉRALITÉS

Le ciment est sans doute l'un des meilleurs stabilisants pour le BTC. L'ajout de ciment, avant compactage, permet d'améliorer les caractéristiques du matériau, particulièrement sa résistance à l'eau, par l'irréversibilité des liens qu'il crée entre les particules les plus grosses. Le ciment va agir principalement sur les sables et graviers comme dans le béton ou dans un mortier sable-ciment. De ce fait, il est inutile, voire néfaste, d'utiliser des terres trop argileuses (> 20 %). Pour sa mise en oeuvre, il ne nécessite pas trop d'eau, ce qui correspond à l'état humide de compression des BTC.

EFFICACITÉ ET DOSAGE

En général, il faut au moins 5 à 6 % de ciment pour obtenir des résultats satisfaisants.

La résistance en compression reste très dépendante du dosage. Pour de faibles dosages (2 à 3 %), certaines terres se comportent moins bien que si elles ne sont pas stabilisées.

Pour des conditions locales similaires, l'économie en ciment d'un BTC par rapport à un parpaing n'est pas toujours garantie.

PARAMÈTRES D'EFFICACITÉ

Terre

Les meilleurs résultats sont obtenus avec des terres sableuses.

Terres latéritiques

La présence d'oxydes de fer a permis de constater une efficacité de la stabilisation avec peu de ciment, à cause de réactions pouzzolaniques ou d'effets d'induration.

Matières organiques

Une teneur en matières organiques constitue un risque.

Eau

Les eaux chargées en sels sont à éviter dans tous les cas.

Sulfates

Ils sont très néfastes.

EFFETS

Sur le matériau stabilisé

Une forte proportion de ciment, outre l'aspect économique, ne pourra améliorer une mauvaise terre. L'indice de plasticité doit être assez faible (I_p max : 15 à 20 %), ce qui illustre l'efficacité du ciment avec des terres plutôt sableuses.

Variations dimensionnelles : la stabilisation au ciment diminue l'importance du retrait et du gonflement.

MISE EN OEUVRE DE LA STABILISATION AU CIMENT

Noté : le détail des modes et moyens de transformation est traité dans le chapitre PRODUCTION.

Préparation

L'homogénéité du mélange est fondamentale. Il faut éviter les mottes ou nodules argileux. Il faut faire attention au tamisage sans préparation car, outre les cailloux et graviers, on risque d'enlever des mottes argileuses et de modifier ainsi les propriétés de la terre. Afin d'éviter que les mottes ne se reforment après désagrégation, la terre doit être sèche.

Mélange

Même si la terre est bien préparée, il faut garantir un mélange optimal sinon le ciment, généralement en faible quantité (4 à 8 %), sera mal réparti. Le mélange doit être fait en deux temps : mélange sec puis mélange humide. Le ciment commence à agir au contact de l'eau,

c'est pourquoi le mélange sec sera humidifié au dernier moment, avant compactage, afin de réduire au maximum le délai d'emploi (temps de retenue) qui influe beaucoup sur la qualité des blocs (voir courbe). La teneur en eau du mélange sera un peu plus faible que la TEO pour les terres sableuses et un peu plus forte pour les terres trop argileuses.

Cure

Deux facteurs déterminent les conditions de cure :

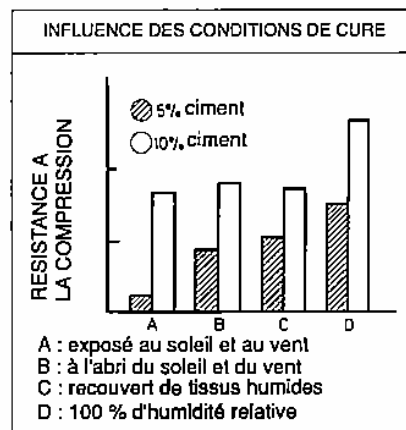
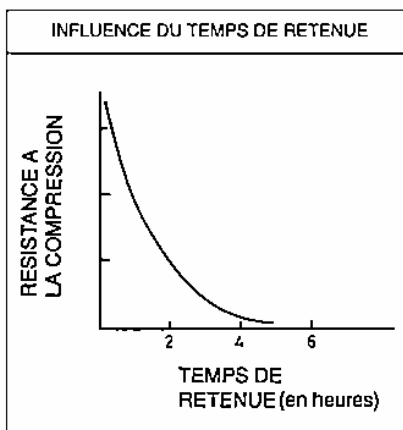
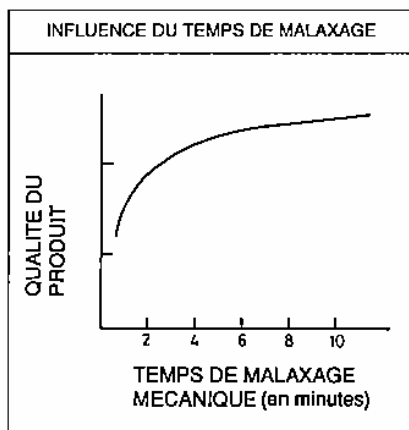
- le ciment doit être maintenu en ambiance humide pendant au moins 7 jours pour atteindre sa résistance maximale,
- l'argile a du retrait en séchant.

Il faut éviter un dessèchement de surface trop rapide qui provoquerait des fissures de retrait. Les blocs doivent être à l'abri du soleil et du vent et maintenus dans une humidité relative (H_r) proche de 100 % en les couvrant de feuilles plastiques étanches. Après 28 jours, la résistance du ciment ne croîtra plus de façon notable. Une température élevée va accroître la résistance ; elle peut être élevée grâce à des feuilles de plastique noir. Si le taux de stabilisation est inférieur à 3-4 %, il est inutile, voire néfaste de faire une cure humide ; par contre, le séchage à l'abri du vent et du soleil est indispensable environ 7 jours.

Exemples : par rapport à une cure de 14 jours à 100 % d'humidité relative des blocs, après 7 jours à 100 % H_r et 7 jours à 95 % H_r auront 25 % de moins en résistance. Des blocs, après 7 jours de cure à 40 °C auront une résistance 1,5 à 2 fois supérieure à des blocs après 7 jours à 20 °C.

Séchage

Après la cure, il faut permettre l'évaporation de l'eau ainsi que le retrait de la fraction argileuse. Pour éviter un retrait trop rapide, il faut réduire l'exposition au vent et au soleil. La période de séchage sera d'environ 14 jours.



STABILISATION À LA CHAUX

GÉNÉRALITÉS

La stabilisation de la terre à la chaux aérienne (vive ou éteinte) est couramment utilisée pour les travaux routiers mais principalement pour des routes temporaires. Elle a l'avantage de réagir très positivement avec les terres argileuses ayant des teneurs en eau relativement élevées, ce qui est souvent le cas des pistes d'accès de chantier, par exemple. La chaux va surtout créer des liens avec les argiles et presque pas avec les sables. Ce stabilisant est donc plutôt déconseillé pour la fabrication des BTC qui demande des teneurs en eau assez faibles et des terres plutôt sableuses. Elle ne sera envisagée que si la stabilisation au ciment est impossible. Les résultats avec la chaux sont meilleurs qu'avec le bitume ou des résines, etc. Les chaux hydrauliques ne seront pas abordées car elles se rapprochent du ciment.

EFFICACITÉ ET DOSAGE

2 à 3 % de chaux ajoutée provoquent immédiatement une diminution de la plasticité de la terre et un brisage des mottes. Pour des stabilisations ordinaires, on pratique en général des dosages de 6 à 12 % équivalents à ceux pratiqués avec le ciment, mais on notera que pour la chaux, il existe une quantité optimale pour chaque terre.

PARAMÈTRES D'EFFICACITÉ

Terre

Les meilleurs résultats sont obtenus avec des terres argileuses (20 à 40 % et même 70 %).

Matières organiques

Elles vont un peu réduire les effets de la stabilisation mais la chaux est capable d'en neutraliser une partie.

Sulfates

Ils sont néfastes et à éviter.

EFFETS

Plasticité

La terre devient moins plastique mais, étant donné l'association avec des terres argileuses ayant des indices de plasticité de 18 à 30 %, le mélange terre-chaux reste suffisamment plastique.

Compressibilité

La masse volumique sèche diminue et la TEO augmente, attestant d'une moindre sensibilité à l'eau.

Résistance à la compression

Elle va être très dépendante des dosages et aura tendance à croître avec le temps.

Variations dimensionnelles

La chaux, créant des liens avec les argiles, réduira le retrait et le gonflement.

MISE EN OEUVRE DE LA STABILISATION À LA CHAUX

Préparation

Cette opération est importante et doit être effectuée avec grand soin. Plus l'argile sera finement brisée, plus la chaux sera active. Une terre trop humide peut être asséchée et brisée avec de la chaux vive. La stabilisation sera efficace si au moins 50 % des agglomérats argileux sont broyés au $\phi < 5$ mm.

Mélange

Il devra être très soigné pour assurer un mélange intime de la terre et de la chaux. Pour les terres très plastiques on pourra procéder en deux étapes, espacées d'un à deux jours, qui permettront à la chaux d'ameublir les mottes ; ce procédé en deux étapes peut néanmoins réduire l'action de la chaux sur la résistance.

Temps de retenue

Si la mise en oeuvre se fait par voie humide, le mélange peut être laissé avantageusement au repos après le malaxage. On attendra au moins deux heures ; huit à seize heures sont préférables. Les résistances obtenues sont supérieures.

Si l'on procède par voie plastique, on a intérêt à laisser réagir le mélange de terre et de chaux vive ou éteinte pendant plusieurs semaines. C'est notamment le cas pour les enduits qui deviennent plus onctueux et collants.

Pressage

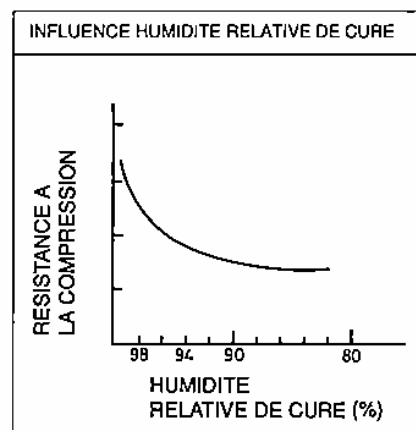
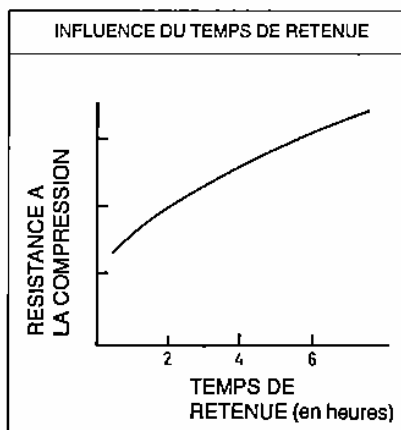
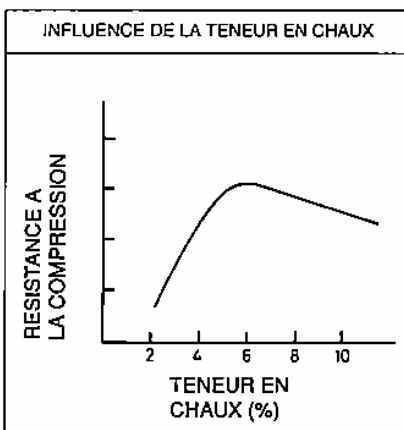
La masse volumique sèche est très sensible au compactage, surtout pour des dosages en chaux élevés. La réaction exothermique provoquée par la chaux vive consomme près de 1 % de teneur en eau par pourcentage de chaux vive ajoutée. On corrigera donc la teneur en eau pour approcher la TEO.

Cure et séchage

On constate une augmentation de la résistance à la compression avec l'allongement du délai de cure. Ce phénomène s'étend sur plusieurs semaines et persiste pendant de longs mois. La cure est de 6 mois mais les blocs peuvent être mis en oeuvre après 56 jours.

Les conditions de cure pour la chaux sont identiques à celles du ciment, à savoir, une ambiance chaude et humide. La cure humide bloque l'évaporation de l'eau libre à l'intérieur des blocs qui est indispensable pour les réactions de la chaux avec l'argile.

Une cure de séchage sous le soleil et sous un film de plastique permet l'élévation de la température et de l'humidité relative.



CALCUL DU DOSAGE DU STABILISANT

PRINCIPES (voir exemples de calcul p. 87)

Les calculs de dosage de stabilisant se font toujours avec des poids de matériaux secs. Le taux de stabilisation correspondant au pourcentage du poids de stabilisant par rapport au poids de la terre (éventuellement ajoutée de sable ou de gravier).

Sur le chantier, il est souvent difficile de mesurer le poids des matériaux, aussi doit-on les convertir en volumes.

Pour cela, il est indispensable de connaître la masse volumique foisonnée sèche (ρ) intervenant dans le mélange (cf. formule 1). Lorsque celle-ci (ρ) est connue, il est très facile de faire la conversion en volumes foisonnés secs (cf. formule 2).

$$\text{Formule 1. Masse volumique } \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{poids (kg)}}{\text{volume (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Formule 2. Volume (m}^3\text{)} = \frac{\text{poids (kg)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}}$$

CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE FOISONNÉE SÈCHE

Il faut sécher l'échantillon de matériau (terre, sable, ciment, etc.) et mesurer le poids d'un litre de cet échantillon. Si l'on ne dispose pas d'une balance précise (± 10 g), on mesurera une quantité plus importante (5, 10 litres...) afin de réduire l'imprécision de la mesure. Les valeurs en grammes/litre sont équivalentes à celles en kg/m^3 (cf. formule 1).

DOSAGE TERRE, SABLE OU GRAVIER

Il faut disposer de volumes doseurs connus (brouettes, seaux, etc.) pour faire des calculs précis. Les volumes de dosage seront des multiples des volumes doseurs.

CONVENTIONS DE NOTATION

- ρ_C : masse volumique apparente du ciment sec (kg/m^3)
- ρ_T : masse volumique apparente de la terre sèche (kg/m^3)
- ρ_S : masse volumique apparente de sable sec (kg/m^3)
- P_C : poids de ciment (kg)
- P_T : poids de terre (kg)
- P_S : poids de sable (kg)
- V_S : volume de sable sec (m^3)
- V_T : volume de terre sèche (m^3)
- C : pourcentage de ciment = taux de stabilisation (%)
- T : pourcentage de terre (%)
- S : pourcentage de sable (%)

METHODE DE CALCUL POUR UN MELANGE TERRE/CIMENT

Méthode 1

On cherche le poids de ciment après avoir déterminé le volume de terre et le taux de stabilisation (pourcentage de ciment) (cf. formule 3).

$$\text{Formule 3. } P_C = \frac{\rho_T \times V_T \times C}{100}$$

Méthode 2

On cherche le volume de terre après avoir déterminé le poids et le pourcentage de ciment (cf. formule 4).

$$\text{Formule 4. } V_T = \frac{P_C \times 100}{\rho_T \times C}$$

Il faut ensuite arrondir les résultats pour que les volumes puissent être mesurables à partir des volumes disponibles sur le chantier (brouettes, seaux, etc.), puis recalculer le taux de stabilisation en fonction de ces valeurs (cf. formule 5).

$$\text{Formule 5. } C = \frac{P_C \times 100}{V_T \times \rho_T}$$

METHODE DE CALCUL POUR UN MELANGE TERRE, SABLE (OU GRAVIER) ET CIMENT

Méthode 1

On cherche le poids de ciment après avoir déterminé les volumes de terre et de sable (ou gravier) et le taux de stabilisation (cf. formule 6).

$$\text{Formule 6. } P_C = \frac{[(\rho_T \times V_T) + (\rho_S \times V_S)] \times C}{100}$$

Méthode 2

On cherche le volume de terre et le volume de sable (ou gravier) après avoir déterminé le poids et le pourcentage de ciment et les pourcentages de terre et de sable (cf. formule 7 et 8).

$$\text{Formule 7. } V_T = \frac{P_C \times T}{\rho_T \times C}$$

$$\text{Formule 8. } V_S = \frac{P_C \times S}{\rho_S \times C}$$

Il faut arrondir les volumes de terre et de sable (ou gravier) à partir des volumes doseurs du chantier puis recalculer le taux de stabilisation (cf. formule 9).

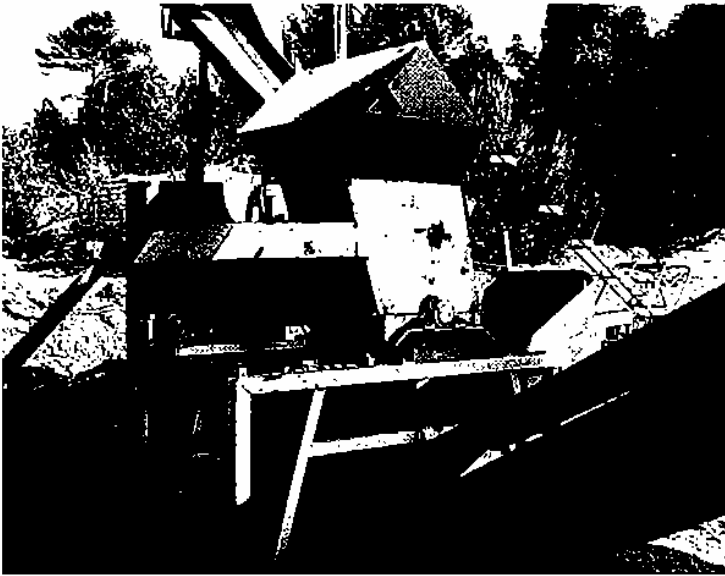
$$\text{Formule 9. } C = \frac{P_C \times 100}{(\rho_T \times V_T) + (\rho_S \times V_S)}$$

On peut ensuite calculer précisément les pourcentages de terre et de sable (ou gravier).

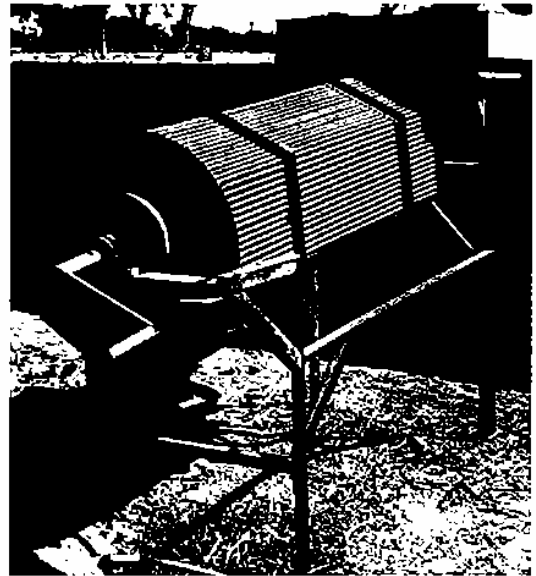
$$\text{Formule 10. } T = \frac{\rho_T \times V_T}{(\rho_T \times V_T) + (\rho_S \times V_S)}$$

$$\text{Formule 11. } S = \frac{\rho_S \times V_S}{(\rho_T \times V_T) + (\rho_S \times V_S)}$$

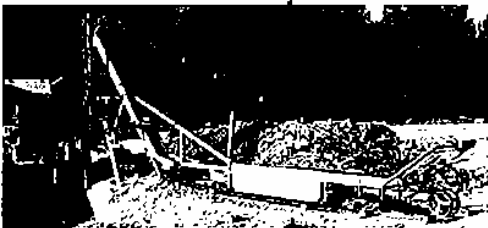
ÉQUIPEMENTS



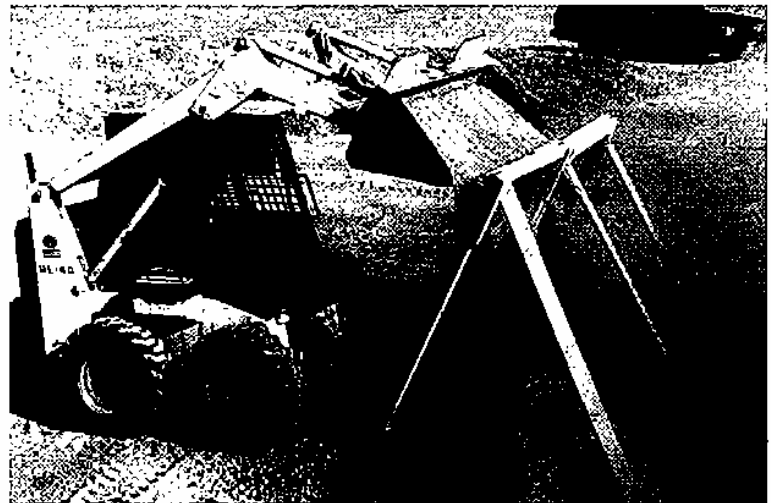
Crible-broyeur



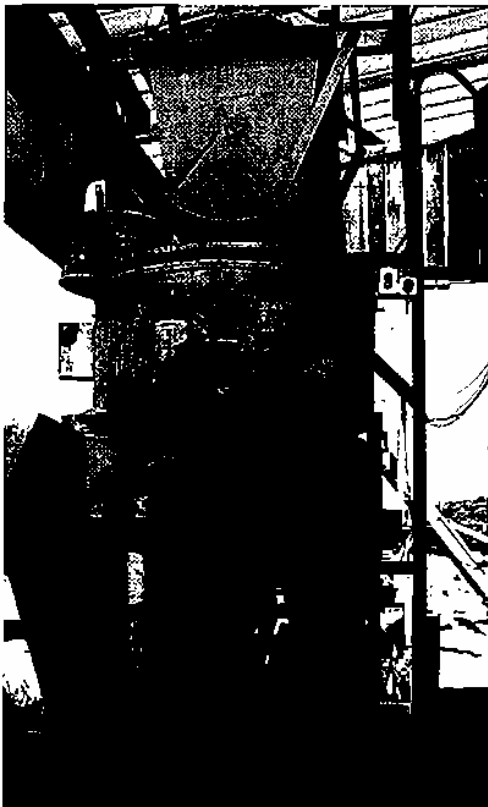
Tamis manuel rotatif



Excavateur à godets



Pelleteuse-chargeuse et tamis fixe



Doseur, malaxeur et trémie doseuse



Malaxeur et presse

CRITÈRES DE SÉLECTION

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Le choix de machines et d'équipements est large. La qualité des équipements est importante mais la qualité de la terre reste primordiale.

CRITÈRES GÉNÉRAUX

Conception

Les possibilités d'organisation spatiale des équipements influent sur la productivité : flexibilité, capacité à être combinés et degré d'intégration dans une ligne de production.

Les conditions de travail, doivent être prises en compte.

Les dispositifs de sécurité doivent être prévus, par exemple des protections contre les projections de matériaux, les marquages des endroits dangereux, des fusibles ou des arrêts d'urgence pour les machines automatiques.

L'entretien est indispensable ; il ne doit pas être excessif. Des machines sophistiquées peuvent avoir une grande productivité mais si leur temps d'entretien est trop important, les rendements vont baisser. Les pièces détachées, si leur usure est rapide, doivent être accessibles (prix et livraisons) ou facilement réparables localement.

Constructeur

Il faut savoir si, le constructeur a une expérience du commerce international et un réseau de distribution ; cela peut influencer beaucoup sur les délais de livraison (machines et pièces) ainsi que, en cas de problèmes, sur la maintenance. Les constructeurs doivent être capables de faire visiter leur atelier et de donner des adresses de briqueteries où leur matériel est utilisé, comme référence sur leurs produits, mais aussi afin d'encourager les échanges d'expériences entre utilisateurs

Conditions d'achat

- **Les prix** : les indications de prix données dans les catalogues ou par les factures proforma doivent être analysées.

Trois types de prix les plus rencontrés : les prix usines (EXW) c'est le prix de la machine à la sortie de l'usine sans emballage, ni transport, les prix franco à bord (FOB) qui comprennent l'emballage, le transport et l'assurance jusqu'à la sortie du pays de départ (vendeur) auxquels il faut ajouter le transport et l'assurance jusqu'au pays de destination et les prix du coût assurance fret (CIF) qui comprennent tout jusqu'au pays de destination, hormis les taxes locales.

Les prix FOB ou CIF peuvent parfois être artificiellement majorés pour compenser une remise consentie sur le prix usine.

- **Les frais** : il faut tenir compte des frais bancaires (lettres de crédit, commissions de change ou de virement) et des frais d'intermédiaires. Il doit être précisé qui, du vendeur ou de l'acheteur, va les prendre en charge. Une lettre de crédit prise par le vendeur et qu'il est dans l'obligation de facturer coûte environ 5 % du prix CIF. De plus, celle que prend l'acheteur coûtera environ 5 à 7 %. Les lettres de crédit dans les «pays difficiles» peuvent aller jusqu'à 14 %. Les intermédiaires, s'ils transfèrent une lettre de crédit de l'acheteur au vendeur, vont demander, au minimum, 10 à 12 %. Ils vont aussi exiger une commission minimum de 15 %. Tous ces frais peuvent majorer le prix CIF de 25 à 30 %.

- **Les contrats** : il est recommandé d'inclure une clause de pénalité pour les retards de livraison. Dans le cas d'un contrat service après vente, les délais de réparation et de maintenance doivent être stipulés. Il faut exiger la remise d'un manuel détaillé incluant les spécifications des pièces, le plan d'entretien et sa fréquence avec les opérations nécessaires.

CONTRAINTES

Budget disponible

S'il est restreint, le choix sera considérablement limité.

Productivité

Elle dépend du marché prévu. Il peut être plus intéressant de prévoir des extensions que de démarrer trop haut.

Poids et mobilité

Ils sont déterminants si l'on doit souvent changer de site de production.

Energie

La disponibilité d'une énergie peut être un plus gros obstacle que son coût.

Entretien

Si l'on ne dispose pas de personnel qualifié et de pièces, il faut choisir des machines d'entretien simple.

CRITÈRES SPÉCIFIQUES

Matériels de préparation

Ils ne sont pas forcément indispensables mais ils vont améliorer la qualité des produits. Leur achat peut être rentable si on peut baisser le taux de stabilisation. Le type de terre sera déterminant pour le choix de la préparation (broyeur, désagrégateur, cribles) mais le sera moins pour le choix du malaxeur.

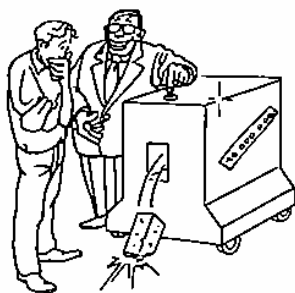
Presses

Ce sont elles qui dimensionnent la productivité de l'unité de production. On relèvera particulièrement : l'influence de l'étude de marché (productivité, types de produits), le budget disponible et l'équipe de production (coût et spécialisation de la main-d'œuvre).

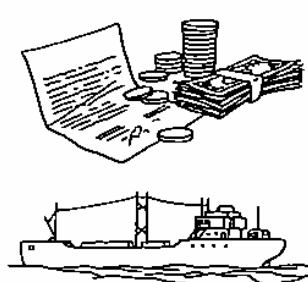
Les critères techniques seront développés plus loin.



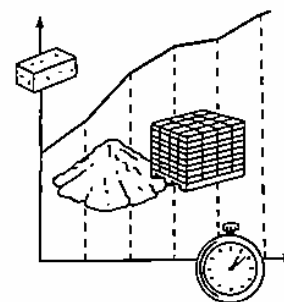
CONCEPTION



CONSTRUCTEUR



CONDITIONS D'ACHAT



PRODUCTIVITÉ ET PRODUITS

PRODUITS

MOULES ET PRODUITS

Le tableau ci-dessous illustre la variété des formes que peuvent avoir les BTC.

En principe, ils sont produits avec des moules spécifiques à chacune des formes mais il est aussi possible d'intégrer des empreintes à un moule donné qui vont modifier sa forme (voir chap. PRODUCTION : moule blocs spéciaux).

Une grande variété va nécessiter des moules interchangeable, ce qui n'est pas toujours possible sur toutes les machines.

DIVERSIFICATION DES PRODUITS

Il est intéressant de produire plusieurs types de blocs à condition qu'on en fasse usage. La diversification doit se baser sur une bonne connaissance du contexte (marché, systèmes constructifs, besoins, etc.).

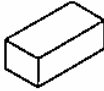

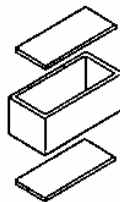
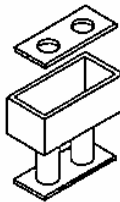
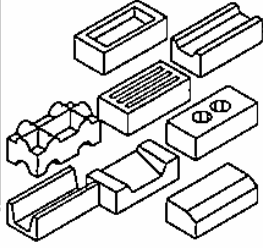
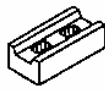
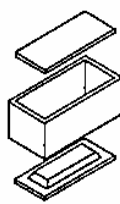
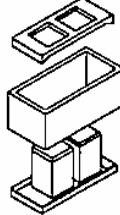
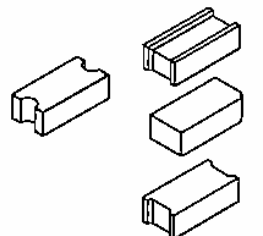
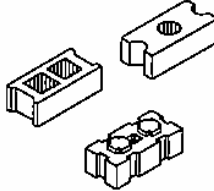
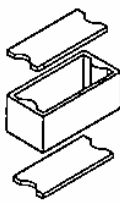
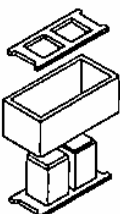
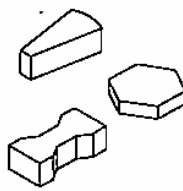

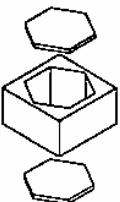
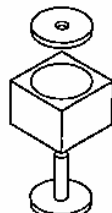
DÉTERMINATION DES FORMES

Les dimensions des blocs sont déterminées par :

- son poids qui doit permettre une manipulation aisée (10 kg maximum) ;

- la force de compression qui lui est applicable (si la hauteur du bloc est trop grande, la compression ne sera pas homogène) ;

- les contraintes d'appareillage : les rapports de longueur (L) et de largeur (l) seront déterminés par le type d'appareillage des blocs (boulisse, panneresse et épaisseur des joints. Afin d'éviter les découpes de blocs, il est intéressant de disposer de sous-multiples de bloc standard (bloc 3/4 et 1/2). Pour les évidements, en plus des contraintes ci-dessus, les systèmes constructifs vont être déterminants.

		LES 8 TYPES DE BTC		LES 8 TYPES DE MOULES	
		PLEIN	PERFORÉ	PLEIN	PERFORÉ
RECTANGULAIRE	SIMPLE				
	A RELIEF HORIZONTAL				
	A RELIEF HORIZONTAL ET VERTICAL				
NON RECTANGULAIRE					

UTILISATIONS

CHAMPS D'UTILISATION

Il convient d'étudier les systèmes constructifs afin de ne pas se lancer dans une production aveugle.

Maçonnerie porteuse et maçonnerie renforcée

Il s'agit d'appareillages classiques de blocs pleins standards (le plus fréquent) dont les dimensions sont les suivantes : longueur $L = 29,5$ cm, largeur $l = 14$ cm et hauteur $h = 9$ cm.

Pour réaliser une maçonnerie correcte, il est intéressant d'avoir des blocs dont la longueur varie. Ainsi on utilise couramment les blocs 3/4 ($L = 21,75$ cm) et le bloc 1/2 ($L = 14$ cm). On peut avoir aussi des variations de la largeur des blocs pour obtenir des épaisseurs de murs comprises entre 14 et 29,5 cm.

On peut ajouter des variations de volume : évidements horizontaux pour le passage de gaines ou de chaînages dans les murs ou évidements verticaux (perforation) pour alléger les blocs et/ou pour le passage de gaines ou d'armatures verticales (régions sismiques). On ne doit pas négliger les

pertes de résistance dues aux perforations et à leur remplissage (partiel ou non) par du mortier, lequel doit être généralement plus stabilisé que les blocs, d'où un possible coût global (blocs + mortier) de stabilisant plus élevé.

Il peut être intéressant d'utiliser des blocs chanfreinés (droits ou arrondis) par évidement vertical qui permettent d'éviter les effritements aux angles des murs.

Maçonnerie de remplissage

Les conditions sont à peu près identiques à la maçonnerie porteuse, hormis les contraintes de résistance beaucoup plus faibles puisque les blocs ne sont pas porteurs. Dans ce cas, il peut être intéressant d'utiliser des blocs creux (perforations verticales).

Applications particulières

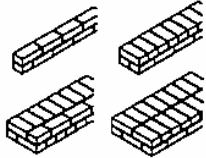
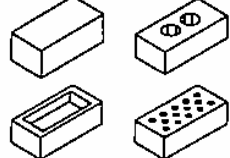
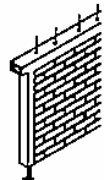
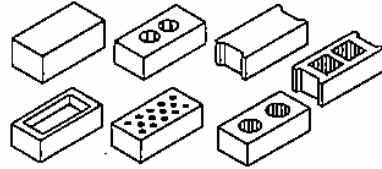
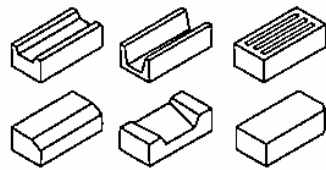
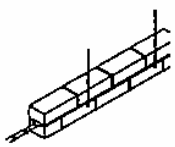
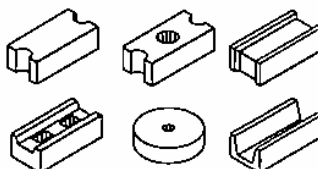
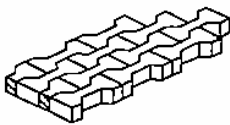

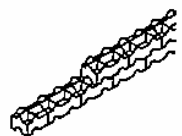

Les blocs sont utilisés comme parements de sols ou de murs, décorations, claustras, systèmes à emboîtement, etc. Ces systèmes constructifs sont assez exceptionnels et nécessitent des études préalables (technique et marché).

ÉLÉMENTS DE CHOIX

Une fois les principaux systèmes constructifs déterminés, on peut évaluer les principaux types de blocs indispensables. En règle générale, voici l'ordre approximatif des priorités : variations dimensionnelles pour faciliter les appareillages, évidements horizontaux (gaines et chaînages), évidements verticaux (dans les régions sismiques, ils sont indispensables) puis viennent les blocs non rectangulaires dont la fabrication dépend plus de critères commerciaux que constructifs.

Les évidements horizontaux sont faciles à réaliser avec des empreintes sans changement de moule. Les variations dimensionnelles sont envisageables par empreintes mais le changement de moule est préférable. Pour les perforations verticales, des moules spécifiques sont nécessaires.

Lors du choix de la presse, on pourra donc déterminer sur ces bases la possibilité d'adapter d'autres moules ou non (degré d'interchangeabilité).

TYPE DE TRAVAUX		TYPE DE BLOCS
MAÇONNERIE PORTEUSE TRAVAUX COURANTS		
MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE		
TRAVAUX PARTICULIERS	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilation - Passage de câble - Chanfrein - Décoration - Arcs et voûtes appareillés - Chaînage 	
MAÇONNERIE ARMÉE		
SYSTEME CONSTRUCTIF PARTICULIER pose par juxtaposition		
SYSTEME CONSTRUCTIF PARTICULIER pose à sec pose par emboîtement		

CHOIX DE PRESSE

CRITÈRES TECHNIQUES

Energie

Manuelle : elle va dépendre du poids, de la force et de l'endurance de l'opérateur. De ce fait, on observe souvent des différences au fil des heures dans la qualité des produits.

Motorisée : l'irrégularité est notablement diminuée et les forces développées plus importantes. Le moteur doit être facilement accessible. Pour les unités de production où le moteur alimente différents postes interdépendants, l'accessibilité et les réparations sont souvent très délicates.

Transmissions : il existe de nombreux mécanismes mais on distingue deux principaux groupes : les systèmes mécaniques et les systèmes hydrauliques. Les machines à systèmes mécaniques sont en général assez simples mais plutôt lourdes sauf si l'on utilise des alliages spéciaux (ils ont l'inconvénient d'être rares dans certains contextes). Les systèmes hydrauliques sont sensibles à l'environnement (poussière et température). Dans des conditions difficiles, le fluide hydraulique doit être changé fréquemment (tous les mois) et les machines équipées de systèmes de refroidissement sont d'un entretien délicat.

Moules

Ils ont à supporter de hautes pressions pendant de longues périodes et doivent de ce fait, être très solides. L'interchangeabilité des moules est un atout s'il est facile et rapide. Les presses à plusieurs moules (p.e. : tables rotatives) ont un changement plus difficile et onéreux.

Produits

Une double compression appliquée sur deux faces opposées et de manière simultanée a certains avantages : la partie de terre la moins comprimée se trouve dans la zone centrale du bloc au lieu d'être sur un bord extérieur plus sollicité. On peut ainsi produire des blocs d'une hauteur approchant 20 cm.

L'action de démoulage, généralement dans la même direction que la compression, ne doit pas introduire de contraintes sur les blocs encore fragiles.

Dimensions : si les blocs sont trop petits, le temps de mise en oeuvre des murs sera trop important et s'ils sont trop gros, leur poids les rendra difficilement maniables. Le format le plus courant (29,5 x 14 x 9 cm) assure un bon compromis entre ces deux conditions.

La régularité de l'aspect d'un bloc va dépendre surtout de la qualité de la terre.

Productivité

Les cycles théoriques (donnés par les constructeurs) ne tiennent pas compte de nombreux facteurs indépendants de la capacité des machines (pauses, organisation de la main-d'oeuvre, etc.). On constate que la productivité réelle est souvent près de la moitié de la productivité théorique. Pour une presse manuelle, le cycle théorique (remplissage-compression-démoulage) est de 30 à 60 secondes. Pour une presse motorisée, il est d'environ 15 secondes. Pour une unité automatisée, il ne peut être, dans le meilleur des cas, qu'aux environs de 5 à 7 secondes.

Conditions de travail

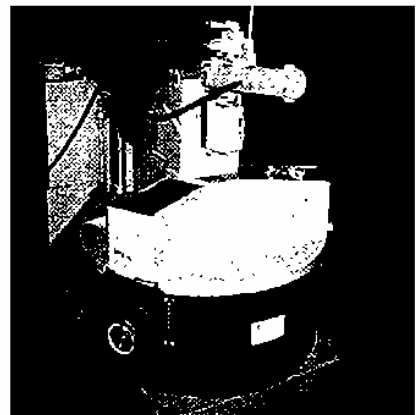
Trois opérations sont forcément liées à la presse : le remplissage, la compression et le démoulage. Il faut s'assurer de l'accessibilité et des positions de travail requises pour chacune d'elles, quel que soit le mécanisme (manuel, motorisé).

L'action de compression manuelle est pénible et doit donc être facilitée (longueur des leviers).

L'adjonction d'un moteur accroît les risques, d'où une attention particulière aux dispositifs de sécurité (grilles de protection, opérations manuelles éloignées des pistons, fusibles, etc.).



Manuelle léger



Hydraulique motorisée



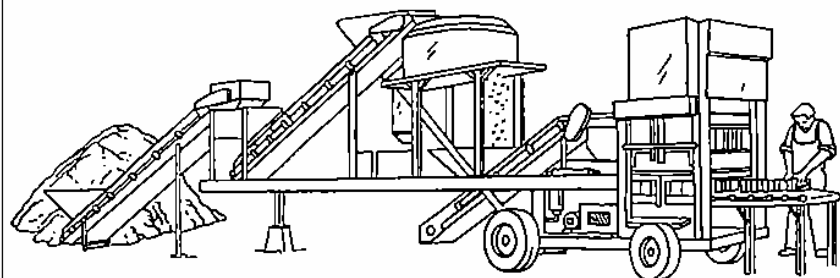
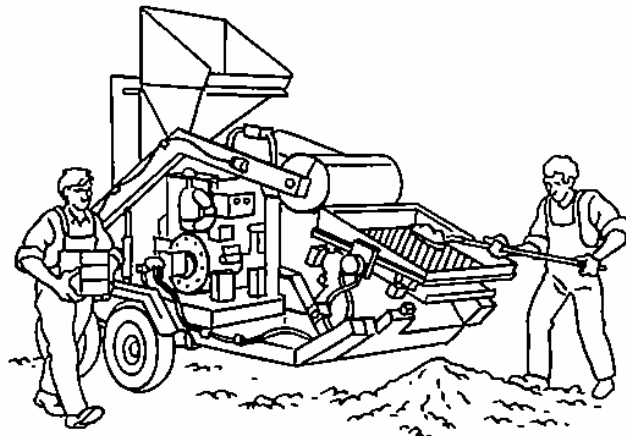
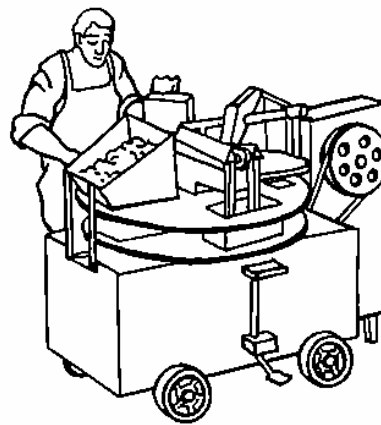
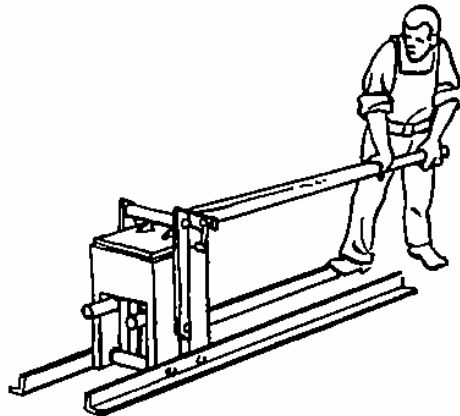
Unité toraine



Unité fixe

CHOIX DE PRESSE

TYPES DE PRESSES	POIDS	PRODUCTIVITE blocs 29,5x14x9cm par jour
MANUELLE léger	50 à 150 kg	300 à 600
MANUELLE lourd	150 à 250 kg	700 à 1 500
MOTORISÉE	700 à 2 000 kg	1 000 à 5 000
UNITÉ FORAINE	1 500 à 6 000 kg	1 500 à 4 000
UNITÉ FIXE	2 000 à 30 000 kg	2 000 à 10 000



CHOIX DES ÉQUIPEMENTS DE PRÉPARATION

PULVÉRISATEURS

Ils doivent permettre d'obtenir une terre dont au moins 50 % des grains liés par l'argile (mottes ou nodules) présentent un diamètre inférieur à 5 mm.

On distingue deux principaux types de pulvérisateurs :

- **Les broyeurs à marteaux** ou couteaux constitués de lames d'acier oscillant autour d'un axe, lui-même tournant autour d'un axe principal et central.

- **Les désagrégateurs** constitués de deux «cages d'écureuils» tournant en sens inverse à faible distance l'une de l'autre.

Les broyeurs vont permettre de casser, en plus des mottes, les graviers et petits cailloux qui auront ainsi la granulométrie proche d'un sable. Ils sont efficaces avec une terre graveleuse ou même caillouteuse.

Les désagrégateurs conviennent mieux pour des terres fines sans cailloux ni graviers où il suffit de décomposer les mottes argileuses.

Critères techniques

Tous les pulvérisateurs permettent de traiter la terre sèche mais plus rares sont ceux qui se comportent bien avec la terre humide qui nécessite une vitesse d'impact élevée. Le choix sera déterminé surtout par le type de terre et les conditions climatiques.

Pour les pulvérisateurs les moins performants, un crible évacuant les éléments les plus gros à la sortie peut être utile. La hauteur de la trémie de remplissage ne doit pas être trop élevée pour faciliter le chargement. Il peut aussi être utile que la hauteur de sortie permette le remplissage direct dans une brouette.

En dehors des unités fixes, la machine doit être facilement déplaçable (roues) afin de s'adapter aux stocks de terre (brute ou déjà préparée pour ne pas obstruer la sortie de la machine).

Le nettoyage du système de pulvérisation doit être facile car il arrive qu'il s'enrobe de terre humide et compacte.

Les parties délicates doivent être protégées de la poussière.

CRIBLES

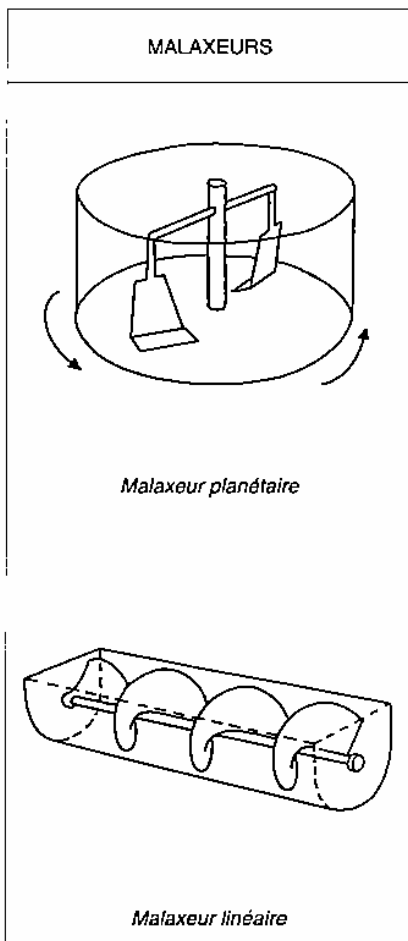
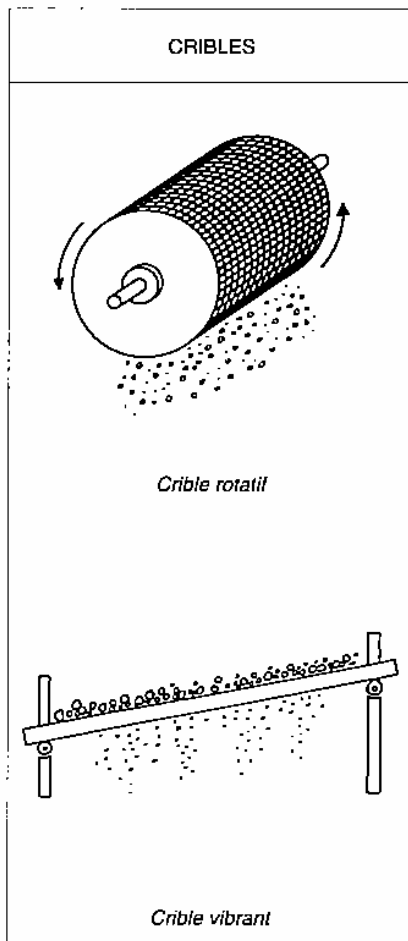
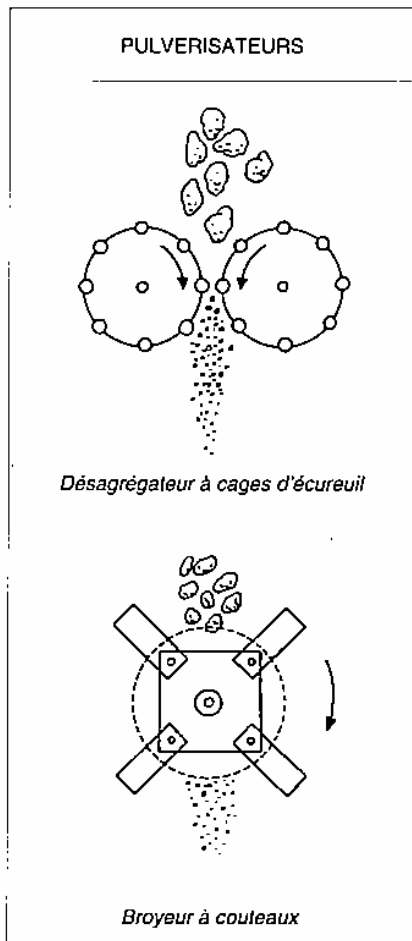
Le criblage est indispensable si la pulvérisation est imparfaite ou avec une terre contenant trop de gros éléments (cailloux) et pas de mottes argileuses. Les diamètres varient de 5 à 20 mm suivant la terre et le type de blocs (blocs creux à parois fines...).

Il faudra choisir le système donnant le moins de refus de criblage.

On distingue deux principaux types de cribles (hormis le tamis fixe qui est manuel) :

Les cribles rotatifs : un cylindre de grillage ou de métal déployé tourne autour d'un axe horizontal à entraînement mécanique ou manuel.

Les cribles vibrants : ils sont motorisés et constitués d'une ou plusieurs grilles superposées dans une position proche de l'horizontale.



CHOIX DES ÉQUIPEMENTS DE PRÉPARATION

Critères techniques

Les cribles en métal déployé ont l'avantage de la robustesse mais sont généralement plus coûteux et difficiles à remplacer que les cribles à grillage. Le procédé de remplacement du crible doit être facile. Leur conception doit permettre le remplissage direct d'une brouette ou d'une bande transporteuse. Des roues facilitant le transport peuvent être utiles pour des unités non intégrées.

MALAXEURS

L'homogénéité du mélange est déterminante pour la qualité du bloc. Les malaxeurs utilisés pour le béton conviennent mal, la terre étant cohésive à l'état humide. Contrairement au béton, il se forme des boules ou des agrégats incompressibles.

Certains outils agricoles comme les motoculteurs peuvent convenir. Mais on abordera ici des équipements plus spécifiques :

Les malaxeurs planétaires : des pales sont fixées sur un arbre vertical qui tourne à l'intérieur d'une cuve.

Les malaxeurs linéaires : il s'agit d'un ensemble de pales fixées sous forme de vis hélicoïdales qui tournent à l'intérieur d'une cuve horizontale ou verticale. Ce système plus complexe est plus onéreux.

Les malaxeurs à arbre horizontal : il s'agit d'un ensemble de pales fixées sur un arbre horizontal qui tourne à l'intérieur d'une cuve cylindrique. Le principe est proche du système linéaire sans qu'il y ait un déplacement horizontal progressif du mélange.

Critères techniques

La terre malaxée à l'état humide est cohésive. Elle nécessite une puissance de moteur plus importante que le béton.

La forme des pales doit être étudiée afin qu'elles pénètrent bien le mélange avec le moins d'abrasion et le plus de déplacement. La terre est très abrasive, particulièrement si elle est latéritique. Il est intéressant que les pales soient munies de pièces d'usure facilement interchangeables. Le mouvement des pales ne doit en aucun cas produire des agglomérations de terre sous forme de boules. Les capacités utiles données sont souvent calculées pour le béton et doivent être minorées pour la terre. La capacité utile est généralement aux environs de la moitié du volume de la cuve.

L'accès pour le remplissage doit être aisé et la vidange doit pouvoir se faire dans une brouette.

La cuve doit être munie d'une grille de protection.

Dans certains cas, des roues peuvent être utiles pour supprimer des déplacements de terre trop importants.

Si le malaxeur est équipé d'un système d'arrosage, l'eau sera déversée en pluie très fine.



Broyeur à couteaux



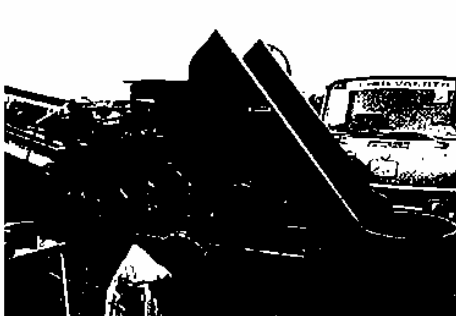
Tamis mécanique rotatif



Malaxeur linéaire



Désagrégateur à cages d'écreuil

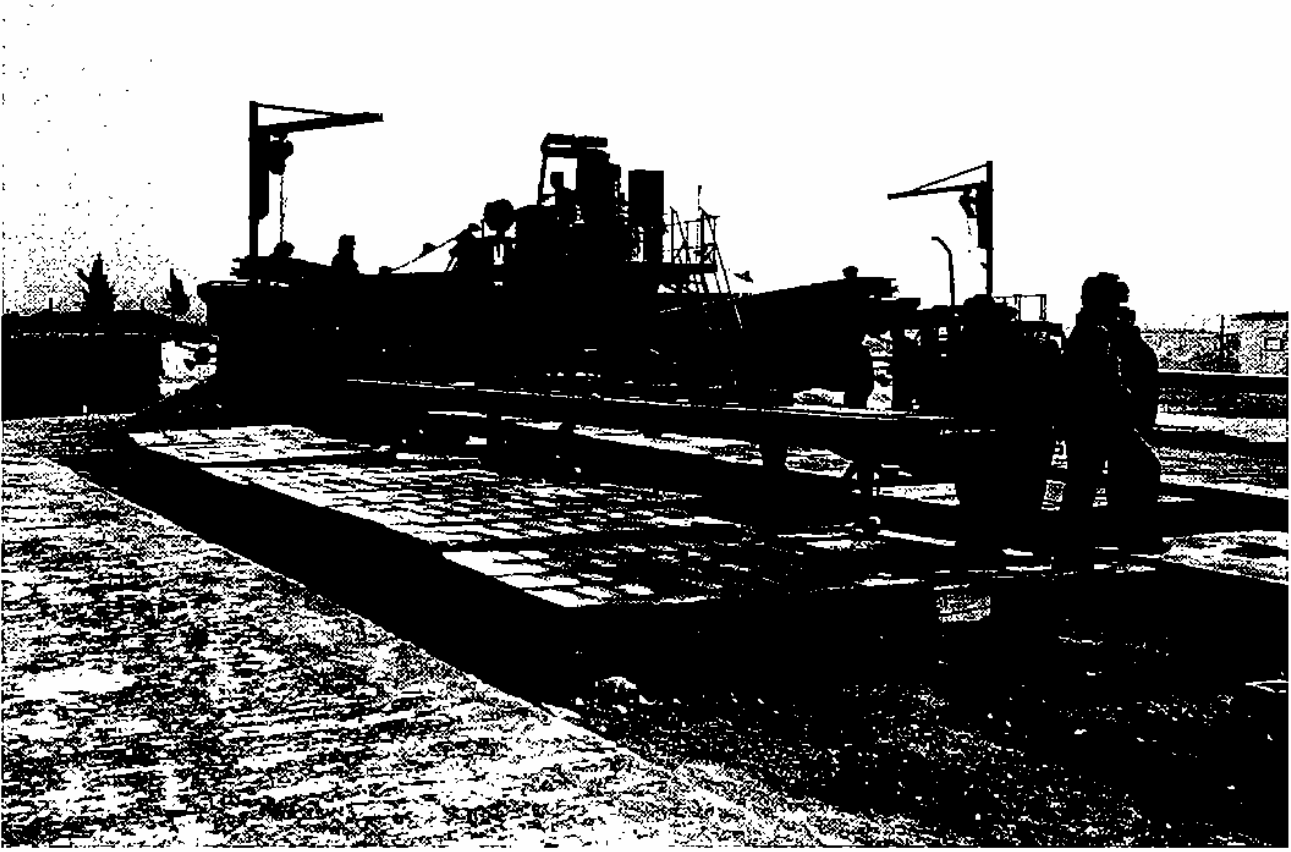


Tamis mécanique vibrant



Malaxeur planétaire

ORGANISATION SPATIALE



Briqueterie industrielle



Briqueterie mécanisée

DÉFINITION DE LA LIGNE DE PRODUCTION

SITE DE PRODUCTION

La production nécessite un espace assez vaste à cause des différents stockages (matières premières et blocs). Suivant le type de projet, il faut définir si la production se fait directement sur le chantier ou dans un atelier qui n'est pas directement lié au chantier. Les paramètres de choix dépendent de la durée, de la quantité de production et de la distance des transports qui doit être la plus courte possible. Le site doit être facilement accessible pour les approvisionnements et l'évacuation des blocs stockés. Il est souhaitable qu'il soit équipé d'un point d'eau et d'électricité s'il y a des équipements motorisés.

CYCLE DE PRODUCTION

Il faut définir toutes les opérations nécessaires à la fabrication des blocs. Les opérations de transformation doivent être évaluées dans le contexte : types d'équipements, type de terre, climat. Par exemple, il sera inutile de prévoir le séchage de la terre dans une région très sèche ou de prévoir un tamisage si la terre a naturellement la bonne granularité. Il faut ensuite évaluer toutes les opérations intermédiaires (transport, stockage, évacuation) qui vont occuper de l'espace et de la main-d'oeuvre, après quoi on déterminera les paramètres de qualité des produits afin de cerner les objectifs à atteindre, pour chaque poste de transformation, en se basant sur les données techniques générales et locales. On évalue ainsi l'influence de chaque opération sur la qualité finale du produit.

DIMENSIONNEMENT

On commence par fixer un objectif de productivité en se basant sur la demande de produits. Une grande productivité est inutile si le rythme d'écoulement des blocs est faible car cela conduit à un engorgement des aires de stockage de blocs. Une productivité faible est nuisible si la demande de blocs est grande. Des blocs risquent d'être mis en oeuvre sans avoir eu le temps de cure indispensable. S'il y a rupture de stock de BTC, ou le chantier s'arrête, ou le client risque de changer de fournisseur. Une fois l'objectif de productivité fixé, on calcule aisément les consommations, aussi bien de matières premières que d'adjuvants (eau, énergie, stabilisant). On obtient alors les différentes surfaces de stockage nécessaires (matières premières et blocs).

MÉTHODES ET MOYENS DE FABRICATION

Les grandes lignes étant fixées, il faut affiner le détail pour chaque poste. Le rendement précis doit pouvoir être appliqué. Pour cela, on compare les solutions possibles et on calcule les implications en matière et en main-d'oeuvre. Il convient de choisir s'il est préférable d'avoir beaucoup de main-d'oeuvre et des équipements rudimentaires ou bien des machines sophistiquées et très peu de main-d'oeuvre. Il faut savoir qu'en une heure, un bulldozer avec une personne fera ce que font une quarantaine de personnes en deux jours sans machines. On aura ainsi défini les équipements, les matériels et la main-d'oeuvre nécessaires.

ORGANIGRAMME ET ORGANISATION

On précise les moyens et méthodes par une distribution des tâches aux différents postes fixant ainsi leurs rendements idéals et la coordination générale des entrants et sortants de chaque opération. Pour éviter l'arrêt de toute la chaîne à cause d'une chute de rendement d'un des postes, il faut prévoir des stockages intermédiaires entre eux. Ils jouent le rôle de tampon sur les variations de cadence des différents postes et ne doivent pas être excessifs. On arrive ainsi à déterminer les surfaces nécessaires à tous les postes.

INFRASTRUCTURE

La ligne de fabrication doit bénéficier d'un certain environnement pour être opérationnelle. Le dimensionnement de ces différents aménagements dépend du type d'unité et de la productivité mais avec une souplesse suffisante pour permettre un accroissement sans trop d'aménagements supplémentaires. En zone sèche et chaude, des mesures doivent être prises pour protéger les ouvriers du soleil et de la poussière.

Surfaces construites

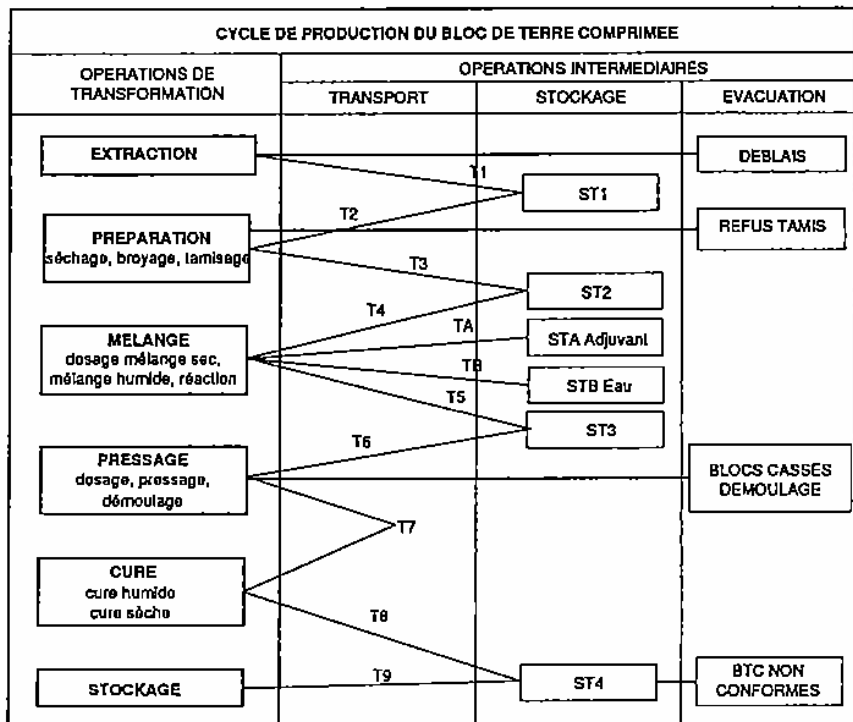
Il faut prévoir un magasin pour l'outillage et le matériel ainsi que pour le stabilisant si nécessaire. On peut aussi envisager des sanitaires et vestiaires pour le personnel, un bureau pour les tâches administratives et un laboratoire pour les contrôles de qualité.

Surfaces abritées

Certaines opérations doivent être protégées du soleil et/ou de la pluie : préparation et mélange de la terre, pressage et première cure. Il faudra une petite structure avec poteaux et toit (paille, lôle, tuiles, ...) avec une surface dure et plane au sol.

Surfaces planes

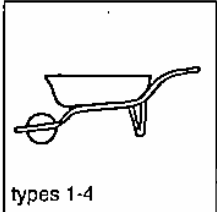
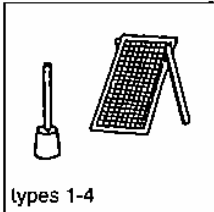
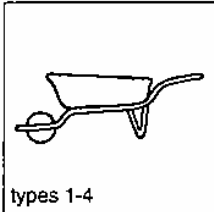
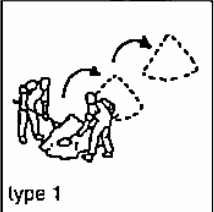
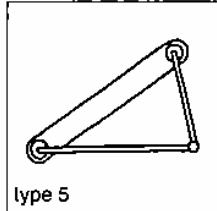
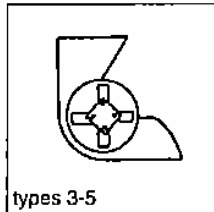
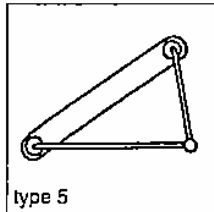
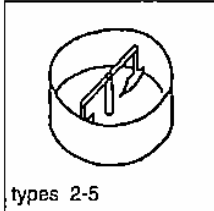
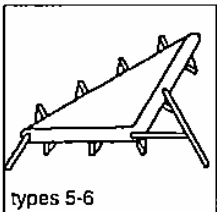
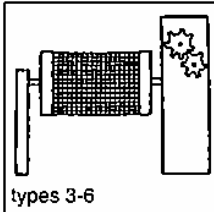
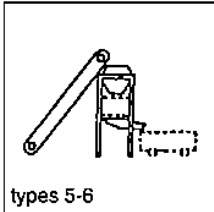
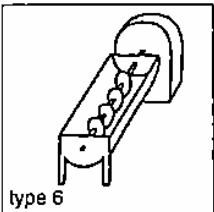
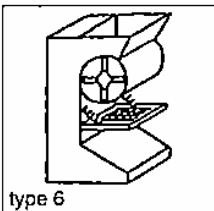
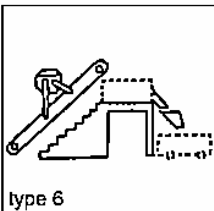
Le stockage des blocs ne doit pas être forcément abrité par un toit. Des bâches peuvent suffire. Il faut un sol plat et dur pour que les piles de blocs soient stables (terre damée stabilisée ou dalle béton).



TYPES D'ÉQUIPEMENTS

Le tableau suivant est conçu comme un outil d'aide à la définition d'une ligne de production. Il permet de préciser la compatibilité entre les différents moyens et équipements proposés tout en donnant un ordre de grandeur des investissements qu'ils représentent. En général, rendements et investissements sont liés. Les prix sont des ordres de grandeur ainsi que les rendements qui seront vus plus en détail dans le chapitre PRODUCTION.

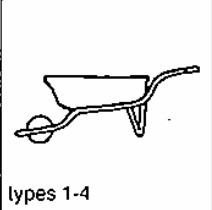
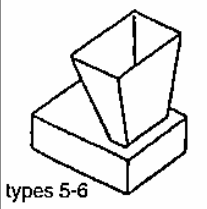
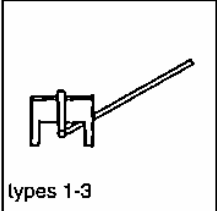
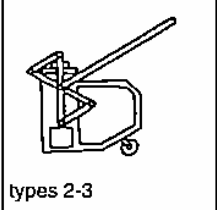
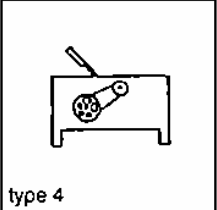
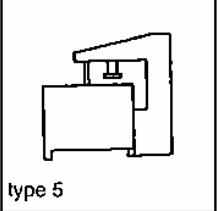
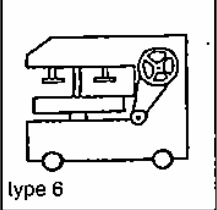
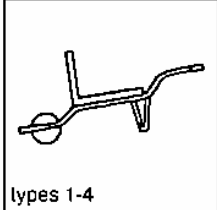
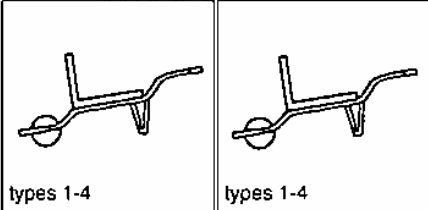
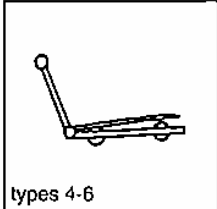
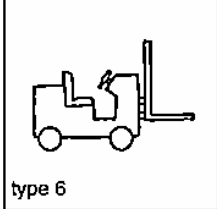
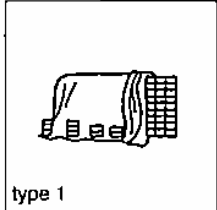
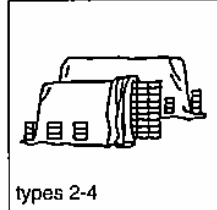
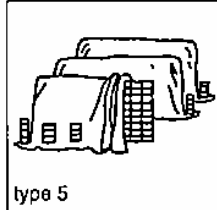
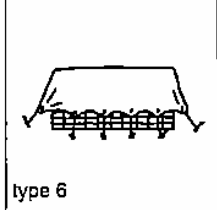
La lecture verticale du tableau donne une vision des différents moyens possibles à chacune des opérations. La lecture horizontale illustre les différentes lignes de production possibles, pour autant qu'il y ait cohérence entre les niveaux d'investissements et de rendements de chaque poste. On voit aussi la grande souplesse évolutive d'une unité de production de BTC.

TRANSPORT	PREPARATION	TRANSPORT	MELANGE
<p>BROUETTE investissement 30 \$ rendement 11 m³/j/h</p>  <p>types 1-4</p>	<p>PREPARATION MANUELLE investissement 100 \$ rendement 3-5 m³/j/h</p>  <p>types 1-4</p>	<p>BROUETTE investissement 30 \$ rendement 11 m³/j/h</p>  <p>types 1-4</p>	<p>MELANGE MANUEL investissement 80 \$ rendement 1,5 m³/j/h</p>  <p>type 1</p>
<p>BANDE TRANSPORTEUSE investissement 4000 \$ rendement 40-60 m³/j</p>  <p>type 5</p>	<p>BROYEUR-DESAGREGATEUR investissement 4000-6000 \$ rendement 25-40 m³/j</p>  <p>types 3-5</p>	<p>BANDE TRANSPORTEUSE investissement 4000 \$ rendement 40-60 m³/j</p>  <p>type 5</p>	<p>MALAXEUR PLANETAIRE investissement 5000-6000 \$ rendement 15-50 m³/j</p>  <p>types 2-5</p>
<p>EXCAVATEUR A GODETS investissement 8000 \$ rendement 30-50 m³/j</p>  <p>types 5-6</p>	<p>CRIBLE investissement 6000-10000 \$ rendement 30-40 m³/j</p>  <p>types 3-6</p>	<p>DOSEUR-BANDE investissement 13000 \$ rendement 30-40 m³/j</p>  <p>types 5-6</p>	<p>MALAXEUR LINEAIRE investissement 8000 \$ rendement 15-50 m³/j</p>  <p>type 6</p>
	<p>CRIBLE-BROYEUR investissement 6000-10000 \$ rendement 30 m³/j</p>  <p>type 6</p>	<p>DOSEUR-BANDE-PLATEFORME investissement 16000 \$ rendement 30-50 m³/j</p>  <p>type 6</p>	

MOYENS DE FABRICATION

Note

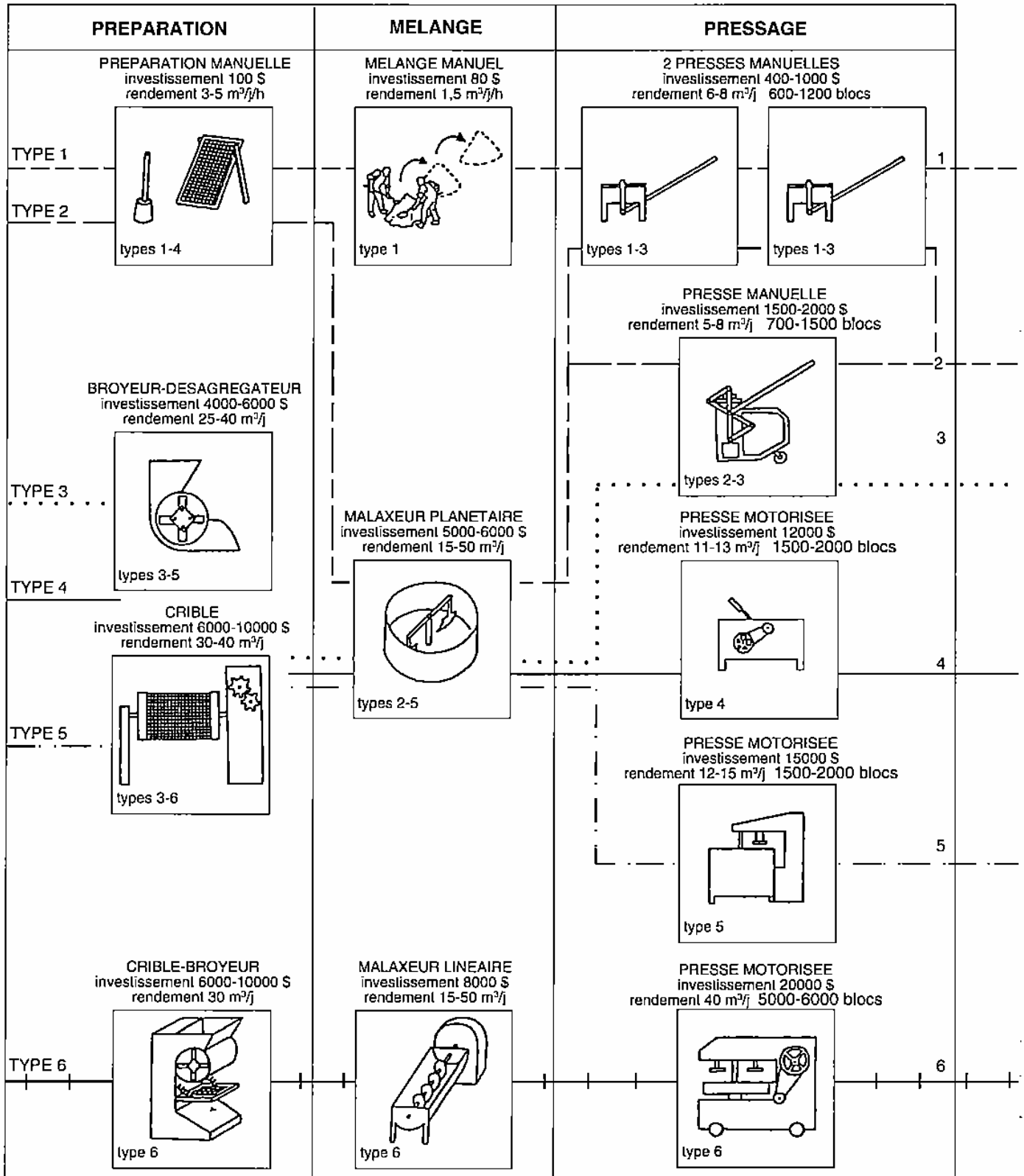
Les rendements sont donnés en fonction des potentialités d'utilisation normale des machines mais sont, ainsi que les prix, purement indicatifs. L'organisation et l'effectif de l'unité de production vont être déterminants pour les rendements.

TRANSPORT	PRESSAGE	TRANSPORT	CURE
<p data-bbox="172 936 352 1003">BROUETTE investissement 30 \$ rendement 11 m³/h</p>  <p data-bbox="164 1189 245 1211">types 1-4</p> <p data-bbox="164 1240 363 1308">TREMIE DOSEUSE investissement 1000 \$ rendement 15-40 m³/j</p>  <p data-bbox="164 1491 245 1514">types 5-6</p>	<p data-bbox="427 528 660 611">PRESSE MANUELLE investissement 200-500 \$ rendement 3-4 m²/j 300-600 blocs</p>  <p data-bbox="440 792 528 815">types 1-3</p> <p data-bbox="416 831 671 913">PRESSE MANUELLE investissement 1500-2000 \$ rendement 5-8 m²/j 700-1500 blocs</p>  <p data-bbox="440 1093 528 1115">types 2-3</p> <p data-bbox="432 1133 651 1216">PRESSE MOTORISEE investissement 12000 \$ rendement 11-13 m²/j 1500-2000 blocs</p>  <p data-bbox="440 1402 496 1424">type 4</p> <p data-bbox="432 1440 651 1523">PRESSE MOTORISEE investissement 15000 \$ rendement 12-15 m²/j 1500-2000 blocs</p>  <p data-bbox="440 1709 496 1731">type 5</p> <p data-bbox="432 1747 651 1830">PRESSE MOTORISEE investissement 20000 \$ rendement 40 m²/j 5000-6000 blocs</p>  <p data-bbox="440 2016 496 2038">type 6</p>	<p data-bbox="794 674 1027 757">BROUETTE A PLATEAU investissement 50 \$ rendement 6 m²/j 800-1000 blocs</p>  <p data-bbox="807 943 895 965">types 1-4</p> <p data-bbox="794 981 1027 1064">BROUETTES A PLATEAU investissement 100 \$ rendement 12 m²/j 1600-2000 blocs</p>  <p data-bbox="707 1249 794 1272">types 1-4</p> <p data-bbox="922 1249 1010 1272">types 1-4</p> <p data-bbox="810 1292 1007 1375">TRANSPALETTE investissement 750 \$ rendement 40 m²/j 5000-6000 blocs</p>  <p data-bbox="807 1561 895 1583">types 4-6</p> <p data-bbox="802 1599 1021 1682">CHARIOT ELEVATEUR investissement 17000 \$ rendement 40 m²/j 5000-6000 blocs</p>  <p data-bbox="807 1861 863 1883">type 6</p>	<p data-bbox="1182 685 1378 752">POLYANE investissement 150 \$ rendement 300-600/j</p>  <p data-bbox="1185 943 1241 965">type 1</p> <p data-bbox="1174 987 1386 1055">POLYANE investissement 250 \$ rendement 1000-1500/j</p>  <p data-bbox="1185 1240 1273 1263">types 2-4</p> <p data-bbox="1174 1290 1386 1357">POLYANE investissement 600 \$ rendement 1500-2500/j</p>  <p data-bbox="1185 1545 1241 1568">type 5</p> <p data-bbox="1174 1597 1386 1664">BACHE investissement 1500 \$ rendement 5000-6000/j</p>  <p data-bbox="1185 1850 1241 1872">type 6</p>

TYPES DE LIGNES DE PRODUCTION

Ce tableau illustre les différents types d'unité de production présentés dans le chapitre INTRODUCTION. D'autres types sont possibles mais les choix présentés ici suivent une progression de productivité, d'investissement et de mécanisation.

La progression est dictée par un souci d'amélioration de la qualité des produits, des types 1 à 3, puis par une amélioration de la productivité par une mécanisation accrue des types 4 à 6. Dans ce tableau ne sont présentés que les équipements spécifiques à la production du BTC. Pour les transports intermédiaires, on se reportera aux tableaux des pages précédentes.



INVESTISSEMENTS

Une unité de production ne s'arrête pas à l'achat d'une presse.

Les commentaires concernant les investissements sont développés dans le chapitre INTRODUCTION. Ils sont, ici, détaillés en équipements spécifiques et outillage. Le rapport de l'un à l'autre mérite observation, particulièrement pour le type 5 où l'investissement en outillage est très important à cause de la mécanisation de tous les transports. On voit aussi que l'achat d'équipements spécifiques n'est pas suffisant pour monter une briqueterie : l'investissement en outillage va de 9 à 52 % de l'investissement en matériel total, lequel est aux alentours de 80 % de l'investissement total. Les 20 % restants représentent l'investissement en infrastructure sans le coût du terrain de production.

INVESTISSEMENT EN MATERIEL (EN US \$)		
TOTAL EQ.SPECIFIQUE	TOTAL OUTILLAGE + TRANSP.	TYPE/INVEST. TOTAL EN EQUIPEMENT
1 200 \$	800 \$ (40 %)	TYPE 1 : 600 - 1 000 blocs/jour 2 000 \$
8 500 \$	1 500 \$ (15 %)	TYPE 2 : 1 200 - 1 500 blocs/jour 10 000 \$
13 000 \$	1 500 \$ (10 %)	TYPE 3 : 1 200 - 1 500 blocs/jour 14 500 \$
21 000 \$	2 000 \$ (9 %)	TYPE 4 : 1 500 - 2 000 blocs/jour 23 000 \$
25 000 \$	1 excavateur à godets 1 bande transporteuse 1 doseur automatique 1 transpalette + matériel 21 000 \$ (46 %)	TYPE 5 : 1 500 - 2 500 blocs/jour 46 000 \$
40 000 \$	1 excavateur à godets 1 chariot élévateur + matériel 43 000 \$ (52 %)	TYPE 6 : 5 000 - 6 000 blocs/jour 83 000 \$



Type 1: Zaïre



Type 2: Côte d'Ivoire

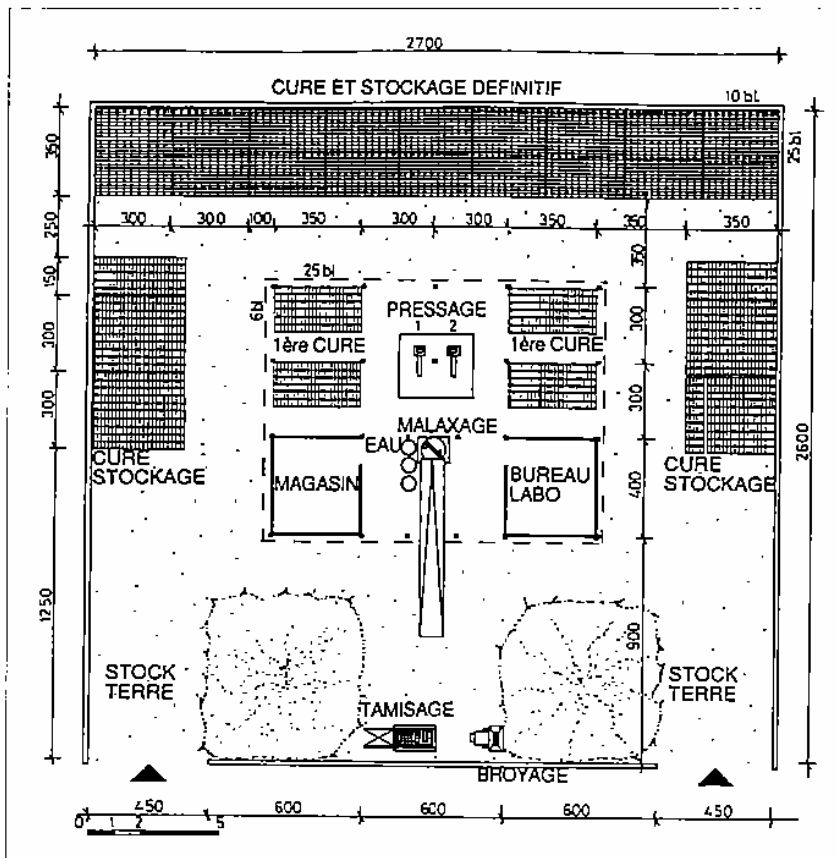


Type 5: France

BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE

HYPOTHESES	POSTES	SURFACE (avec circulation)
TYPE DE LIGNE DE PRODUCTION (cf. p. 9) types 3 ou 4	Stockage terre	75 m ² (= 10000 blocs)
	Stockage sable	20 m ²
	Stockage ciment	10 m ² (6 tonnes)
PRODUCTIVITE 1400-2000 BLOCS/JOUR (29.5 x 14 x 9 cm) 7000 à 12000 blocs/semaine	Stockage outils	1.5 m ²
CONSOMMATIONS QUOTIDIENNES : 10 à 12 m ³ de terre 0.75 tonne de ciment (6 %) 1200 à 1300 litres d'eau	Stockage eau	3 m ² (1400 l)
	Tamissage	15 m ²
	Broyage	15 à 20 m ²
	Malaxage	17 m ²
INFRASTRUCTURE	Pressage	17 m ²
AIRE COUVERTE ET DALÉE : 120 m ²	1ère cure (2 jours)	50 m ²
AIRE PLANE ET DURE : 380 m ²	2e cure (13 jours) + séchage (13 jours)	325 m ²
TOTAL	Surface utile	552 m ²
	Surface totale	644 m ²

POSTES	EFFECTIF	MATÉRIEL				EQUIPEMENT
	CONTROLE : 1	PELLE	BROUETTE	BROUETTE A PLATEAU	BACHE OU POLYANE	
Tamissage	2	2	2			2 tamis fixes
Broyage	1	1	1			1 broyeur motorisé
Malaxage	2	1	1			1 malaxeur planétaire
Pressage	presseur chargeur stockeur = 6	2	1			2 presses manuelles
1ère cure	1			év. 1	3,5x5x4 = 75 m ²	
2e cure + séchage	2			2	5,8 x 23 = 157 m ²	
TOTAL	15 personnes	6	5		232 m ²	

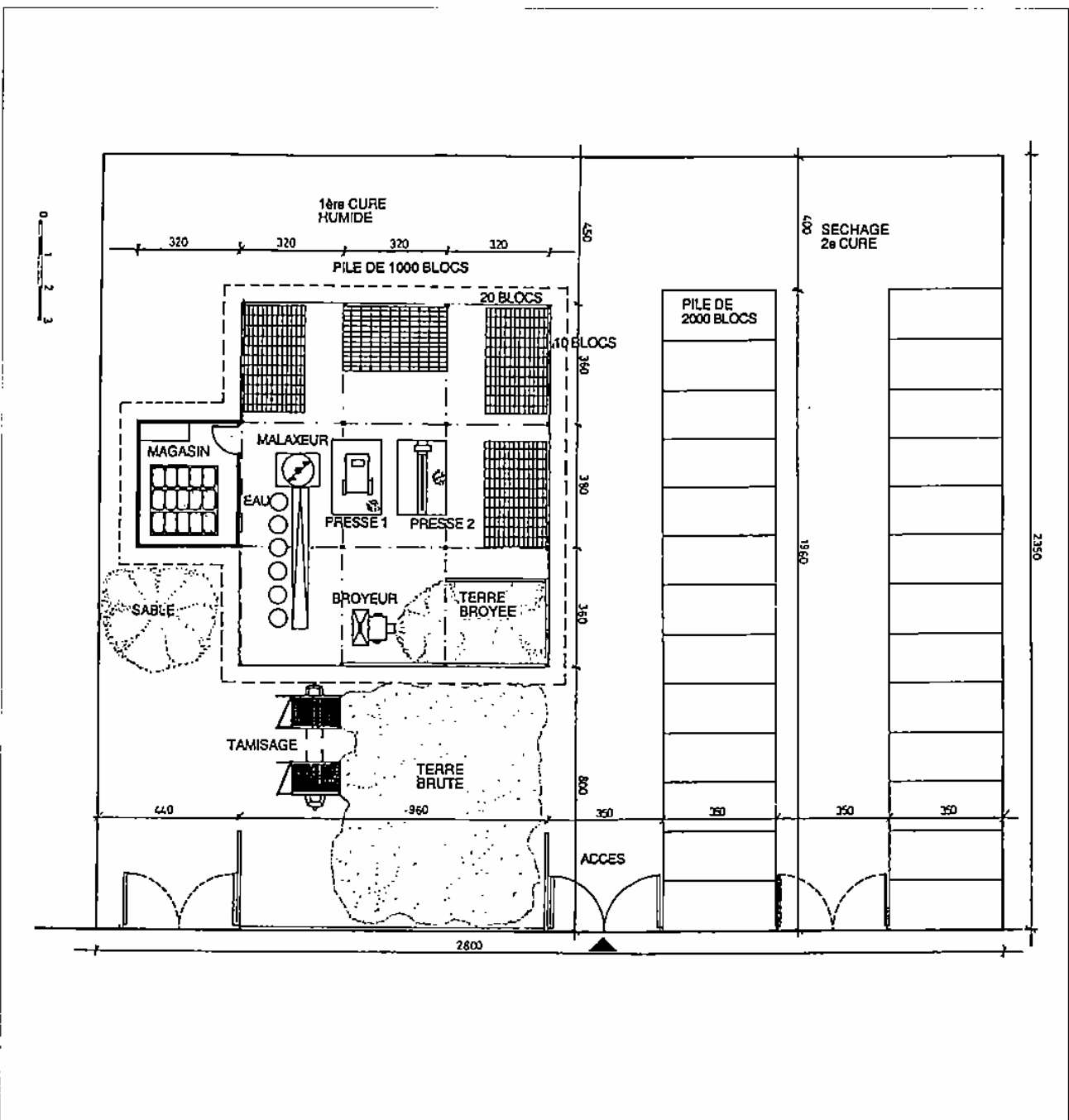
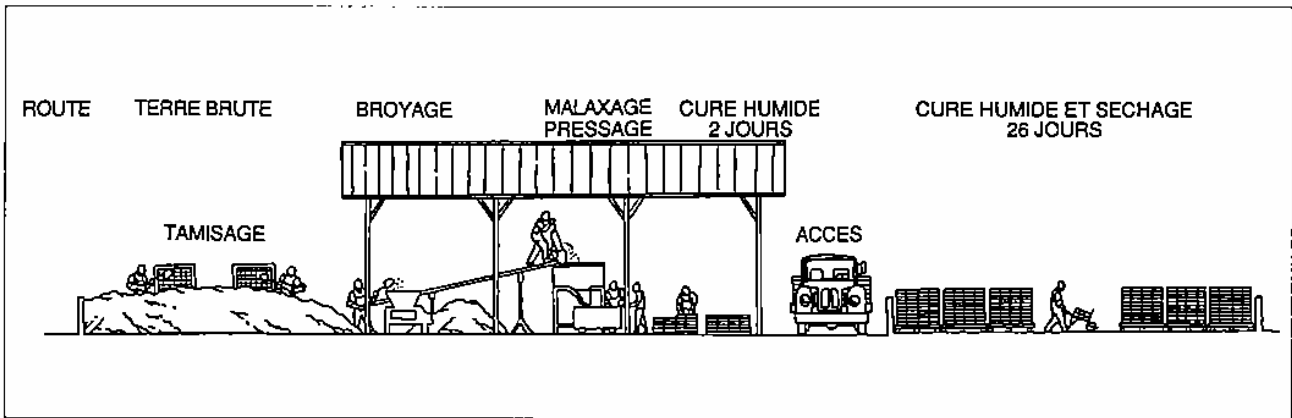


Remarques

Il s'agit ici de montrer principalement un type d'organisation spatiale et son infrastructure ; à partir de là, il reste une grande souplesse sur les types d'équipements possibles, selon les capacités d'investissement.

Ce plan peut aussi bien s'adapter à une briqueterie manuelle (préparation, malaxage, pressage et transport) avec 2 ou 3 presses manuelles (type 2) mais aussi à une briqueterie mécanisée (préparation, malaxage, pressage et transport) de type 4 ou 5, pour autant que la production journalière ne dépasse pas 2 000 blocs car, dans ce cas, les aires de stockage devraient être plus importantes.

BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE



BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE A PRESSES MOBILES

HYPOTHESES	INFRASTRUCTURE	EQUIPEMENT
TYPE DE LIGNE DE PRODUCTION (cf. p. 9) Type 3	Aire couverte : 36 m ² Aire plane et dure : 410 m ² Aire plane : 550 m ²	1 désagrégateur cage d'écureuil 1 tamis 1 malaxeur planétaire (250 l) 2 presses manuelles
PRODUCTIVITÉ : 1200 à 1400 blocs/jour 6000 à 8500 blocs/semaine (blocs de 29.5 x 14 x 9 cm)	stockage terre : 225 m ² stockage blocs : 355 m ²	3 - 4 brouettes 10 - 15 seaux 1 brouette à plateau
CONSOMMATIONS QUOTIDIENNES 9 à 10 m ³ de terre (15 à 18 m ² /jour) 0.5 à 0.6 tonnes de ciment (6 %) 1000 à 1300 l d'eau	EFFECTIF	7 - 8 pelles
	13 à 14 personnes	Cure des blocs : emballés de feuilles de polyane recouvertes de nattes tressées.

Commentaires

La briqueterie présentée est celle qui est opérationnelle à N'Djamena (Tchad). Il s'agit d'une briqueterie à débit irrégulier, axée principalement sur la vente des blocs, ce qui explique les dimensions importantes de stockage de la terre et des blocs.

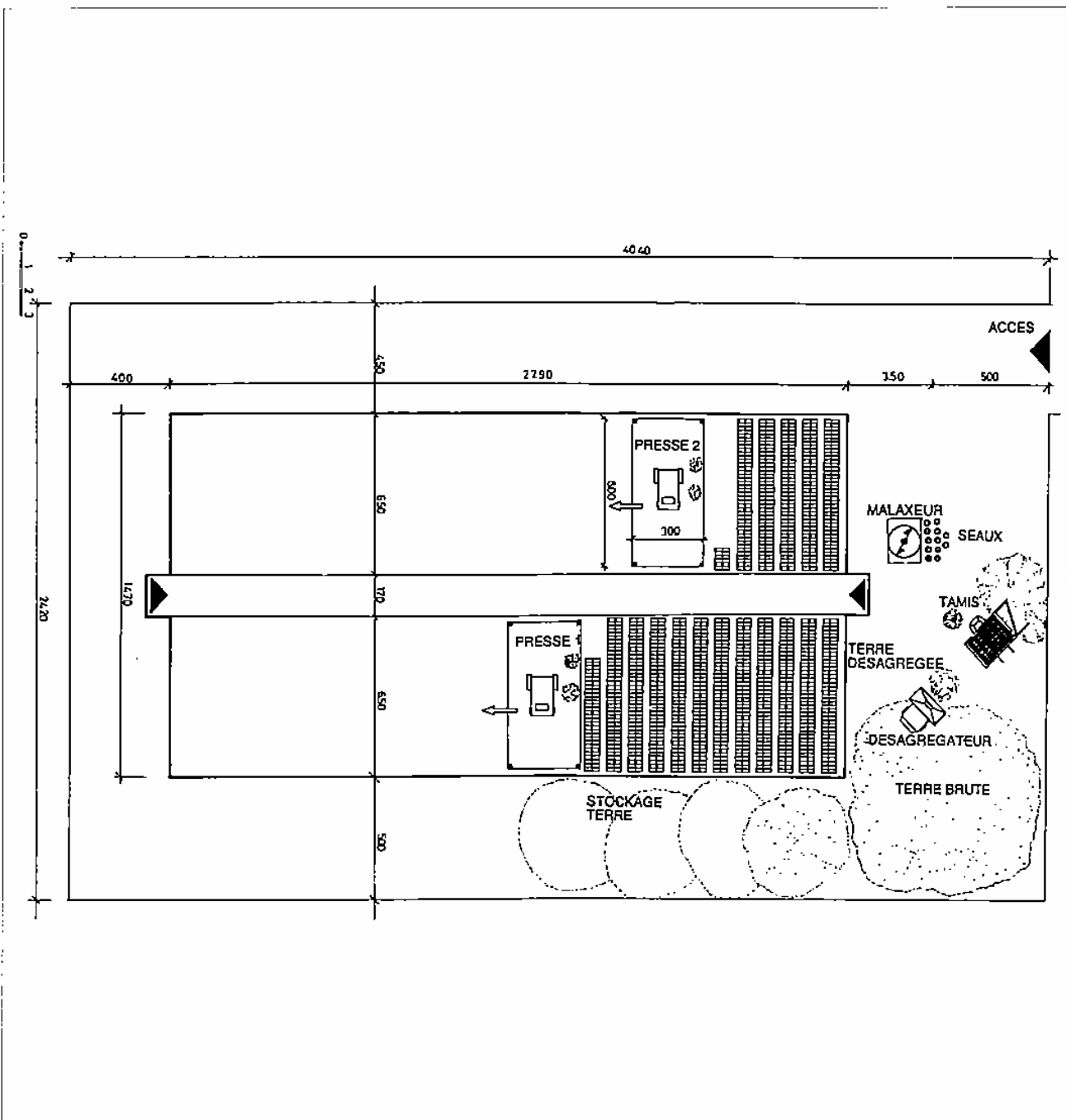
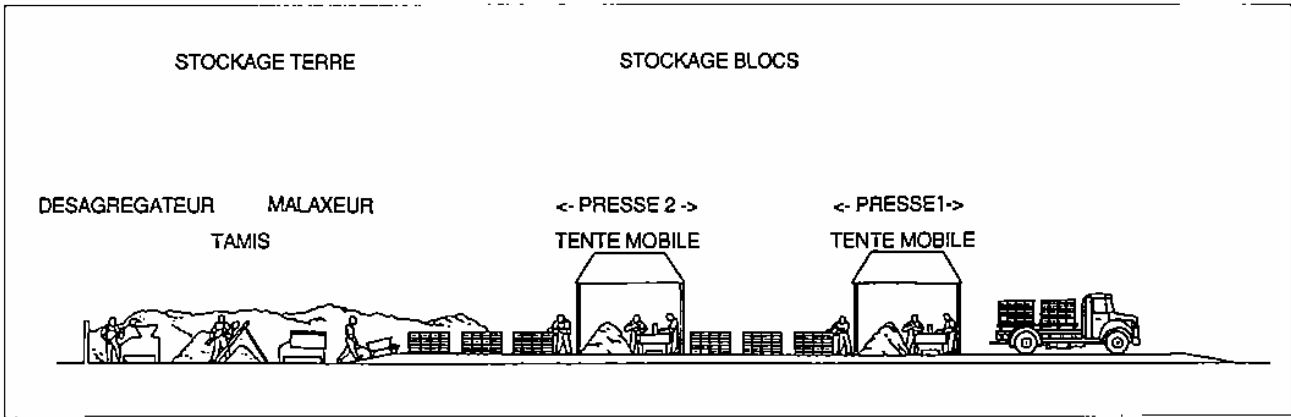
Les presses utilisées sont faciles à déplacer, relativement légères et équipées de roues. Leur utilisation mobile réduit la distance de transport des blocs à la cure et les risques de détérioration. Par contre, cette solution nécessite plus de transport du mélange terre-ciment.

Les abris pour les presses sont réalisés en tubes d'acier recouverts de bâches, la légèreté étant indispensable à leur mobilité.

Ce type d'organisation peut s'appliquer aussi à des opérations manuelles (préparation, malaxage) (type 2).



BRIQUETERIE SEMI-MÉCANISÉE A PRESSES MOBILES



BRIQUETERIE MÉCANISÉE

HYPOTHESES	INFRASTRUCTURE	EQUIPEMENT
TYPE DE LIGNE DE PRODUCTION (cf. p. 9) Type 5	Aire couverte : 30 m ² Aire dallée : 100 m ² Aire totale : 550 m ²	1 excavateur à godets (7 m) 1 bande transporteuse (6 m) 1 crible broyeur électrique
PRODUCTIVITÉ : 1 500 à 2 500 blocs/jour 7 500 à 15 000 blocs/semaine (blocs 29,5 x 14 x 9 cm)	stockage terre : 150 m ² stockage blocs : 65 m ² extension possible : 175 m ²	1 doseur terre-ciment 1 malaxeur planétaire 320 l 1 trémie doseuse à tiroir
CONSOMMATIONS QUOTIDIENNES : 11 à 18 m ³ de terre (20 à 30 m ² /j) 0,6 à 1,1 tonnes de ciment (6 %) 1 500 à 2 000 l d'eau	EFFECTIF	1 presse motorisée
	5 à 6 personnes	1 tapis à rouleau (2 m) 1 transpalette

Commentaires

La briqueterie présentée est celle qui est opérationnelle au Thoronet (France). Elle se trouve à proximité immédiate du chantier pour laquelle elle a été prévue mais s'ouvre aussi à la vente extérieure de blocs. Le débit des blocs est donc régulier et élevé, ce qui explique les surfaces de stockage de blocs relativement restreintes. Ce type de briqueterie convient surtout à des contextes où le coût de main-d'oeuvre est élevé ainsi que la qualification du personnel d'entretien.



Vue générale, au premier plan : sortie des blocs



Excavateurs à godets

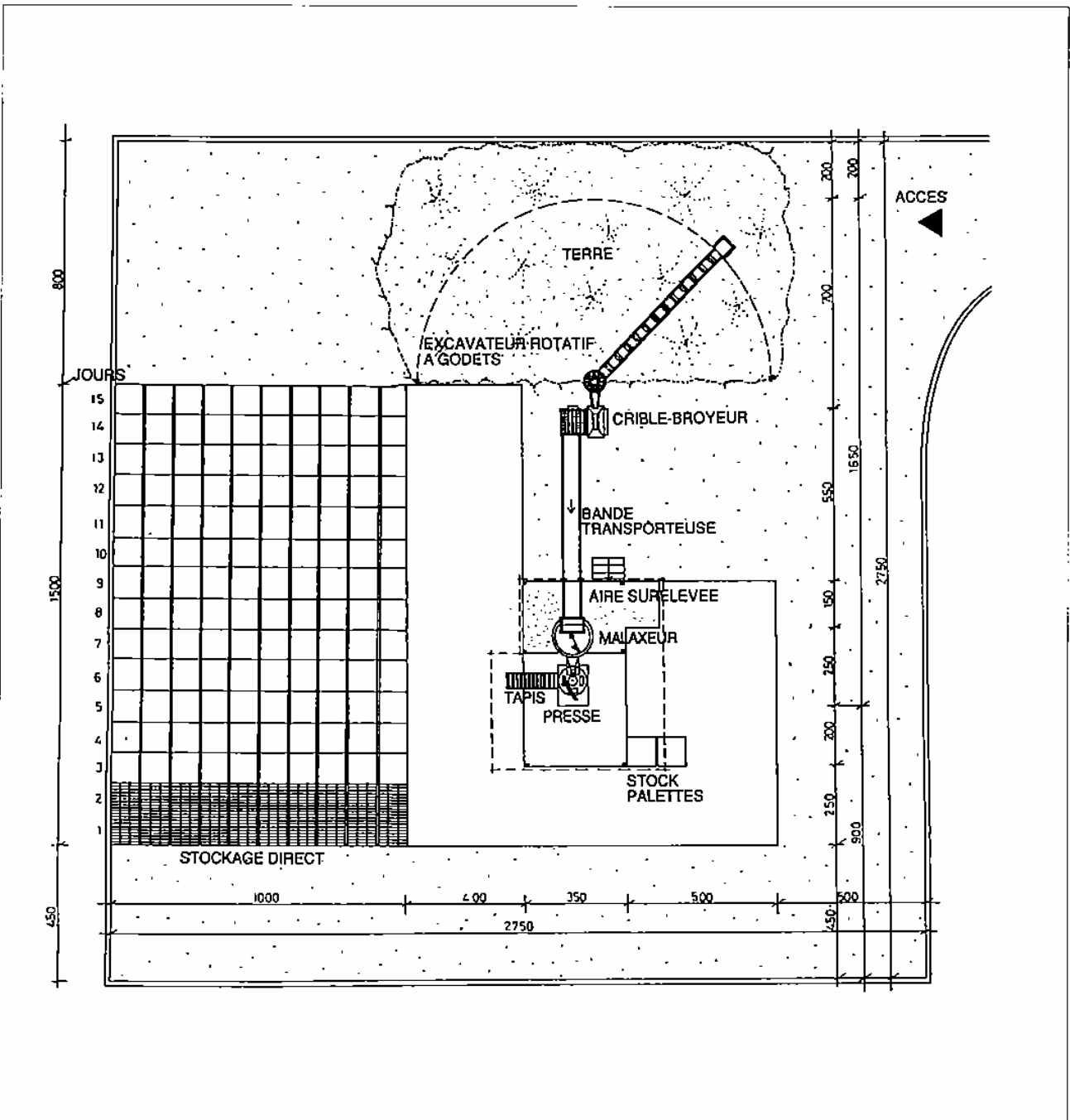
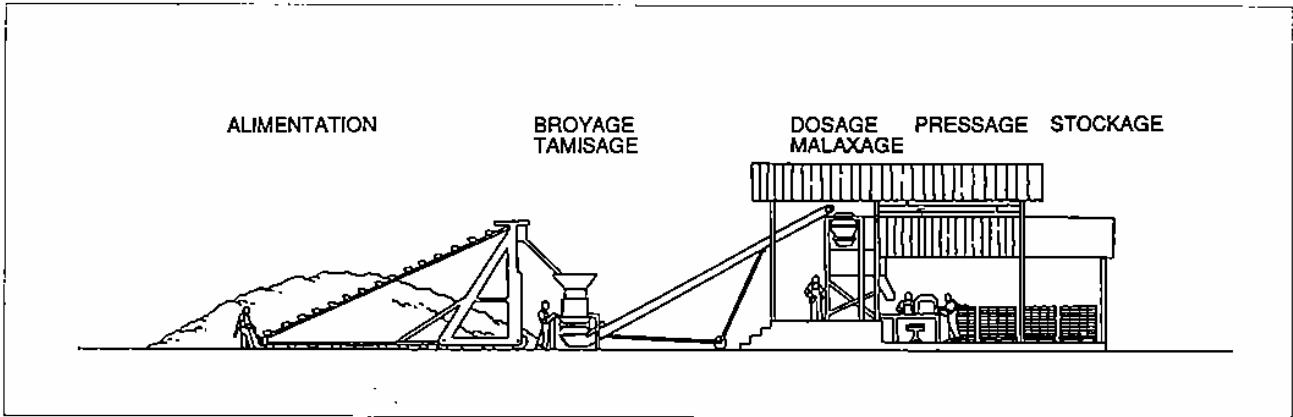


Tapis à rouleaux



Vue générale, au premier plan : alimentation

BRIQUETERIE MÉCANISÉE



PRODUCTION



Extraction manuelle



Tamis suspendu



Malaxage



Pressage



Prise du bloc



Stockage des blocs pour la cure

EXPLOITATION DE CARRIÈRE

GÉNÉRALITÉS

Lors du choix du mode d'exploitation d'une carrière, plusieurs paramètres doivent être pris en compte. Le site d'extraction est-il sur le site même de production ou non ? Quel est le volume de terre suffisant et comment éviter les risques de modifications du type de terre lors de l'extraction ? Le terrain est-il accessible ou des travaux supplémentaires seront-ils nécessaires ? L'extraction garantit-elle contre les risques d'éboulement ? L'extraction va-t-elle laisser de gros trous dans le site, auquel cas leur affectation doit être prévue (remplissage, nivellement, bassins, culture, etc.).

MODES D'EXPLOITATION

Pour une exploitation manuelle, un outillage simple suffit (pelles, pioches, brouettes). Si elle est mécanisée, de nombreux équipements de travaux publics existent mais leur achat est onéreux. Il faut évaluer précisément l'aspect économique aussi bien que le coût direct et les retombées plus larges. Pour le même prix, le temps d'extraction manuel ou mécanisé sera très différent ainsi que le potentiel de création d'emplois. Selon la disposition du site, certains équipements conviendront mieux ; par exemple, une carrière peu profonde mais de surface étendue nécessitera des « machines racleuses » (bennes, excavatrice à godets, bulldozer, décapeuse, tracteur agricole...). Si la carrière est profonde mais peu étendue, il faudra plutôt des pelles mécaniques ou pelleuses-chargeuses permettant de creuser verticalement. Pour plus de détails, se référer aux nombreux ouvrages de travaux publics.



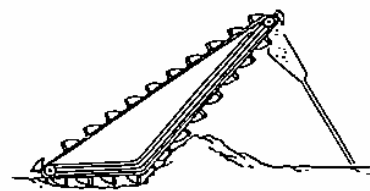
Pelles et pioches

Rendement pour sol friable : 3,2 m³/jour/homme avec 10 pelleurs et 15 brouetteurs. Rendement pour sol très compact : 0,8 m³/jour/homme avec 10 pelleurs, 15 brouetteurs, 20 piocheurs.



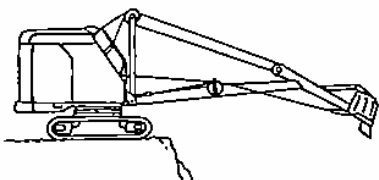
Tracteur agricole

Rendement avec un homme : sol friable 60 m³/heure ; sol compact scarifié 30 m³/heure.



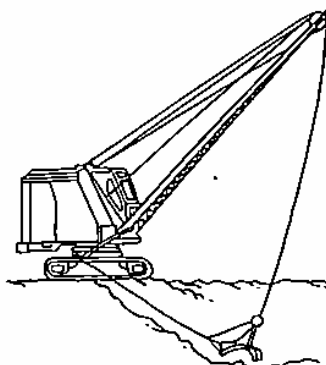
Excavateur à godets

Rendement pour sol friable à ferme : 4 à 8 m³/heure (plus petit modèle)



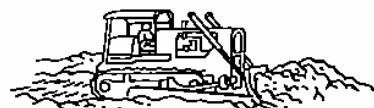
Pelle mécanique rétrocaveuse

Rendement équivalent à celui d'un dragline, environ 100 m³/h, mais permet de creuser verticalement et dans des sols très compacts.



Pelle mécanique avec dragline

Rendement avec un homme pour sol compact : 100 m³/heure. Permet de creuser à environ 2 mètres de profondeur.



Bulldozer

Rendement avec un homme pour sol compact : 100 m³/heure.



Pelleuse-chargeuse

Rendement avec un homme pour un bon terrain et un godet de 1 000 litres environ 25 m³/heure.

TRANSPORTS

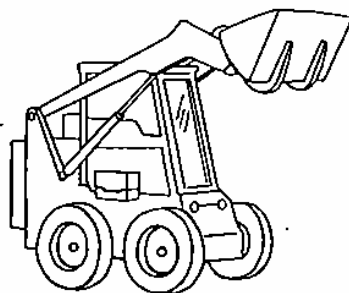
OPÉRATIONS INTERMÉDIAIRES

Ce chapitre traite essentiellement des opérations de transformation propres à la production de BTC. Mais les opérations intermédiaires vont nécessiter du transport et de l'espace, facteurs non négligeables dans le fonctionnement de la briqueterie. Voici des données et rendements indicatifs pour les transports qui vont convenir à des briqueteries allant de la plus simple à la plus sophistiquée. Les stockages seront abordés plus loin. Il est difficile de donner des indications, même approximatives, pour les évacuations qui sont très dépendantes du contexte (nature de la terre, lieu de production, dosage, etc.). En général, il est assez facile de trouver des utilisations aux évacuations : déblais, refus de tamisage, blocs cassés ou non conformes, etc. qui peuvent servir pour des remblais, drainages, murets provisoires, etc. La récupération des évacuations va occuper une part de main-d'œuvre qui doit être évaluée pour être rentable.

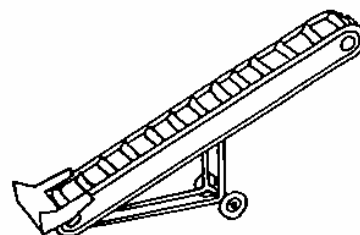
CHARGEMENT		TRANSPORT					RENDEMENT TOTAL (chargement + transport)	
EQUIPEMENT	RENDEMENT	EQUIPEMENT	VITESSE	CONTENANCE	DISTANCE TRANSPORT	RENDEMENT	MODE DE CHARGEMENT	RENDEMENT
Pelle (1 par personne)	9 à 13 m ³ /jour/homme Selon la capacité du sol	Bande transporteuse	3 km/h	0.06 m ³	4 m	50 à 60 m ³ /j	pelle ou pelleuse	10 à 45 m ³ /h selon pelleuse
			4 km/h	0.2 m ³	6 m	100 à 110 m ³ /j	pelle ou pelleuse	10 à 75 m ³ /h selon pelleuse
		Brouette	2 km/h	0.06 m ³	10 m	60 m ³ /j	pelle	9.5 m ³ /h
			3 km/h		50 m	13 m ³ /j	pelle	6 m ³ /h
		Charrette tractée	3 km/h	0.4 m ³	100 m	70 m ³ /j	pelle	9.5 m ³ /h
					500 m	15 m ³ /j	pelle	6.5 m ³ /h
Camion 8 tonnes (1 au total)	30 km/h	5 m ³	5 km	170 m ³ /j	pelle	10.5 m ³ /h		
			10 km	90 m ³ /j	pelleuse- chargeuse	50 à 100 m ³ /j selon pelleuse		
Pelleuse- chargeuse (benne 250 l)	70 m ³ /j					pelle	10 m ³ /h	
Benne 750 l (1 au total)	250 m ³ /j					pelleuse- chargeuse	40 à 70 m ³ /j selon pelleuse	



Chargement à la pelle



Pelleuse-chargeuse



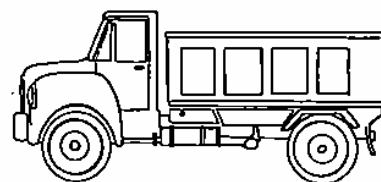
Bande transporteuse



Transport à la brouette



Charrette tractée



Camion de 8 tonnes

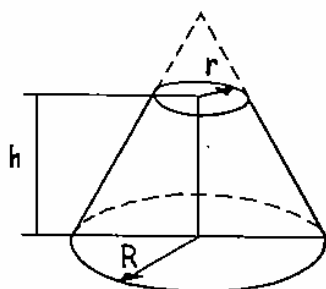
STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

TERRE ET SABLE

Tous deux sont généralement stockés en vrac mais on peut aussi les stocker dans des bacs, si l'espace disponible est restreint et que l'on veut éviter l'écoulement et les mélanges.

Stockage en tas

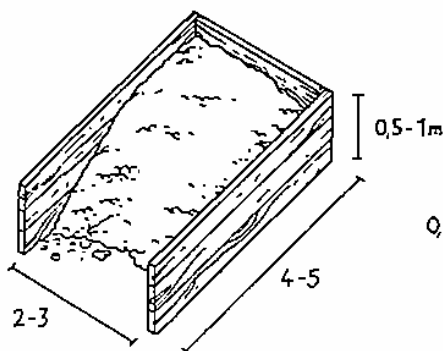
Le contenu d'un camion de 5 m³ va occuper au sol 9,5 m², soit environ 1,7 m² par m³ de terre ou sable (compte tenu des tassements).



$$\text{Volume} = \left(\frac{R+r}{2}\right)^2 \pi h$$

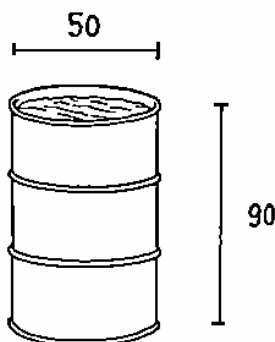
Stockage en bac

Les parois doivent être suffisamment résistantes pour contenir la terre.



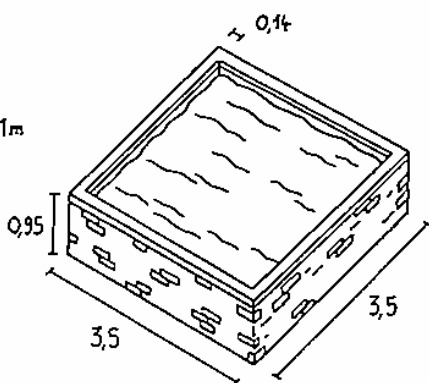
EAU

L'eau est souvent stockée en fûts de 200 l. Ils se trouvent facilement, à bon marché, et sont transportables. On peut les placer sous la gouttière d'un toit pour récupérer l'eau de pluie.



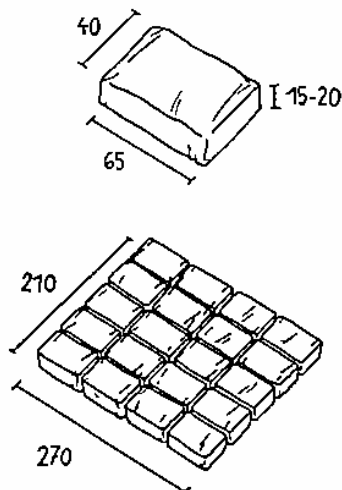
Stockage en citerne

On peut aussi construire une citerne en BTC avec enduit ciment et des parois résistantes à la pression de l'eau.

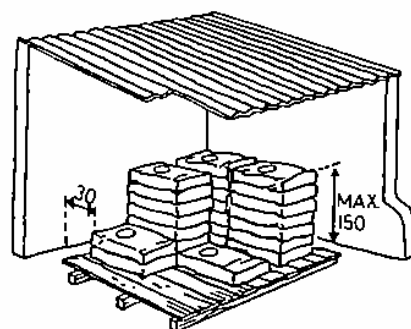


CIMENT ET CHAUX

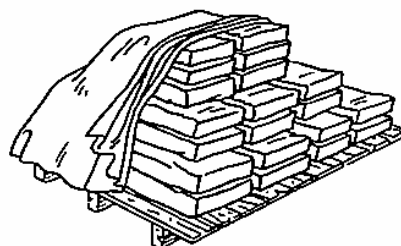
Tous deux sont généralement conditionnés en sacs surtout le ciment. Nous prenons ici la base d'un sac «standard» de ciment de 50 kg (= 42 l).



Les sacs seront stockés de préférence sous abri protégé de l'humidité et du vol. Les sacs seront surélevés du sol et écartés des murs pour protéger le ciment de l'humidité et éviter de déstabiliser les murs (voir dessin ci-dessous).



On peut envisager un stockage extérieur temporaire avec une protection par bâches ou feuilles plastiques (voir ci-dessous).



ESPACE NÉCESSAIRE AU STOCKAGE SELON LA PRODUCTION

BLOCS 29,5 x 14 x 9 cm	TERRE (tas)	SABLE (tas)	EAU (fûts/en litres)	CIMENT (piles de 8 sacs)
pour 100 blocs	0,7 m ²	0,2 m ²	0,3 m ² /100 l	0,08 m ²
pour 1 000 blocs	7 m ²	2 m ²	1,5 m ² /1 000 l	0,25 m ²
pour 10 000 blocs	70 m ²	20 m ²	15 m ² /10 000 l	2,6 m ²

PRÉPARATION MANUELLE

GÉNÉRALITÉS

Les opérations de préparation de la terre vont avoir un rôle déterminant sur la qualité finale des blocs. Elles vont parfois rendre possible, par la correction de granularité qu'elles apportent, l'utilisation de terres qu'on ne pourrait employer brutes. Lorsque l'on sait que les coûts d'extraction et de transport sont généralement élevés, cela peut permettre des économies intéressantes.

Comme il a été vu dans les chapitres STABILISATION et EQUIPEMENTS, la préparation est presque indispensable pour les blocs stabilisés afin de garantir une bonne répartition du stabilisant qui ne peut agir efficacement si la terre est en mottes. Même pour des blocs non stabilisés, les mottes ou nodules de terre empêcheront une compression homogène et seront des points faibles à l'intérieur des blocs. La préparation va aussi permettre de corriger les éventuels défauts de granularité. Exemple : le broyage peut casser les graviers et les transformer en gros sables et le tamisage peut enlever les cailloux ou graviers qui seraient en quantités trop importantes.

PULVÉRISATION

Il s'agit soit de briser les mottes liées par l'argile (désagrégation), soit de briser les cailloux ou graviers (broyage). Pour la désagrégation, une pression assez forte suffit ; pour le broyage, un impact violent est indispensable.

TAMISAGE

Il s'agit en général d'enlever les grains trop gros. Les mailles vont de 10 mm pour les presses sensibles, à la compression à 20-25 mm pour les presses moins sensibles à cause de leur force de compression plus élevée ($F > 10$ MPa).

TECHNIQUE	RENDEMENT	INFRASTRUCTURE	MATERIEL
Désagrégation manuelle	1 à 2 m ³ /jour/homme	Aire abritée et ventilée 5 à 10 m ²	1 dame ou pilon/personne 1 brouette et 1 pelle
Désagrégateur à mâchoires à entraînement manuel	3 à 4 m ³ /jour/homme avec 2 ouvriers minimum	Aire abritée et ventilée 5 à 10 m ²	1 désagrégateur 1 pelle et 1 brouette
Tamis fixe et chargement manuel	2 à 4 m ³ /jour/homme selon l'humidité de la terre	Aire abritée et ventilée 15 à 25 m ² (avec stock 20 % refus et circulation)	1 pelle/personne 1 brouette et 1 tamis
Tamis fixe suspendu	4 à 6 m ³ /jour/homme avec 2 ouvriers minimum	Idem que tamis fixe	1 pelle/personne 1 tamis et 1 brouette

TECHNIQUES MANUELLES

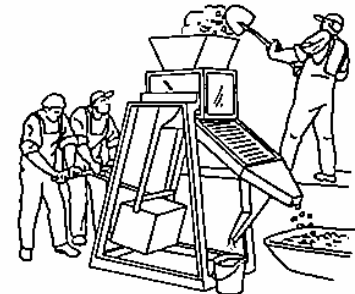
La désagrégation peut se faire manuellement en écrasant les mottes de terre avec un pilon ou une dame. Ce procédé est économique en matériel, mais lent et fastidieux. Certains mécanismes simples à entraînement manuel existent grâce à des mouvements alternatifs ou à des manivelles. Ils ne permettent que la désagrégation, avec des rendements assez faibles en regard de leur coût.

Le broyage manuel, bien qu'existant traditionnellement, est réellement très fastidieux sauf pour de très faibles quantités.

Le tamisage manuel est très fréquent. Un treillis métallique fixé sur un cadre est maintenu obliquement par des jambes rigides ou suspendu presque horizontalement à une superstructure. On peut ainsi imprimer au tamis un mouvement alternatif qui va améliorer le rendement. Si la terre est bien sèche, il existe aussi des tamis rotatifs actionnés par une manivelle avec d'assez bons rendements mais des coûts relativement élevés.



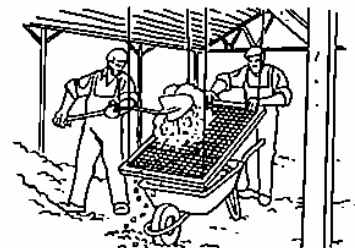
Désagrégation manuelle
La terre sera bien étalée et désagrégée sur une surface dure de préférence.



Désagrégateur manuel à mâchoires
Le désagrégateur peut être couplé à un tamis pour effectuer en une fois toutes les opérations de transformation. On évitera les terres trop graveleuses.



Tamis fixe manuel
On jette la terre au sommet du tamis, incliné à environ 50°. En jouant sur son inclinaison, on peut augmenter ou diminuer les refus.



Tamis suspendu
Le tamis est légèrement oblique pour évacuer les refus et animé d'un mouvement alternatif.

PRÉPARATION MOTORISÉE

GÉNÉRALITÉS (voir chapitre ÉQUIPEMENTS)

Les équipements de préparation spécifiques à la terre existent depuis peu. Ils ont été développés auparavant par l'industrie du béton et dans l'agriculture où les conditions sont différentes.

Pour le béton, on reconstitue le matériau à partir d'éléments purs isolés (graviers, sables) alors que dans la production du BTC, on obtient un produit à partir d'un matériau composite (la terre) où il faut parfois isoler ou ajouter un élément.

L'agriculture traite des matériaux végétaux qui n'ont pas le pouvoir d'abrasion de la terre, les équipements devront donc être légèrement modifiés pour ne pas s'user très rapidement.

TECHNIQUE	RENDEMENT	INFRASTRUCTURE	MATERIEL
Désagrégateur à cage d'écureuil	15 à 40 m ³ /jour avec 1 à 2 ouvriers	Aire abritée et ventilée 10 à 15 m ² total avec rampe chargement 15 à 25 m ²	1 désagrégateur, 1 à 2 pelles, 1 à 2 brouettes
Broyeurs à marteaux	30 à 50 m ³ /jour avec 1 à 2 ouvriers	Aire abritée et ventilée 10 à 15 m ² total avec rampe chargement 15 à 25 m ²	1 broyeur, 1 à 2 pelles, 1 à 2 brouettes
Tamis rotatif mécanique	20 à 40 m ³ /jour avec 1 à 2 ouvriers	Aire plane et abritée 20 à 30 m ²	1 tamis rotatif, 2 pelles, 1 à 2 brouettes
Tamis vibrant	40 à 70 m ³ /jour avec 1 à 2 ouvriers	Aire plane et abritée 20 à 30 m ²	1 tamis vibrant, 2 pelles, 1 à 2 brouettes
Tamis fixe avec chargeur mécanique	40 à 50 m ³ /jour avec 1 conducteur et 1 aide	Aire plane avec circulations 100 à 200 m ² (seules les surfaces de stockage sont abritées)	1 chargeur frontal mécanique, 1 pelle, 1 tamis 2 x 2 m renforcé

PULVÉRISATION

La pulvérisation manuelle, comme on l'a vu, est fastidieuse et ne permet pas le broyage. La mécanisation de ce poste est donc intéressante, d'autant plus que de nombreux équipements spécifiques à la terre commencent à être disponibles sur le marché.

Les désagrégateurs à cages d'écureuils conviennent à des terres fines, sans cailloux ni gros graviers. Leur action se borne à casser les liens créés par l'argile mais sans casser les grains. De ce fait, la granulométrie de la terre n'est pas modifiée. Ce type de machine convient au traitement de la terre sèche mais peut fonctionner avec une terre humide proche de la teneur en eau de compression (10 à 15 %). Dans ce cas, il peut être envisagé de l'utiliser aussi comme malaxeur.

Les broyeurs à marteaux conviennent à toutes les terres, même caillouteuses puisque les marteaux ou couteaux vont casser les cailloux. Les broyeurs, de ce fait, vont modifier la granulométrie de la terre en ajoutant des graviers fins et des gros sables et en supprimant les cailloux et gros graviers. La puissance du moteur, outre l'influence sur le rendement, joue un rôle sur le degré de broyage. Les broyeurs fonctionnent mal avec de la terre humide qui peut boucher la trémie de remplissage et accélérer l'usure des marteaux. Néanmoins, ce type de pulvérisateur est un des plus efficaces.

TAMISAGE

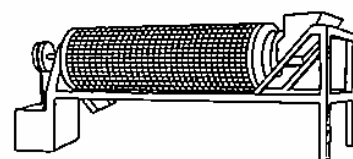
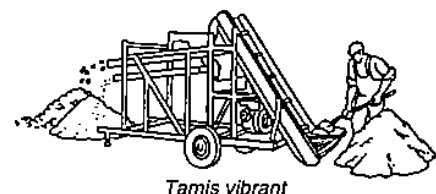
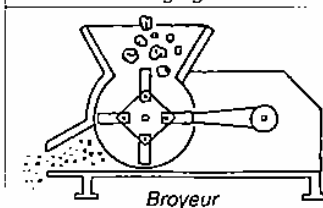
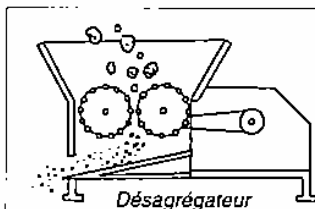
Les tamis mécaniques existants, qu'ils soient vibrants ou rotatifs, sont rarement spécifiques à la production du BTC. Ils ont souvent la possibilité de combiner plusieurs grilles afin de décomposer le matériau en différentes fractions granulaires, ce qui est rarement utile pour le BTC où il suffit d'isoler une ou deux

granularités au maximum. Les rendements sont généralement élevés et s'appliquent à de grosses unités de production).

Les tamis rotatifs à entraînement mécanique peuvent convenir à des unités moyennes ou grosses.

Les tamis vibrants sont lourds et grands consommateurs d'énergie. Ils ne conviennent qu'à de grosses unités de production.

Les tamis fixes chargés par pelleuse-chargeuse peuvent offrir une solution intéressante. En effet, ces tamis sont simples et économiques. Leurs cadres et supports doivent être robustes. Ils peuvent être fabriqués artisanalement. La pelleuse-chargeuse, malgré son coût relativement élevé, peut être utilisée à différents postes de production (extraction, transport, chargement de palettes...). Dans le même esprit, les tracteurs agricoles munis de godets frontaux peuvent être utilisés.



DOSAGE

GÉNÉRALITÉS

Comme on l'a vu dans le chapitre STABILISATION, l'opération de dosage est déterminante, aussi bien pour la qualité du produit que pour le contrôle des coûts de production. Nous ne traiterons pas ici de la détermination des quantités (qui est abordée dans les chapitres LA TERRE et OPERATIONS DE MISE AU POINT) mais des procédures de dosage qui peuvent se faire selon les poids ou les volumes de matériaux.

DOSAGE SELON LE POIDS

Les calculs de dosages se font en poids sec mais la mesure en briqueterie doit tenir compte de la teneur en eau qui est peu maîtrisable pour les matériaux tels que le sable, gravier ou terre. La teneur en eau du ciment étant négligeable, on peut le doser en poids sans risque d'erreurs. La balance doit avoir une précision de 10 à 50 grammes selon les quantités pesées. Plus les quantités seront faibles, plus la balance devra être précise.

Il faut s'assurer de la fiabilité de l'opération (opérateur et balance) ainsi que de son efficacité (les manipulations doivent être faciles et rapides), sinon le dosage par pesée n'aura pas d'intérêt. Cette procédure permet des dosages précis facilement modifiables. Pour les grosses unités de production, le dosage du ciment peut être fait par un système de bascule automatique (balance) identique à ceux utilisés dans les centrales à béton.

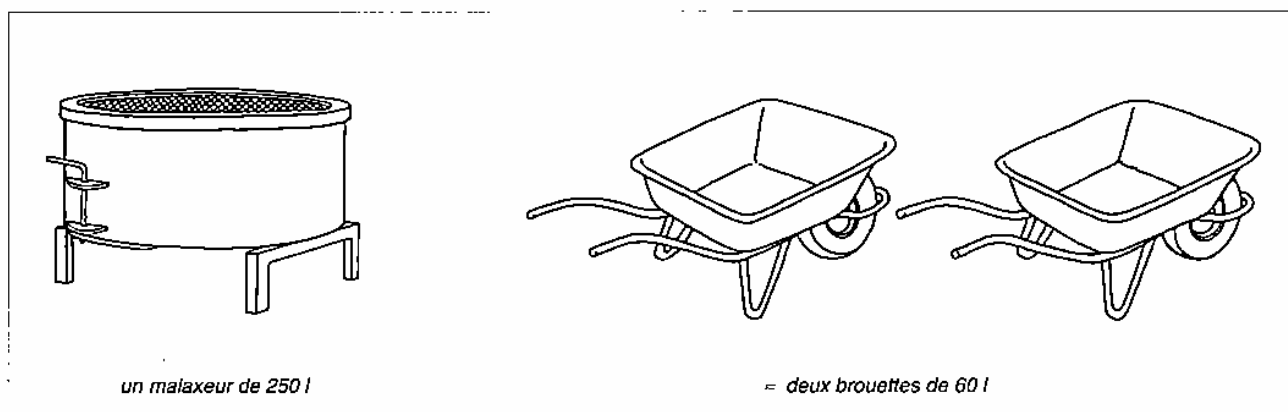
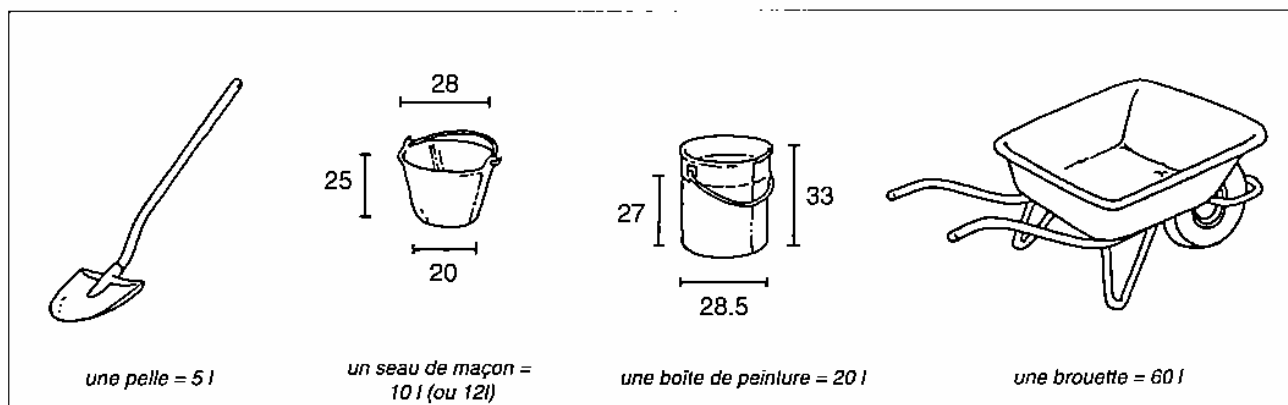
DOSAGE SELON LE VOLUME

C'est la méthode la plus courante et la plus simple. Sa précision dépend de l'humidité et du foisonnement du matériau. Cette imprécision peut être compensée par les contrôles de qualité et l'expérience de l'opérateur. Il faut avant tout disposer de doseurs dont les volumes sont connus.

Pour cela il y a deux méthodes :

- A partir de matériels existants (seaux, brouettes, etc.), vérifier les volumes avec un instrument relativement précis (seau gradué, p.e.). Ces volumes sont mesurés au lancement de la production et vont servir de bases de calcul des dosage. En cours de production, il faut périodiquement s'assurer que les volumes ne sont pas modifiés (brouettes ou seaux cabossés ou remplacés, etc.).

- Fabriquer des doseurs au volume souhaité (boîtes pour des matériaux comme la terre, le gravier ou le sable). On prévoira des capacités de 30 à 60 l. Si la boîte est trop petite, il y aura trop de manutention et si elle est trop grosse, elle sera trop lourde. Si le malaxage est manuel, on peut faire des boîtes sans fond dont il ne faudra pas soulever le contenu. Dans ce cas, on ne dépassera pas 100 à 150 l. Si on fabrique une boîte pour le dosage du ciment, on aura des capacités d'environ 5 à 10 litres. Pour les grosses unités de production, le dosage peut se faire par trémies d'alimentation associées à un tiroir doseur dont le volume sera fixé précisément.



DOSAGE

DOSAGE DE LA TERRE, DU SABLE ET DU GRAVIER

Pour tous ces matériaux, les quantités usuelles vont d'une dizaine à une centaine de litres. Le dosage le plus approprié est généralement en volumes (seau, brouette, boîte doseuse). Après avoir rempli le volume doseur, il faut bien égaliser la surface et l'arasé en se repérant sur les bords du doseur avec le manche d'une pelle, par exemple.

DOSAGE DE L'EAU

Il est difficile de fixer à priori le volume d'eau précis pour obtenir la teneur en eau optimum de compactage, car celle-ci dépend de l'humidité naturelle des constituants (terre, sable...) qui est très variable. L'opérateur déterminera le dosage par des tests simples (test de la boule, voir CONTROLES DE QUALITE) et par son expérience.

DOSAGE DU CIMENT

Les quantités usuelles oscilleront entre 5 et 15 kg. Si le dosage est en poids, il suffit d'une balance relativement précise. S'il est fait par boîte doseuse fabriquée au volume souhaité pour un taux de stabilisation donné, la surface doit être bien égalisée et arasée sans tasser le ciment. Les gestes doivent être aussi répétitifs que possible pour assurer à chaque fois le même dosage. Si le dosage se fait par division du sac (1/2 sac ou 1/3 ou 1/4 ou 1/5...), son contenu sera réparti en une fois dans le nombre adéquat de récipients (habituellement des seaux) de telle manière que chaque récipient soit rempli également. Pour une division en 1/3 de sac, il faudra 3 seaux ; en 1/4 de sac, 4 seaux, etc.

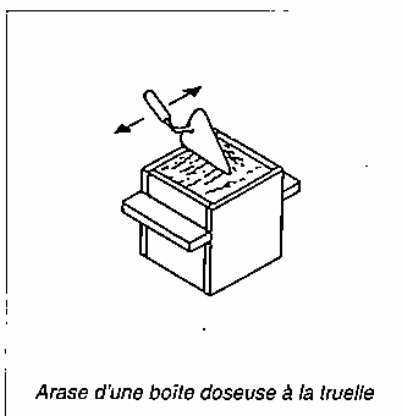
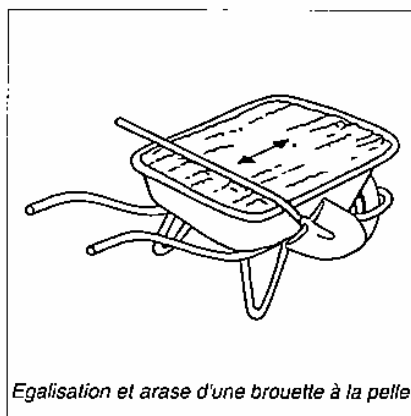


TABLEAU INDICATIF POUR LE DOSAGE DU CIMENT				
Masse volumique terre : 1 300 kg/m ³ , masse volumique ciment : 1 250 kg/m ³				
AVERTISSEMENT : les chiffres de ce tableau ne sont pas valables pour des masses volumiques différentes.				
% de ciment en poids sec	kg/m ³ fins de ciment	Volumes de terre pour 1 volume de ciment	Nombre brouettes de terre pour 1 sac de ciment	Exemples de dosages pour briqueterie
4	75	24	16	1/8 sac ciment ≈ 5 l ≈ 6,25 kg pour 2 brouettes de terre
6	115	16	11	1/5 sac ciment ≈ 8 l ≈ 10 kg pour 2 brouettes de terre (dosage à 6,4 %)
8	150	12	8	1/4 sac ciment ≈ 10 l ≈ 12,5 kg pour 2 brouettes de terre
10	190	9 1/2	6 1/2	1/3 sac ≈ 13,3 l ≈ 16,67 kg pour 2 brouettes de terre (dosage à 10,7 %)
12	225	8	5 1/2	1/5 sac + 1/6 sac ≈ 8 l + 6,67 l = 14,67 l ≈ 18,33 kg pour 2 brouettes

DÉFINITION DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE SÈCHE D'UN MATÉRIAU

On peut obtenir un résultat satisfaisant en connaissant le poids d'un litre de matériau sec. Les valeurs obtenues seront en kg/dm³ ou en tonnes/m³. Pour cela, il faut une balance d'une précision de 10 à 50 grammes, un récipient permettant de mesurer exactement 1 litre et un moyen de séchage du matériau : soit une étuve ou un four, soit un réchaud et une poêle (température maxi : 105 °C). On peut aussi étaler le matériau en fine couche que l'on sèche au soleil. L'imprécision de la mesure ne doit pas dépasser ± 50 g/dm³.

MÉLANGE

GÉNÉRALITÉS (voir aussi chapitres LA TERRE, STABILISATION et ÉQUIPEMENTS)

Le malaxage et la préparation sont des opérations importantes dans la fabrication du bloc. L'obtention d'un mélange ; à la teneur en eau optimum de compactage est déterminante sur la qualité du produit par exemple 2 % d'écart peuvent réduire la masse volumique du bloc de presque 100 kg/m^3 . La répartition du ciment doit être homogène pour que son effet soit égal pour tout le mélange, plus il sera homogène et plus le taux de stabilisation pourra être réduit soit une baisse de coût pour une persistance de qualité. Le malaxage se fait d'abord à sec s'il faut ajouter à la terre des matériaux secs (ciment, sable, gravier). On procède ensuite au mélange humide par aspersion progressive. Si l'humidification est trop brutale, il sera très difficile de mélanger les parties humides avec les parties sèches. Ces règles sont valables pour les blocs stabilisés ou non.

MALAXAGE MANUEL



Verser les matériaux secs (terre, sable, gravier, ciment).



Commencer le mélange au sol en retournant le tas avec la pelle.



Retourner une deuxième fois le tas en creusant une tranchée verticale pour que la terre coule.



Humidifier le mélange avec un arrosoir.

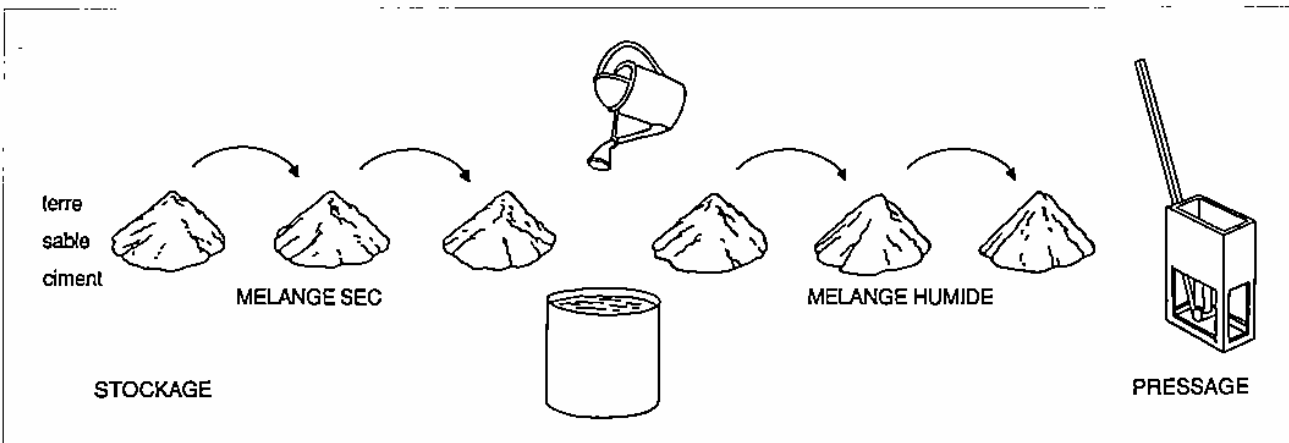


Retourner à nouveau le tas et continuer à verser la terre au sommet du tas, pour qu'elle coule.



Retourner une deuxième fois le tas humide en continuant de l'arroser si nécessaire.

PROGRESSION SPATIALE DU MÉLANGE MANUEL



MÉLANGE

TECHNIQUE MANUELLE

La meilleure méthode consiste à déplacer le tas en le retournant au moins 2 ou 3 fois pour le mélange sec, puis le retourner encore 2 ou 3 fois en ajoutant progressivement de l'eau. Il est important de creuser le tas en laissant la pelle au sol pour prendre le bas du tas et faire, en creusant, une pente verticale sur laquelle la terre du haut coule et ainsi se mélange. On verse la terre du premier tas sur le sommet du deuxième tas pour la faire couler. On ne mélange pas plus d'1/2 sac de ciment à la fois (voir illustrations p. 64).

DISPOSITION SPATIALE

Il est intéressant d'utiliser le retournement du tas comme mode de transport de la terre vers la presse. Pour cela, on placera le stock de matériaux secs (terre, sable, gravier, ciment ...) à 6 ou 8 m de la presse et le stockage d'eau ou point d'eau au milieu, soit à 3 ou 4 m du stock de matériau et de la presse. Ce procédé garantit que les tas soient bien retournés le nombre de fois requises (voir dessin p. 64).

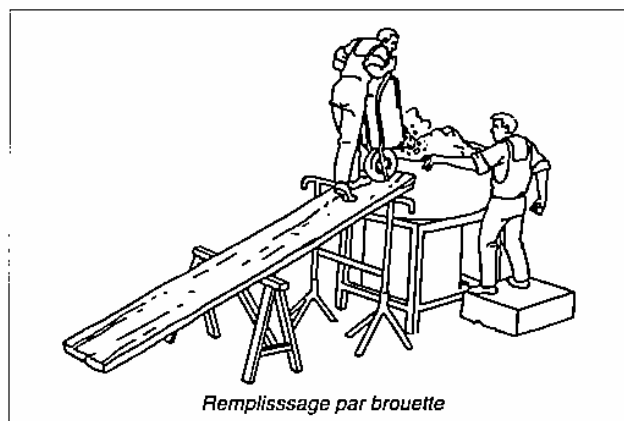
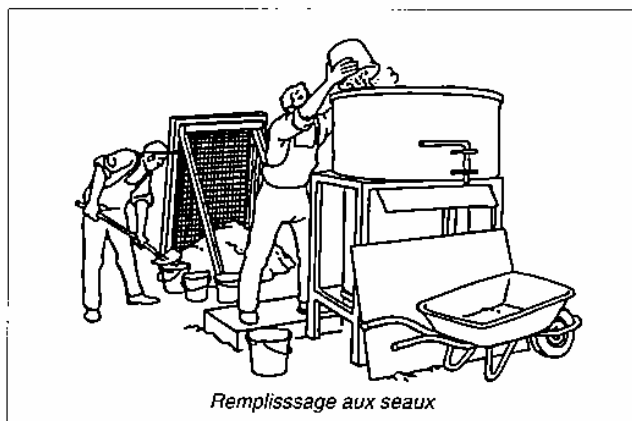
TECHNIQUES MÉCANISÉES

Les principes et objectifs du malaxage mécanique sont identiques à ceux du malaxage manuel ; il est important de procéder d'abord à un mélange sec de 2 à 3 minutes pour les matériaux tels que terre, sable, gravier, ciment, etc., puis d'humidifier le mélange de manière homogène en pluie fine (arrosoir), en nuage ou en vaporisation. Le mélange humide est aussi de 2 à 3 minutes.

On remplit le malaxeur soit avec des seaux ou boîtes doseuses que l'on vide manuellement, soit par une rampe inclinée qui permet l'accès de brouettes, soit par trémies doseuses pour les grosses unités de production.

Il faut éviter la formation de boules pendant le malaxage (généralement humide) car celles-ci sont difficilement compressibles. Leur formation peut être due à une teneur en eau trop élevée et/ou à un temps de malaxage trop long, ou encore à un système de pales mélangeuses inadapté. Le contrôle de la teneur en eau optimum (TEO) est déterminant. Pour des terres argileuses, la teneur en eau sera légèrement plus élevée que la TEO. Pour des terres sableuses, elle sera légèrement plus sèche que la TEO (voir p. 73).

TECHNIQUE	RENDEMENT	INFRASTRUCTURE	MATERIEL
Malaxage manuel	2 à 3 m ³ /jour avec 2 ouvriers	Aire abritée, plane et dure de 15 à 20 m ² pour un déplacement linéaire du tas de 5 m ² minimum pour un tas fixe	2 pelles, 1 arrosoir, 1 brouette et pour le ciment 2 à 5 seaux ou 1 boîte doseuse
Malaxage mécanique	Temps moyen d'un mélange (remplissage, mélange, vidange) 5 à 8 minutes -> 7,5 à 12 m ³ /h 2 à 4 ouvriers	Aire abritée Surface malaxeur ≈ 2 m ² Circulations : 8 à 10 m ² Rampe : 6 à 8 m ² , inclinaison max. 20 à 25 % au total : 10 à 20 m ² selon mode remplissage	1 malaxeur, 1 à 2 truelles ou spatules nettoyage Remplissage manuel malaxeur 250 l : 12 seaux, 1 à 2 brouettes, 2 pelles, 1 arrosoir. Remplissage par rampe inclinée : 2 seaux, 2 à 3 brouettes, 2 à 3 pelles, 1 arrosoir Remplissage mécanisé : 1 bande transporteuse, 1 doseur, 1 trémie doseuse
Malaxage planétaire de 250 l (capacité utile 125 l)	7 à 11 m ³ /jour		
Malaxage planétaire 500 l (capacité utile 250 l)	15 à 24 m ³ /jour		



PRESSAGE

GÉNÉRALITÉS (voir chapitre EQUIPEMENTS)

La compression est l'opération fondamentale de fabrication du BTC. Toutefois, la qualité du produit dépend beaucoup de ce que l'on «met» dans la presse (type de terre et toutes les opérations préalables : préparation, malaxage, temps de retenue ...) et de la manière dont on traite les produits à leur sortie de la presse (cure, stockage, transport, etc.). Les types et qualités de presse ne sont évidemment pas négligeables mais pas forcément déterminants pour le résultat final : le BTC.

Les rendements indiqués sont purement indicatifs ; ils peuvent varier énormément selon les opérateurs.

REPLISSAGE

Généralement, les moules sont prévus pour être entièrement remplis de mélange. Il faut donc niveler la terre au ras du moule. Mais, avec certaines terres, le moule ne doit pas être complètement rempli. Dans ce cas, «l'œil» de l'opérateur peut jouer. Il peut aussi s'aider d'un système de dosage (boîte doseuse, seau gradué, etc.). Il existe aussi des systèmes d'arasement automatique du moule (brosses, rouleau, racloir, etc.) équipant les presses à tables relatives. Certaines presses sont aussi équipées d'un système de dosage réglable par tiroirs coulissants ou boîtes pivotantes. Ces systèmes peuvent fonctionner par entraînement manuel ou mécanique. Si le remplissage se fait par bandes transporteuses ou trémies connectées au malaxeur, ces

systèmes automatiques réglables de dosage sont indispensables. Lorsque l'opérateur a accès au moule avant la compression, il est souhaitable qu'il effectue une vérification du contenu du moule. Par exemple : ajouter ou enlever du mélange (si nécessaire), bien comprimer la terre en enfonçant ses doigts dans les angles du moule (particulièrement pour les presses à basse pression) et enlever éventuellement les cailloux, nodules ou boules.

PRESSAGE

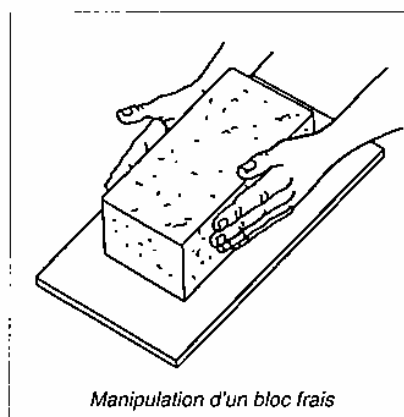
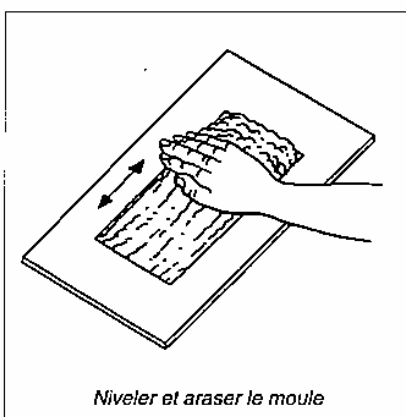
Si la presse est munie d'un couvercle, celui-ci doit être bien positionné ; il faut éviter la présence de terre entre le moule et le couvercle. Il peut, en effet, y avoir risque de déplacement du couvercle ou blocage du système de compression.

Certains couvercles ont aussi une action de précompactage. Dans ce cas, le nettoyage du haut du moule est moins indispensable. Par contre, il faut rabattre assez vigoureusement ce type de couvercle en prenant garde à ce qu'aucun ouvrier n'ait une main dans le moule.

Pour les presses manuelles, la force à exercer sur le levier de compression dépend de la quantité de terre qu'il y a dans le moule. Cette force ne doit être ni trop élevée, ni trop faible. Dans le premier cas, l'opérateur sera vite épuisé ou la machine cassée et, dans le deuxième cas, le bloc ne sera pas assez comprimé.

Pour les presses motorisées, la force de compression est uniforme. Il n'est donc pas possible de contrôler, lors de l'action de compression, si le remplissage du moule est correct.

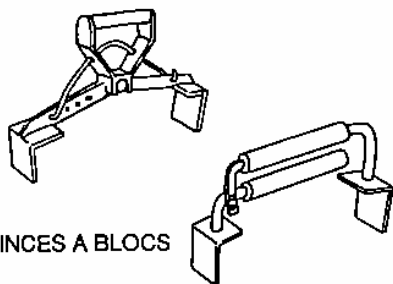
TYPE DE PRESSE	GAMME DE PRIX	RENDEMENT THEORIQUE (blocs 29,5 x 14 x 9 cm)	INFRASTRUCTURE	MATERIEL
Manuelle à bas rendement théorique	200 à 500 \$	300 à 600 blocs/jour avec 2 ouvriers (au pressage)	Aire abritée, plane et dure d'environ 7 m ²	1 pelle, 1 paire de gants + matériel nettoyage (brosses, racloirs, etc.)
Manuelle à haut rendement théorique	1 500 à 2 000 \$	700 à 1 500 blocs/jour avec 3 ouvriers	Aire abritée, plane et dure de 8 à 10 m ²	+ matériel d'entretien (graisse, huile, clés, etc.)
Unité foraine	25 000 à 90 000 \$	1 500 à 4 000 blocs/jour avec 2 ou 3 ouvriers	Aire plane, si possible abritée de 25 à 45 m ²	Idem mais avec un matériel d'entretien plus conséquent
Motorisée à rendement théorique moyen	11 000 à 16 000 \$	1 500 à 2 000 blocs/jour avec 2 ou 3 ouvriers	Aire abritée, plane et dure de 10 à 15 m ²	
Motorisée à haut rendement théorique	20 000 à 80 000 \$	5 000 à 6 000 blocs/jour avec 3 ouvriers	Aire abritée, plane et dure de 10 à 25 m ²	



PRESSAGE

DÉMOULAGE

Pour les presses simples, le même piston comprime et démoule le bloc. Pour les presses plus sophistiquées, il y a souvent un piston spécifique au démoulage. L'avantage est une productivité plus élevée et l'inconvénient, un risque plus élevé de pannes ou de problèmes mécaniques. Lorsque le bloc est démoulé, il est pris manuellement avec précaution car il est encore fragile. La surface de contact entre les mains et le bloc doit être la plus grande possible afin de réduire la pression sur le bloc. Il faut éviter de toucher les arêtes qui sont très fragiles (voir dessin p. 66). Pour les grosses unités de production, le bloc est éjecté sur un tapis à rouleaux et là aussi, en fin de course, il est souvent pris manuellement. Il existe des pinces à blocs qui réduisent le risque de détérioration des blocs frais et permettent à une seule personne de transporter deux blocs à la fois.



PINCES A BLOCS

UTILISATION DES BLOCS SPÉCIAUX (voir pp. 38-39)

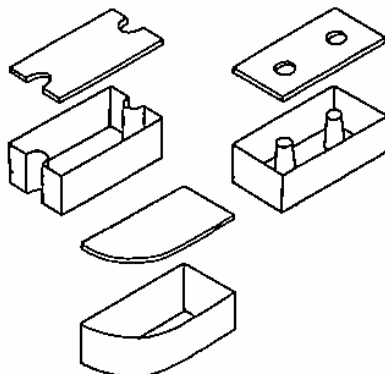
Comme on l'a vu, les blocs spéciaux ont un évidement ou une perforation qui permet l'encastrement dans les murs d'éléments structurels ou d'éléments de second oeuvre. Ils permettent aussi d'alléger les blocs et de réduire les quantités de matière. Toutefois, selon les modes constructifs, les évidements ou perforations peuvent être remplis de mortier. Pour ce type de bloc, on utilise un mélange 1,5 fois plus stabilisé que pour les blocs pleins. Il y a donc surcoût de stabilisant.

Les évidements ou perforations sont aussi utilisés pour la modénature des bâtiments (claustras, etc.).

BLOCS SPÉCIAUX ET MODES DE FABRICATION

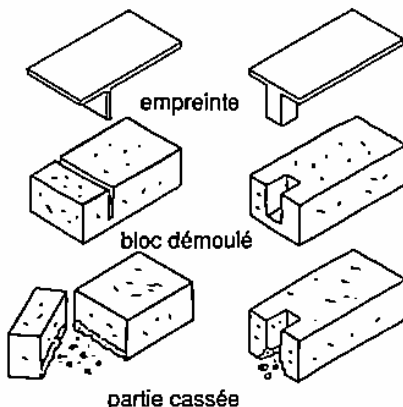
Les moyens utilisés dépendront de la presse. Si les moules sont interchangeables, il sera relativement aisé d'ajouter toutes les variations envisageables. S'il n'y a pas possibilité d'interchanger les moules, il sera presque toujours possible

de placer une empreinte à la forme voulue. Dans le cas de modifications de volumes, dans le même sens que le mouvement du piston (généralement vertical), celui-ci devra avoir une forme permettant au piston de s'enfoncer légèrement dans le moule qui sera alors perforé.



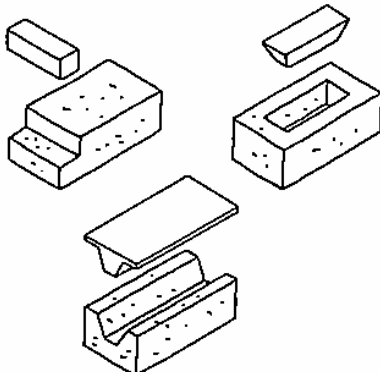
MOULES ET PISTONS

Si l'on ne peut modifier la forme du piston, on peut avoir des évidements verticaux n'ayant pas la hauteur complète du bloc puis, ensuite, casser manuellement la partie inutile mais avec l'inconvénient d'une cassure à surface irrégulière.



Si la modification de volume est perpendiculaire au mouvement du piston (évidement horizontal), il n'y aura aucune difficulté à placer une empreinte avec de bons résultats.

EVIDEMENTS HORIZONTAUX



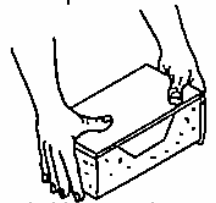
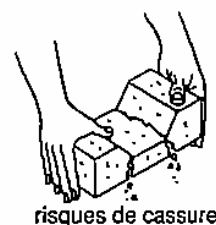
FABRICATION DE L'EMPREINTE

Elle doit être résistante (bois massif, profils métalliques pleins, etc.). Elle est posée soit directement dans le moule, soit fixée au couvercle, soit fixée à une tôle intercalée entre le couvercle et la terre. La tôle sert de gabarit et permet le positionnement rapide et précis de l'empreinte. Tôles et empreintes devront être adaptées aux dimensions du moule avec un jeu. Par exemple, pour un bloc de 29,5 x 14 x 9 cm, la tôle aura une dimension de 29,1 x 13,6 et une épaisseur de 1 à 2 mm.

DOSAGE DU REMPLISSAGE

Le moule n'est plus rempli seulement de mélange foisonné (compressible) mais aussi d'un corps étranger compact (non compressible). Il faut alors réduire le taux de compression. On peut le faire en réglant la machine ou en diminuant la quantité de terre foisonnée introduite dans le moule, sous peine de ne pas pouvoir comprimer ou bloquer la machine.

Un système de dosage permettra de gagner du temps (seau gradué, boîte doseuse, etc.).



transport du bloc avec l'empreinte

TRANSPORT DES BLOCS SPÉCIAUX

L'évidement ou la perforation diminue la résistance du bloc, surtout lorsqu'il est frais. Pour ne pas le casser, il faut le transporter avec l'empreinte qui ne sera enlevée qu'une fois le bloc stocké pour la cure. Pour ne pas ralentir la production, il faut au minimum deux empreintes du même modèle, l'une permettant le moulage, l'autre restant dans le bloc pour le transport.

CURE ET SÉCHAGE

GÉNÉRALITÉS

Les conditions et principes de la cure ont été vus au chapitre STABILISATION. Ils ont une grande incidence sur la qualité finale des blocs. En bref, pour les blocs très légèrement stabilisés (< 3 à 4 %), il faut éviter un séchage trop rapide qui provoquerait des fissures de retrait. Les blocs non stabilisés doivent aussi être abrités du soleil et du vent mais non maintenus en ambiance humide.

Pour les blocs stabilisés au ciment (ou à la chaux), la présence d'eau à l'intérieur des blocs est indispensable pour que le stabilisant atteigne sa résistance maximale. Une température élevée va également y contribuer. Les blocs doivent non seulement être abrités du soleil et du vent, mais maintenus en ambiance humide et chaude à l'aide de bâches ou feuilles plastiques absorbant la chaleur (de couleur noire), avec une fermeture aussi étanche que possible. La durée de cette cure humide et chaude dépend aussi du climat. Elle sera au minimum de 7 jours et si possible de 14 jours.

Les différences entre cure, séchage et stockage définitif résident dans les moyens mais pas forcément dans la disposition des blocs, sauf si ceux-ci sont trop fragiles au démoulage. Pour une stabilisation au ciment, la cure complète est de 28 jours. Pour une stabilisation à la chaux, elle est de 6 mois (néanmoins, les blocs peuvent être mis en oeuvre après 2 mois maximum).

STOCKAGES SÉPARÉS (CURE, SÉCHAGE, STOCKAGE)

Si les blocs sont fragiles au démoulage, on ne peut les empiler très haut. Il faudra une aire spécifique à la cure humide qui sera à proximité (3 à 5 m) de la presse pour réduire les distances et manipulations qui peuvent endommager les blocs. Ceux-ci peuvent être manipulés après 2 jours de cure. L'aire de cure sera donc prévue pour 2 jours de production.

Les blocs du premier jour seront stockés sur une moitié de la surface et ceux du deuxième jour sur l'autre moitié. Le matin du troisième jour, les blocs du premier jour sont transportés à l'aire de séchage afin de libérer la place pour le stockage des blocs du troisième jour. De même, le matin du quatrième jour, on évacue les blocs produits le deuxième jour, etc.

Une attention toute particulière doit être apportée dans le stockage des blocs spéciaux qui peuvent présenter des points de faiblesse importants.

STOCKAGE DIRECT

Si les blocs sont assez résistants au démoulage, ils peuvent supporter l'empilage sur plusieurs hauteurs (10 à

15). Ce type de stockage nécessite un transport immédiat après le démoulage sur une plus grande distance que le stockage séparé (10 à 50 m). Si le sol est bien plane, les transports se font par brouettes à plateau ou sur palettes.

DISPOSITION SERRÉE SUR LE SOL

Le sol doit être bien plane et dur pour que les piles soient d'aplomb. Les blocs sont posés soit à plat, soit sur champ. Pour des blocs fragiles, où le stockage est séparé, on n'exécute pas des piles de 5 à 6 blocs. S'ils sont résistants, en stockage direct on peut faire des piles de 10 à 15 blocs. Le fait de croiser les blocs entre chaque couche a l'avantage de garantir un bon aplomb mais risque de créer des poinçonnements qui peuvent casser les blocs.

On peut ménager des petits espaces entre les piles pour le passage des doigts, ce qui évite de faire glisser les blocs et de les abîmer.

DISPOSITION SUR LITEAUX

Cette technique ne s'utilise que pour des blocs très fragiles au démoulage. Les liteaux ménagent des espaces entre les

couches qui permettent de glisser les mains sans abîmer les blocs. L'autre avantage est la possibilité de faire un bon stockage même sur un sol peu lisse et horizontal. On pose les blocs sur champ sur 3 à 6 hauteurs. Les inconvénients sont les grandes surfaces occupées et la grosse consommation de bois (liteaux).

DISPOSITION SUR PALETTES

L'intérêt de ce type de transport est sa facilité. Les engins de levage des palettes (transpalettes, grues, etc.) sont prévus pour des charges de 1,5 tonne ce qui représente le poids de 200 blocs et des piles d'environ 5 blocs de hauteur. Les chariots élévateurs peuvent supporter des charges plus importantes.

DISPOSITION AÉRÉE AU SOL

Ce type de stockage ne convient qu'aux blocs non stabilisés. Dans ce cas, les blocs sont stockés directement. Ils sont posés sur champ avec des vides entre eux permettant la ventilation. On ne place que 2 blocs sur l'emplacement de 3 blocs. Pour stabiliser les piles, on croise les blocs sans risquer qu'ils se cassent puisque la charge est réduite.

TYPE DE STOCKAGE	DISPOSITION DES BLOCS	SURFACES POUR 1000 BLOCS (avec circulation)
Stockages séparés (blocs sur 4 à 5 hauteurs)	Serrés à plat	15 à 18 m ² (circul. par brouette)
	Serrés sur chant	12 à 15 m ² (circul. par brouette)
	Sur liteaux	25 à 30 m ² (circul. par brouette)
Stockages direct (blocs sur 10 à 17 hauteurs)	Serrés à plat	8 à 10 m ² (circul. par brouette)
	Serrés sur chant	9 à 10 m ² (circul. par brouette)
	Sur palettes sur chant (blocs sur 5 hauteurs)	15 à 20 m ² (circul. transpalette)
	Sur palette à plat	15 à 25 m ² (circul. chariot élévateur)
	Aérés	12 à 15 m ² (circul. par brouette)

MOYENS DE TRANSPORT	LARGEUR POUR CIRCULATION	RENDEMENTS (distance ~ 50 m)
Chariot élévateur (4 t)	1 à 1,5 m	Transport seul : 1 300 à 1 500 b ³ /h Transport + chargement et déchargement : 1 000 à 1 200 b ³ /h
Chariot élévateur (4 t)	3 m	Transport seul avec 2 personnes 12 000 à 15 000 b ³
Chariot élévateur (4 t)	5 à 6 m	Transport seul avec 1 conducteur 30 000 à 40 000 b ³
Chariot élévateur (4 t)	3 à 4 m	Transport + chargement et déchargement manuel 3 000 à 3 500 b ³ /h Distance ~ 1 km

CURE ET SÉCHAGE

GESTION DES STOCKS

Quel que soit le type de disposition des blocs, il est important de pouvoir les compter facilement. Il faut aussi repérer aisément leur date de fabrication afin de contrôler les durées de cure.

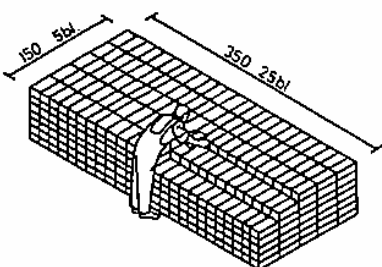
On peut faire des tas correspondant à 1 jour de production ou des tas corres-

pondant à une unité facilement comptable (p.e. 500 ou 1 000 blocs). Le choix sera déterminé par les contraintes spatiales du site de production et le rythme d'écoulement des blocs. Le stockage par tas équivalents à un jour de production demande généralement plus d'espace que le stockage par tas comptables. Mais, si le besoin en blocs est grand, il faut pouvoir

les utiliser dès la période de cure terminée. Dans ce cas, le stockage par jour de production sera préférable. Par contre, si la période de stockage dépasse le temps de cure, l'économie d'espace prédomine et le stockage par unités comptables est préférable.

Note : données pour blocs 29,5 x 14 x 9 cm.

Blocs serrés posés à plat



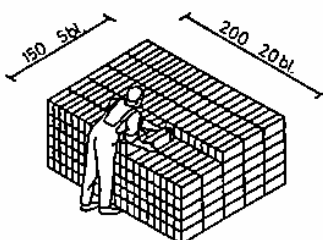
Stockages séparés et stockage direct

Surface au sol : 5,25 m² - 125 blocs par niveau.

En 1^{ère} cure : pile de 500 blocs, hauteur 38 cm soit 4 blocs, surface bâche 9 m².

En 2^e cure : pile de 2 000 blocs, hauteur 1,52 m soit 16 blocs, surface bâche 17 m².

Blocs serrés posés sur chant



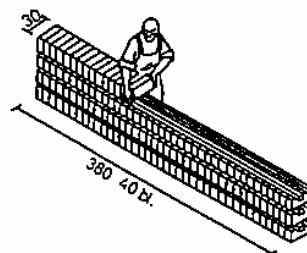
Stockages séparés et stockage direct

Surface au sol : 3 m² - 100 blocs par niveau.

En 1^{ère} cure : pile de 500 blocs, hauteur 0,7 m soit 5 blocs, surface bâche 11 m².

En 2^e cure : pile de 1 000 blocs, hauteur 1,4 m soit 10 blocs, surface bâche 16 m².

Blocs sur liteaux posés sur chant

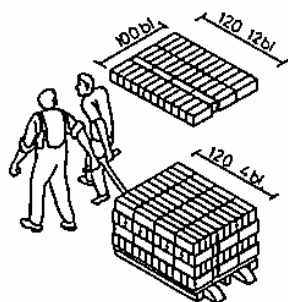


Stockages séparés (blocs fragiles)

Surface au sol : 1,1 m² - 40 blocs par niveau.

En 1^{ère} cure (seulement) : pile de 200 blocs, hauteur 0,86 m soit 5 blocs plus liteau, surface bâche 9,5 m², 38 m de liteaux 4 x 4 cm.

Blocs sur palettes posés sur chant



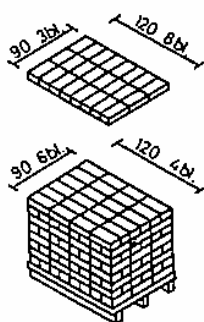
Stockage direct

Surface au sol : 1,2 m² - 40 blocs par niveau.

En 1^{ère} cure : pile de 200 blocs (= 1,5 t), hauteur 0,85 m soit 5 blocs + palette, surface bâche 6,6 m².

Les palettes doivent être résistantes et permettre le glissement du transpalette.

Blocs sur palettes posés à plat

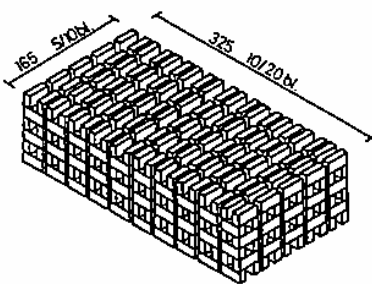


Stockage direct avec élévateur 3 tonnes

Surface au sol : 1,2 m² - 24 blocs par niveau (7^e couche 16 blocs seulement). Pile de 400 blocs (= 3 t), hauteur 0,75 m soit 17 blocs + palette, surface bâche 11 m².

Les palettes doivent être résistantes et permettre le glissement du transpalette.

Blocs aérés posés sur chant



Stockage direct, blocs non stabilisés

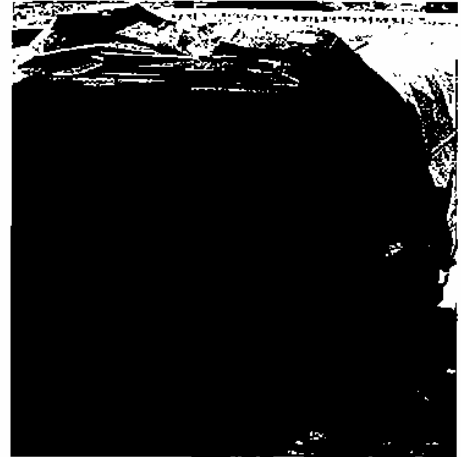
Surface au sol : 5,4 m² - 100 blocs par niveau.

Pile de 1 000 blocs, hauteur 0,4 m soit 10 blocs, surface bâche ou nattes (pour abriter du vent et du soleil) 10 m² (1,7 x 6 m).

TRANSPORT ET STOCKAGE



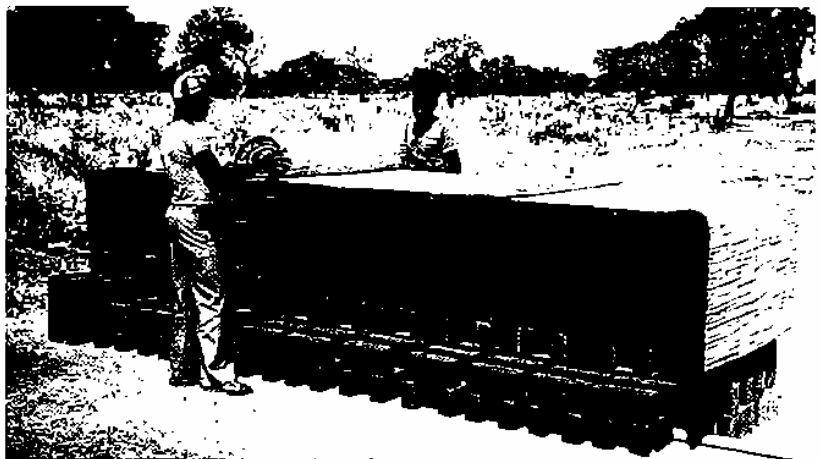
Transport par brouettes à plateaux vers la cure humide



Marquage de la date de production



Blocs non stabilisés abrités du soleil



Stockage sur liteaux



Cure humide avec système d'aspersion d'eau



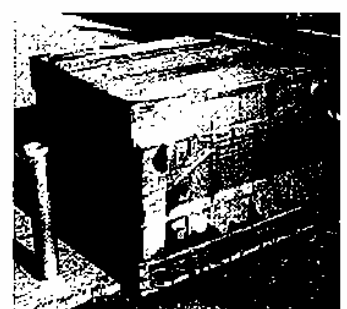
Stockage sur palettes



Transport sur charrette



Chariot élévateur et palettes



Cure humide

RODAGE DE LA FABRICATION

GÉNÉRALITÉS

Dans la phase de montage de projet, diverses estimations ont pu être faites concernant les quantités, les méthodes, etc. On a pu ainsi évaluer les classes de performances des produits, les consommations et ainsi leur coût de production. Au démarrage réel de la production, il faut préciser toutes ces indications et produire concrètement le matériau en fabriquant différents blocs puis en évaluant les résultats, aussi bien leurs performances que leurs coûts. L'évolution se fait par différents tests et analyses qui sont réalisés spécifiquement à ce moment et qui permettront d'abord de fixer les valeurs qualitatives de référence (tolérances) et ensuite d'effectuer un suivi régulier de la fabrication en tenant compte du contexte et des moyens de l'unité de production.

QUALITÉ DES PRODUITS

La qualité est une notion importante qui se définit par rapport aux besoins des utilisateurs. Les critères d'appréciation sont très variables et dépendent du contexte. Ils doivent impérativement être identifiés si possible lors du montage du projet (étude de marché, etc.) mais en tout cas avant le lancement de la production. Par la suite, ils doivent être reconsidérés car ils peuvent changer.

L'utilisation des blocs n'est pas toujours identique ; par exemple, des blocs non exposés à l'eau ne doivent pas forcément être stabilisés, des bâtiments d'un ou plusieurs niveaux n'auront pas les mêmes exigences de résistance des blocs, des blocs enduits ne devront pas obligatoirement être lisses, etc.

En résumé, la qualité peut se définir comme la capacité à produire des blocs tels qu'ils ont été définis en fonction de leur utilisation, ni meilleurs, ni moins bons. A chaque utilisation correspond une classe de blocs : l'objectif primordial est de produire les meilleurs blocs pour le meilleur prix, ce qui équivaut à satisfaire aussi bien l'utilisateur (les blocs dont il a besoin, au prix qu'il peut payer) que le producteur (satisfaire ses clients avec un coût de production lui autorisant une marge bénéficiaire).

CONTRÔLE DE QUALITÉ

Les contrôles visent autant à la connaissance des performances des blocs qu'à la maîtrise des coûts de production. Pour connaître les performances des blocs, il faut définir des procédures de contrôle, des tests qui soient objectifs et permettent de mesurer les indicateurs de qualité. La valeur de ces tests ne dépendra pas de leur complexité mais de la rigueur avec laquelle ils seront menés, aussi simples soient-ils. Une fois la procédure définie, il faut préciser les tolérances admissibles sur les différentes mesures. Plus l'exigence de qualité est élevée, plus la tolérance est réduite. Cette notion de tolérance est importante car, lors de la production, les tests n'ont plus besoin de donner des résultats chiffrés mais seulement de confirmer l'acceptabilité ou

non du produit. Ce qui a pour avantage d'être simple et économique. Lorsqu'on veut obtenir des résultats chiffrés précis, il faut souvent un appareillage coûteux et sophistiqué inadapté aux moyens d'une briqueterie courante.

PROCÉDURE DE CONTRÔLE

Il y a plusieurs niveaux de contrôle :

1. Le contrôle des blocs permet d'évaluer le résultat final de l'unité de production. Il traite surtout des performances des blocs et peu du coût de production.
2. Le contrôle de fabrication évalue les moyens et méthodes de chaque opération. Il permet de savoir si les quantités et gestes sont corrects et peut déceler les causes d'éventuels défauts des blocs avant qu'ils ne soient produits.
3. Le contrôle de l'organisation concerne essentiellement le coût de production. Il évalue les rendements de main-d'oeuvre et donne des indications sur la qualité des blocs lorsque les moyens mis à disposition sont insuffisants.

Pour chacun de ces contrôles, il faut mettre au point des procédures adaptées aux compétences et moyens de la briqueterie.

On commence par contrôler les blocs jusqu'à ce que l'on arrive aux résultats souhaités. On vérifie alors que les méthodes de fabrication qui ont permis

ces résultats sont opérationnelles et reproductibles, puis on fixe les résultats à obtenir pour chaque opération. Enfin, on vérifie que les moyens mis à disposition de chaque opération garantissent une rentabilité optimale.

CONTRÔLE DES BLOCS

Les paramètres de qualité ayant été définis, il faut trouver un moyen de les mesurer. Les principaux paramètres à observer sont : les dimensions, le poids, l'aspect (lisse, rugueux, friable, etc.), la résistance à l'eau (immersion, absorption capillaire, arrosage, etc.).

CONTRÔLE DE FABRICATION

On vérifie que les qualités des matériaux et les méthodes employées permettent d'obtenir les blocs souhaités (analyse des composants, quantités et dosages, chronométrage, mesures dimensionnelles, pesage, température, humidité, observation visuelle, etc.).

CONTRÔLE DE L'ORGANISATION

On mesure l'écart entre les estimations de départ et les résultats réels. Si l'écart est trop important, on envisage les corrections nécessaires en imaginant toutes les possibilités et en justifiant les choix fixés.

EXEMPLE DE CLASSIFICATION DES PERFORMANCES MÉCANIQUES

CLASSES DE PERFORMANCES	RESISTANCES A LA COMPRESSION SECHE (MPa)	RESISTANCES A LA COMPRESSION HUMIDE (MPa)
A	2 à 3	
1	2 à 4	1 à 2
2	4 à 6	2 à 3

Ces valeurs sont indicatives. Pour des valeurs réelles, il est important de distinguer les valeurs de résistance minimale des valeurs moyennes. Les procédures d'essais doivent être décrites ou faire référence à une norme (ex. normes belges NBN B/24/201).

ESSAIS DE PRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

Il faut commencer par élaborer le produit en fonction des matériaux et équipements disponibles. Si les moyens ou l'ampleur du projet le permettent, diverses analyses peuvent être faites en laboratoire (granulo-sédimentométrie, limite d'Atterberg, Proctor, analyses chimiques ou minéralogiques, etc.). Il est évident qu'il est rarement possible de procéder à toutes ces analyses, soit à cause de leur coût élevé, soit parce que tous les laboratoires ne sont pas suffisamment équipés. Mais si l'on procède à des essais de production dont l'empirisme peut être limité par des essais de terrain et par un peu de rigueur, on peut arriver à des résultats très satisfaisants. Des analyses de laboratoire courantes comme la granulo-sédimentométrie et les limites d'Atterberg peuvent être utiles.

Lors des essais de production, les blocs seront fabriqués en suivant toutes les opérations de transformation. A ce stade, la rentabilité n'intervenant pas, on prendra le temps nécessaire pour les effectuer au mieux (voir chapitre PRODUCTION) ; seules les quantités et qualités des composants varieront.

ANALYSE DES COMPOSANTS

Les méthodes d'essais pour l'analyse de la terre ont été détaillées au chapitre LA TERRE. Les essais de terrain concernant l'eau, le sable ou gravier, le ciment et la chaux seront détaillés au chapitre CONTROLES DE QUALITE. L'acceptabilité dépend du résultat mais, dans un premier temps, il s'agit seulement de connaître précisément les matériaux utilisés pour observer si la qualité varie au cours des livraisons.

TERRE

Si l'on dispose de plusieurs types de terres qui paraissent adéquates, il faudra fabriquer plusieurs blocs (10 à 20) puis les observer à l'état humide et sec avant d'opérer un choix définitif.

CORRECTION GRANULAIRE

Terre caillouteuse ou graveleuse : si la terre contient de trop gros grains mais que les grains les plus fins sont bien gradués, il suffit de lui faire subir un tamisage à 10 mm ou 20 mm pour obtenir une bonne terre.




















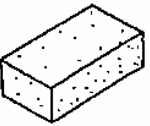




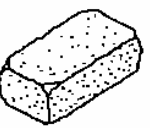
Terre argileuse : si la terre est trop fine, il faut lui ajouter des grains plus gros, sable et/ou gravier, ou encore une autre terre contenant surtout des sables et graviers et très peu d'argile. On peut aussi enlever l'argile par lavage mais la procédure est assez délicate.

Procédure : que l'on ait enlevé une fraction de grains par tamisage ou ajouté une fraction de grains par mélange, la détermination du dosage est presque identique. On estime d'abord grossièrement les dosages en se basant, par exemple, sur le test de la bouteille qui va donner un ordre de grandeur. On fabrique ensuite des séries de blocs à différents dosages et l'on sélectionne enfin le dosage ayant permis d'obtenir les meilleurs blocs.

Essais : on fait une vingtaine de blocs à chaque dosage en s'assurant que la teneur en eau est optimale (test de la boule). On observe les blocs au démoulage ; s'ils sont fissurés et que la teneur en eau est optimale, ce dosage est éliminé. On laisse sécher les bons blocs au démoulage, 2 ou 3 jours de cure humide et un jour de séchage. A ce moment, on sélectionne les meilleurs dosages en regard des meilleurs blocs.

EXEMPLE DE CORRECTION GRANULAIRE D'UNE TERRE AVEC DU SABLE

Hypothèses : volume total du mélange = 120 l de terre-sable + 8 l de ciment (10 kg), stabilisation 6 %,
1 brouette = 60 l, 1 seau = 12 l => 120 l = 1 brouette + 5 seaux

BROUETTE DE TERRE	SEAU DE TERRE	SEAU DE SABLE	CIMENT (10 kg)	BLOC SEC	OBSERVATIONS
	+ 	+ 	+ 	=  MAUVAIS BLOC	très lisse très grosses fissures pas friable très difficile à casser
	+ 	+ 	+ 	=  MAUVAIS BLOC	très lisse grosses fissures pas friable très difficile à casser
	+ 	+ 	+ 	=  MAUVAIS BLOC	très lisse petites fissures pas très friable difficile à casser
	+ 	+ 	+ 	=  BON BLOC	lisse pas de fissures pas trop friable difficile à casser
	+ 	+ 	+ 	=  MAUVAIS BLOC	assez rugueux pas de fissures friable facile à casser

ESSAIS DE PRODUCTION

ESSAIS DE DOSAGE DU STABILISANT ET DU TEMPS DE CURE

On procède comme pour la correction granululaire, en augmentant progressivement les quantités et durées, puis en observant les blocs secs afin de déterminer les résultats les plus proches de ceux escomptés.

L'aspect économique ne doit pas être négligé. Le prix du ciment peut représenter jusqu'à 50 % (généralement 20 à 40 %) du coût total de production. Les dosages de ciment oscillent généralement entre 4 et 10 %. Pour chaque dosage, une vingtaine de blocs sont produits. Pour chaque série de ± 20 blocs, correspondant à chaque dosage, 6 ou 7 blocs seront mis 3 jours en cure humide + 11 jours en cure sèche ; 6 ou 7 autres : 5 jours en cure humide + 9 jours en cure sèche ; les 6 ou 7 derniers blocs : 7 jours en cure humide + 7 jours en cure sèche.

On observe ensuite les blocs secs (aspects, poids, dimensions, rupture, immersion, etc.) voir chapitre CONTROLES DE QUALITE.

On sélectionne les meilleurs dosages et temps de cure ayant les résultats escomptés et au coût de production le plus bas.

VÉRIFICATION DE LA TENEUR EN EAU OPTIMALE (TEO)

Il s'agit d'un test Proctor statique où la compaction est faite par la presse. Il faut déterminer la quantité d'eau qui permet d'obtenir la densité la plus élevée, autrement dit, les blocs les plus lourds. On procède de nouveau par essais successifs, le test de la boule permet d'approcher la mesure de la TEO. On procède à un premier malaxage proche de la TEO, en supposant par exemple qu'il faut 7 litres d'eau pour 60 litres de mélange sec (terre, ciment, sable, etc.). On produit alors une dizaine de blocs avec ce dosage d'eau puis on pèse tous les blocs pour obtenir le poids moyen.

On procède à un deuxième malaxage mais cette fois avec 1 litre d'eau en plus, soit 8 litres d'eau pour 60 litres de mélange sec. On pèse de nouveau tous les blocs. Si le poids moyen est supérieur au précédent, on procède à un nouveau malaxage en ajoutant plus d'eau et cela jusqu'à ce que le poids moyen diminue. Dans le cas où le poids moyen du deuxième malaxage est inférieur au poids moyen du premier malaxage, on procède à un troisième malaxage avec moins d'eau que le premier, 6 litres d'eau au lieu de 7 litres, jusqu'à ce que le poids moyen diminue.

MESURE DE LA TENEUR EN EAU

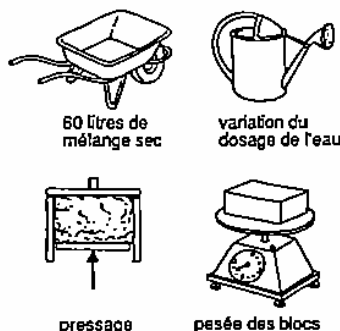
Pour connaître le pourcentage précis de la teneur en eau de chaque malaxage effectué, on prend une petite quantité de mélange humide que l'on pèse, puis on la fait sécher (étuve, réchaud, soleil, etc.) et on mesure le poids sec. La teneur en eau est calculée de la façon suivante :

$$\frac{\text{poids humide} - \text{poids sec}}{\text{poids humide}} \times 100$$


Remarque

La connaissance des quantités (en litres) et de la TEO (en %) sont utiles, mais, étant calculées sur la terre sèche, les variations peuvent être importantes avec la terre humide (climat, pluie, etc.). En effet, la terre n'est presque jamais complètement sèche dans un milieu ambiant «habituel».

ESSAI DE TENEUR EN EAU OPTIMALE



ESSAI DU DOSAGE DU CIMENT

terre (éventuellement sable)	ciment
	
120 litres +	1/8 sac = 6,25 kg = 4 %
	1/5 sac = 10,00 kg = 6 %
	1/4 sac = 12,50 kg = 8 %
	1/3 sac = 16,70 kg = 10 %

ESSAI DU TEMPS DE CURE

CURE HUMIDE	CURE SECHE
1) 3 jours +	11 jours
2) 5 jours +	9 jours
3) 7 jours +	7 jours

EXEMPLE D'ESSAIS DE TENEUR EN EAU OPTIMALE

La quantité d'eau optimale est de 5 litres

	QUANTITE D'EAU (en litre)	POIDS MOYEN DES BLOCS (en kg)
1er malaxage (60 l terre)	3	7,1
2e malaxage	4	7,3
3e malaxage	5	7,8
4e malaxage	6	7,4
5e malaxage	7	7,2

INTERPRÉTATION ET TOLÉRANCES DES RÉSULTATS

ESSAIS

Les diverses procédures sont détaillées dans les chapitres LA TERRE et CONTROLES DE QUALITE ainsi que dans les pages précédentes. L'importance des essais n'est pas à négliger, ce sont eux qui permettent la production des meilleurs blocs aux meilleurs coûts. C'est aussi grâce à eux que la crédibilité de la construction en terre va augmenter et ainsi favoriser l'ouverture de nouveaux marchés pour ce matériau.

INTERPRÉTATION

Le principe de tous les essais de production est d'arriver par « tâtonnements orientés » aux meilleurs résultats. C'est une méthode empirique, certes, mais qui ne nécessite pas trop de matériel et qui est indiscutable au vu des résultats obtenus.

En interprétant les résultats, il faut d'abord songer aux performances souhaitées mais aussi à la production courante en vérifiant que les moyens, méthodes et effectifs utilisés pour la phase de rodage soient réalistes et rentables.

L'aspect économique ne doit pas être négligé lorsqu'on fixe les procédures de fabrication. Les réponses peuvent être très différentes selon que soient élevés les coûts de main-d'œuvre ou au contraire de matériaux et de mécanisation.

Pour le choix de la terre, par exemple, il faut savoir si le transport d'une très bonne terre, qui ne nécessite ni correction ni préparation, est plus économique qu'une terre moyenne extraite sur le site mais qui demande préparation et correction pour arriver aux mêmes résultats. Il faut aussi songer qu'une correction de terre par plusieurs dosages demande à être contrôlée par une personne compétente et évaluer aussi les pertes que pourraient occasionner de mauvais dosages.

La mécanisation des opérations de préparation et de mélange permet souvent de réduire le taux de stabilisation, pour autant qu'elle soit bien faite.

On comprend qu'il est indispensable de disposer d'une bonne analyse du contexte avant de fixer ses choix. Il est parfois préférable de commencer avec une briqueterie simple, adaptée aux compétences et moyens financiers, plutôt que d'être dépassé par la gestion d'une briqueterie complexe.

NIVEAUX DE TOLÉRANCE

Matières premières

- **Terre** : les essais doivent permettre d'arriver à des résultats positifs ou peu éloignés de ceux recommandés pour que d'éventuelles corrections ne soient pas trop délicates.

- **Sable ou gravier** : on les utilise pour corriger des terres argileuses. Ils ne doivent donc pas contenir trop d'argile. En général, leur prix est plus élevé que celui de la terre. Il faut donc en utiliser le moins possible. Il est parfois plus économique d'utiliser en petite quantité du sable propre (de rivière) que du sable argileux en grosse quantité.

- **Ciment** : des ciments portland ordinaires ou de classe analogue conviennent bien (CPA 250 ou év. 350). Il faut s'assurer qu'ils ne soient ni périmés, ni altérés (humidité).

- **Chaux** : les meilleurs résultats sont obtenus avec des chaux aériennes vives ou éteintes. Le degré d'impureté est très variable ; il faut donc procéder à plusieurs essais de dosage.

Contrôle des volumes doseurs

La connaissance des volumes doseurs (seaux, brouettes, etc.) est indispensable pour la maîtrise des coûts et de la qualité. La précision de mesure des volumes doit être de l'ordre de $\pm 5\%$, soit ± 3 litres d'erreur pour une brouette de 60 litres ou $\pm 0,5$ litre pour un seau de 10 litres. Une erreur de 1 kg de ciment par malaxage de 120 litres peut représenter un surcoût de 2 à 5 % du prix total de revient.

Corrections granulaires

Le sable (ou gravier) est généralement plus cher que la terre. Il est donc important de déterminer précisément le dosage correct.

Exemple : une erreur d'1/2 seau de sable pour un dosage à 30 % de sable peut représenter un surcoût de 2 à 5 % du prix total de revient, soit à titre indicatif 5 à 10 \$ pour mille blocs standards.

Dosage du stabilisant

Le prix du ciment intervenant souvent pour 20 à 50 % du prix de revient, une différence de 1 % de taux de stabilisation peut influencer approximativement de 4 à 8 % sur le prix de revient, soit environ 10 à 20 \$ pour mille blocs. On peut savoir si le dosage est correct en mesurant la quantité de ciment nécessaire à la fabrication d'un nombre donné de blocs. Exemple : avec un dosage à 6 %, 1 sac de 50 kg devrait permettre de produire 115 à 120 blocs (les calculs doivent être précisés suivant les masses volumiques sèches). La tolérance est d'environ $\pm 4\%$.

Temps de cure

La durée des temps de cure humide et sèche est déterminante pour la qualité des blocs. Une perte de résistance due à une mauvaise cure humide, pour des blocs stabilisés au ciment ou à la chaux, peut nécessiter une hausse de taux de stabilisation importante.

Par contre, une longue cure humide exigera de grandes surfaces de bâches et d'aires de stockage. L'équilibre entre ces deux contraintes justifie la détermination précise des temps de cure (voir chapitre STABILISATION).

Teneur en eau optimum de moulage

Une erreur de teneur en eau de 1 à 2 % peut engendrer une baisse de 1 à 5 % de masse volumique sèche des blocs. L'opérateur chargé du dosage de l'eau doit toujours être le même pour qu'il acquiert rapidement l'expérience suffisante pour déterminer la TEO.

Temps de malaxage mécanique

Un malaxage trop long va ralentir le rythme de production, former des boules et user les machines ; un mélange trop court ne sera pas homogène. Le temps optimum est généralement pour chaque malaxage (sec et humide) de 1 à 2 minutes soit 3 à 4 minutes au total. On peut produire des blocs avec des malaxages de 3 à 5 minutes puis les observer à l'état sec (aspect, résistance, texture interne, etc.).

Pressage

Après avoir vérifié la précision des dosages, on vérifie le remplissage et le taux de compression de la presse en comptant le nombre de blocs obtenus pour chaque malaxage. La variation ne doit pas dépasser 5 %. On vérifie les moules et la régularité des remplissages en observant les dimensions et le parallélisme des blocs. Les variations ne doivent excéder 2 à 3 mm.

Les variations dans le sens de compression (hauteur) peuvent être dues à un remplissage irrégulier.

Aspect

Les fissures sont à proscrire sur les faces exposées à l'eau. Sinon, elles ne doivent pas excéder une largeur et une profondeur de 1 mm et une longueur de 10 mm. Il ne doit pas y en avoir plus de 3 par face.

Les feuilletages ne sont pas tolérés (trop d'argile ou teneur en eau trop élevée). Les écornures ne doivent pas dépasser 10 mm. Les trous et striures ne doivent pas excéder 1 % de la surface pour les blocs lisses et peuvent aller jusqu'à 10-15 % de la surface pour les blocs rugueux.

FORMATION DU PERSONNEL DE PRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

La production de blocs de terre comprimée n'exige pas une très grande qualification, mais une bonne formation de départ permettra d'atteindre une bonne productivité tout en conservant une bonne qualité de produit. Le BTC n'est pas un matériau traditionnel. Il faut bien considérer cette différence, par exemple un moulage de terre trop mouillée comme pour les adobes, ou le choix d'une terre trop argileuse comme pour les briques cuites. Cette formation devra traiter des gestes techniques, des paramètres de qualité, de la coordination du travail, des règles de sécurité, de l'entretien des équipements et de l'infrastructure. Elle sera faite essentiellement de travaux pratiques et d'exercices démonstratifs.

PARAMÈTRES DE QUALITÉ (voir chapitre CONTROLES DE QUALITÉ)

Les procédures de contrôle de qualité sont indispensables pour obtenir des produits de qualité. Pour être efficaces, ces procédures doivent rencontrer l'adhésion du personnel. Il faut que celui-ci en comprenne la nécessité. Il faut donc développer une conscience professionnelle où chacun est concerné par les produits obtenus. Il faut mettre en place des procédures de contrôle adaptées au milieu et à la taille de l'unité de production. La méthode consistant à montrer exagérément chaque paramètre puis à donner des moyens d'explication est généralement efficace.

Qualité de terre

On fabrique des blocs avec des terres caricaturales (trop argileuses, trop sableuses, etc.) puis on observe les résultats.

Teneur en eau de compactage

On produit des blocs avec un mélange trop sec ou trop mouillé et enfin à la bonne teneur en eau.

Malaxage

On fait des blocs avec une terre brute, presque pas mélangée puis, avec une terre correctement préparée et mélangée.

Dosage des stabilisants

On casse des blocs produits à différents dosages des stabilisants.

Temps d'attente avant pressage

On fait varier les temps d'attente entre mélange et pressage.

Pressage

On fait d'abord des blocs en remplissant mal le moule puis, correctement.

Cure

On compare des blocs ayant eu une bonne cure et d'autres qui ont été directement exposés au soleil et au vent après démoulage.

Pour tous ces exercices, on introduit, après avoir produit les blocs, les essais permettant de contrôler l'opération. On essaie aussi d'illustrer les incidences qu'ont les mauvaises opérations sur le prix de revient par des images parlantes : nombre de blocs produits avec un sac de ciment, en posant le sac vide devant la pile de blocs correspondante, etc.

APPRENTISSAGE DES GESTES (voir chapitre PRODUCTION)

Les gestes s'acquièrent avec la pratique mais l'explication de certains «trucs» peut accélérer l'apprentissage ; il faut aussi éviter les postures de travail dangereuses ou fatigantes.

Il est aussi important que tous les membres d'une équipe aient été formés au travail de chaque poste. Ils peuvent ainsi, éventuellement, remplacer leurs collègues mais surtout comprendre les difficultés de chaque poste et ne pas s'en prendre inutilement à leur collègues.

Il faut néanmoins laisser une certaine liberté au départ pour que chacun trouve progressivement sa place.

COORDINATION DU TRAVAIL

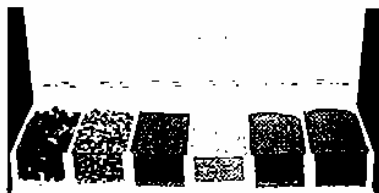
Chacun doit comprendre que la production d'un bloc résulte d'une série d'opérations dépendantes les unes des autres et qu'il a donc sa responsabilité dans le résultat final. Là aussi, des exemples de mauvaises coordinations peuvent aider à la compréhension, mais le recrutement de départ, le mode de rémunération, la gestion participative ou non, jouent un rôle. L'organigramme de production et de responsabilités doit être soigneusement fixé et réévalué.

SÉCURITÉ

Il y a toujours des risques d'accidents même avec l'équipement le plus réduit (écrasement des mains, retour du levier de compression, projection de terre, etc.). Pour chaque poste, les accidents possibles doivent être imaginés et simulés, en fonction de quoi des règles de sécurité sont décidées.

ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS ET DE L'INFRASTRUCTURE

Le degré d'entretien va directement influencer sur les produits et, indirectement, sur les entrées financières. Chacun est donc concerné et doit être capable d'effectuer l'entretien courant avec les moyens nécessaires. Les réglages ou réparations plus délicates par contre, ne seront effectués que par les gens compétents désignés. Durant les premières semaines, il faudra être très attentif au personnel et ne pas hésiter à passer le temps nécessaire pour que chacun comprenne exactement son rôle.



Constituants de la terre



Essai d'identification

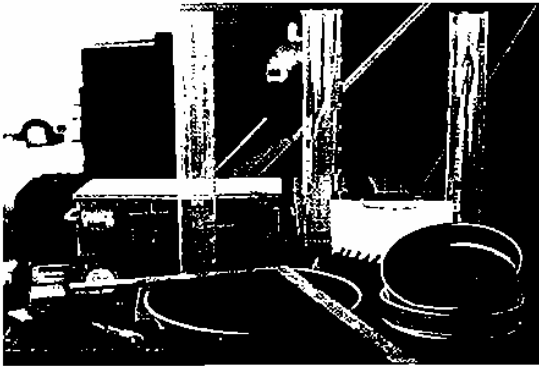


Blocs comprimés manuellement



Comportement et état hydrique des sols

CONTRÔLES DE QUALITÉ



Matériel contrôle qualité



Essai du cigare



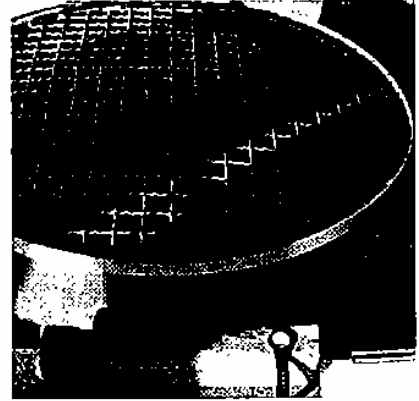
Comportement à l'eau



Essai du goût pour la salinité de l'eau



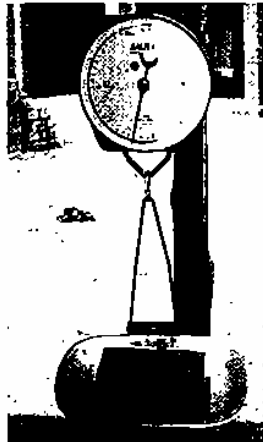
Contrôle du ciment par tamisage



Chronométrage du malaxage



Essai de la boue (teneur en eau)



Pesée d'un bloc



Résistance au pénétromètre



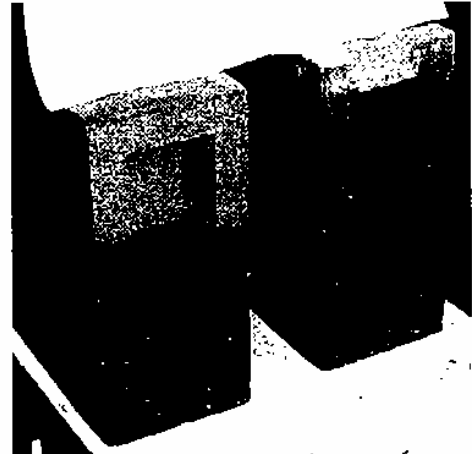
Essai de rupture



Résistance à la compression



Contrôle de la cure humide



Absorption capillaire

CONTRÔLE DES MATIÈRES PREMIÈRES

GÉNÉRALITÉS

L'objectif des contrôles, lors de la production, est de vérifier si la production est conforme aux objectifs fixés. Il ne s'agit pas forcément d'obtenir une mesure précise mais de vérifier si le résultat obtenu est correct, en procédant par comparaisons avec des valeurs fixées en phase de rodage de production (pour les tolérances, voir chapitre OPERATIONS DE MISE AU POINT).

MATIÈRES PREMIÈRES

Terre

L'identification et la sélection des terres ayant été faites auparavant, il suffit de vérifier qu'une livraison de terre est plus ou moins identique à la terre sélectionnée à l'origine.

On peut utiliser l'essai du cigare (voir p. 28) et vérifier que la longueur du cigare obtenu avec la terre testée ne varie pas par rapport aux longueurs mesurées avec la terre d'origine.

On peut aussi faire l'essai de la bouteille (voir p. 29) en comparant si les proportions des différents composants sont semblables; ceci, en posant côte à côte la terre d'origine et la terre testée; il faut avoir deux récipients identiques.

Si les différences sont trop importantes, il peut être nécessaire de modifier les dosages (dégraissant, stabilisant).



Essai de la bouteille



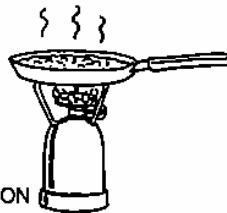
Essai du cigare

Eau

Il faut éviter la présence de sels dans l'eau, particulièrement si l'on stabilise les blocs avec du ciment ou de la chaux. On observe si l'eau est limpide et si elle ne contient pas de sel. Après l'avoir fait complètement évaporer, on constate s'il y a des dépôts. Il peut s'agir aussi bien de matières organiques qui ne peuvent être admises qu'en très faible quantité, que de cristaux de sels qui sont à proscrire totalement.



GOUT



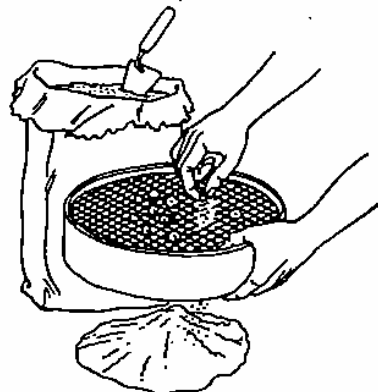
EVAPORATION

Sable ou gravier

Ils sont utilisés comme dégraissant, on vérifie donc qu'il n'y a pas trop d'argile avec l'essai de la bouteille. Si l'eau surmontant le sable ou le gravier est trouble, c'est le signe de présence d'argile, dont la proportion ne devrait pas dépasser 10 à 15%. On observe, par la même occasion, que la granularité soit homogène en comparant l'échantillon testé avec un échantillon témoin.

Ciment

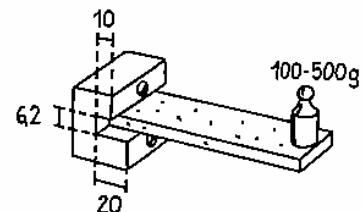
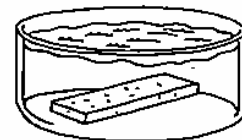
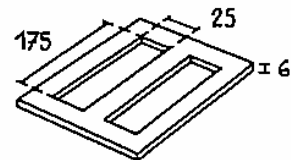
Il faut vérifier que le ciment n'ait pas été altéré au contact de l'humidité. On tamise à 1 ou 2 mm un peu de ciment et si l'on observe dans le tamis des boulettes que l'on ne peut écraser entre le pouce et l'index, c'est que le ciment est mauvais. Si l'on ne peut refuser la livraison, on peut éventuellement l'utiliser en le tamisant à 0,5 mm puis en le mélangeant à 50% de ciment de bonne qualité.



TEST CIMENT

On peut aussi vérifier la résistance du ciment. On fait un mortier avec 1 volume de ciment et 3 volumes de sable puis on moule ce mortier pour obtenir des barrettes. On emballe les barrettes et le moule dans un sachet plastique.

On démoule les barrettes après 24 heures pour les placer en cure, soit immergées dans l'eau, soit dans un emballage étanche. On met une barrette en tension après 24 heures et une autre après 28 jours. Après 24 heures, elle doit supporter 100 g et 500 g après 28 jours.



Chaux aérienne

Son degré d'impureté ne doit pas être excessif. On peut réaliser des tests identiques à celui du ciment en comparant avec des barrettes de chaux étalon dont on connaît l'impureté.

Dans le cadre d'un projet important, il est recommandé de prendre l'avis d'un technicien.



Prise d'échantillon de terre broyée

CONTRÔLES DE FABRICATION

OPÉRATIONS DE TRANSFORMATIONS

Préparation de la terre

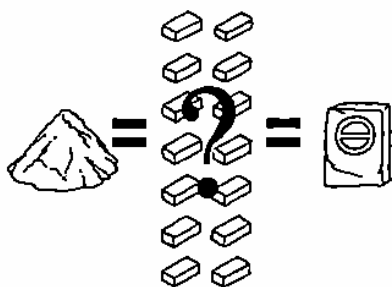
On procède comme décrit précédemment pour le contrôle des matières premières avec les essais du cigare ou de la bouteille et par comparaisons avec des longueurs ou bouteilles témoins.

Dosage

Le contrôle se fait par pesées ou par comptages avec une tolérance de $\pm 5\%$:

- le nombre de blocs obtenus par malaxage,
- le nombre de malaxages fait avec un sac de ciment,
- le nombre de blocs obtenus avec un sac de ciment.

On vérifie la précision des comptages par recouplement des différents résultats (voir ci-dessous).



Mélange

- Mélange manuel : on compte combien de fois le tas est retourné. Il doit l'être au moins 2 fois par mélange (sec et humide).

- Mélange mécanique : on chronomètre le temps des mélanges secs et humides par 3 à 5 chronométrages ; la tolérance est de 5 à 10 %.

- Mélange sec : on observe visuellement l'homogénéité du mélange (texture, couleur).

- Mélange humide : on vérifie si la teneur en eau est optimale par l'essai de la boule :

1. une poignée de mélange humide est comprimée dans la main et façonnée en boule ;

2. on laisse tomber la boule de ≈ 1 m de haut sur un sol dur ;

3. on observe le résultat, si la boule est cassée en nombreux morceaux, le mélange est trop sec ; si la boule se casse en 4 ou 5 morceaux, la teneur en eau est bonne, si la boule se déforme sans se casser ou se casse en 2 morceaux, le mélange est trop humide.

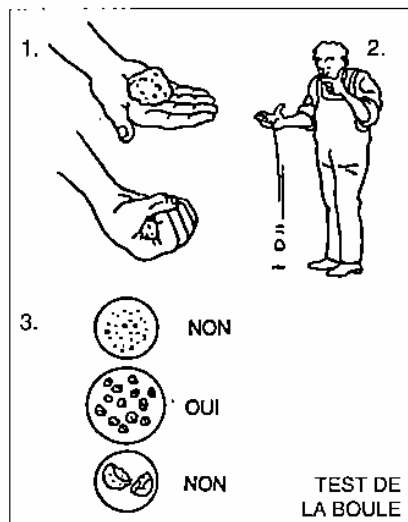
Temps de retenue (voir pp. 33-34)

On mesure le temps d'attente du mélange avant qu'il ne soit comprimé. Pour une stabilisation au ciment, il ne doit pas dépasser 5 à 10 minutes. Avec de la chaux, le temps ne sera pas inférieur à 2 heures mais plutôt de 8 à 16 heures.

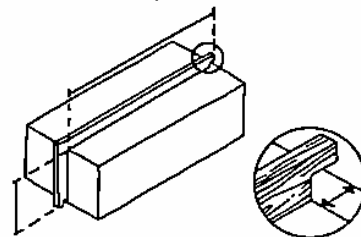
Pressage

Au démoulage du bloc, on vérifie :

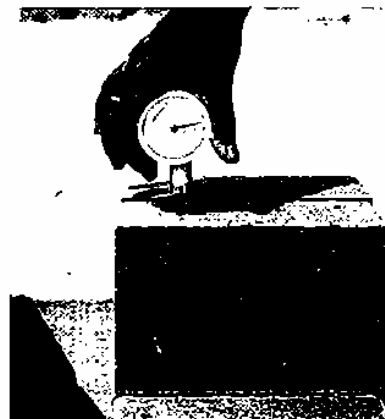
- son poids, qui ne doit pas varier de plus de 5 à 10 % du poids optimal,
- son aspect, dont les critères de tolérance sont détaillés en page 74,
- ses dimensions qui ne doivent, ainsi que d'éventuelles flèches, pas varier de plus de 1 à 3 mm. Les mesures se font à l'aide d'un mètre et d'une équerre de maçon (voir photos ci-dessous).



On peut aussi fabriquer un gabarit orthogonal en bois ou en métal qui permet de mesurer à la fois les dimensions et le parallélisme. Des petites encoches aux extrémités fixent la tolérance admise.



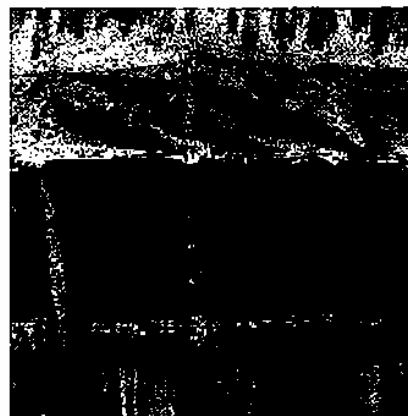
On peut vérifier la résistance à l'aide d'un pénétromètre de poche. On fait au moins 5 essais par face ; les tolérances seront définies en fonction des performances à atteindre.



Cure

On observe la qualité de la cure humide notamment s'il y a une présence de condensation (gouttes) à l'intérieur des bâches ou feuilles de polyane.

On peut aussi mesurer la teneur en eau des blocs en cure en la comparant à la teneur en eau au démoulage. Les variations de teneur en eau du bloc en cure ne devraient pas être supérieures à 1 ou 2 % de la teneur en eau de compactage.



CONTRÔLE DES BLOCS

GÉNÉRALITÉS

Le nombre minimum de blocs à tester est environ de 5, mais cela dépendra de la productivité. Le temps passé pour les contrôles ne doit pas entraver le fonctionnement de la briqueterie. Il faut donc hiérarchiser l'importance des essais et les adapter à la disponibilité du contrôleur afin que les plus importants (pesées, dimensions, rupture) soient effectués régulièrement. Les contrôles des blocs se font pendant les cures et impérativement après des temps de cure réguliers pour qu'ils soient comparables.

POIDS, ASPECT, DIMENSIONS ET PARALLÉLISME

Les essais et tolérances sont identiques à ceux décrits précédemment. Il s'agit à ce stade de vérifier d'éventuelles modifications des blocs par rapport à l'état qu'ils avaient au démoulage : la variation de teneur en eau est observée par une baisse du poids et le retrait par des réductions de dimensions ou par l'apparition de fissures. Pendant la cure humide, la teneur en eau ne devrait pas baisser de plus de 1 à 2 % soit une baisse de poids d'environ 150 à 200 g maximum, pour un bloc standard. Le retrait ne devrait pas être de plus de 1 %. Pour l'acceptabilité des fissures, voir chapitre OPERATIONS DE MISE AU POINT.

ESSAI DE RUPTURE

Il permet d'observer la résistance à la flexion des blocs et, par extrapolation, leur résistance à la compression. C'est le critère, le plus couramment utilisé pour la majorité des matériaux. On fait cet essai avec un casse-bloc de chantier (voir ci-dessous et annexes). On obtient ainsi une approximation satisfaisante de la résistance en flexion.

Le bloc est placé sur sa face d'appui, le côté de compression en bas, sur deux tubes espacés de 20 cm et perpendiculaires à la longueur du bloc. On pose, au milieu de la face supérieure, un troisième tube, parallèle aux premiers, fixé à un plateau que l'on charge à un rythme d'environ 250 kg/minute avec des blocs ou des sacs de ciment. On compte la charge qu'il a fallu pour casser le bloc et on calcule sa résistance à la flexion :

$$\sigma_f = \frac{1,5 \times E \times P}{l \times h^2} \times k$$



E = écartement entre les 2 tubes (ici 20 cm)
 P = charge en kg (plateau compris)
 l = largeur du bloc testé en cm
 h = hauteur du bloc testé en cm

k est le coefficient utilisé pour les blocs évidés ; si le bloc est plein k = 1. L'utilisation de cette formule n'intervient que si l'on veut mesurer la résistance mais on peut aussi fixer une charge minimale acceptable. Par exemple, le bloc testé, pour être bon, doit supporter une charge de 15 blocs posés sur le plateau.

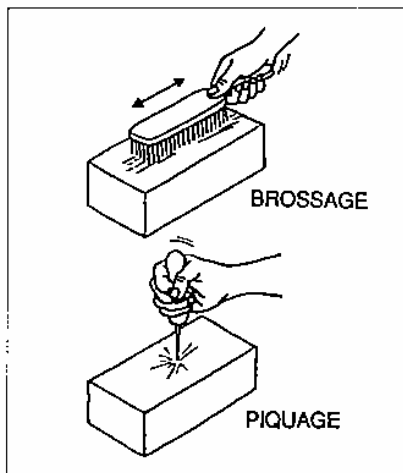
On peut déduire la résistance à la compression (σ_c) en multipliant σ_f par un facteur K qui dépend de la nature de la terre ; il se situe souvent entre 5 et 8 mais il sera déterminé plus précisément par des essais, en laboratoire, de résistance à la flexion et à la compression.

$$\sigma_c = K \times \sigma_f$$

Cet essai situe correctement le niveau de performance du bloc.

TEXTURE INTERNE

Après avoir cassé les blocs, on observe leur texture interne. La répartition des grains doit être homogène. En cas de défaut, généralement dû à un mauvais malaxage, on peut observer des concentrations de gravier ou de gros sable, ou encore la présence de taches ou de boulettes. Dans tous ces cas, les blocs sont mauvais.



PIQUAGE ET BROSSAGE

Pour chaque bloc cassé, on échantillonne les deux moitiés, l'une étant conservée comme témoin et l'autre pour les essais. Le piquage se fait avec un stylet que l'on frappe contre les faces du bloc. Pour le brossage, on utilise une brosse métallique que l'on applique sur 2 ou 3 faces avec une pression et un nombre de va et vient constant.

Ces essais donnent une indication sur la résistance de surface des blocs. Les seuils d'acceptation sont fixés par le type d'utilisation, blocs exposés ou non aux frottements et aux chocs.

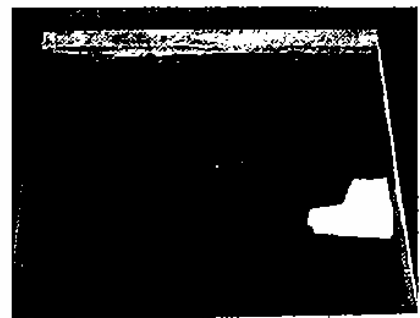
IMMERSION

On utilise les moitiés de blocs ayant subi l'essai de piquage-brossage afin d'observer le cas le plus défavorable.

On immerge complètement les demi-blocs dans l'eau pendant 6 heures, puis on les laisse sécher 42 heures, ce qui constitue un cycle de 48 heures de mouillage-séchage. On peut ainsi procéder à plusieurs cycles. On peut remplacer l'immersion par un arrosage en pluie fine avec un arrosoir (voir photo ci-dessous).

MARQUAGE DES BLOCS

Lorsque les blocs ont passés tous les essais, il faut s'assurer que le marquage est fait. La date de fabrication, doit être spécifiée ainsi qu'éventuellement la classe de blocs. Les inscriptions doivent être facilement lisibles, même en cure humide où les inscriptions seront aussi faites à l'extérieur des bâches.

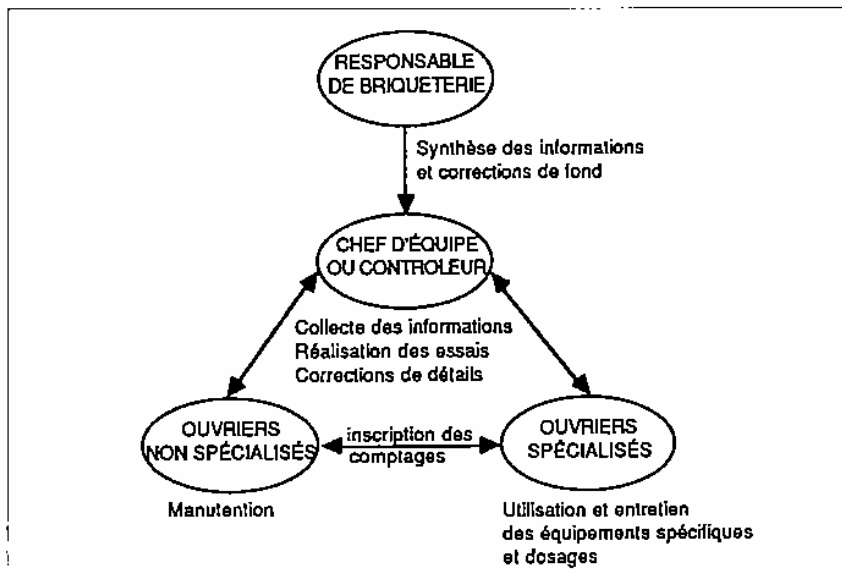


MOYENS DE CONTRÔLE

ORGANIGRAMME DES RESPONSABILITÉS (voir organigramme à droite)

Il est indispensable de définir les niveaux de responsabilité des divers intervenants sur les contrôles.

- Le responsable de briqueterie analyse les résultats et décide des corrections de fond.
- Le chef d'équipe ou contrôleur effectue les essais, collecte les informations et décide des corrections de détail.
- Les ouvriers comptabilisent les opérations et s'efforcent de les effectuer telles qu'elles ont été définies.



FRÉQUENCE

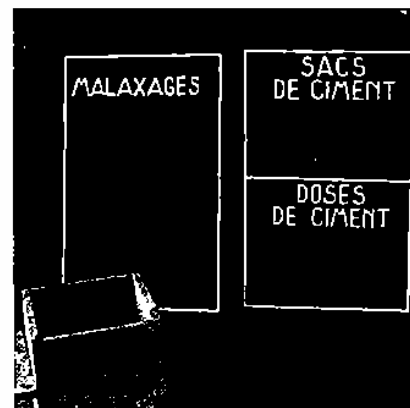
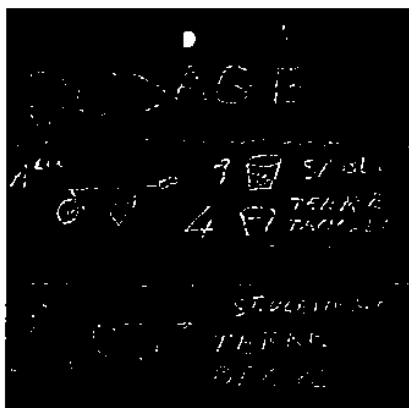
Chaque contrôle ou suivi doit avoir une fréquence déterminée selon le niveau d'analyse et le fonctionnement de la briqueterie (voir tableau à droite).

SUPPORT	UTILISATION	FREQUENCE			QUI LES REMPLIT			QUI LES LIT						
		jour	semaine	mois	ouvriers	chef d'équipe contrôleur	responsable de briqueterie	ouvriers	chef d'équipe contrôleur	responsable de briqueterie	contrôle interne	contrôle externe	client	
	TABLEAUX NOIRS	•			•			•	•					
FICHES	CONTROLE	Suivi journalier	•			•			•		•	•		
		Fabrication		•			•		•	•	•	•	év.	
		Blocs		•			•		•	•	•	•	év.	
		Organisation		•			•		•	•	•	•	év.	
	Equipement	•	•			•			•	•	•			
	ENREGISTREMENT	Consommation			•						•	•		
		Production			•						•	•		
		Label qualité			•						•	•		•
		Rendements			•			•						
		Dépenses/recettes			•				•					

OUTILS DE CONTRÔLE

Toutes les opérations qui peuvent l'être doivent être comptabilisées (quantités de blocs et de matières premières, nombre de malaxages, transports...).

Elles doivent être comptées par ceux qui les effectuent (ouvriers), enregistrées et vérifiées par le chef d'équipe ou contrôleur. Les tableaux noirs sont les meilleurs supports pour les comptages en cours de production. Ils sont relevés sur des fiches de contrôle qui sont ensuite analysées et classées sur des fiches d'enregistrement. A chacun de ces supports correspondent des niveaux de responsabilité et de fréquence donnés.



Outils de contrôle : tableaux noirs pour compter les consommations de matières pendant la production

GESTION ET ÉCONOMIE DE LA PRODUCTION



Gestion de la qualité et normalisation



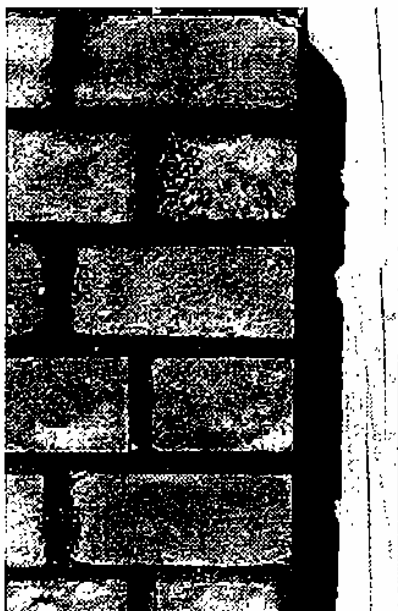
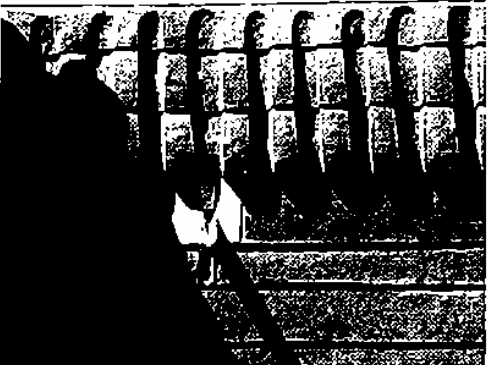
Création d'emplois et qualification



Gestion de la qualité et normalisation



Création d'emplois et qualification



Traditions culturelles et beauté de la construction en terre

GESTION

GÉNÉRALITÉS

La gestion est indispensable pour améliorer et atteindre un fonctionnement régulier de l'unité de production. Elle permet de prendre des décisions grâce à l'analyse des informations recueillies lors des divers contrôles et enregistrements. Il s'agit avant tout de la maîtrise des stocks et de la trésorerie, mais aussi de la satisfaction des utilisateurs donc, de la commercialisation.

GESTION DES STOCKS

Matières premières

Un stock représente une immobilisation de capital. L'immobilisation va dépendre de la méthode et du cycle de fabrication ; notamment de la durée de cure qui doit être la plus courte possible, sans que cela soit au détriment de la qualité des blocs. Exemple : la chaux, comme stabilisant, peut s'avérer moins rentable que le ciment, même si elle est meilleur marché, puisqu'elle exige une cure minimum de 56 jours au lieu de 28 jours pour le ciment. Le délai entre chaque livraison de matières premières doit être étudié. S'il est trop grand, il impose l'achat d'avance de grandes quantités d'où une immobilisation longue du capital. Mais, si le délai est très court, un léger retard peut provoquer une rupture de stock, immobilisant la briqueterie, ce qui, pour être évité, nécessite des stocks de réserve. D'autre part, l'achat par grosses quantités entraîne souvent des réductions de prix unitaires. Il faut trouver et préciser l'équilibre entre ces diverses contraintes par une observation attentive des approvisionnement, des consommations et des états de stocks dont il faut faire l'inventaire au moins une fois par mois pour vérifier d'éventuels écarts (enregistrements imprécis, mauvais dosages, pertes, vols, etc.).

Equipements et outillage

L'état des équipements et de l'outillage doit être connu pour éviter un arrêt forcé de la production. Un simple manche de pelle cassé suffit à stopper la briqueterie. Il faut prévoir un stock d'outils et de pièces

de rechange suffisant mais pas excessif. Un inventaire mensuel est aussi indispensable.

Blocs prêts à l'utilisation

Pour éviter une longue immobilisation du capital, il faut que les blocs soient écoulés au plus vite dès la cure terminée (chantier de construction ou vente directe). Cette question doit être étudiée avant le démarrage de la production. Si les blocs sont destinés à la vente directe, il est intéressant d'avoir à disposition des stocks de blocs prêts que l'on peut vendre sans délai, mais il faut être conscient qu'il s'agit d'argent immobilisé. On envisagera cette solution si les capitaux le permettent et suivant les exigences des clients, pour qui cela peut être un argument de vente supplémentaire. Une unité de production ne fonctionnant qu'à la commande est la meilleure solution pour la maîtrise des stocks mais cela n'est possible qu'avec de petites unités de production où les charges d'amortissement et de non-production sont faibles. Sinon, un effort commercial est indispensable pour maintenir une certaine stabilité des ventes ou des chantiers.

GESTION DE LA TRÉSORERIE

L'argent nécessaire à la production (achat des matières premières, matériel, énergie, salaires, etc.) ne sera remboursé que par le paiement des blocs vendus comme tels ou mis en oeuvre dans des constructions. Cet argent que l'on doit « avancer » est appelé trésorerie ; c'est un stock d'argent liquide qui peut entraîner des charges (emprunts). Pour réduire ces charges, il faut prévoir au plus juste la quantité nécessaire pour une période donnée (semaine ou mois) et évaluer la flexibilité envisageable : dates fixes ou non des paiements et des encaissements.

Il s'agit, dans la plupart des cas, de négocier avec les divers interlocuteurs (fournisseurs, banques, clients, administration, etc.). Les résultats sont souvent déterminés par la fiabilité économique et technique de l'unité de production et par la qualité des relations entretenues avec les partenaires.

SATISFACTION DES UTILISATEURS

Trois facteurs sont déterminants : la disponibilité, la qualité et le prix.

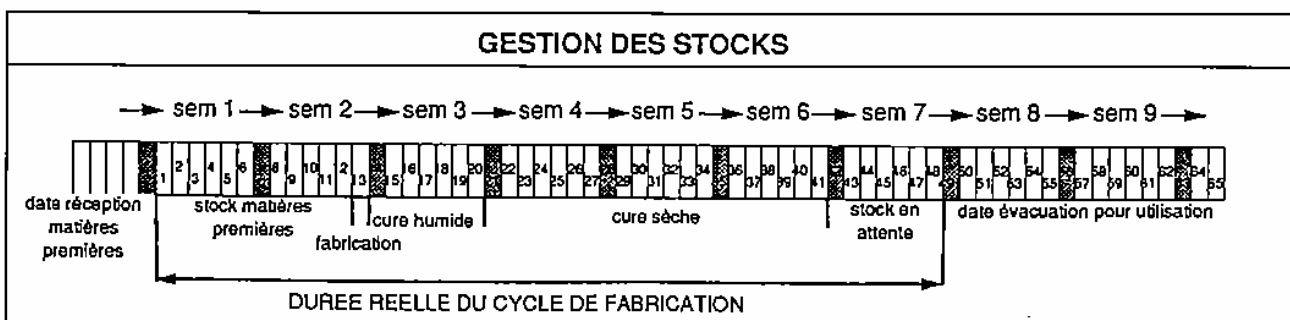
- **La disponibilité** dépend du délai entre la commande et la livraison des blocs. Un délai trop long risque de déplaire aux utilisateurs qui s'orienteront vers d'autres matériaux. Mais, comme nous l'avons vu, un délai très court suppose une capacité financière permettant la gestion des stocks de blocs. La meilleure solution consiste à s'assurer une clientèle fidèle, mais la diversification des activités peut aussi être une solution. Par exemple, un producteur constructeur peut avoir un marché plus large et l'une des activités peut éventuellement compenser les faiblesses de l'autre.

- **La qualité** est fixée par les besoins des utilisateurs qui doivent être connus et constamment réévalués pour une satisfaction optimale.

Il faut aussi rassurer les utilisateurs en leur prouvant la fiabilité et les performances des produits ; soit avec le label d'un organisme de contrôle agréé, soit par l'expérience reconnue de la briqueterie.

- **Le prix** est aussi un argument déterminant. Il doit être fixé en fonction du marché local et adapté au prix que l'acheteur accepte de payer. On peut réduire la marge bénéficiaire, ce qui est parfois une bonne politique commerciale : en vendant moins cher, on vend plus. On peut aussi tenter de réduire le coût de production, mais cela suppose un effort permanent d'analyse du fonctionnement de la briqueterie sur le plan économique, en étudiant les prix des matières premières, de la main-d'oeuvre, l'amortissement, les charges. Pour cela, il faut parfois redéfinir les méthodes de fabrication, le type d'organisation, les équipements, la trésorerie, etc.

L'amélioration de la productivité est souvent le meilleur moyen pour réduire le coût de production et s'obtient souvent par une amélioration des conditions de travail (protection du soleil et de la poussière, sécurité, salaires convenables ou participation aux bénéfices, etc.).



CALCUL DES COÛTS

COÛT DE PRODUCTION

Le calcul du coût de production est indispensable ; il doit être évalué lors du montage du projet puis vérifié périodiquement. Il va inclure les charges fixes et les charges variables de l'unité de production.

Les charges fixes sont indépendantes de la productivité mais sont liées à la configuration de l'unité de production ; elles incluent :

- Les frais financiers (intérêts sur emprunt) : ils sont liés aux investissements de départ (études préparatoires de marché et de faisabilité, achat de terrains ou de site de production, achat d'équipements, fonds de départ pour les premières dépenses (stocks, salaires, matériel).

- L'amortissement : il doit permettre de reconstituer l'investissement de départ. Il est calculé sur la durée de vie ou de remboursement de l'unité de production qui peut être suivant les cas de 3, 5 à 10 ans.

- Les frais de gestion : ils incluent les salaires, cotisations et fournitures qui sont indépendants de la production.

- Les frais administratifs : ils incluent les impôts et les taxes.

- Les frais d'infrastructure : ils incluent les loyers, les assurances et les réparations.

Les charges variables sont liées à la productivité mais indépendantes du type

de ligne de production, elles incluent :

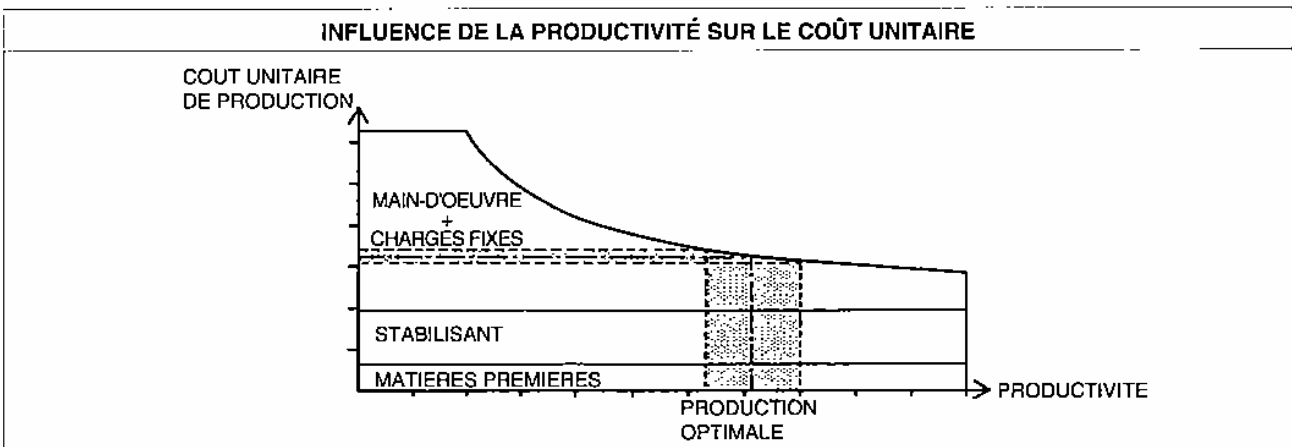
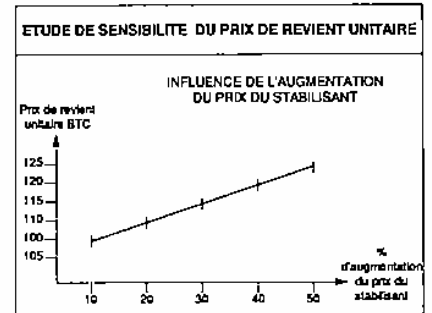
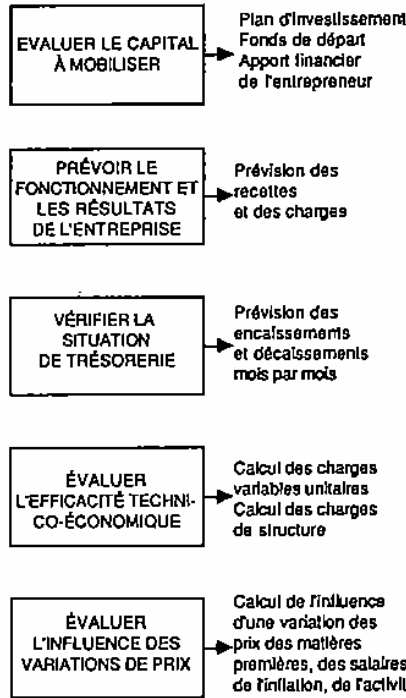
- La main-d'oeuvre de production (salaires, cotisations sociales, etc.).
- Les matières premières (terre, sable, ciment, eau, énergie, etc.).
- Le matériel et les services liés à la production (outillage, travaux et transports).
- Eventuellement les taxes sur les produits (TVA...).

PRIX DE REVIENT UNITAIRE

On calcule l'ensemble des charges fixes et variables pour une production donnée. Puis on divise cette somme par le nombre de blocs produits pour connaître le prix de revient unitaire qui permet ensuite de fixer de manière réfléchie le prix de vente des blocs, en additionnant une marge bénéficiaire au prix de revient.

ETUDE DE SENSIBILITÉ

Il est intéressant de calculer l'influence d'une modification des charges (fixes et variables) ou de la productivité sur le prix de revient unitaire. Cela évite d'être pris au dépourvu en cas de hausse des charges ou de baisse de productivité. Cela peut aussi donner de bonnes indications pour optimiser la méthode de fabrication, l'organisation ou les dosages, en regard des variations de prix de revient unitaire.



La courbe ci-dessus illustre la réduction du coût de production unitaire avec l'accroissement de la productivité. Les coûts de matières premières et de stabilisant seront toujours identiques : si on paie 1 unité monétaire pour 1 bloc, on payera 1 000 unités monétaires pour 1 000 blocs ; les proportions sont identiques. Les coûts de main-d'oeuvre et de charges par bloc vont, par contre, être réduits si la productivité augmente. En effet, les charges (intérêts, location, impôts, etc.) et les salaires (si le paiement est indépendant de la productivité) seront identiques que l'on produise ou non des blocs. Exemple : si les charges et salaires sont de 1 000 unités monétaires par jour, on aura un coût de 1 000 unités monétaires par bloc si on produit un seul bloc, mais un coût de 1 unité monétaire par bloc si on produit 1 000 blocs. L'expérience montre pourtant, qu'à partir d'une certaine productivité, le coût de production par bloc ne baisse pratiquement plus ; il s'agit donc d'atteindre ce degré de productivité optimale.

COMMERCIALISATION

GÉNÉRALITÉS

C'est par la satisfaction des utilisateurs que peuvent se développer la commercialisation et la diffusion du BTC. Cela suppose un travail actif d'information et d'observation de l'évolution du marché mais aussi d'assistance à la conception et à l'exécution des bâtiments en BTC ainsi que des démarches visant à la reconnaissance publique du matériau.

INFORMATION

Le BTC est souvent mal connu. Il faut donc informer les utilisateurs potentiels aussi bien sur les aspects de vente (prix, délais) que sur les potentialités constructives (performances, confort thermique, faible coût, esthétique). On peut utiliser des supports courants (prospectus, fiches techniques, vidéos, médias). Dans un premier temps, le meilleur moyen est généralement la démonstration par la réalisation de bâtiments témoins illustrant la mise en oeuvre spécifique au BTC et ses qualités constructives. Ces premières réalisations sont souvent déterminantes car le public aura tendance à assimiler le BTC aux bâtiments qu'il aura vu. Elles doivent illustrer au mieux les potentialités et limites du matériau tout en étant adaptées aux besoins réels du public.

CONSEILS ET ASSISTANCE

Généralement, il ne suffit pas de produire de bons blocs, il faut s'assurer que leur mise en oeuvre est correcte et suit les règles qui lui sont spécifiques. Dans le cas où le producteur est aussi constructeur, le problème se pose moins, dans la mesure où la compétence spécifique est acquise. Dans le cas où les blocs sont vendus directement, le producteur doit être en mesure de conseiller ou d'assister ses clients pour la construction. Ils risquent sinon de rejeter le matériau et d'en donner une mauvaise image qui se retournerait contre le producteur. Il doit pouvoir assister le client à la conception et à l'exécution, soit en ayant des liens avec des architectes, ingénieurs ou entrepreneurs qu'il peut recommander à ses clients, soit en ayant à disposition une documentation technique (manuels, plans types) éventuellement assortie de stages de formation.

RECONNAISSANCE DU BTC

Les interlocuteurs du secteur de la construction sont pas toujours convaincus par l'apparition d'un nouveau matériau. Ils doivent être rassurés par la démonstration de la fiabilité du matériau et de la compétence professionnelle des producteurs. La réalisation de bâtiments démonstratifs est éloquent, mais devra souvent être complétée par la mise en place de contrôles de qualité réalisés par des organismes officiels qui peuvent permettre d'aboutir à une qualification d'entreprise et à l'élaboration de documents normatifs spécifiques.

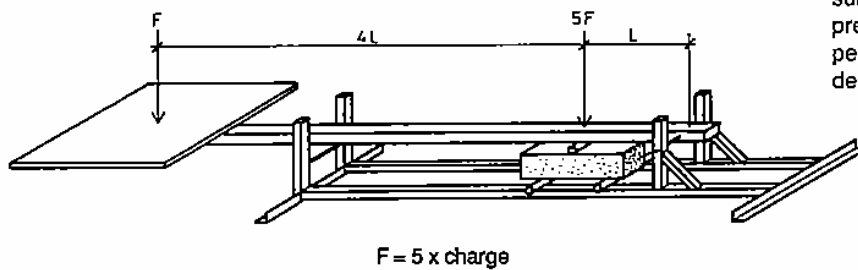
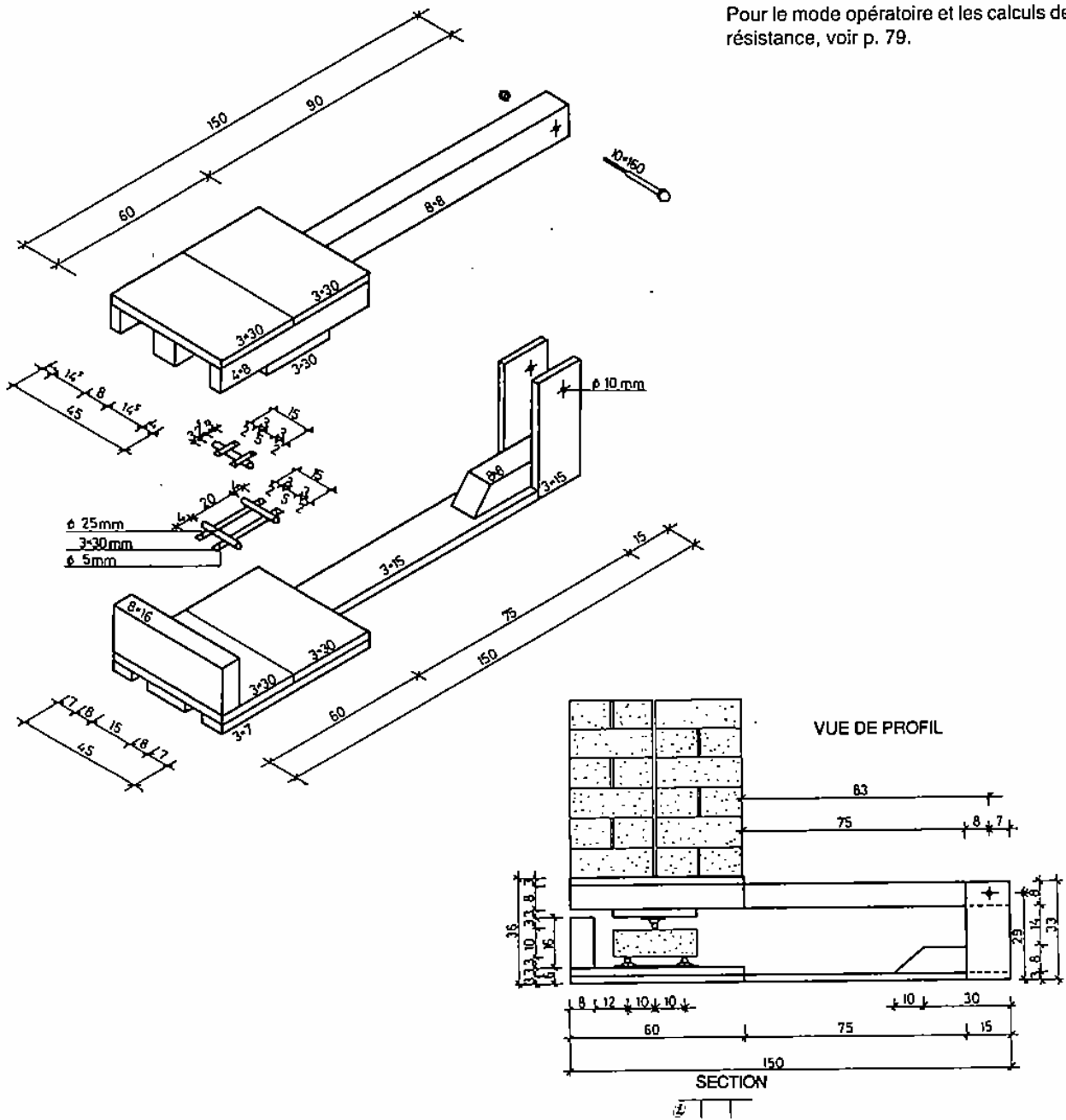
Pour un producteur ou un constructeur, la reconnaissance du BTC peut avoir de nombreux avantages : ouverture des marchés publics, taux de crédits favorables, subventions, partenariat, etc. Pour des services officiels, les avantages sont aussi certains : réduction des importations, créations d'emplois, formation de main-d'oeuvre spécialisée, solutions constructives économiques, continuité culturelle, etc.



Les premières réalisations en BTC sont déterminantes pour l'évolution du marché

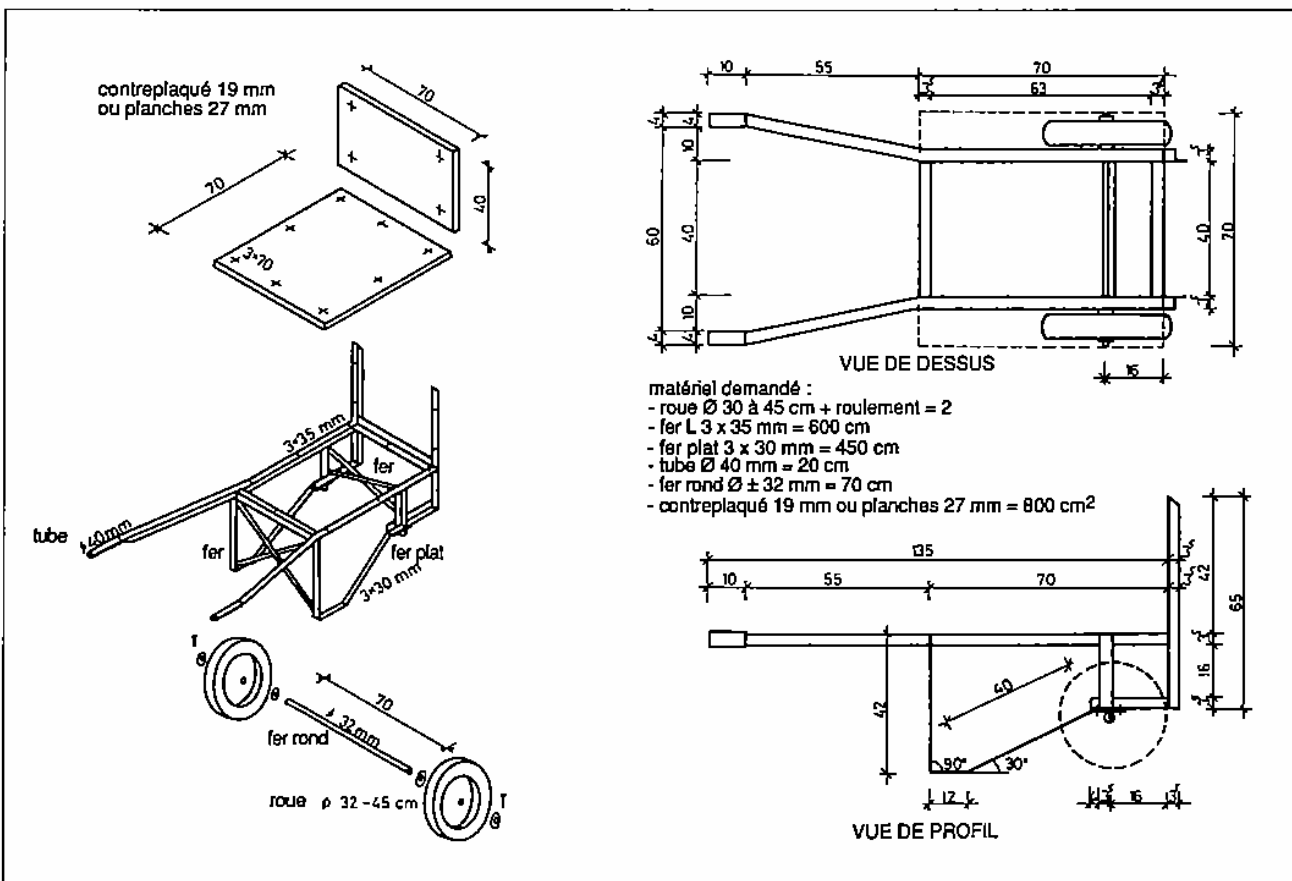
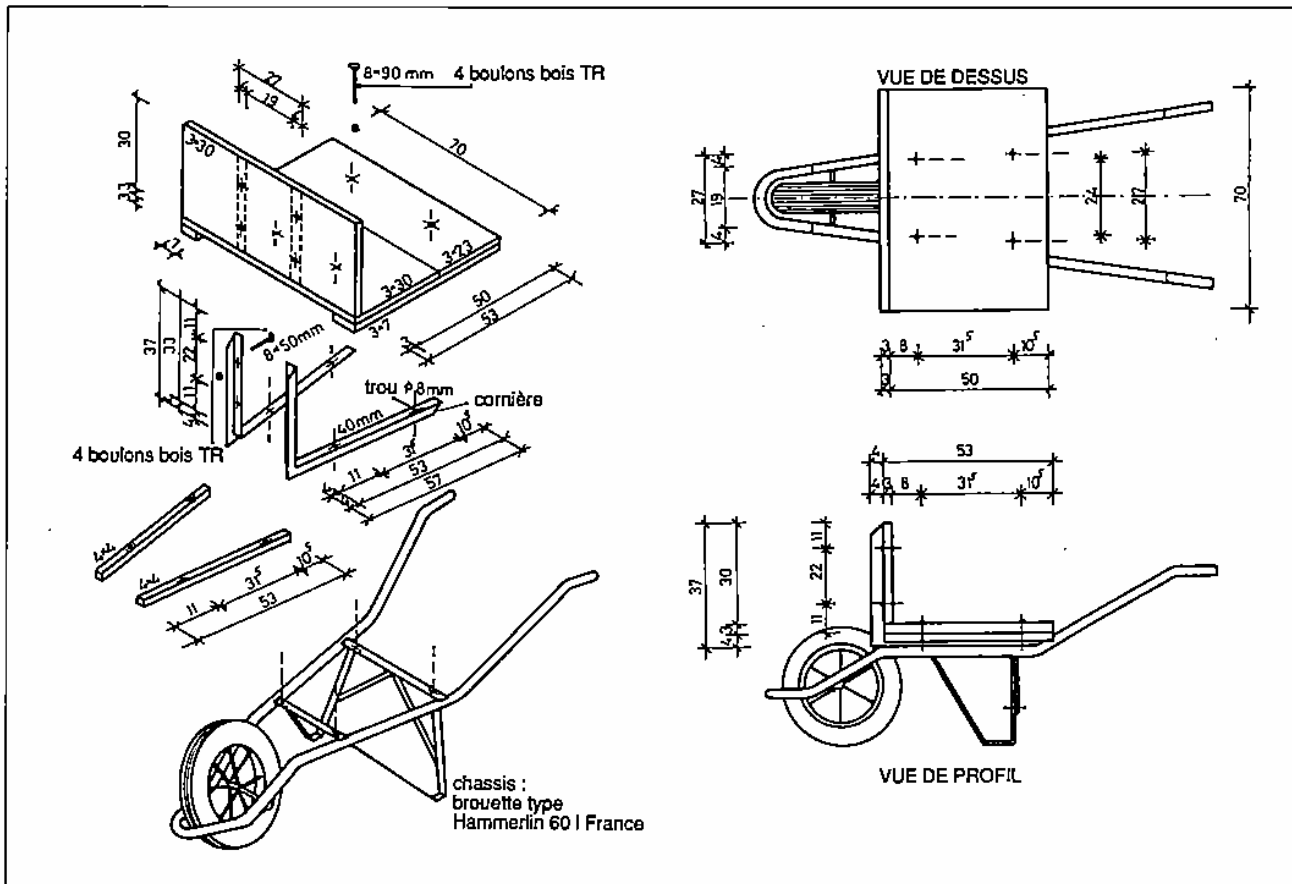
CASSE-BLOC DE BRIQUETERIE

Pour le mode opératoire et les calculs de résistance, voir p. 79.

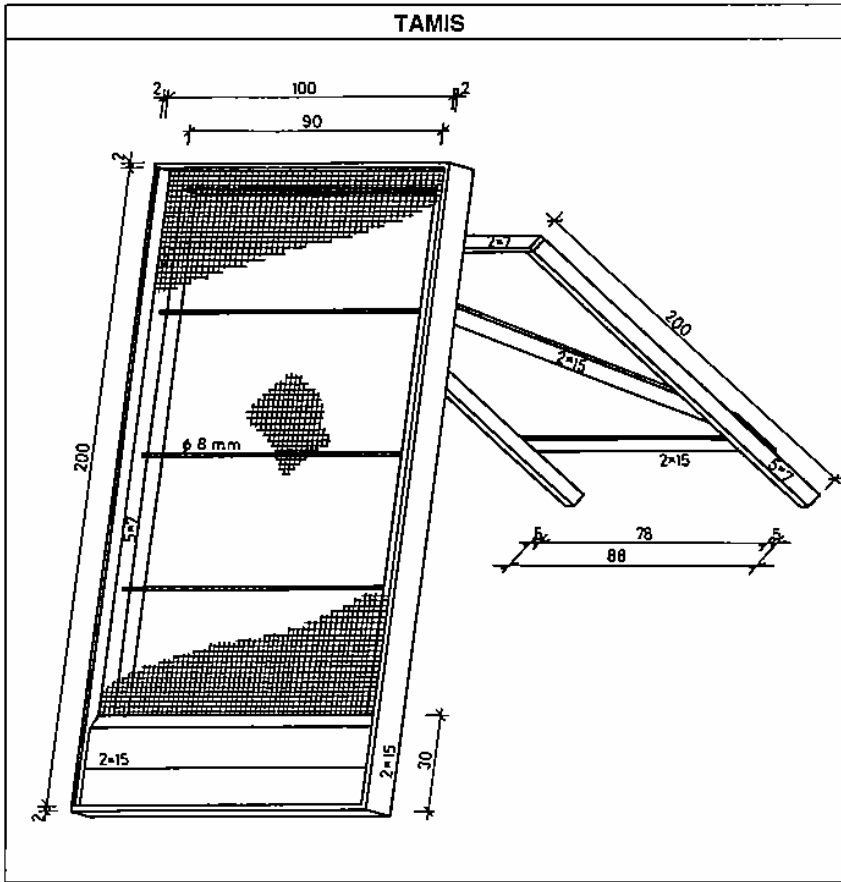


Ce modèle de casse-bloc permet de tester des résistances élevées ; la force exercée sur le bloc équivaut à 5 fois la charge. Il est préférable de le construire en métal qui permet d'être suffisamment solide avec des sections réduites.

BROUETTES A PLATEAUX



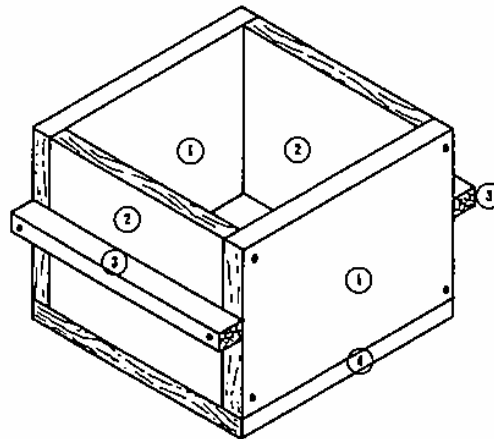
TAMIS ET BOITE DOSEUSE



Emprise au sol = 1 x 3 m (y compris pied)
 surface utile du tamis = 1,5 m²
 Dimensions du grillage = 1,00 x 1,75 m
 Dimension de la maille = variable selon
 l'utilisation = 5, 10, 15, 20 mm

Note : le pied n'est pas cloué au tamis afin
 de pouvoir modifier son inclinaison.

BOITE DOSEUSE (CIMENT, SABLE...)



Note : les dimensions exactes
 sont à calculer en fonction de la
 quantité de stabilisant utilisée

FACE ①	2 unités	FACE ②	2 unités	POIGNEE ③	2 unités	FOND ④	1 unité
				 vue de face vue de profil			

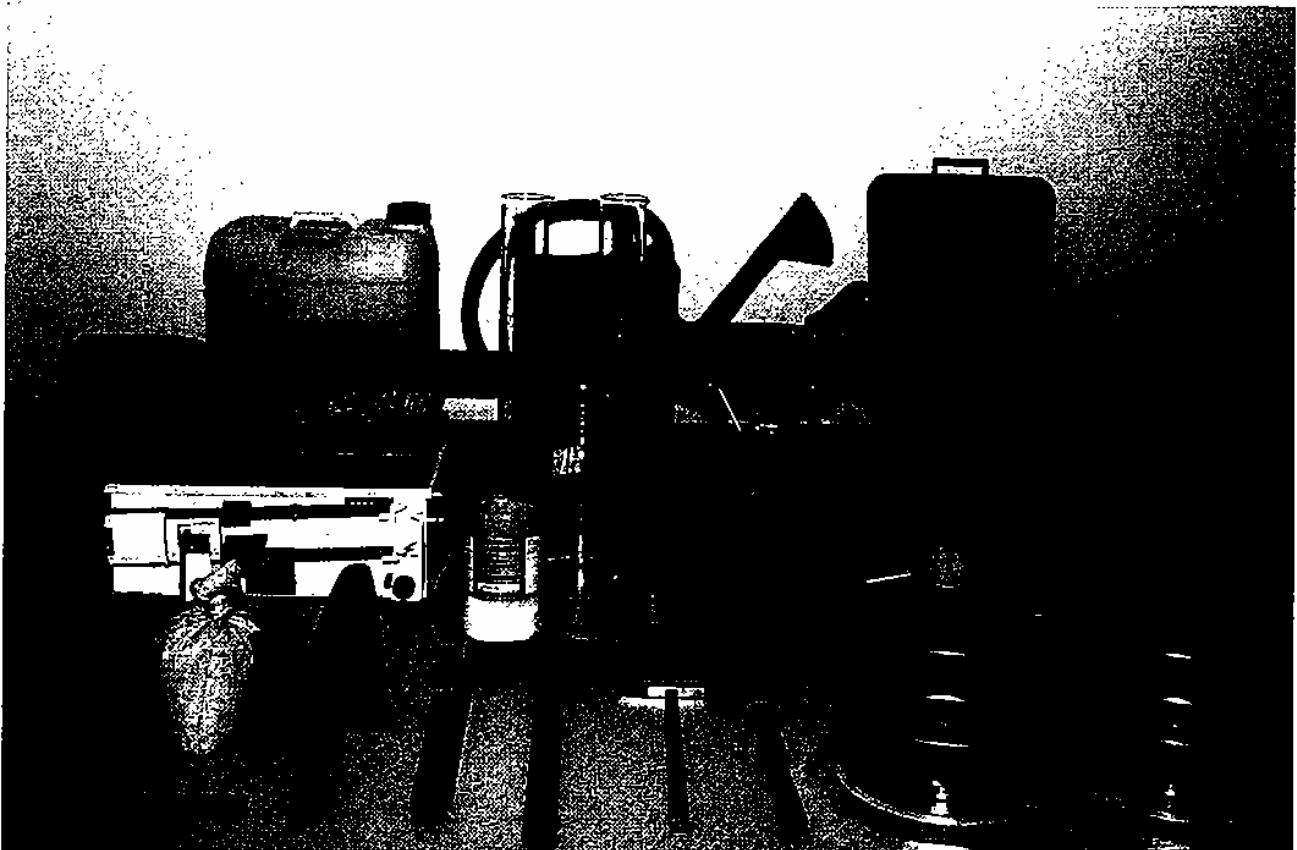
MATÉRIEL POUR LES ESSAIS DE TERRAIN

MATERIEL

- 2 ou 3 petits récipients
- mètre ruban ou pliant
- 5 ou 6 bocaux cylindriques transparents de = 1 l
- tamis à mailles de 1 à 2 mm
- source chauffante (gaz, électricité, étuve) + poêle ou bac
- montre ou chronomètre
- récipient gradué (seau, éprouvette...)
- balance (capacité de = 10 kg et précision ± 10 à 100 g)
- équerre de maçon
- pénétromètre de poche
- casse-bloc de terrain
- poinçon ou stylet
- brosse métallique
- bac L x l x h = 50 x 35 x 15 cm minimum

UTILISATION

- terre (essai du toucher, cigare...)
- essai du cigare ou contrôle des blocs
- essai de sédimentométrie rapide (terre, sable, gravier)
- contrôle du ciment ou préparation de la terre, essai du cigare
- mesure de teneur en eau ou salinité de l'eau
- temps de malaxage et de retenue
- mesure des volumes doseurs
- teneur en eau, blocs, volumes doseurs, masse volumique
- parallélisme des blocs
- pressage des blocs
- essai de rupture
- piquage des blocs
- brossage des blocs
- immersion et absorption capillaire des blocs



MATÉRIEL POUR PETIT LABORATOIRE

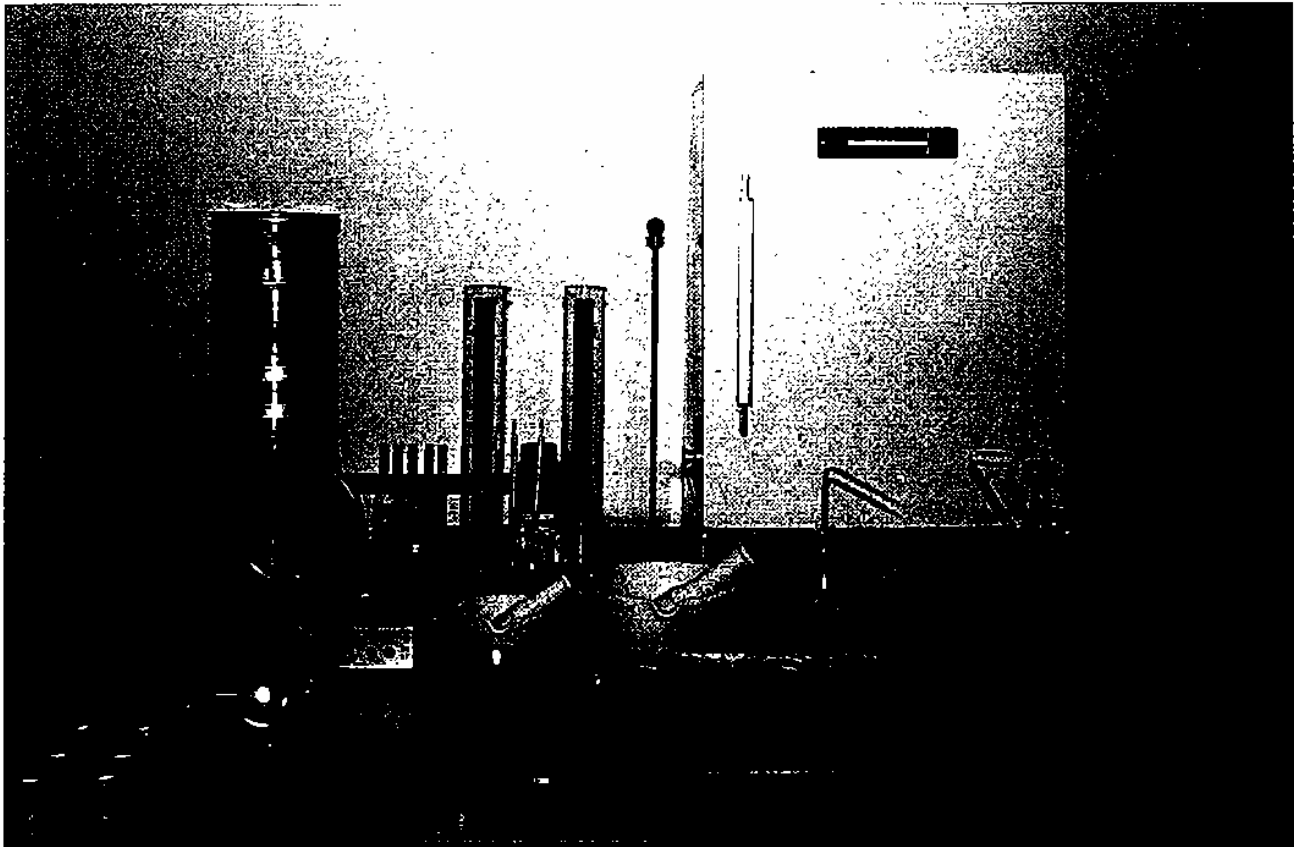
Note : tout le matériel pour essai de terrain est nécessaire. N'est présenté ici que le matériel additionnel.

MATERIEL

- 5 tamis Ø 20 mm et mailles 2 ; 1 ; 0,4 ; 0,2 ; 0,1 mm
- 1 mortier avec pilon en caoutchouc
- 1 appareil de Casagrande
- 1 rouleau de papier indicateur pH
- éventuellement 1 presse à main pour essais de résistance
- 2 bacs métalliques 30 x 30 x 8 cm
- 2 pinceaux pour tamisage
- 1 pissette 200 ml
- 1 étuve ou four
- 1 balance ou dynamomètre (capacité 1 à 2 kg ± 1 g)
- 1 balance capacité 20 kg précision ± 10 à 50 g
- 20 à 30 petits récipients à échantillons (alu, plastique)
- 1 chronomètre ou montre précise
- 1 petite pelle
- 1 spatule flexible 150 mm
- 1 couteau
- 1 entonnoir Ø 140 mm
- 1 tube gradué 25 ml
- 1 bonbonne de 5 l
- 1 densimètre, 1 thermomètre
- 3 à 6 éprouvettes de 1 l
- 1 plaque de verre 30 x 30 cm

UTILISATION

- Granulométrie
- Sédimentométrie
- Limites d'Atterberg
- Acidité
- Résistances à la flexion et à la compression



EXEMPLES DE FICHES D'ENREGISTREMENT

Les pages suivantes sont des fiches qui permettent de constituer la "mémoire" d'une unité de production et ainsi d'en faciliter la gestion, ceci à la fois aux plans quantitatifs et qualitatifs. Elles ont été conçues dans un contexte précis et ne sont pas forcément adaptées à toutes les unités de production. Elles sont présentées à titre d'exemple et sont classées par ordre d'importance décroissant. Les fiches de contrôle ont une fréquence hebdomadaire ou bi-hebdomadaire, les fiches d'enregistrement et la fiche qualité ont une fréquence mensuelle et permettent de synthétiser les informations recueillies dans les fiches de suivi et de contrôle.

La fiche de suivi journalier (cf. p. 94) résume l'activité quotidienne d'une unité de production et permet de collecter toutes les informations indispensables (consommations, personnel, matériel, production, déboursés).

La fiche de contrôle de fabrication (cf. p. 95) est utilisée pour le contrôle de la qualité des composants et des procédés de fabrication pour chacune des opérations de transformation.

La fiche de contrôle des blocs (cf. p. 96) est utilisée pour le contrôle final des produits obtenus après transformations : les blocs de terre comprimée.

Les fiches d'enregistrement de la production et de la consommation (cf. p. 97) permettent de faire le bilan des intrants et des sortants ainsi que l'état des stocks en vérifiant d'éventuels écarts (pertes, vols).

La fiche d'enregistrement du rendement (cf. p. 98) permet de mesurer l'efficacité et la régularité de l'unité de production et d'observer très rapidement des dysfonctionnements dans les moyens ou dans l'organisation.

La fiche qualité (cf. p. 99) permet de synthétiser les contrôles internes (enregistrés sur les fiches de contrôles) ainsi que les contrôles externes effectués en laboratoire.

La fiche récapitulatif des dépenses (cf. p. 100) permet le suivi mensuel de toutes les dépenses liées à la production (composants, charges, etc.) et ainsi, la vérification rapide du coût direct de production.

La fiche récapitulatif des recettes (cf. p. 101) permet le suivi mensuel des recettes et la vérification rapide des profits de l'unité de production, en faisant le solde des dépenses et recettes.

La fiche de présentation de l'unité de production (cf. p. 102) permet la description globale (statut, infrastructure, moyens, objectifs, etc.), elle mémorise l'histoire de l'unité et s'adresse davantage à l'extérieur (financiers, clients, etc.).

EXEMPLE DE FICHE

FICHE DE SUIVI JOURNALIER				
PROJET	LIEU	ENTREPRISE	DATE	FICHE N°
Qui remplit cette fiche ? NOM : Signature		QUANTITE		Nombre d'heures ouvrées
		chef équipe	ouvriers qualifiés	

PRODUCTION	TYPE 1 29,5 x 14 x 9	TYPE	TYPE	TYPES D'ACTIVITES DE L'ENTREPRISE	
Objectif				Aucune activité	
Produits				Fabrication blocs	
Blocs cassés				Déstockage cure	
				Préparation mortier	
				Autre	

CONSOMMATIONS			DÉPENSES					REMARQUES				
	UNITÉ	QUANTITÉ	MATÉRIAU	U	PU	QTÉ	TOT.	MATÉRIEL	U	PU	QTÉ	TOT.
CIMENT	Doses		Ciment					Polyane				
	Sacs		Sable									
SABLE	Seaux		Terre									
TERRE	Brouettes											
MALAXAGE	U											
ELECTR.	kW											

SUIVI DES MACHINES						REMARQUES :						
	BROYEUR			MALAXEUR			PRESSE					
	OUI	NON	COMMENTAIRES	OUI	NON	COMMENTAIRES	OUI	NON	COMMENTAIRES			
ARRET												
CHGT PIECES												
GRAISSAGE												
NETTOYAGE												

REMARQUE PARTICULIÈRE
Etat de la terre, météo, incident

TRANSPORT VERS CHANTIER				
Type de bloc enlevé				
Quantité prélevée				

EXEMPLE DE FICHE

FICHE DE CONTRÔLE DE FABRICATION														
PROJET		ENTREPRISE			DATE			FICHE N°						
LIEU														
PREPARATION TERRE				CLASSIFICATION PREVUE		DOSAGE		source d'information - fiche de suivi journalier						
CONFORME				TEST UTILISE		BASES DE REFERENCES								
						1 malaxage = blocs		1 sac ciment = malaxages		1 sac ciment = blocs				
DESCRIPTION						MESURES EFFECTUEES								
						1 malaxage = blocs <small>(moyenne sur 3 mesures)</small>		1 sac ciment = malaxages		1 sac ciment = blocs				
MÉLANGE SEC		BON		MAUV.		MÉLANGE HUMIDE		BON		MAUV.				
TEMPS DE MÉLANGES			HOMOGÉNÉITÉ VISUELLE			TEMPS DE MÉLANGES			TENEUR EN EAU (TEST BOULE)					
T1	T2	T3	OUI		NON		T1	T2	T3	BON		MAUV.		
Moyenne			Remarques			Moyenne			Remarques					
TEMPS ATTENTE AVANT PRESSAGE		TEMPS MAXIMUM			T1		T2		T3		Moyenne		Remarques	
BLOCS AU DÉMOLAGE		POIDS MOYEN		TOLÉRANCE EN mm		RÉSISTANCE PÉNÉTRMÈTRE		APPRÉCIATION						
				L ⁺¹ L ⁻³ ⁺¹ ⁻² h ⁺² ⁻¹										
BLOCS	POIDS	ASPECT		DIMENSIONS		PARALLÉLISME		PÉNÉTRMÈTRE						
1														
2														
3														
4														
5														
Moy.														
Rem.														
CURE		Température minimale		Humidité relative minimale		CIMENT		SABLE		EAU				
Température intérieure		Température extérieure		Humidité relative		NODULES		Propre		OUI		NON		
						OUI		NON		Limpide				
										Salée				
Remarques						Remarques		Remarques		Dépôt après évapor.				

EXEMPLE DE FICHE

FICHE DE CONTRÔLE DES BLOCS					
PROJET	ENTREPRISE	DATE PRODUCTION	DATE CONTRÔLE	DELAI CURE	FICHE N°

BLOCS EN STOCKAGE	TOLERANCES				APPRÉCIATION	MOYENNE
	Poids minimum accepté = 7,50 kg		Dimensions en mm $L_3^{+1} ; l_2^{+1} ; h_1^{+2}$			
	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	BLOC 4	BLOC 5	MOYENNE
POIDS (type)						
ASPECT						
DIMENSIONS						
PARALLELISME						
PIQUAGE						
BROSSAGE						

ESSAIS DE RUPTURE	Charge moyenne acceptable $P_{\text{moy}} = \dots\dots\dots$	Flexion minimum $\sigma_{f \text{ min}} = \dots\dots\dots$	Compression $\sigma_{c \text{ min}} = \dots\dots\dots$	L, l, h (voir dim. bloc testé) K= E = 20 cm	APPRÉCIATION
Nombre de blocs (n)					
Charge P = n+poids du plateau					
Flexion $\sigma_f = \frac{1,5xExP}{l \times h^2}$					
Compression $\sigma_c = K \times \sigma_f$					

TEXTURE INTERNE BLOCS CASSES					APPRÉCIATION	
BONNE						
MOYENNE						
MAUVAISE						

TEST D'IMMERSION - 6 h d'immersion et 42 h de séchage				APPRÉCIATION		
BON						
MOYEN						
MAUVAIS						

EXEMPLE DE FICHES

ENREGISTREMENT DE LA PRODUCTION		PROJET				LIEU				ENTREPRISE				DATE				FICHE N°			
Type	Date	PRODUCTION								DESTOCKAGE								STOCK			
		PAR JOUR				CUMULEE				PAR JOUR				CUMULE							
Report		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
total																					
I : 29,5 x 14 x 9 cm III : 14 x 14 x 9 cm NOTES :										INVENTAIRE											
II : 21 x 14 x 9 cm IV : chainage										ECART A L'INVENTAIRE											

ENREGISTREMENT DES CONSOUMATIONS		PROJET				LIEU				ENTREPRISE				DATE				FICHE N°			
Type	Date	APPROVISIONNEMENTS +								CONSOUMATIONS -								STOCKS			
		PAR JOUR				CUMULE				PAR JOUR				CUMULE							
Report		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
total																					
I : terre III : sable NOTES :										INVENTAIRE											
II : stabilisant IV : eau										ECART A L'INVENTAIRE											

EXEMPLE DE FICHE

FICHE D'ENREGISTREMENT DU RENDEMENT																							N° FICHE						
PROJET				LIEU				ENTREPRISE				DATE																	
TYPES DE BLOCS L x l x h																													
STOCKAGE TERRE				TRANSPORT				TAMISAGE BROYAGE				TRANSPORT				MALAXAGE				PRESSE				CURE 1			CURE 2		
J	P	T	m ³	P	T	m ³	P	T	m ³	P	T	m ³	P	T	E	C	TN	P	T	TB	NB	P	T	NB	P	T	NB		
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													
6																													
7																													
8																													
9																													
10																													
11																													
12																													
13																													
14																													
15																													
16																													
17																													
18																													
19																													
20																													
21																													
22																													
23																													
24																													
25																													
26																													
27																													
28																													
29																													
30																													
31																													
RENDEMENT MOYEN PAR EQUIPE																													

J = jour P = personne T = temps E = eau (l) C = sac de ciment TN = nombre de blocs/m³ TB = type de bloc NB = nombre de blocs

EXEMPLE DE FICHE

FICHE QUALITÉ				FICHE N°
PROJET	LIEU	ENTREPRISE	MOIS	

CONTROLES DE FABRICATION	
nb de contrôles effectués dans le mois :	Remarques :
..... conformes non conformes	

PRÉPARATION Appréciation :	DOSAGE Appréciation :
TYPE DE TERRE	qté/1 malax. % poids
Prévue Obtenue blocs/1 malaxage
 malaxages/1 sac ciment

MÉLANGE Appréciation :	BLOCS AU DÉMOULAGE Appréciation :
Temps mélange sec : min	POIDS ASPECT DIMENSIONS PARALLÉLISME
Temps mélange humide : min	
Temps attente : min	
Teneur en eau : % l/1 malax.	MOYENNE SUR BLOCS

CURE Appréciation :			
Cure humide : jours	Humidité relative : %	Température int. : °C	Température ext. : °C
Cure sèche : jours			

CONTROLES DES BLOCS :	Remarques :			
nombre de contrôles effectués dans le mois	temps de cure : 7 j	14 j	21 j	28 j
..... conformes non conformes	nb blocs contrôlés :

BLOCS EN CURE Appréciation :						
Essais de terrain						
nombre de jours de cure	poids	dimensions	masse volumique apparente	résistance traction	résistance compression	
Nombre de blocs testés :						

CONTROLES DE LABORATOIRE :				Remarques :			
nombre de contrôles effectués dans le mois				temps de cure : 7 j	14 j	21 j	28 j
..... conformes non conformes				nb blocs contrôlés :
nb jours de cure	Résistance compression humide Mpa	Résistance compression sèche Mpa	Résistance traction Mpa	Capacité absorption immersion %	Capacité absorption capillaire	Masse volumique apparente kg/m ³	Masse volumique sèche kg/m ³

EXEMPLE DE FICHE

RECAPITULATIF DES DEPENSES					FICHE N°
PROJET	LIEU	ENTREPRISE	MOIS		
SALAIRES (y compris charges sociales %)					
Administration	Contrôle	Ouvriers spécialisés	Ouvriers non spécialisés		
					SOUS TOTAL
					TOTAL (1)
MATÉRIAUX					
Terre	Sable	Ciment	Eau	Electricité	
					SOUS TOTAL
					TOTAL (2)
MATÉRIEL					
Bâches	Gasoil/Graisse	Pelles/Pioches			
					SOUS TOTAL
					TOTAL (3)
MAINTENANCE					
Equipement	Locaux/site production				
					SOUS TOTAL
					TOTAL (4)
CHARGES FIXES					
Intérêts	Dépréciation Amortissement	Locations	Assurances		
					SOUS TOTAL
					TOTAL (5)
TRANSPORT					
Terre	Sable	Ciment			
					SOUS TOTAL
					TOTAL (6)
TOTAL DEPENSES		TOTAL BLOCS PRODUITS		COÛT DIRECT DE PRODUCTION	
(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) TOTAL (I) :		Equivalent type I (4/4) TOTAL (II) :		TOTAL (I) _____ = unité monétaire/bloc TOTAL (II)	

EXEMPLE DE FICHE

PRÉSENTATION DE L'UNITÉ DE PRODUCTION BTC

Fondée en :	STATUT <input type="checkbox"/> privé :	CAPITAL :
Adresse :	<input type="checkbox"/> gouvernemental	
.....	<input type="checkbox"/> ONG	
.....	Personne responsable :	

ÉQUIPEMENT DE PRODUCTION			
PULVÉRISATEURS			
nombre			
type			
date d'achat			
CRIBLES			
nombre			
type			
date d'achat ou fabrication			
MALAXEURS/MALAXAGE			
nombre			
type			
date d'achat			
PRESSES			
nombre			
type			
date d'achat			

INFRASTRUCTURE	
Bureaux m ² :	Magasin m ² :
Espace couvert m ² :	Surface plane : stock terre m ² :
	stock blocs m ² :
<input type="checkbox"/> EAU	<input type="checkbox"/> réseau public
<input type="checkbox"/> stockage	<input type="checkbox"/> ÉLECTRICITÉ
m ³ :	<input type="checkbox"/> 220 V <input type="checkbox"/> 380 V

ORGANIGRAMME DU PERSONNEL					
Administration	nbre. pers.	Production	OQ	ONQ	Autre
Responsable		Contrôle			
Service commercial		Extraction			
Contrôle qualité		Transport 1			
Secrétariat		Préparation			
Comptabilité		Transport 2			
		Mélange			
TOTAL		Transport 3			
Logistique	nbre. pers.	Pressage			
Chauffeur		Transport 4			
Gardien		Cure			
Magasinier		Transport 5			
		TOTAL			
TOTAL		ENTRETIEN			

OBJECTIF DE PRODUCTION
Journalier :
Mensuel :
Annuel :

OBJECTIF DE PRODUCTION	
	REVENUS MENSUELS
<input type="checkbox"/> URBAIN	<input type="checkbox"/> PRIVE
<input type="checkbox"/> RURAL	<input type="checkbox"/> PUBLIC
	<input type="checkbox"/> ONG
<input type="checkbox"/> économique	de à
<input type="checkbox"/> moyen	de à
<input type="checkbox"/> haut	de à

TYPES ET QUALITÉS DE PRODUITS FABRIQUÉS					
Type					
Dénomination					
Formats L x l x h					
Particularités (pleins, évidés, rect.)					
Stabilisant					
Taux de stabilisation					
Utilisation (porteur, remplis., drain.)					
Masse volumique apparente kg/m ³					
Résistance compression humide					
Résistance compression sèche					

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

Bloc de terre comprimée : éléments de base. CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1991.

Blocs de terre comprimée : équipement de production. CRATerre (Houben H.; Rigassi V.; Garnier Ph.). CRATerre-EAG, Villefontaine, France, CDI-Centre pour le Développement Industriel, Bruxelles, Belgique, 1994.

Blocs de Terre Comprimée : Manuel de Conception et de Construction. CRATerre-EAG, MISEREOR, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1993.

Construction en terre crue : les matériels français. CRATerre-EAG (Houben H.; Verney P.E.), ENTPE (Olivier M.; Mesbah A.), CRATerre-EAG, Villefontaine, France, 1987.

Product Information : Soil Blocks Presses. Mukerji K., CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 1988.

Product Information : Soil Preparation Equipment. Mukerji K., Wörner H., CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 1991.

Product Information : Stabilizers and Mortars. CRATerre-EAG, Mukerji K., Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 1993.

Recommandations pour la conception et l'exécution de bâtiments en géobéton. Simonnet J., LBTP, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 1979.

Small Scale Manufacture of Stabilized Soil Bricks. Smith R.G.; Webb D.T.J., Technical Memorandum N° 12, International Labour Office, Geneva, Switzerland, 1987.

Stabilized Soil Blocks for Building. Lunt M.G.; Overseas Building Note N° 184, Building Research Establishment, Garston, 1980.

AUTRES DOCUMENTS UTILES

Building with Earth, A Handbook. Norton J., IT Publications, London, United Kingdom, 1986.

Construire en terre. CRATerre-EAG (Doat P.; Hays A.; Houben H.; Matuk S.; Viloux F.; éditions Alternatives, Paris, France, 1985.

Earth Building Materials and Techniques : Select Bibliography. CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 1991.

Modernité de l'architecture de terre en Afrique. Réalisations des années 80. CRATerre-EAG (Guillaud H.), Grenoble, France, 1989.

Traité de construction en terre, L'encyclopédie de la construction en terre. CRATerre-EAG (Houben H.; Guillaud H.), Vol 1, éditions Parenthèses, Marseille, France, 1989.

Un Service de Conseil sur la Construction en Terre

Le Service de Conseil sur la Construction en Terre (EAS) fait partie d'un service de conseil et d'information sur les matériaux et technologies de construction, plus connu comme BASIN (Réseau d'Information, Documentation et Conseil en Bâtiment) qui est animé conjointement par quatre institutions européennes (GATE, ITDG, SKAT et CRATerre-EAG).

EAS est assuré par CRATerre-EAG (Centre International de la Construction en Terre - Ecole d'Architecture de Grenoble) qui est spécialisé dans la production et l'utilisation des matériaux de construction à base de terre.

EAS entretient une base de données sur les documents, technologies, équipements, institutions et consultants, ainsi que sur les projets et programmes concernant la construction en terre. Cette base de données est utilisée pour répondre aux demandes de renseignements et fournir les bases de guides techniques et publications sur ce sujet.

Au sein de BASIN, CRATerre-EAG organise des cours spécifiques sur la construction en terre. EAS mène des programmes de recherche et développement dans le domaine des matériaux de construction et leur application. Les activités comprennent aussi la gestion et l'évaluation de projet.

Pour plus d'informations, contactez :

CRATerre-EAG
Service de Conseil sur la Construction
en Terre (EAS)
Maison Levral
Parc Fallavier
BP 53
F-38092 Villefontaine Cedex
France

Tél. (33) 74 95 43 91
Télécopie (33) 74 95 64 21
Télex 308 658 F

INDEX DES MOTS CLÉS

A

Absorption 79
 Adobe 5, 13
 Analyse chimique 27
 Architecture 6, 17
 Argile 19, 23, 24
 Armer 32
 Aspect 13, 74, 79
 Assistance 85

B

Bitume 32
 Blocs évidés 39, 67, 86
 Blocs pleins 38, 67
 Blocs spéciaux 38, 39, 67, 86
 Boîte doseuse 62, 63, 72, 89
 Briques cuites 6, 13
 Brossage des blocs 79
 Brouette 46, 47, 58, 62, 63, 88
 Broyeur 42, 43, 46, 61
 Bulldozer 57

C

Calcul du dosage 35
 Caractéristiques 13
 Carrière 26, 57
 Casse-bloc 79, 87
 Charges financières 84
 Chaux 32, 34, 64, 65, 73, 74, 77
 Ciment 32, 33, 63, 64, 65, 73, 74, 77
 Cohésion 24
 Commercialisation 85
 Comparaisons matériaux 13
 Comportement des sols 24, 25
 Compressibilité 21
 Conditions d'achat 37
 Consommations 11
 Constituants de la terre 19, 22, 23
 Contrôle de fabrication 71, 78, 80, 92
 Contrôle de l'eau 77, 92
 Contrôle de l'équipement 80, 92
 Contrôle de l'organisation 71, 80
 Contrôle des blocs 71, 79, 92
 Contrôle des matières premières 77
 Correction granulaire 72, 74
 Courbes granulométriques 22, 23
 Coût de production 84
 Cribles 8, 42, 43, 46, 60, 61, 89
 Cure 33, 34, 47, 68-70, 73, 74, 78
 Cycle de production 8, 45

D

Densifier 32
 Désagrégateur 42, 43, 46, 60, 61
 Diféation thermique 13
 Dimension des blocs 12, 74, 78, 79
 Disponibilité 83
 Diversification 16
 Dosage 33, 34, 35, 62, 63, 67, 72, 73, 74, 78, 89

E

Empreintes 67
 Enchaîner 32
 Enregistrements 81, 92, 94
 Entretien 75, 80
 Equipement 42, 43, 46, 47, 80, 83
 Essai d'immersion 79

Essai de la bouteille 29, 77
 Essai de la pastille 29
 Essai de rupture 73, 75, 79, 87
 Essai du cigare 28, 77
 Essai du loucher 28
 Etats hydriques 25
 Etude de sensibilité 84
 Evacuation 45
 Excavateur à godets 57

F

Fibres 32
 Fiches 80, 92-94
 Flexibilité 16
 Formation 75
 Formes des blocs 38, 39, 78
 Formules de dosage 35
 Evacuation 45
 Fréquence des contrôles 80

G

Gesles 75
 Gestion 83
 Granularité 20, 27
 Granulométrie 27
 Gravier 19, 22, 24, 32, 72, 74, 77

H

Hydrofuger 32

I

Imperméabiliser 32
 Information 16, 85
 Infrastructure 45, 50, 52, 54, 59, 60, 61, 65, 66
 Interprétation des essais 28, 29, 74, 77, 79
 Investissements 9, 48, 49
 Isolation thermique 13

J

K

L

Liaisonner 32
 Limites d'Atterberg 20, 27

M

Maintenance 75, 80
 Malaxeurs 8, 42, 43, 46, 65
 Marquage des blocs 70, 79
 Masse volumique 13, 35, 63
 Matériel pour essais de terrain 90
 Matériel pour petit laboratoire 91
 Matières organiques 27, 28, 33
 Mélange 33, 34, 46, 64, 65, 74, 78
 Mesure des volumes de dosage 72, 74
 Moules 38, 40, 67, 80

N

Normalisation 16, 85

O

Organisation spatiale de briqueteries 50, 51, 52, 53, 55
 Outils de contrôle 80

P

Parallélisme 74, 78, 79
 Partenariat 16
 Pelle 57, 62
 Pelle mécanique 57
 Pénétrromètre 78
 Performances 13, 71
 Pincés à blocs 67
 Pioche 57
 Piquage des blocs 79
 Pisé 5
 Pistons 38, 67
 Plans de briqueterie 50, 51, 53, 55
 Plasticité 20, 24, 27, 28
 Poids des blocs 73, 78, 79
 Poids des presses 41
 Préparation 33, 34, 46, 60, 61, 78
 Pressage 66, 67, 74, 78
 Presses 8, 40, 41, 46, 47, 66, 67
 Prix de revient 84
 Prix 37, 46, 47, 83, 84
 Procédés de stabilisation 31
 Proclor 21, 27, 73
 Productivité 9, 10, 11, 41, 84
 Projet d'entreprise 14
 Prospection 26
 Pulvérisateurs 8, 42, 43, 46, 61

Q

Qualité 71, 75, 80, 83, 94

R

Rendements 57, 58, 60, 61, 65, 66, 68
 Résine 32
 Résistance à la flexion 79, 87
 Résistance à la compression 13, 71, 79
 Responsabilités 80
 Retrait 19, 29, 33

S

Sable 19, 23, 24, 32, 72, 74, 77
 Satisfaction des utilisateurs 83
 Séchage 33, 34, 68, 70
 Sécurité 37, 40, 75
 Sédimentométrie 27, 28, 29, 77
 Sels 27, 33
 Silt 19, 23, 24
 Stockage 45, 59, 68-70, 83
 Surfaces 58, 59, 60, 61, 65, 66, 68, 69
 Systèmes constructifs 12, 13, 39

T

Tableaux noirs 80
 Tamis 8, 42, 43, 46, 60, 61, 89
 Temps de retenue 33, 34, 78
 Teneur en eau 21, 27, 73, 74, 78
 Tests de terrain 28, 29
 Texture 20, 28, 79
 Tolérances 13
 Tracteur agricole 57
 Transport 45, 46, 58, 67
 Trésorerie 83
 Typologie des lignes de production 9

UVWXYZ

Volumes 62, 72, 74

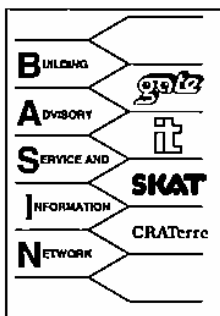
Cet ouvrage rend compte du travail de recherches scientifiques, d'expérimentations et de réalisations, sur la production et l'utilisation constructive du bloc de terre comprimée, mené par le CRAterre de l'Ecole d'Architecture de Grenoble depuis une quinzaine d'années.

En effet, ce matériau présente actuellement une alternative certaine dans le secteur de la construction, offrant des performances techniques qui commencent à être reconnues, mais aussi une solution valable sur le plan économique. Ce matériau renoue, dans une version modernisée, avec les cultures constructives traditionnelles, restant par là "local" non seulement par ses constituants, mais aussi sur le plan culturel, permettant ainsi une continuité des identités propres basée non seulement sur la technique, mais sur l'Homme. C'est peut-être là que se situe le principal objet de cette démarche dont ce livre constitue un chapitre, celui de la mise en forme du matériau et de la maîtrise de ses gestes comme vecteur indispensable d'un objectif global oeuvrant pour l'accessibilité d'un habitat de qualité.

Ce livre espère mettre à disposition d'un large public de décideurs, de concepteurs, de briquetiers et de maçons, les outils nécessaires à cette application constructive raisonnée, seule garante d'un succès culturel, social, politique et technique.

Il est conçu comme un outil permettant la prise en compte globale d'une unité de production de blocs de terre comprimée, autant comme aide au montage financier, en précisant les diverses orientations possibles, que comme aide à la maîtrise technique de tous les stades de production.

Il est davantage à considérer comme aide-mémoire et récapitulatif de l'état des connaissances pour les praticiens, que comme ouvrage pédagogique s'adressant au néophyte. Celui-ci devrait néanmoins trouver des éléments comparatifs lui facilitant, si ce n'est la prise de décision, du moins l'appréhension globale des objectifs et implications de la production d'un matériau dans une dynamique de société où la maîtrise technique doit être à la hauteur des objectifs visés.



Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien