

8. *Filière Terre*



Synthèse filière 1/2

Une ressource abondante et des atouts techniques, une filière en cours de structuration



Systèmes constructifs

Un matériau millénaire à très faible impact environnemental

La terre à bâtir est une ressource très abondante et présente partout sur le territoire interrégional.

Ce matériau fait preuve d'une grande résilience vis-à-vis des ressources locales puisque les techniques développées sont intimement liées aux territoires. Son impact sur les ressources en tension est limité, ses atouts sont donc nombreux au regard du contexte actuel.

Une gamme de systèmes constructifs étendue et bien représentée sur le territoire

Sur le territoire d'étude figurent, traditionnellement, toutes les techniques de construction en terre crue sauf le pisé (qui n'est donc pas développé dans ce document). Les professionnels spécialistes de ces techniques sont cependant peu nombreux.

Des caractéristiques techniques intéressantes et complémentaires avec d'autres écomatériaux locaux

La terre crue est un matériau massif qui apporte un grand confort d'usage : inertie, gestion de l'hygrométrie, tenue au feu, affaiblissement acoustique et confort d'été. Associé à des matériaux d'isolation adaptés, elle permet de répondre aux enjeux environnementaux du secteur du bâtiment.

Un matériau variable par nature, méconnu des acteurs de la construction

La méconnaissance du matériau terre crue pénalise le développement de son usage en construction neuve. Du fait d'une grande variabilité d'un gisement à l'autre, sa qualification fait appel à différents savoir-faire. Certaines de ses caractéristiques (changement de phase de l'eau) sont par ailleurs difficilement modélisables. Cela en fait un matériau difficile à appréhender dans

une société où la normalisation et la modélisation guident les choix constructifs. Construire en terre crue requiert aujourd'hui une coopération étroite de tous les intervenants.

Etat de la filière

Des acteurs professionnels présents et compétents, mais fragiles

Le territoire interrégional possède un maillage d'acteurs professionnels compétents. Les maillons de la production, de la transformation, de la prescription et de la mise en œuvre sont représentés, mais par un nombre trop faible d'acteurs. Les ingénieurs structure et les contrôleurs techniques compétents en terre crue sont peu nombreux, de même que les fabricants intermédiaires et les entreprises de mise en œuvre. Cela constitue un frein sérieux pour la construction neuve.

Une filière en cours de structuration à l'échelle nationale

Les acteurs de la filière terre ont engagé leur structuration en élaborant les « guides de bonnes pratiques terre crue » en 2015. De ce travail a émergé la Confédération de la Terre Crue, qui coordonne des actions de la filière : rédaction des FDES, travail sur la formation professionnelle, veille sur les documents normatifs... L'AsTerre, qui organise les Assises nationales de la terre crue, regroupe également un nombre important d'acteurs. Un autre travail d'envergure nationale, le PN Terre, rassemble chercheurs et professionnels afin de conduire des projets de recherche visant à l'amélioration des connaissances techniques sur la terre crue en construction.

Ces actions constituent des signaux positifs. Mais leur démarrage récent ne permet pas d'atteindre, en 2022, un niveau de structuration suffisant pour la massification.

Synthèse filière 2/2

Une ressource abondante et des atouts techniques, une filière en cours de structuration



Un modèle économique difficile à trouver pour les professionnels et la filière

La terre à bâtir est un matériau dont l'extraction est peu coûteuse voire gratuite, quand il s'agit de valoriser des terres de fondation ou de chantier d'aménagement. En revanche, le travail autour du matériau demande des compétences et savoir-faire importants. Certaines activités sont faiblement mécanisables et la logique de séparation des flux à la source rend les économies d'échelle difficiles. La marge potentielle à dégager autour de la transformation du matériau terre en produit de construction est donc faible pour intéresser les acteurs industriels, et permettre aux acteurs en place de financer la structuration de la filière. De ce fait, elle peine à se structurer et produire les données performancielles et normatives nécessaires à son développement.

Une dynamique de massification en cours autour de quelques acteurs ciblés

Avec l'apparition en 2021 de la Fabrique du CycleTerre à Sevran, qui a mobilisé d'importants investissements publics, et la communication liée à l'excavation des terres du Grand Paris Express, des maîtrises d'ouvrages commencent à s'intéresser et à systématiser le recours à la terre dans leurs projets.

Perspectives de développement

Une demande en plein développement préfigurant l'émergence d'un marché significatif

Depuis 2/3 ans, la construction en terre intéresse fortement maîtres d'ouvrages publics et privés. Les demandes en construction neuves explosent, ce qui se traduit par une hausse des ventes des fabricants et une saturation des rares maçons spécialisés. L'émergence d'un marché devrait stimuler la filière, à condition d'accompagner sa structuration et de s'inscrire dans le temps. La

filière compte trop d'exemples d'entreprises déstabilisées par une croissance trop rapide et qui ont mis la clé sous la porte. L'appui de la puissance publique est indispensable pour réussir l'essai.

Des marges de progrès dans la mise en œuvre

Si les techniques sont éprouvées, il est nécessaire de développer des méthodes de mise en œuvre adaptées aux chantiers contemporains, et visant une baisse des coûts de mise en œuvre. La préfabrication est citée par plusieurs acteurs.

Un grand besoin de formation professionnelle

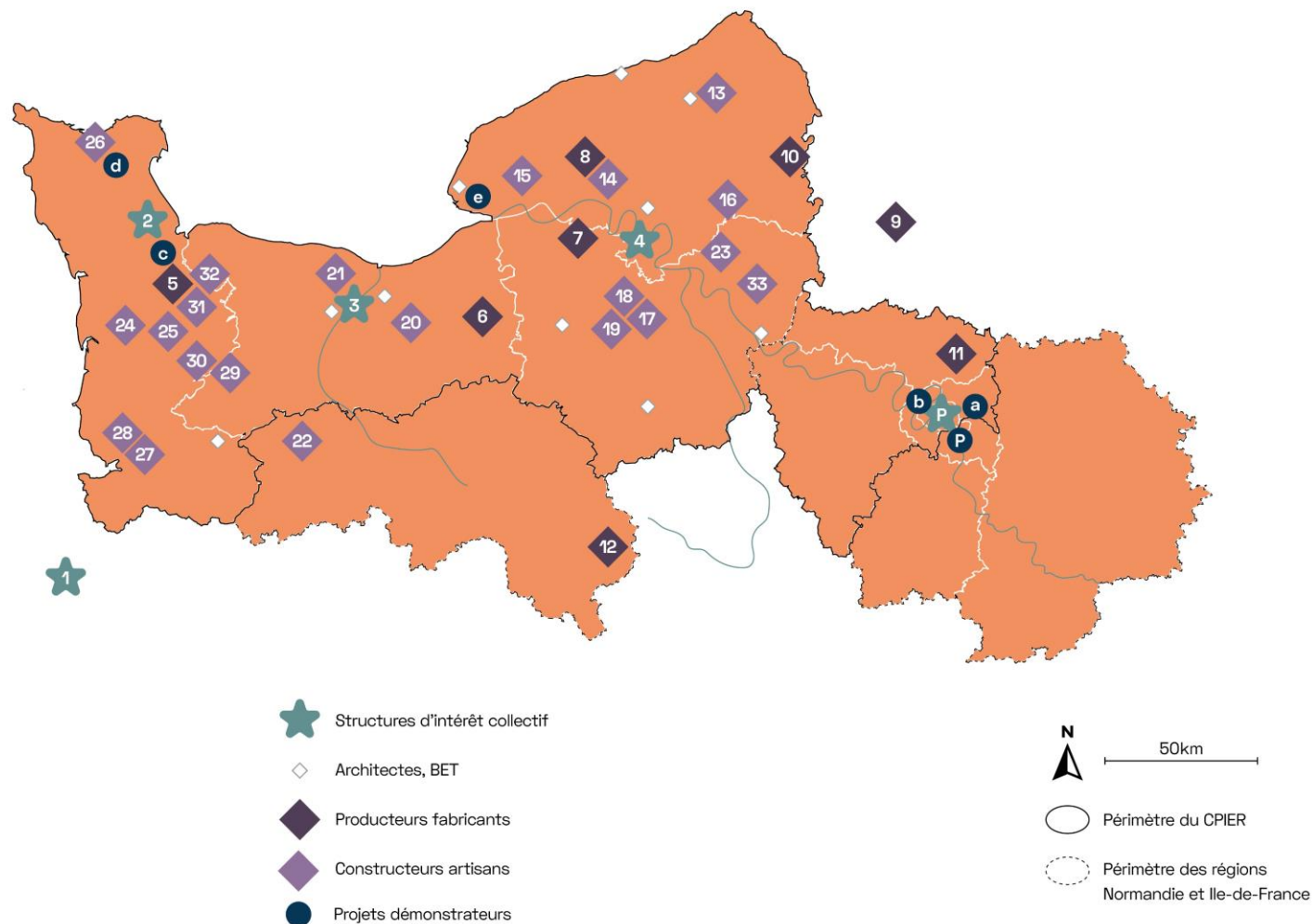
Trop peu de professionnels sont formés, sur tous les maillons de la chaîne. La mise en place de formations permettra de développer la filière dans un contexte sécurisé.

Les systèmes constructifs analysés

- ✓ Murs porteurs en terre crue avec des fibres végétales (bauge)
- ✓ Murs porteurs en blocs de terre comprimée stabilisée
- ✓ Murs porteurs en terre crue (pisé) – pas de page dédiée car système constructif non présent sur le territoire (mais ligne dédiée en matrice de synthèse)
- ✓ Cloisons intérieures en maçonnerie de briques de terre (adobe)
- ✓ Parements intérieurs en maçonnerie de briques de terre compressée
- ✓ Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales (torchis)
- ✓ Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et fibres végétales (terre allégée)
- ✓ Enduit mural int/ext de terre crue ou de chaux et fibres végétales

Aperçu de l'écosystème

Des acteurs normands nombreux et bien implantés et une coopérative francilienne



Structures d'intérêt collectif

P	Maisons Paysannes de France	Paris	
	Confédération de la construction en terre crue (CCTC)	Montreuil-Le-Gast	www.conf-terrecrue.org/
	CTMNC (Centre technique pour les Matériaux Naturels de Construction) - Département Terre Cuite et Département Pierre Naturelle (ou ROC))	Paris	www.ctmnc.fr/pages/terrecrue.php
	CTMNC (Centre technique pour les Matériaux Naturels de Construction) - Service R&D Céramique et Terre Crue	Clamart	www.ctmnc.fr/pages/terrecrue.php
	Le centre de la terre / COQUARD Denis	Paris	www.lecentredelaterre.com
	MUE-expériences	Montrouge	www.mue-experiences.org/
	1 Confédération Terre Crue	Montreuil-Le-Gast	
	2 PNR des Marais du Cotentin et de Bessin	Carentan-Les-Marais	
	3 ARPE (Association régionale pour la promotion de l'écoconstruction) en Normandie	Caen	www.arpenormandie.org/
	4 ASTERRE	Petit-Couronne	www.asterre.org/
amàco	Villefontaine	www.amaco.org/	
CRATERRE	Villefontaine Cedex France	www.craterre.org/	

Architectes

Sophie Popot Normandie	Banneville-La-Campagne	www.architectes-pour-tous.fr/architectes-pour-tous/sophie-popot
Archiviolette	Caen	www.archiviolette.com
Frederic Denise, Archipel Zéro	Le Havre	www.archipelzero.fr
MWAH Agence d'architecture	Vernon	
Atelier d'architecture Pascal Sejourné	Bernay	
Atelier Édouard Grisel	Perriers-En-Beauficel	www.laloutellerie.fr/
S29 STRUCTURE	Saint-Martin-De-Boscherville	
L'atelier Dantan	Veules-Les-Roses	
Veraligne Architecture	Muchedent	www.veralignearchitecture.fr
Les Ateliers d'Avre et d'Iton	Le Roncenay D'authenay	www.mg-ateliers.fr

Cette liste n'est pas exhaustive. Pour plus de précisions sur les acteurs cités ou compléments, voir les sites de [l'ARPE Normandie](#) et [Ekopolis](#).

Producteurs et Fabricants

5	Association Enerterre	Le Désert	www.enerterre.fr
6	Briquetterie Lagrive	Lisieux	www.briqueterielagrive.com/index.html
7	SARL Meslin et Fils.	La Haye-Aubrée	www.meslinetfils.fr
8	Construction d'antan	Allouville-Bellefosse	www.constructions-dantan.fr
9	Briqueterie Dewulf	Allonne	www.briqueterie-dewulf.fr
10	Carrelages de Saint Samson	Saint Samson La Poterie	
11	Cycle Terre	Sevran	
12	Eco-Pertica	Rémalard	www.ecopertica.com/ecomateriaux/terre-crue/

Constructeurs / artisans

13	Six Pieds sur Terre	St Vaast D'equiqueville	www.sixpiedssurterre.com
14	Construction d'antan	Allouville-Bellefosse	www.constructions-dantan.fr
15	Dorénoy	Mélamare	
16	Maçons d'Aotefois	Saint-Denis-Le-Thiboult	www.macons-aotefois.fr
17	SARL Meslin et Fils.	Crosville La Vieille	www.meslinetfils.fr
18	SARL LAMY	Le Troncq	
19	Rénov'Patrimoine	Goupil-Othon	
20	Eirl 14 MTPC	Argences	www.mtpc-maconnerie.fr
21	Bâtir en terre	Basly	www.batirenterre.fr
22	Les Guêpes Maçonnes	Athis-Val-De-Rouvre	www.lesguesmaconnes.fr
23	Guillaume Charrier	Canisy	www.leschantiersdedemain.fr/annuaire/guillaume-charrier/
24	Nid d'Argile	Saint-Sauveur-Lendelin	
25	Claire Dycha	Flipou	
26	La Maison Terre Paille	Tourlaville	www.lamaisonterrepaille.wordpress.com
27	LV Bâti Ancien	Avranches	www.maconnerie-lv-bati-ancien.fr
28	Olivia schneider	Bacilly	
29	Le Tourneur à Bois	Souleuvre-En-Bocage	www.letourneurabois.fr
30	Coopérative Les Chantiers de Demain	Canisy	www.leschantiersdedemain.fr
31	Association Enerterre	Le Désert	www.enerterre.fr
32	Sébastien Ruel	Saint-Fromond	
33	Blier Nicolas	Harquency	

Cette liste n'est pas exhaustive. Pour plus de précisions sur les acteurs cités ou compléments, voir les sites de [l'ARPE Normandie](#) et [Ekopolis](#).

TERRAMANO - Fred Jonnard

LES GRANDS MOYENS

Aurélie Massé

Nils Bronkhorst

Régine Robichon

Biophile Environnement

Romain Guillon

Atelier Chantier d'Insertion "Terre de Femmes"

Montreuil

Paris

Versailles

Les Ulis

Sevran

Romainville

Saint-Denis

fred.jonnard@gmail.com

contact@lgm-scop.fr

aurelie.masse08@gmail.com

bronkhorst.nils@neuf.fr

r.robichon@yahoo.fr

hugesorsolin@gmx.fr

contact@romainguillon.com

caroline.boue@armedusalut.fr

Aperçu de l'écosystème territorial Projets démonstrateurs

a	Centre de loisirs Jacques Chirac	Rosny-sous-Bois (93)
b	Groupe scolaire Miriam Makéba	Nanterre (92)
c	Maison du Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin	Saint-Côme-du-Mont (50)
d	Cité de la Mer	Cherbourg (50)
e	Le Hangar Zéro	Le Havre (76)
P	Immeuble d'habitation privé Cité Nollez (13 ^e arr.)	Paris (75)
P	Les Grands Verres - Palais de Tokyo	Paris (75)

	Pôle enfance Félix Leclerc	Bouvron (44)
	Orangery Lyon Confluence	Lyon (69)
	Pôle culturel L'Aria Cornebarrieu	Cornebarrieu (31)
	Groupe scolaire éco-responsable Paul Bayrou	Saint-Antonin-Noble-Val (82)
	École des Collines	Valherbasse (26)
	Maison pour tous	Four (38)
	Bâtiment agricole	Saint-Vigor-le-Grand (14)
	Résidence Salvatierra	Rennes (35)
	Maison en bande (ZAC de la Maisonneuve)	Guérande (44)

Cette liste n'est pas exhaustive. Pour plus de précisions sur les acteurs cités ou compléments, voir les sites de [l'ARPE Normandie](#) et [Ekopolis](#).



Excavation des terres du Grand Paris

Données clés

Disponibilité

Illimitée

Concurrences d'usage

Faible

Adaptabilité au changement climatique

Forte

Fournisseurs de matière première

- Sites de construction
- Terrassiers
- Agriculteurs
- Carrières
- Briqueterie et poteries

Voir « Aperçu de l'écosystème » (liste non exhaustive)

Une ressource locale illimitée

La "terre à bâtir" se situe sous la couche de terre végétale. En Normandie comme en Île-de-France, elle est essentiellement composée de limons et d'argiles, ce qui la rend utilisable pour une vaste gamme de techniques constructives, comme en témoigne la diversité du patrimoine en terre crue observable sur les 2 régions. La ressource en "terre à bâtir" est très abondante, omniprésente et avec une faible concurrence d'usage. Elle présente des caractéristiques variables suivant les couches géologiques : gamme de couleurs étendue, présence ou pas de cailloux (qui rendent son utilisation plus difficile), proportion d'argiles et limons variable (nécessitent parfois l'ajout de sable ou fibres).

Un approvisionnement artisanal et peu structuré

L'approvisionnement en terre à bâtir ne passe pas, dans la plupart des cas, par l'achat du matériau chez un producteur. Différentes solutions ont été observées chez les professionnels :

- L'approvisionnement sur le chantier : traditionnellement, les bâtisseurs utilisaient la terre du site de construction pour réaliser les ouvrages. Cet approvisionnement sur site est encore pratiqué si le chantier s'y prête (zone rurale, hors ATEX). La terre utilisée peut provenir du démontage d'un mur en terre crue. Les coûts d'achat et de transport sont nuls, mais cette pratique nécessite une bonne préparation de chantier (caractérisation de la terre, préparation de la terre sur chantier) et mobilise toute l'expertise du professionnel.
- La constitution d'un stock de terre par le maçon : de nombreux maçons constituent un stock de terre à bâtir à leur disposition. De cette manière, le maçon dispose d'une ressource abondante, disponible immédiatement, aux caractéristiques connues, et qu'il peut préparer à l'atelier en fonction de ses besoins. Il s'agit le plus souvent de terres de terrassement.
- L'approvisionnement chez une entreprise de terrassement : les entreprises de terrassement travaillent d'énormes quantités de terre crue, bien supérieures aux besoins de la construction, aujourd'hui anecdotiques. Elles peuvent livrer sur chantier ou à l'atelier. Les professionnels qui ont eu recours aux terrassiers mettent en avant le besoin de tisser des liens réguliers, et surtout de former les terrassiers au type de terre recherché.

- L'approvisionnement dans une carrière à ciel ouvert : les carrières de granulats génèrent 2 types de terres utilisables dans la construction : les terres de décapage et les boues de lavage. Suivant les caractéristiques de ces terres, elles peuvent constituer un gisement intéressant.
- L'approvisionnement dans une poterie ou une briqueterie : les entreprises produisant de la terre cuite disposent d'un gisement de terre crue (sur site ou à proximité) homogène et dont elles connaissent parfaitement les caractéristiques. Les briqueteries Dewulf et Lagrive et l'association Enerterre fournissent de la terre tamisée et séchée conditionnée en big-bag. Certains professionnels ont tissé des liens avec des poteries pour la fourniture de terre prête à l'emploi. Ce type d'approvisionnement structuré garantit un matériau de qualité constante, prêt à l'emploi, conditionné et livrable sur tout le territoire d'étude. Le coût de la fourniture et du transport est évidemment supérieur : 110 € à 280 € HT/T départ usine.

Des dispositions pour favoriser l'accès au matériau

Structurer l'accès au matériau "terre crue" est indispensable pour pousser le développement de la filière terre. Aujourd'hui, 5 fournisseurs sont identifiés en Normandie et Ile-de-France, auxquels s'ajoute la Briqueterie Dewulf, basée à Allonne [60]. La mise en œuvre des techniques terre crue demande un besoin important de main d'œuvre, compensé par le prix très modique de la matière première brute. Le recours aux terres prêtes à l'emploi, s'il sécurise l'approvisionnement, ajoute un coût d'achat et de transport difficile à répercuter sur la facture finale. La mobilisation de terres excavées (par les carrières et les entreprises de terrassement) est la solution la plus intéressante du point de vue environnemental, d'autant que l'exploitation d'une carrière terre crue dédiée implique des dispositifs réglementaires contraignants non amortissables pour de faibles volumes. L'organisation de plateformes de stockage de terre à bâtir est indispensable pour valoriser les terres excavées localement et assurer la fiabilité de la ressource. Le bon maillage géographique est à étudier pour limiter le transport de ce matériau pondéreux. Une collaboration entre terrasseurs et professionnels de la terre crue doit être mise en place pour envisager un tel dispositif.

Matériaux (1^{ère} transformation) Construire, cloisonner, isoler, décorer

Fabricants de matériaux

Voir « Aperçu de l'écosystème » (liste non exhaustive)

La terre crue se prête à de multiples usages dans le bâtiment, répondant à différentes fonctions. 6 techniques principales ont été identifiées, faisant l'objet de guides de bonnes pratiques. La première transformation peut s'effectuer directement sur chantier par le maçon. Il existe d'autres variantes, qui seront détaillées par technique.

La terre structurelle : bauge, briques, pisé

La bauge, technique ancestrale particulièrement présente en Normandie - mais également sur certains territoires bretons et picards - consiste à élever un mur constitué de terre crue, amendée ou non de fibres, sans stabilisant d'origine minérale (ciment ou chaux).

La brique de terre crue comprend 2 sous-catégories : l'adobe, qui est une terre préparée et façonnée dans un moule puis séchée ; et la brique de terre comprimée, ou BTC, qui est façonnée dans une presse, ce qui permet d'en augmenter les performances mécaniques. Quasiment inexistante dans l'architecture traditionnelle, la brique est aujourd'hui produite en Normandie (par Enerterre) et en Île-de-France (par Cycle-terre), sous forme de BTC. Le pisé est une technique de construction à base de terre crue légèrement humide, damée au sein d'un coffrage stable et rigide. Technique emblématique de la Région Rhône-Alpes, où abonde une terre faiblement argileuse et caillouteuse propice à cette mise en œuvre, elle a fait l'objet d'une poignée de projets récents en Normandie. Il s'agit, comme la bauge, d'une technique monolithique.

La terre en remplissage : le torchis

Le torchis vient en remplissage des intervalles d'une structure bois. Cette technique est très présente en Normandie, en Île-de-France, et dans un grand nombre de régions françaises et européennes. Il s'agit d'un mélange de terre crue et de fibres, appliqué sur un support bois, lui-même solidaire de la structure porteuse (en bois également). Il a pour fonction de réaliser une paroi opaque verticale - mur extérieur ou cloison intérieure - ou horizontale - plancher ou plafond. Il présente des caractéristiques de régulation de l'ambiance hygrométrique, d'affaiblissement acoustique et de protection au feu.

La terre en finition : les enduits

La terre crue constitue le liant de l'enduit, auquel divers ingrédients peuvent être ajoutés en fonction des caractéristiques de la terre utilisée : sable, fibre, trame. Il s'applique sur une grande variété de supports maçonnés (terre crue, pierre naturelle, ciment) ou végétaux (bottes de paille). Réalisés à l'intérieur, en fonction de leur composition et de leur application, ils peuvent assurer les fonctions de protection au feu, de parement esthétique, protection du support, d'étanchéité à l'air, de régulation du confort hygrométrique.

L'utilisation d'enduit terre crue en parement extérieur ne peut se faire que sous réserve d'assurer sa protection au ruissellement (pluie), à l'abrasion et au poinçonnement.

La terre en tant qu'isolant : les terres allégées

Depuis quelques décennies, les professionnels de la terre crue et les auto-constructeurs ont cherché à adapter l'usage de la terre crue aux problématiques climatiques et sociales actuelles, à savoir l'isolation thermique des bâtiments. La terre allégée se présente donc comme un mélange fortement dosé en fibres végétales et faiblement dosé en terre crue, constitué dans un coffrage et généralement maintenu par une ossature bois légère.

Une fois décoffré, le mélange isolant est généralement enduit. Il se prête particulièrement bien à l'isolation par l'intérieur du bâti en terre crue, ou en remplissage entre colombage. Une grande variété de fibres courtes (chênevotte) ou longues (paille) peut être utilisée. L'entreprise normande Eco-Pertica est également pionnière dans la mise au point de la projection mécanisée de terre-chanvre.

Avantages environnementaux

Les matériaux à base de terre crue ne nécessitent pas de cuisson et peu de transformation.

L'ajout de sable n'est pas toujours nécessaire, suivant les caractéristiques de la ressource en terre et l'usage souhaité. L'approvisionnement est généralement local, ce qui limite le transport de ce matériau pondéreux.

Ces éléments seront détaillés par technique.

Terre

Système constructif #1

Murs porteurs en terre crue avec des fibres végétales (bauge) 1/2

Une technique régionale de mur structurel en terre crue

Applications constructives



Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
Sur site

Coût de fabrication
450 €/ m² ou m³ (fourniture + pose)

FDES : 5 Collectives

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs
- Guides de bonnes pratiques de la terre crue

Tests et essais performanciels
- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Préparation et mise en œuvre

La bauge, technique ancestrale sur tout l'arc ouest de la France, consiste à élever un mur constitué d'un empilement de mottes de terre crue à l'état plastique, amendées ou non de fibres, sans stabilisant d'origine minérale (ciment ou chaux).

La mise en œuvre traditionnelle s'effectue sans coffrage, les maçons empilant à la fourche les mottes de terre sous forme de levées pouvant atteindre une hauteur de 1m maximum. Le dressage des parements de la levée se réalise après quelques heures ou un jour de séchage, avec un outil tranchant, en enlevant le surplus de matière.

Quelques entreprises mécanisent aujourd'hui le mélange, voir la mise en œuvre, et ont recours également au coffrage pour limiter le travail de dressage des murs et gagner en productivité. L'architecture traditionnelle et contemporaine montre des exemples pouvant atteindre l'équivalent d'un R+2 en bauge porteuse, voire d'un R+5 quand la bauge est associée à un autre système structurel (Résidence Salvatierra - Rennes - architecte Jean Yves Barrier - livré en 2003).

Confort et utilisation frugale des ressources locales

Utilisant un matériau de construction à très faible impact environnemental, cette technique est à explorer pour produire une architecture plus respectueuse des ressources de la planète. Elle ne mobilise pas de ressources très demandées comme le sable ou le bois, mais utilise des coproduits de l'activité agricole comme la paille ou le lin qui sont impropres à une utilisation dans l'industrie textile.

La bauge présente également un excellent comportement

acoustique et une bonne tenue au feu. Ses capacités de régulation hygrométrique produisent des bâtiments agréables, notamment en termes de confort d'été.

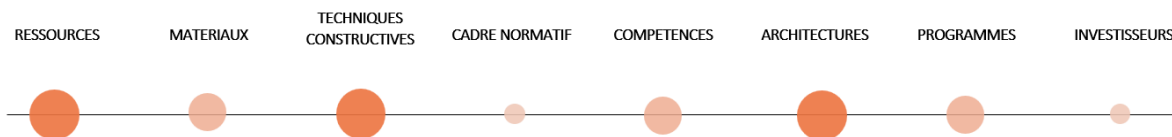
A contrario, un mur en bauge a une emprise au sol importante (50cm en moyenne), à laquelle il faut ajouter une isolation thermique, par l'intérieur ou par l'extérieur. Peu de données techniques sont à ce jour disponibles, à part le guide de bonnes pratiques et les résultats des études mécaniques et thermiques menées dans le cadre du projet CobBauge.

Un temps de séchage à anticiper dans la conduite du chantier

Le rendement est d'environ 7m linéaires par jour sur une hauteur de 50cm, avec le travail de 2 à 3 personnes. Le rendement peut être multiplié par 3 dans le cas de bauge banchée.

Le temps de séchage, inhérent à toutes les techniques utilisant la terre à l'état plastique, est important et peut allonger la durée des chantiers. Il faut attendre trois semaines avant de pouvoir recevoir des charges de plancher, de charpente ou une nouvelle levée, et près de 6 mois avant de pouvoir réaliser les finitions. L'équilibre hydrique n'est obtenu qu'au bout d'un an. Le travail de la terre en hiver est déconseillé.

Peu d'entreprises sont compétentes pour réaliser des ouvrages en bauge, et seule une poignée peut répondre à des chantiers importants. Cela peut se traduire par des coûts de travaux importants du fait des changements d'échelle pour ces entreprises ou des déplacements induits. Mais à l'image des chantiers récents réalisés en terre crue à Paris, des accompagnements et transferts de compétences peuvent s'envisager en les faisant collaborer avec de plus grosses structures.



Murs porteurs en terre crue avec des fibres végétales (bauge) 2/2

Une technique régionale de mur structurel en terre crue



Des recherches en cours pour actualiser cette technique

Pour pallier ces limites, des projets de recherche et des réalisations expérimentales sont en cours, coordonnés par François Streiff, architecte au Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin. Un bâtiment expérimental construit en bauge isolée par l'extérieur en terre allégée est instrumenté pour mieux connaître et modéliser le comportement hygrothermique de la bauge. Des bâtiments expérimentaux, comme la Maison du PNR, inventent de nouvelles façons de construire en bauge en tentant de réduire les contraintes.

Le développement du recours à la bauge en construction neuve n'aura lieu que si les contraintes identifiées sont levées. Pour ce faire, quelques pistes d'actions :

- Former les professionnels à cette technique et viser des entreprises pouvant réaliser des chantiers importants ;
- Modéliser les performances (structurelles et thermiques) pour intégrer ce matériau dans les moteurs de calcul ;
- Produire les essais certifiés nécessaires ;
- Innover dans le process de fabrication, tester la préfabrication pour réduire les contraintes de chantier ;
- Soutenir la commande.

Cadre technico-normatif

Pour de la réhabilitation, comme pour la construction neuve, pour les ouvrages et travaux non couverts par un référentiel technique permettant d'être reconnus en technique courante, les constructeurs doivent être assurés en technique non courante pour cette activité. Le montant des travaux réalisés doit bien être dans l'épure de la garantie souscrite.

A la date de réalisation du sourçage, il existe un référentiel technique de type guide de bonnes pratiques pour des terres crues. Celui-ci est subdivisé en 6 procédés dont le procédé de murs porteurs en terre crue avec fibres végétales, dénommé plus couramment « la bauge ». Ce guide a été édité en octobre 2020 sous la direction de la Confédération de la construction en terre crue.

Comme indiqué en propos liminaires, bien que constituant un premier référentiel utile, le statut de guide de ce document ne permet pas de reconnaître en technique courante les procédés qui s'y réfèrent. Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question ;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes ;
- De faire reconnaître préalablement à toute prescription/emploi, les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses) par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction de toutes les parties potentiellement concernées.

Nb : Pour démontrer l'atteinte de la fiabilité attendue, il est rappelé que ces démarches sont exigeantes et mobilisent souvent une expertise très élevée, du temps et des financements substantiels pour les mener de façon probante.

Terre

Système constructif #2

Murs porteurs en blocs de terre comprimée stabilisée (1/2)

Un matériau qui fait débat



Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
10 km hors ATEX

FDES : 1 Collective, 1 Individuelle

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

- ATEX de cas a n° 2957_V1

Tests et essais performanciels

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Une brique de terre stabilisée ou adjuvannée

La terre stabilisée consiste à ajouter une part de liant minéral (chaux ou ciment) dans un mortier de terre crue, dans l'intention d'accroître les performances mécaniques (sur ce point, l'efficacité long terme est discutée, les argiles ayant un comportement hydraulique différent de celui d'un liant minéral) et de réduire le temps de séchage. La part de liant hydraulique peut atteindre 10%, selon la norme XP13_901, mise à jour en 2021 pour les briques de terre crue.

La terminologie "terre adjuvannée" est plus adaptée pour qualifier cette pratique. En effet l'intégration de liant cuit questionne sur la légitimité de l'appellation « terre crue ».

En pratique, une brique de terre adjuvannée de 10% de ciment contient plus de ciment qu'un "parpaing" ou aggloméré creux de béton, qui en contient 7% environ.

Des améliorations techniques au prix d'un moindre bénéfice environnemental

A noter que ces améliorations techniques se font au prix d'un impact environnemental plus important et de la perte du caractère réversible et réutilisable du matériau terre crue lors de la fin de vie de l'ouvrage.

Pour une unité fonctionnelle comparable (1m² de mur porteur en brique de terre crue de 30cm d'épaisseur), l'impact sur le réchauffement climatique d'une brique sans liant minéral est de 16,3 kg CO₂ eq*, à comparer avec la valeur pour une brique stabilisée à 3,7% de chaux NHL, qui présente une valeur de 36,1 kg CO₂ eq**, soit un facteur de 2,2. La valeur de 36,1 kg CO₂ eq est proche de la valeur d'une brique de terre cuite.

A noter que le guide de bonnes pratiques *Brique de terre crue* autorise la construction de murs porteurs périphériques sous réserve de dispositions simples de protection à l'eau.

Un usage en mur porteur extérieur à privilégier

Sur le territoire interrégional, seul Cycle Terre produit des briques de terre stabilisée à Sevran (93).

Les domaines d'applications comprennent des usages à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

Cycle Terre recommande l'usage de ces briques en soubassement d'un mur en terre crue non stabilisé. Rosny-Sous-Bois teste en ce moment l'utilisation de BTC Cycle Terre en porteur, hors ATEX. Le volume de vente des BTC stabilisées est à ce jour inférieur à 10%. Etant donné l'impact environnemental induit par l'adjuvantage, l'usage en tant que mur porteur extérieur (abrité ou enduit) est à privilégier.

La mise en œuvre est décrite dans la norme XP 13-901.

* FDES mur en adobe, Confédération de la Construction en Terre Crue

** FDES paroi en bloc de terre comprimée porteuse d'environ 30 cm, Cycle Terre

Cadre technico-normatif

A la date de réalisation du sourçage, il n'existe pas de référentiel technique traditionnel visant ce procédé. Il existe une ATEX favorable (ATEX 2957_V1 de cas « a », CSTB), obtenue par Briques Technic Concept dans le Tarn donc loin de la Vallée de la Seine. Elle peut constituer une base de données pour de nouveaux tests sur chantier ou une nouvelle demande d'ATEX. Mais à l'heure actuelle, pour construire en porteur et en approvisionnement local en IDF ou Normandie, il faut se passer d'ATEX ou déposer une ATEX de type B.

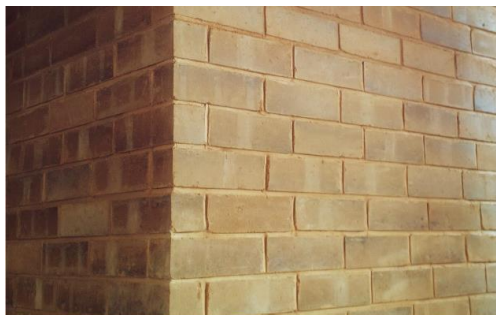
RESSOURCES MATERIAUX TECHNIQUES CONSTRUCTIVES CADRE NORMATIF COMPETENCES ARCHITECTURES PROGRAMMES INVESTISSEURS

Terre

Système constructif #2

Murs porteurs en blocs de terre comprimée stabilisée (2/2)

Un matériau qui fait débat



Ce procédé est destiné à la réalisation de murs porteurs en Blocs de Terre Comprimée Stabilisée (BTCS) de bâtiments à usage d'habitation, bureaux, locaux à usage commercial et d'établissements recevant du public, dont la hauteur ne dépasse pas R+4.

Les locaux visés par ce procédé sont les locaux de type EA, EB, EB+ privés à faible ou moyenne hygrométrie.

Le procédé peut être mis en œuvre en zone de sismicité 1 ou 2, limité à la catégorie II en zone de sismicité 2 et en respectant les dispositions particulières du cahier des charges.

Actualités, spécificités terrain constatées et perspectives d'évolution

La perspective de développement pour les régions Normandie et Île-de-France pourrait être de proposer un procédé équivalent en matériaux locaux, en faisant reconnaître celui-ci par une ATEx de cas « a » favorable, pour en permettre son emploi large.

Terre

Système constructif #3

Cloisons et contre-cloisons intérieures en maçonnerie de briques de terre (adobe) Un matériau modulaire facile à utiliser



Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
Maximum 100 km entre la fabrication et le chantier

FDES : 2 Collectives, 1 Individuelle

Synthèse du Cadre technico-normatif

Tests et essais performanciers

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Deux fabricants d'adobe

L'adobe est fabriquée dans un moule sans pression mécanique, à partir de terre crue. Un ajout de sable et de fibre peut être nécessaire en fonction des qualités de la terre utilisée. La fabrication est suivie d'une phase de séchage à l'air libre. La briqueterie Dewulf (60) et Enerterre (50) produisent des adobes, respectivement des briques extrudées et moulées. On constate que les capacités de l'outil de production sont importantes et supérieures à la demande actuelle. En cas d'augmentation de la demande, les centres de production devront s'agrandir et disposer de l'espace nécessaire au stockage de la terre d'une part, et au stockage des briques d'autre part.

Un matériau modulaire facile à mettre en œuvre, à promouvoir

La mise en œuvre des briques de terre crue "dans les règles de l'art" est décrite dans le guide de bonnes pratiques brique de terre crue. Elle se réalise avec un mortier présentant une formulation proche de la brique utilisée, généralement un mortier de terre crue. Elle ne présente pas de difficulté particulière. Les temps de séchage sont rapides, en comparaison à un chantier utilisant de la terre humide (bauge, torchis, enduits...).

Dans le cas précis de l'utilisation de la brique en intérieur, il est possible de réaliser sans difficulté des murs porteurs, des remplissages entre ossature bois ou des parements.

L'adobe est aujourd'hui essentiellement utilisée pour la réparation de murs en bauge et comme cloisons et contre-cloisons intérieures. La terre massive présente un bon comportement au feu et un comportement hygrométrique générant confort thermique d'hiver et d'été, ainsi que de fortes capacités d'isolation acoustique.

La brique de terre - adobe et BTC - est un matériau intéressant à

promouvoir. Ce point est détaillé dans le système constructif #4.
Cadre technico-normatif

Pour de la réhabilitation, comme pour la construction neuve, pour les ouvrages et travaux non couverts par un référentiel technique permettant d'être reconnus en technique courante, les constructeurs doivent être assurés en technique non courante pour cette activité. Le montant des travaux réalisés doit bien être dans l'épure de la garantie souscrite.

Il existe un référentiel technique de type guide de bonnes pratiques pour des terres crues. Celui-ci est subdivisé en 6 procédés, le procédé de « Cloisons intérieures en maçonnerie de briques de terre non compressée » est traité dans le guide de bonnes pratiques "brique de terre crue". Ce guide a été édité en octobre 2020 sous la direction de la Confédération de la construction en terre crue. Comme indiqué en propos liminaires, bien que constituant un premier référentiel utile, le statut de guide de ce document ne permet pas de reconnaître en technique courante les procédés qui s'y réfèrent. Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question ;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes ;
- De faire reconnaître préalablement à toute prescription/emploi, les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses), par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction de toutes les parties potentiellement concernées.



Terre

Système constructif #4

Cloisons intérieures en maçonnerie de briques de terre compressée 1/2

Un matériau modulaire facile à utiliser



Données clés

Volume moyen par fabricant

De 3500 à 600 000 briques (production limitée par le marché)

FDES : 4 Par défaut, 1 Collective

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

- ATEx de cas a n° 2911_V1

Tests et essais performanciers

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Briques de terre compressé : une gamme de produit assez étendue

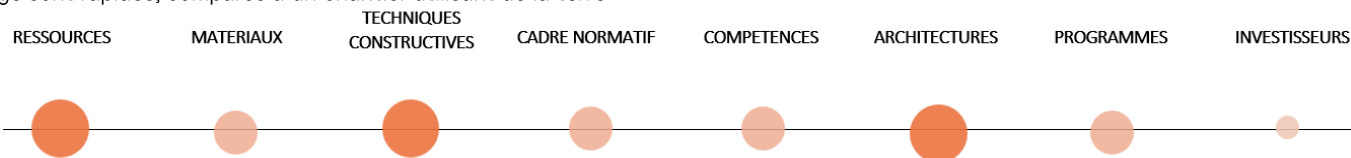
Plusieurs acteurs professionnels produisent toute une gamme de briques de terre sur ou à proximité du territoire d'études :

- Briques de terre compressée ou extrudée : Cycle Terre (93), Enerterre (50), Briqueterie Dewulf (60),
- Brique rainurée pour mur chauffant : Carrelage Saint Sanson (60)
- Parement intérieur de carreaux de terre crue comprimée : Carrelage Saint Sanson (60)

La fabrication des briques se fait à partir de terre séchée, concassée et tamisée, qui est humidifiée avant moulage mécanique et sous pression. Après un ajout de sable et de éventuel, selon les qualités de la terre, intervient une phase de séchage à l'air libre. Les capacités de l'outil de production sont importantes et supérieures à la demande actuelle. En cas d'augmentation de la demande, les centres de production devront s'agrandir et disposer de l'espace nécessaire au stockage de la terre d'une part, et au stockage des briques d'autre part.

Un matériau modulaire facile à mettre en œuvre

La mise en œuvre des briques de terre crue "dans les règles de l'art" est décrite dans le guide de bonnes pratiques "brique de terre crue". Elle se réalise avec un mortier présentant une formulation proche de la brique utilisée, généralement un mortier de terre crue. Elle ne présente pas de difficulté particulière. Les temps de séchage sont rapides, comparés à un chantier utilisant de la terre



humide (bauge, torchis, enduits...).

Dans le cas précis de l'utilisation de la brique en intérieur, il est possible de réaliser sans difficulté des murs porteurs (jusqu'à 3 niveaux), des remplissages entre ossature bois ou des parements. La terre massive présente un bon comportement au feu et un comportement hygrométrique générant confort thermique d'hiver et d'été, ainsi que de fortes capacités d'isolation acoustique. Il faut néanmoins prendre en compte l'absence d'Atex pour un usage porteur.

Un matériau à promouvoir

Les limites identifiées sont de plusieurs ordres :

- économiques, dans la mesure où le matériau présente un coût assez élevé lié à la taille modeste des acteurs économiques.
- esthétiques, du fait de la différence avec la traditionnelle plaque de plâtre (mais le murs de briques apparentes peut plaire aussi)
- de distribution, la brique de terre crue n'est pas proposée dans les grandes enseignes de magasin de matériaux, ce qui rend sa diffusion anecdotique
- de compétence, les entreprises pouvant proposer et poser ce matériau sont peu nombreuses (mais l'apprentissage est rapide)

De ces limites apparaissent quelques recommandations...

- Accompagner ces acteurs à investir dans un outil de production optimisé et à consolider leur modèle économique paraît nécessaire.
- promouvoir le matériau, ses qualités esthétiques et techniques, stimuler la commande publique et privée.
- travailler collégalement à une meilleure distribution des produits
- former maîtres d'œuvre et entreprises à prescrire et mettre en œuvre ces produits à des coûts maîtrisés.

Cloisons intérieurs en maçonnerie de briques de terre compressée 2/2

Un matériau modulaire facile à utiliser



Cadre technico-normatif

Pour de la réhabilitation, comme pour la construction neuve, pour les ouvrages et travaux non couverts par un référentiel technique permettant d'être reconnus en technique courante, les constructeurs doivent être assurés en technique non courante pour cette activité. Le montant des travaux réalisés doit bien être dans l'épure de la garantie souscrite.

A la date de réalisation du sourçage, il n'existe pas de référentiel technique traditionnel visant ce procédé, mais il existe une Appréciation Technique d'Expérimentation de cas « a » favorable, enregistrée sous le numéro ATEx 2911_V1, auprès du CSTB. Ainsi, dans la mesure où l'ATEx est respectée en tous points, le présent procédé est reconnu en technique courante.

Ce procédé est destiné à la réalisation de cloisons en maçonnerie de Briques de Terre Compressée (BTC), destinées aux bâtiments de type établissement recevant du public, maisons individuelles, bâtiments de logements en collectif, bâtiments pour bureaux, constructions scolaires et tous types de bâtiments à usage commercial, industriel ou agricole.

Les cloisons peuvent être des cloisons distributives ou séparatives de logement. Trois configurations principales sont visées :

- Cloisons en simple paroi ;
- Cloisons doublées par un procédé traditionnel en plaques de plâtre ;
- Cloisons doubles.

Actualités, spécificités terrain constatées et perspectives d'évolution

Les cloisons visées sont les cloisons dites « courantes » définies dans le DTU 20.13, dans les locaux secs et humides de type EA, EB, sous certaines conditions. Dans des locaux classés EB+ privatifs, les cloisons doubles ne sont pas autorisées.

La perspective de développement pour les régions Normandie et Île-de-France pourrait être de proposer un procédé équivalent en matériaux locaux, en faisant reconnaître celui-ci par une ATEx de cas « a » favorable, pour en permettre son emploi large.

A plus long terme, une perspective qui semblerait intéressante serait le développement d'une architecture en BTC porteuse isolée par l'extérieur (en fibre de bois ou en terre-chanvre), permettant de profiter de l'inertie (et donc d'apporter un bon confort d'été sans besoin de climatisation) et d'assurer une protection des briques aux intempéries. Ne nécessitant ni finition intérieure, ni étanchéité à l'air (gestion par la brique elle-même), elle pourrait montrer sa plus-value économique.

Terre

Système constructif #5

Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales (torchis) 1/2

Une technique peu exigeante et mal considérée



Applications constructives

Le torchis, un matériau résilient

Le torchis est un mélange de terre crue et de fibres, appliqué sur un support bois, lui-même solidaire de la structure porteuse (en bois également). Il a pour fonction de réaliser une paroi opaque verticale - mur extérieur ou cloison intérieure - ou horizontale - plancher ou plafond.

Le patrimoine bâti rural et urbain illustre la grande variété de composition et de mise en œuvre des torchis, ce qui traduit une adaptation très fine aux matériaux disponibles localement : terres, fibres, bois pour les supports de fixation, calepinage de la structure porteuse.

Le torchis se prépare en incorporant de la fibre végétale (paille de céréales, foin, chanvre...) à une terre argileuse à l'état plastique. Le mélange peut être réalisé manuellement ou mécaniquement, avec des outils de taille variée, allant du malaxeur planétaire chargé manuellement à la centrale à torchis chargée à la pelle mécanique. Il peut être mis en œuvre immédiatement ou après une fermentation de plusieurs semaines (qui assouplit les fibres et lui confère une meilleure résistance à l'eau de ruissellement).

Le support de fixation, en bois, permet de valoriser les bois locaux de petites sections, déchets de scierie...

Le torchis mis en œuvre à l'extérieur doit être protégé par une finition (enduit à base de terre, chaux, ou plâtre) ou une vêtue. Traditionnellement mis en œuvre entre colombages, il s'adapte à des ossatures de conception récente (compatible avec le DTU 31.1), en mur extérieur ou cloisonnement intérieur.

L'application est peu mécanisable, ce qui en fait une technique encore largement manuelle, facile à acquérir. L'essentiel du coût est dévolu à la main d'œuvre.

Atouts de la terre crue et facilité de mise en œuvre

Le torchis présente des caractéristiques de régulation de l'ambiance hygrométrique, d'affaiblissement acoustique et de protection au feu. Il dispose également d'une bonne résistivité à l'air, ce qui permettrait de réaliser l'étanchéité à l'air d'un bâtiment. Il dispose d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire. Il accepte une grande variabilité de composants, permettant de valoriser au mieux les ressources locales. La souplesse permet de créer des formes contemporaines et il n'est pas nécessaire de garder les montants d'ossature apparents.

Un matériau mal considéré

Cependant, le torchis souffre d'une méconnaissance et d'une image "désuète", associée à la pauvreté du bâti rural. Il n'est donc quasiment pas prescrit en construction neuve. Comme toutes les techniques utilisant la terre crue à l'état plastique, l'application en hiver est déconseillée et le temps de séchage est à prévoir avant application d'une finition enduite (3 à 6 mois). Enfin, la faible mécanisation possible, si elle participe au très faible impact environnement du torchis, conduit à des coûts de réalisation importants.

Pour pallier à ces limites, il est nécessaire de :

- Mettre en avant les possibilités techniques, architecturales et esthétiques du torchis pour susciter l'intérêt des prescripteurs et maîtres d'ouvrage ;
- Former l'ensemble des acteurs des projets à la prescription et à la mise en œuvre du torchis ;
- Expérimenter des mises en œuvre innovantes pour répondre à des problématiques spécifiques où le torchis semble particulièrement pertinent (par exemple en plancher et plafond).

Données clés

Volume moyen par fabricant
De 3500 à 600 000 briques

FDES : 1 Collective

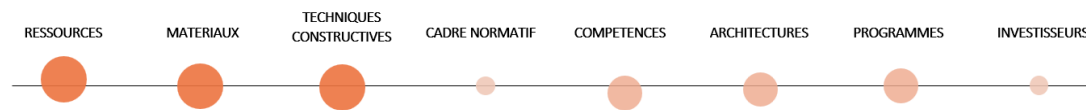
Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

- Guides de bonnes pratiques de la terre crue

Tests et essais performanciels

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.



Terre

Système constructif #5

Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales (torchis) 2/2

Une technique peu exigeante et mal considérée

Cadre technico-normatif

Pour de la réhabilitation, comme pour la construction neuve, pour les ouvrages et travaux non couverts par un référentiel technique permettant d'être reconnus en technique courante, les constructeurs doivent être assurés en technique non courante pour cette activité. Le montant des travaux réalisés doit bien être dans l'épure de la garantie souscrite.

À la date de réalisation du sourçage, il existe un référentiel technique de type guide de bonnes pratiques pour des terres crues.

Celui-ci est subdivisé en 6 procédés, dont le procédé de remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales, dénommé plus couramment « le torchis et les terres allégées ». Ce guide a été édité en octobre 2020 sous la direction de la Confédération de la construction en terre crue.

Comme indiqué en propos liminaires, bien que constituant un premier référentiel utile, le statut de guide de ce document ne permet pas de reconnaître en technique courante les procédés qui s'y réfèrent.

Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question ;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes ;
- De faire reconnaître préalablement à toute prescription/emploi les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses) par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction de toutes les parties potentiellement concernées.



Terre

Système constructif #6

Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et fibres végétales (terre allégée) 1/3 Un fort potentiel d'innovation



Données clés

Aire géographique d'approvisionnement
Régional

Coût de fabrication
Entre 25 et 150 €/m² suivant chantier

FDES : 1 Par défaut, 1 Collective

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

- Règles professionnelles « Mise en œuvre des enduits sur support composées de terre crue » accepté par la C2P avec suivi du retour d'expérience RP-B

Tests et essais performanciels

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Un système constructif proche du torchis

Proches du torchis dans leur composition, les terres allégées introduisent des innovations rendant compte de l'adaptation d'une technique traditionnelle aux besoins contemporains.

Les terres allégées se composent de fibres et de terre crue, dans des proportions inverses du torchis : la part de fibres est maximisée pour lui conférer des qualités d'isolation thermique. La densité d'un torchis oscille entre 600 à 900 kg/m³, alors que celle d'une terre allégée varie entre 200 et 350 kg/m³. La conductivité thermique dépend de la masse volumique et peut descendre jusqu'à 0,061 W/m.K [PV essai COFRAC], son classement au feu B-s1-d0 [PV essai COFRAC].

Des applications multiples

La terre allégée peut s'appliquer en isolation par l'intérieur ou par l'extérieur d'un mur maçonné, en remplissage d'une ossature bois ou d'un colombage traditionnel. L'épaisseur dépend de la performance recherchée et du support, et peut atteindre 30 cm en remplissage d'ossature. La finition la plus adaptée est l'enduit à base de terre, de chaux ou de plâtre. La mise en place d'un parement est aussi possible. La plaque de gypse-cellulose permet une projection en directe sur la structure contreventante qui assure l'étanchéité à l'air.

Le terre-chanvre, une innovation normande qui a fait ses preuves

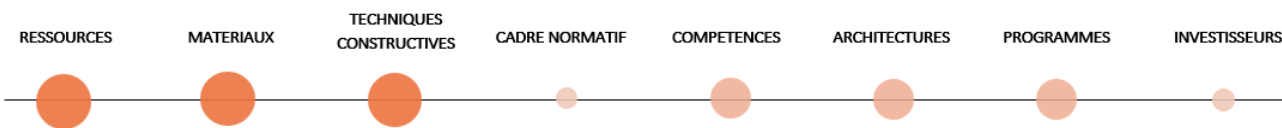
Le terre allégé accepte une multitude de fibres végétales, la plus connue est le mélange terre-paille, légèrement tassé manuellement

entre des banches. Cette technique, dont les matériaux sont quasiment gratuits (hormis le bois de l'ossature légère), demande beaucoup de main d'œuvre et un temps de séchage important (6 mois environ). Quelques artisans réalisent des essais avec des anas de lin ou des roseaux broyés.

Projection mécanisée, réduction des temps de séchage... Le développement de divers procédés d'optimisation par des entreprises du territoire

La SCIC Eco-Pertica a développé un processus complet de préparation de terre et de projection mécanisée de terre-chanvre. La terre, préparée en barbotine, est vaporisée et mélangée à la chènevotte, préalablement décompactée, au niveau de la lance de la projeteuse. Le rendement est de 2 à 3 m³ de mélange projeté par jour. A partir de 8 cm d'épaisseur, la réalisation d'une ossature légère, noyée dans le terre-chanvre, est nécessaire pour maintenir le mélange. Cette technique présente de nombreux avantages : gain de temps sur chantier, performances thermiques améliorées, mise en œuvre homogène, séchage plus rapide, image "contemporaine". De plus en plus d'artisans proposent cette technique en Normandie, essentiellement au sein de la CAE Les Chantiers de Demain. Plusieurs sessions de formation sont dispensées en France chaque année, plus d'une centaine de maçons est formée des Hauts de France à la Nouvelle Aquitaine. Le terre-chanvre demande un bon niveau technique.

Récemment installée en Normandie, la société Akta a développé une machine de projection d'un rendement de 15m³/jour, grâce à un système de mélange à sec du liant et des fibres, l'eau étant vaporisée en bout de lance de projection. Ce process permet d'optimiser les temps de séchage.



Terre

Système constructif #6

Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et fibres végétales (terre allégée) 2/3 *Un fort potentiel d'innovation*



La terre du site peut être utilisée, il est aussi possible d'utiliser de la terre prête à l'emploi en s'approvisionnant auprès d'Enerterre, d'Eco-Pertica, des briqueteries et poteries locales, ou des boues de lavage de carrière. Le surcoût de la terre prête à l'emploi a pour contrepartie une exécution rapide et maîtrisée.

Chaux-chanvre versus terre-chanvre

In fine, le terre-chanvre est comparable au chaux-chanvre dans ses applications et mises en œuvre. En faveur du terre-chanvre, un impact environnemental plus favorable lié à l'absence de cuisson du liant, aux possibilités de réemploi offertes par la terre crue (matériau réversible), à la possibilité d'utiliser des matériaux locaux (pas de production de chaux en Normandie) et de meilleures conditions de travail pour les compagnons (pas de brûlures). En faveur du chaux-chanvre, une filière plus structurée disposant de Règles Professionnelles, de partenariat avec les réseaux de distribution de matériaux et d'un plus grand nombre de professionnels formés. L'intégration du terre-chanvre dans les Règles Professionnelles "Construire en Chanvre" serait un atout pour la filière, à condition que les entreprises soient libres de choisir la terre qui leur convient pour atteindre leurs objectifs (terre du site ou terre prête à l'emploi. Cette liberté n'est pas possible dans les Règles Professionnelles "Construire en Chanvre" qui spécifient des couples liants (chaux) et chènevotte (unité de défibrage) validés.

Une solution pour la rénovation

Ce matériau est tout indiqué pour l'isolation du bâti ancien, en terre ou en maçonnerie. Il offre une solution parfaitement adaptée au bâti en colombage, en isolation par l'intérieur ou en remplacement du remplissage dégradé. Sa plasticité lui permet d'isoler les moindres recoins, et de s'accommoder des faux aplombs. Le terre-chanvre accepte tout type de finition, la plus demandée étant l'enduit. Dans ce cas, l'étanchéité à l'air est gérée par l'enduit, ce qui suppose d'anticiper finement tous les points singuliers et liaisons entre enduit et un autre matériau. La finition enduit nécessite aussi de prévoir des supports de fixation de charges

lourdes (étagère murale). Réalisée par un professionnel, elle présente un coût supérieur à une finition par plaque de parement.

Et en construction neuve ?

Aujourd'hui, le terre-chanvre est peu demandé en construction neuve, probablement en raison de sa conductivité thermique moyenne par rapport aux isolants en panneau. Cet inconvénient présente pourtant des avantages : de par sa masse volumique conséquente pour un isolant et ses qualités hygroscopiques, il apporte un confort d'été important, de plus en plus apprécié dans le contexte climatique actuel.

Une filière prometteuse à soutenir

Développé par une poignée de passionnés en Normandie, le terre chanvre en projection mécanisée atteint un niveau de professionnalisme remarquable. La filière connaît cependant des difficultés importantes à opérer le changement d'échelle nécessaire pour répondre à l'intérêt croissant qu'elle suscite. Quelques pistes d'actions à mener :

- capitaliser les innovations des entreprises et poursuivre les travaux de recherche engagés (comportement acoustique, FDES...);
- aider les entreprises à investir dans l'outil de projection mécanisée (entre 25 000 et 100 000 € suivant le rendement de la machine);
- soutenir l'intégration du terre-chanvre dans un référentiel technique reconnu (règles professionnelles ou autre), pour aller au-delà du Guide de Bonnes Pratique de la construction en terre
- mettre en place les maillons manquants de la filière, et notamment une meilleure distribution des matériaux (chènevotte et terre prête à l'emploi);
- inciter à la mise en place de projets de bâtiments pilotes pour inciter les acteurs de la filière à se structurer pour répondre à des marchés plus importants.

Terre

Système constructif #6

Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et fibres végétales (terre allégée) **3/3** *Un fort potentiel d'innovation*



Cadre technico-normatif

Pour de la réhabilitation, comme pour la construction neuve, pour les ouvrages et travaux non couverts par un référentiel technique permettant d'être reconnus en technique courante, les constructeurs doivent être assurés en technique non courante pour cette activité. Le montant des travaux réalisés doit bien être dans l'épure de la garantie souscrite.

A la date de réalisation du sourçage, il existe un référentiel technique de type guide de bonnes pratiques pour des terres crues.

Celui-ci est subdivisé en 6 procédés dont les procédés de remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales, dénommé plus couramment « le torchis et les terres allégées ». Ce guide a été édité en octobre 2020 sous la direction de la Confédération de la construction en terre crue.

Comme indiqué en propos liminaires, bien que constituant un premier référentiel utile, le statut de guide de ce document ne permet pas de reconnaître en technique courante les procédés qui s'y réfèrent.

Pour la prescription et l'emploi de ces procédés sur une opération, il est donc nécessaire :

- D'identifier les caractéristiques et performances requises pour son projet, en vue de démontrer l'aptitude à l'emploi du procédé pour le projet en question ;
- De définir les protocoles d'études et d'essais associés, de les mener et de vérifier que les performances requises sont bien atteintes ;
- De faire reconnaître préalablement à toute prescription/emploi les éléments de preuve collectés (démarches qualités incluses) par le Contrôleur Technique Construction désigné pour l'opération et par l'Assurance Construction de toutes les parties potentiellement concernées.

Terre

Système constructif #7

Enduit mural int/ext de terre crue ou de chaux et fibres végétales - 1/2

Esthétique et confort hygrothermique



Données clés

FDES : 1 Par défaut, 1 Collective

Synthèse du Cadre technico-normatif

Référentiels normatifs ou prénormatifs

- Règles professionnelles « Mise en œuvre des enduits sur support composés de terre crue » accepté par la C2P avec suivi du retour d'expérience RP-B
- Règles professionnelles « Construction en paille, remplissage isolant et support d'enduit » accepté par la C2P sans un suivi nécessaire du retour d'expérience (RP-A)

Tests et essais performanciers

- Voir le détail du Cadre technico-normatif.

Applications constructives

Préparation et réalisation de l'enduit

La réalisation d'un enduit nécessite de mélanger un liant (ici, terre crue ou chaux), une charge (du sable) avec de l'eau pour une application à l'état plastique. Suivant le rendu souhaité et les caractéristiques de la terre utilisée, l'ajout de fibre végétale et d'un colorant naturel est possible.

La préparation de l'enduit se fait sur chantier, et il s'applique en 3 passes : une passe d'accroche - le gobet, une passe de corps - le corps d'enduit, et une passe de finition. Le séchage de chaque passe est nécessaire avant de réaliser la couche suivante. La passe de finition est souvent tramé avec une fibre fine, par exemple de l'anas de lin.

Le plâtre est aussi un liant traditionnel aux propriétés intéressantes: prise très rapide, forte épaisseur en une seule passe, pas de retrait au séchage, formulation possible avec de la chaux aérienne ou de la terre crue, utilisation possible en extérieur (plâtre gros), bonne tenue au feu, projection mécanisable possible. Cependant, le savoir-faire de sa mise en œuvre s'est perdu et nécessite d'être ré-découvert et ré-enseigné.

L'enduit extérieur : une protection adaptée aux matériaux naturels

Appliqué à l'extérieur, l'enduit a pour fonction de réaliser la protection de son support. Et bien sûr une fonction décorative. Le support peut être constitué d'un mur maçonné, d'un mur en terre, en torchis, en béton allégé (chaux-chaivre ou terre-chaivre), en bottes de paille.

La réalisation d'enduits extérieurs est décrite dans les documents

techniques régissant la mise en œuvre des matériaux "à enduire":

- Règles Professionnelles "Isolation en bottes de paille", "Béton de Chanvre", "Mise en œuvre d'enduits sur supports composés de terre crue"
- Guide de bonnes pratiques "terre crue"
- Etc...

En raison de sa solubilité à l'eau liquide, l'utilisation de terre crue en revêtement extérieur est déconseillée. L'utilisation de liants "traditionnels" apporte des caractéristiques techniques intéressantes pour la pérennité des ouvrages : ouverture à la diffusion de vapeur d'eau et capillarité.

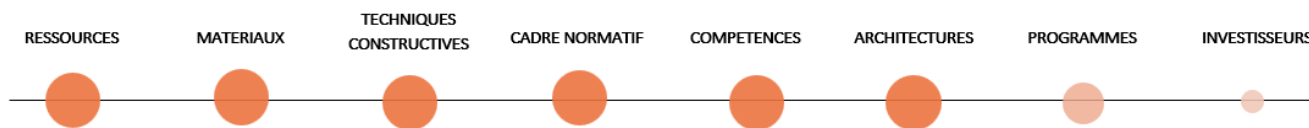
L'enduit traditionnel, s'il est bien réalisé et si les écoulements d'eau sont bien pensés, vieillit plus tôt bien esthétiquement et peut être facilement entretenu.

L'enduit intérieur : inertie et régulation hygrométrique

Appliqué à l'intérieur, en plus de sa fonction décorative, l'enduit a pour fonction de protéger son support - généralement un isolant de type béton biosourcé. Il assure aussi l'étanchéité à l'air du bâtiment, sous réserve que tous les points singuliers, notamment les jonctions avec les autres matériaux et parois, soient étudiées et réalisées avec soin.

Il apporte de l'inertie dans le bâtiment et ses capacités hygroscopiques lui permettent de réguler naturellement l'ambiance hygrométrique, assurant un confort de grande qualité. L'apport d'inertie a un effet favorable sur le confort acoustique.

L'enduit terre est assez fragile et doit être ou protégé dans les zones de passage générant des frottements réguliers, ce qui ne le rend pas adapté à tous types d'usages.



Terre

Système constructif #7

Enduit mural int/ext de terre crue ou de chaux et fibres végétales - 2/2

Esthétique et confort hygrothermique



Un coût important et un manque de main d'œuvre qualifiée

Plusieurs facteurs entraînent un coût de réalisation important : préparation du mélange sur chantier (ce qui n'est pas le cas d'une plaque de plâtre ou de gypse-cellulose), mise en œuvre en 3 passes avec des temps de séchages, savoir-faire. Comme tout matériau mis en œuvre à l'état humide, la mise en œuvre peut être interrompue en hiver, les temps de séchages sont à intégrer à l'organisation du chantier et la ventilation du bâtiment peut être nécessaire. En revanche, l'enduit terre peut rester apparent et n'a pas besoin d'être peint, contrairement aux plaques de plâtre. Actuellement, la réalisation d'enduits est l'apanage des artisans maçons, issus de l'éco-construction et/ou du patrimoine. Quelques entreprises plus importantes pratiquent la projection mécanisée d'enduit chaux et terre et peuvent réaliser des chantiers importants.

Le développement de filières locales de terre tamisées et séchées prêtes serait un élément facilitateur pour le recours à l'enduit terre.

Cadre technico-normatif

A la date de réalisation du sourçage, il existe 2 règles professionnelles applicables aux enduits à base de terre et de chaux :

1 - « Mise en œuvre des enduits sur support composées de terre crue » acceptées par la C2P avec un suivi du retour d'expérience (RP-B). Ces règles regroupent le procédé d'enduit mural intérieur et extérieur de chaux fibrée avec de la paille sur un support terre crue.

Ainsi, dans la mesure où le référentiel est respecté en tous points, le présent procédé est reconnu en technique courante.

Ces règles professionnelles visent un enduit appliqué sur tous les supports à base de terre crue dont :

- Le torchis
- La terre-paille

- Bauge
- Pisé
- Pierres maçonnées à la terre
- Blocs de terre compressée (BTC)
- Adobe

2 - « Construction en paille, remplissage isolant et support d'enduit » acceptées par la C2P sans un suivi nécessaire du retour d'expérience (RP-A).

Ces règles regroupent deux procédés dont le procédé d'enduit mural intérieur et extérieur de terre crue ou de chaux fibrée avec de la paille, sur un support botte de paille.

Ainsi, dans la mesure où le référentiel est respecté en tous points, le présent procédé est reconnu en technique courante.

Pour rappel, ces règles professionnelles visent l'isolation thermique de mur à ossature bois (relevant du DTU 31.2) des locaux de type EA, EB, EB+ privatif à faible ou moyenne hygrométrie, pour la rénovation ou construction neuve. Les types de bâtiments visés sont les logements individuels ou collectifs, les locaux commerciaux et les établissements recevant du public dont le plancher bas du dernier niveau est à : moins de 8 mètres du sol.

Actualités, spécificités terrain constatées et perspectives d'évolution de la filière 1/2

Historique de la filière

Une filière ancienne qui s'organise

La dynamique de promotion et de transmission des savoir-faire autour de la terre crue est ancienne et multi-acteurs. Les 16 & 17 décembre 2005,

Les acteurs de l'écosystème terre crue se réunissent à Rouen, sous l'égide du CSTB et sous l'invitation de l'association des artisans du Torchis, de la

CAPEB Hte Normandie et du réseau Ecobâtir, autour de l'étude ACSNI "Analyse des caractéristiques des systèmes constructifs non industrialisés".

Un palier a été franchi dans les années 2015 lorsque la DHUP a confié à 10 structures nationales et régionales le pilotage de rédaction des 6 guides de bonnes pratiques dont CAPEB, FFB, Maisons paysannes de France, Asterre, RÉSEAU écobatir, Areso, Arpe Normandie, Collectif terreux armoricain, TERa ... Cette mission mobilise le tissu professionnel pour la production de ces documents à visée normative faisant consensus. Elle conduit également à la création d'un nouvel acteur, la Confédération de la construction en Terre Crue, qui regroupe les associations coordinatrices des guides de bonnes pratiques.

Spécificités terrain constatées

Une demande croissante et une pénurie de main d'œuvre

Sur le terrain, les professionnels de la terre crue constatent une demande croissante, historiquement des particuliers, mais qui s'élargit aujourd'hui à l'ensemble de la maîtrise d'ouvrage. La déclaration d'intention de la Confédération de la construction en terre crue sur la formation, a identifié un déficit de connaissance au niveau des contrôleurs technique et de la maîtrise d'ouvrage publique. Ce déficit entraîne une grande difficulté de réponse de la part des entreprises, du fait de la méconnaissance des capacités constructives de la terre crue de la part de ces acteurs majeurs de la construction.

Le dialogue entre tous les intervenants d'un projet

Bien que les techniques de construction en terre crue ne soient pas des techniques courantes de la construction, leur utilisation en construction neuve est possible à condition qu'un dialogue et une stratégie de la gestion du caractère non courant de cette technique soient mis en place entre les intervenants du projet – maîtrise d'ouvrage, architecte, bureaux d'études spécialisés, contrôleur technique, entreprise - dès l'amont.

Des références projet à analyser de plus près

Des références semblent montrer que des entreprises auraient été assurées en technique non courante sans a priori de surcoût pour l'emploi de procédés de terre crue relevant la technique non courante.

La collecte de davantage d'informations sur le contexte de ces projets ainsi que sur l'existence et l'effectivité de leur assurabilité serait nécessaire pour en tirer des conclusions.

Parmi cette collecte d'information, il faudra notamment se renseigner sur l'assurance Dommage Ouvrage souscrite par les MOA de ces projets, ce qui consisterait à vérifier qu'elles aient souscrit une assurance en technique non courante et pour quel surcoût éventuel associé.

On rappelle cependant, comme indiqué en propos liminaires, que le recours à une assurance en technique non courante est nécessairement associé à des démarches de justification exigeantes, mobilisant souvent une expertise très élevée, du temps et des financements complémentaires. Pour un procédé relevant de la technique non courante et employé sur des projets, ces démarches de justification sont à répéter pour chaque projet employant ledit procédé.

Ainsi, de par ces démarches qui restent lourdes, et la possibilité qu'elles n'aboutissent pas sur tous les projets, le recours systématique à une police d'assurance en technique non courante est non adapté à une démarche de massification de la filière contrairement au développement de procédés qui seraient reconnus en technique courante.

Actualités, spécificités terrain constatées et perspectives d'évolution de la filière 2/2

Actualités et perspectives de développement

Le Projet National Terre

Le projet de recherche Projet National Terre. Il a pour objectif de permettre à nouveau le déploiement, à grande échelle, de la construction en terre crue. Ce développement passe aujourd'hui par la levée des multiples freins identifiés pour ce secteur, qu'ils soient culturels, socio-économiques, techniques, assurantiels ou réglementaires. 9 axes de recherche ont été identifiés : <https://projet-national-terre.univ-gustave-eiffel.fr/>

Des perspectives de tiers-lieu à Sevran et de coworking industriel

La ville de Sevran a pour objectif de construire un tiers-lieu, avec des espaces de formation et de prototypage/développement, qui puisse servir à la filière terre et plus largement au monde de l'écoconstruction (sur la complémentarité terre/autres matériaux notamment). Cela offrirait également un accès aux matériaux et des espaces de travail pour les artisans.

La piste du coworking industriel a également été exposée à l'occasion des 8^{ème} Assises nationales de la terre crue.

La technique de la terre coulée

La technique de la terre coulée consiste à mettre en œuvre, au sein d'un coffrage, un mélange à base de terre à l'état liquide. Cette technique se rapproche du béton de site et n'est pas répertoriée dans les techniques terre crue. Généralement adjuvantée avec un liant hydraulique, cette technique ne présente pas, jusqu'à présent un bilan environnemental intéressant. Une veille sur les innovations dans ce domaine est à opérer.

Le développement industriel et l'attrait pour l'adjuvantation

L'approche de la terre comme matériau d'avenir de la construction se développe et incite des industriels à développer des produits à base de terre crue, dans lesquels l'ajout d'un liant cuit a pour objectif d'utiliser la terre crue selon des techniques et des

méthodes d'organisation actuelles. Si les adjuvants font perdre à la terre crue son caractère réversible et réutilisable, et impactent significativement l'analyse du cycle de vie du produit, ces produits sont, dès lors, en contradiction avec les qualités intrinsèques du matériau. Ces pratiques brouillent les repères du client professionnel et particulier. Une analyse fine du processus de fabrication et de mise en œuvre est requise pour distinguer le réel intérêt environnemental des produits.

Ressource humaine

Une chaîne d'acteurs compétents mais trop peu nombreux, de nouveaux maillons à former

Des entreprises trop peu nombreuses et de taille

réduite, et La terre crue est l'activité de maçons spécialisés dans la restauration du patrimoine et/ou l'écoconstruction. Il s'agit essentiellement d'artisans qui disposent d'un niveau d'expérience et de compétences très élevés, certains étant parties prenantes des actions de structuration de la filière. Ce sont des acteurs clés, qui connaissent parfaitement le matériau terre et qui doivent être associés aux démarches d'innovation et de massification. Le nombre de ces entreprises est aujourd'hui insuffisant pour couvrir la demande, provenant essentiellement des particuliers.

Quelques entreprises très formées capables de répondre à des marchés importants

On compte une dizaine d'entreprises, notamment en Normandie, en capacité de répondre à des marchés plus importants : petit établissement public, petit collectif... Ces entreprises comptent une dizaine de salariés ou plus et sont prêtes à s'engager sur des projets plus ambitieux si la phase conception, le budget et le calendrier de chantier sont acceptables. La question de la préfabrication de certains éléments en terre crue (terre allégée, bauge) est également à étudier pour réduire les temps de chantier et limiter la logistique.

Un niveau de compétences variable selon les techniques

Les compétences à mobiliser par les entreprises sont variables d'une technique à l'autre. La projection de terre-chanvre demande une grande maîtrise technique, tandis que le torchis est très facile à mettre en œuvre. La brique, de par son format modulaire, est proche d'une brique de terre cuite dans sa mise en œuvre. Elle demande ainsi une connaissance technique du matériau moins fine et plus adaptée à des entreprises du BTP « classiques ».

Besoin de formation professionnelle initiale et continue - Volet réalisation

Le territoire fait apparaître un manque de formation professionnelle sur la terre crue, pour les différentes composantes de la maîtrise d'œuvre [réalisation et conception].

Aujourd'hui, en réalisation, les jeunes professionnels de la terre crue se forment à l'extérieur du territoire d'études (Bretagne, Pays de la Loire) sur des titres type "ouvrier professionnel en restauration du patrimoine", "ouvrier professionnel en éco-construction", "maçon bâti ancien", "maçon en terre crue" ou au GRETA du Cotentin (spécialisation). Il s'agit de formations longues de plus de 1000 heures. L'intégration de modules sur la terre crue en formation initiale serait déterminante.

Une formation courte professionnelle au terre chanvre existe : la formation "PRO-PAILLE", dispensée en Normandie et en Ile-de-France, intègre une approche des enduits terre, chaux et plâtre sur support botte de paille.

En Ile-de-France, CycleTerre propose des sessions de formation sans pour autant parvenir à les remplir lorsqu'elle s'adresse au monde du BTP. Le programme de formation « Compétences Emplois » (12 semaines), conçu par la Fédération Eco-Construire et l'association sevranaise Compétences Emploi (825k€ de financements régionaux/privés), a davantage de succès auprès des professionnels en reconversion vers la filière terre. Cette formation est suivie par des formations qualifiantes ou des emplois dans le domaine.

Volet conception - un maillon de la chaîne de conception peu formé

Côté conception, les professionnels de la maîtrise d'œuvre méconnaissent assez largement la construction en terre crue et la filière qui lui est associée. Aucune formation à la conception d'ouvrages en terre crue n'est dispensée en Normandie. Cette situation présente des risques : prescription du matériau terre crue dans des situations inadaptées, conception et gestion de chantier ne tenant pas compte des contraintes spécifiques (temps de séchage notamment), délais et coûts de construction non maîtrisés. Il manque encore le maillon de l'ingénieur structure spécialisé en construction terre. Par ailleurs, le contrôleur technique est un maillon qui doit être informé des documents de référence existants.

Architectures Espaces éducatifs et culturels

Pôle enfance Félix Leclerc – Bouvron (44)

- MOA : Mairie de Bouvron
- MOE : Atelier Belenfant Daubas
- Année : 2014
- Coût : 3.500.000 € HT
- Mode constructif : ossature bois, isolation botte de paille, bauge non porteuse et briques de terre crue
- Niveau de performance passif.

Orangery Lyon Confluence – Lyon (69)

- MOA : OGIC
- MOE : Clément Vergély Architectes, Diener & Diener Architekten
- Année : 2020
- Mode constructif : Pisé porteur préfabriqué

Maison du Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin – Saint Côme du Mont (50)

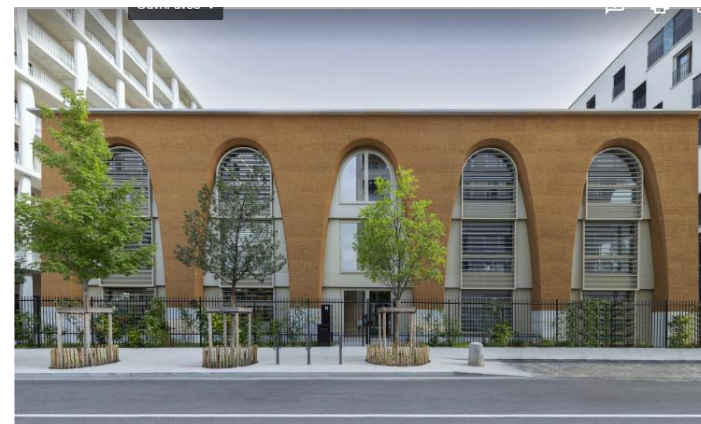
- MOA : PNR Marais du Cotentin et du Bessin
- MOE : Archiviolette
- Année : 2016
- Coût : 1 187 800 € HT
- Mode constructif : Ossature bois isolation botte de paille, bauge non structurelle, enduits terre crue

Cité de la mer – Cherbourg (50)

- MOA : Communauté d'Agglomération le Cotentin
- Année : 2021
- Mode constructif : cloisons séparatives en briques de terre crue.



Pôle enfance Félix Leclerc – Bouvron (44)



Orangery Lyon Confluence – Lyon (69)



Maison du Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin – Saint Côme du Mont (50)



Cité de la mer – Cherbourg (50)

Architectures Espaces éducatifs et culturels

Pôle culturel l'Aria – Cornebarrieu (31)

- MOA : La ville de Cornebarrieu
- MOE : atelierphilippemadec
- Construction : Briques Technic Concept (fabrication), Demathieu&Bard, Les Briqueteurs Réunis (mise en œuvre)
- Année : 2017
- Coût : 7 293 000 euros HT VRD compris
- surface : 2 710 m² utile
- Mode constructif : bois et terre BTC
- Niveau de performance passif



Pôle culturel l'Aria à Cornebarrieu – Cornebarrieu (31)

Centre de loisirs Jacques Chirac – Rosny-sous-Bois (93)

- MOA : Ville de Rosny-sous-Bois
- MOE : Direction recherche et innovation de la ville de Rosny-sous-Bois
- Construction : Apijbat (paille, enduit), Rialland charpente
- Année : 2020
- Mode constructif : adobe, enduit terre, paille



Centre de loisirs Jacques Chirac – Rosny-sous-Bois (93)
© Marie-Amélie Lombard

Groupe scolaire éco-responsable Paul Bayrou – Saint-Antonin-Noble-Val (82)

- MOA : Mairie de Saint-Antonin-Noble-Val
- MOE : Mil Lieux Architecture (Arch. mand.), Selarl Ryckwaert (Arch. Assoc.)
- Année : 2016
- Mode constructif : bois, pierre et terre coulée
- Performance : BEPOS



Groupe scolaire éco-responsable Paul Bayrou – Saint-Antonin-Noble-Val (82) © Vincent Boutin

École des collines – Valherbasse (26)

- MOA : SIVOS de la haute Herbasse
- MOE : Design & Architecture (mandataire), NAMA Architecture (associés)
- Année : 2019
- Mode constructif : pisé, paille



École des collines – Valherbasse (26)
© Paul Kozlowsky

La Maison pour Tous – Four [38]

- MOA : COMMUNE DE FOUR
- MOE : designbuildLAB AE&CC, Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble
- Année : 2019
- Mode constructif : pisé

Groupe scolaire Miriam Makéba – Nanterre [92]

- MOA : Ville de Nanterre
- MOE : toa | architectes associés, D.Besson Paysage, Incet, BETerre, Eléments Ingénierie, Peutz
- Année : 2019
- Mode constructif : pisé
- Performance : BEPOS

La Ferme des Possibles – Stains [93]

- MOA : Novaedia – EPT Plaine Commune
- MOE : Frédéric Denise – Archipel Zéro
- Année : 2020
- Mode constructif : briques de terre comprimée recyclées du festival Bellastock, enduits intérieurs en terre crue locale

Tiers-lieu Le Hangar Zéro – Le Havre [76]

- MOA : SCIC Le Hangar Zéro
- MOE : archipel zero - Frédéric DENISE Architectes / Permac BET réemploi de matériaux
- Année : en cours (livraison 2022)
- Surface : 2 500 m²
- Coût : 800 000 € HT (prévisionnel)
- Mode constructif : briques de terre crue, isolation liège recyclé / terre crue, enduits en terre crue locale



La Maison pour Tous – Four [38]



Groupe scolaire Miriam Makéba – Nanterre [92]



La Ferme des Possibles – Stains [93]
© Hannah Höfte



Le Hangar Zéro – Le Havre [76]
© Association LH-Ø

Bâtiment agricole – Saint Vigor le Grand (14)

- MOA : agriculteur (maraîchage biologique)
- MOE : Sophie Popot
- Année : 2016
- Coût : 200 000 € TTC
- Mode constructif : pisé, isolation des combles perdus en bottes de paille.



Bâtiment agricole - Saint Vigor le Grand (14)

Résidence Salvatierra – Rennes [35]

- MOA : COOP de construction
- MOE : Jean-Yves Barrier
- Année : 2003
- Coût : 3 131 000 € HT
- Mode constructif : structure en béton armé et façades en bauge

Rénovation énergétique d'une maison traditionnelle du Perche à niveau BBC

- MOA : Particulier
- Expertise écomatériaux : SCIC Eco-Pert
- en cours
- Isolation par l'intérieur des murs en terre-chanvre, finition enduit terre

Immeuble d'habitation privé Cité Nollez – Paris [75]

- MOA : NC client privé
- MOE : Déchelette Architecture; Bet : Carrière Didier Gazeau, Beterre, Cabinet MTC
- Année : 2022
- Mode constructif : façade formant enveloppe extérieure réalisée avec la technique du pisé préfabriqué. Les parties structurelles sont en béton armé.

Maison en bande (ZAC de la Maisoneuve) – Guérande [44]

- Mur refend entre logement en bauge, cloison en adobes
- Architecte : Atelier CAZ'eco



Résidence Salvatierra – Rennes [35]



Rénovation énergétique d'une maison traditionnelle du Perche à niveau BBC



CITÉ NOLLEZ – Paris [75]



Maison en bande (ZAC de la Maisoneuve) – Guérande [44]

Une explosion de la demande en construction

Un nombre croissant de maîtres d'ouvrages et de maîtres d'œuvre prennent conscience de l'absolue nécessité de changer les pratiques du bâtiment. Cela se traduit par un intérêt plus marqué pour l'utilisation de la terre crue, largement stimulé par les actions de promotion du matériau à l'échelle nationale (Fibra Awards...) et régionale. Cette demande se confronte à de nombreux freins réglementaires mais aussi de compétences et de capacité des acteurs de l'acte de bâtir. De facto, peu de projets en terre crue sortent effectivement de terre, en construction neuve.

Le marché principal : la réhabilitation du bâti existant

L'essentiel des commandes des entreprises concerne la réhabilitation du bâti existant par une maîtrise d'ouvrage de particuliers. Les projets en construction neuve sont plus rares, même si de plus en plus de projets sont en cours de conception en Ile-de-France.

Une pratique de niche mais intimement liée à la terre crue : le chantier participatif

Quasi-gratuité du matériau, besoin important de main d'œuvre, manque d'entreprises compétentes, saisonnalité de l'activité, dégradation du bâti et précarité de la maîtrise d'ouvrage, tous ces facteurs ont poussé au développement du chantier participatif. Animé par un professionnel, ce dernier requiert l'engagement de participants bénévoles et permet de réaliser des chantiers de qualité, y compris pour des publics précaires.

A ce titre, l'exemple de l'association Enerterre, soutenu par le Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin, est à mettre en avant.

Notre propos n'est pas de s'appuyer sur le chantier participatif pour massifier l'utilisation de la terre crue, mais d'intégrer le fait que cette pratique en développement offre des solutions pour construire ou rénover en terre crue, notamment pour des maîtrises d'ouvrage modestes mais qui souhaitent être actrices de leur habitat.

Des projets pionniers pour des bâtiments agricoles

En Normandie, plusieurs bâtiments agricoles ont été construits en bauge, pisé ou terre-chanvre. Il s'agit toujours de bâtiments ayant une fonction de conservation (de légumes, de cidre...) nécessitant une température et une hygrométrie constante. L'utilisation massive de la terre crue permet d'atteindre ces objectifs sans système de climatisation.

La maîtrise d'ouvrage publique à l'avant garde de la construction en terre crue

Les projets emblématiques en Normandie sont, à ce jour, sous maîtrise d'ouvrage publique : Pavillon des Energies (50), Extension de la Maison du PNR des Marais du Cotentin et du Bessin (50), Maison Commune d'Iville (27), cité administrative de Cherbourg (50)... Ces exemples, trop peu nombreux, montrent qu'une conception bien menée et accompagnée, associée à une maîtrise d'ouvrage engagée, permet de faire aboutir des projets ambitieux, avec des entreprises régionales pour la mise en œuvre. En Île et Vilaine et en Loire Atlantique, plusieurs projets de construction en terre crue (école, salle polyvalente), montrent également le chemin.

Ailleurs en France, quelques exemples inspirants

L'immeuble de bureaux Orangerie à Lyon Confluence, un ERP R+2 en pisé structurel, ou bien les 43 logements intégrant des murs en bauge (non structurelle) à Rennes, sont tous deux des exemples qui montrent que les bailleurs et promoteurs peuvent être des acteurs à mobiliser sur la construction en terre crue.

Un intérêt croissant des maîtres d'ouvrage face à une filière en cours de structuration

Les indicateurs, notamment d'activité des entreprises, montrent un intérêt croissant pour la construction terre crue. Cependant, il nous semble que les maillons de cette chaîne d'acteurs sont moins développés et surtout moins structurés que pour la construction paille. Un temps de réactivité sera probablement nécessaire dans une perspective de massification du recours à la terre crue.

Des acteurs compétents et innovants au sein d'une filière en cours de structuration

Atouts

- Une ressource très abondante et omniprésente
- Des techniques variées répondant à une vaste gamme de besoins
- Un faible impact environnemental et, selon les techniques, un faible recours aux ressources en tension (bois, sable)
- Des qualités techniques recherchées (régulation hygrométrique, inertie, acoustique, tenue au feu...)
- Une identité territoriale, paysagère et patrimoniale
- Des savoir-faire encore présents chez les professionnels
- Un intérêt croissant de la MOA et de la MOE

Verrous

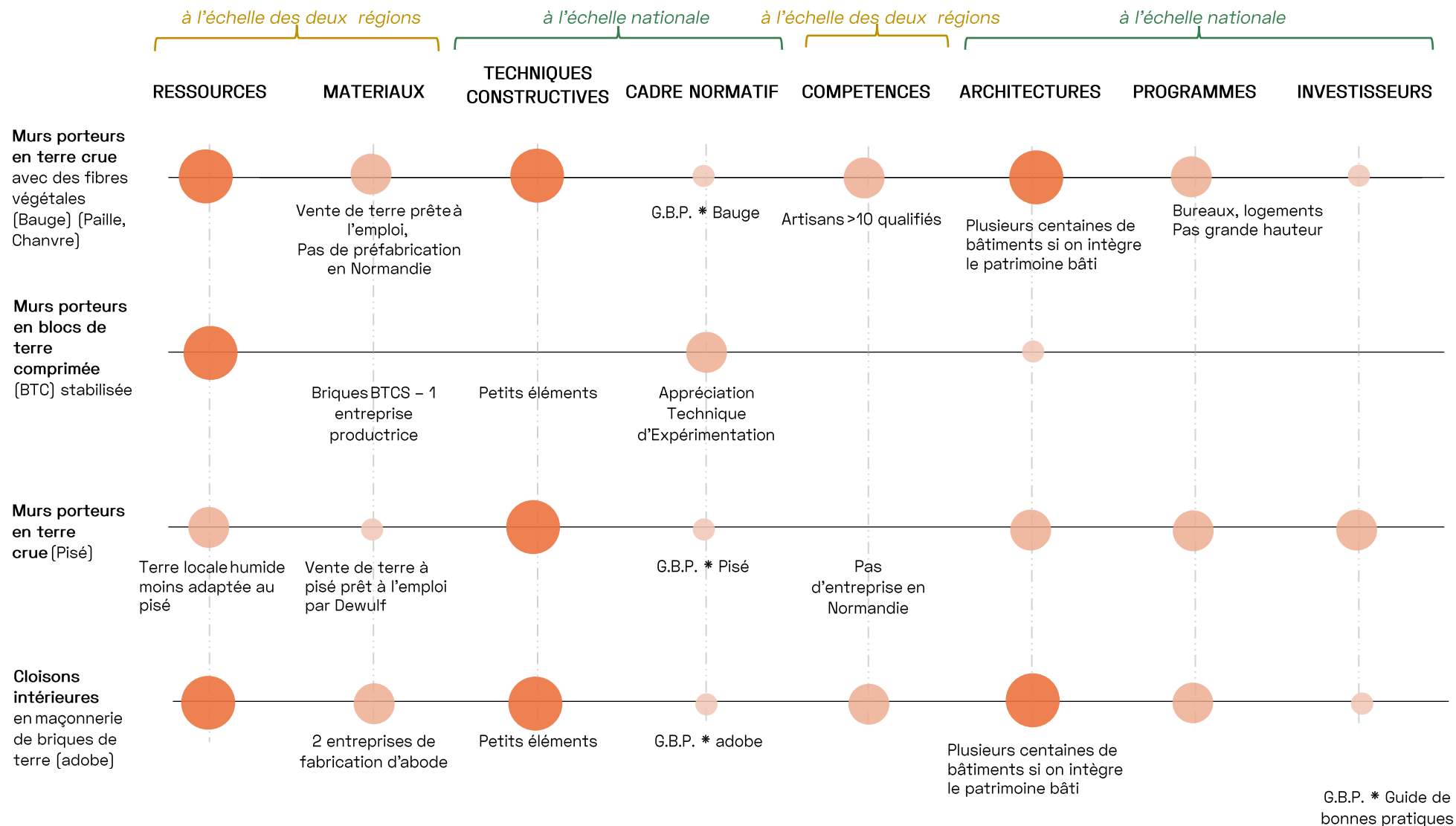
- Une filière peu structurée et disposant de peu de moyens
- Un accès au matériau insuffisamment structuré
- La variabilité de la ressource terre rend sa reconnaissance complexe dans le cadre normatif actuel (adaptation aux protocoles de justification). On observe ici un écart entre la nature de la ressource et le fonctionnement du cadre normatif.
- Une prescription peu formée (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, contrôleurs techniques, ingénieurs structures)
- Pas de formation professionnelle sur le territoire régional
- Des entreprises compétentes trop petites et peu nombreuses
- Des temps de séchage à intégrer dans l'organisation de chantier
- Des marges d'optimisation des techniques de mise en oeuvre

Leviers d'action opérationnels

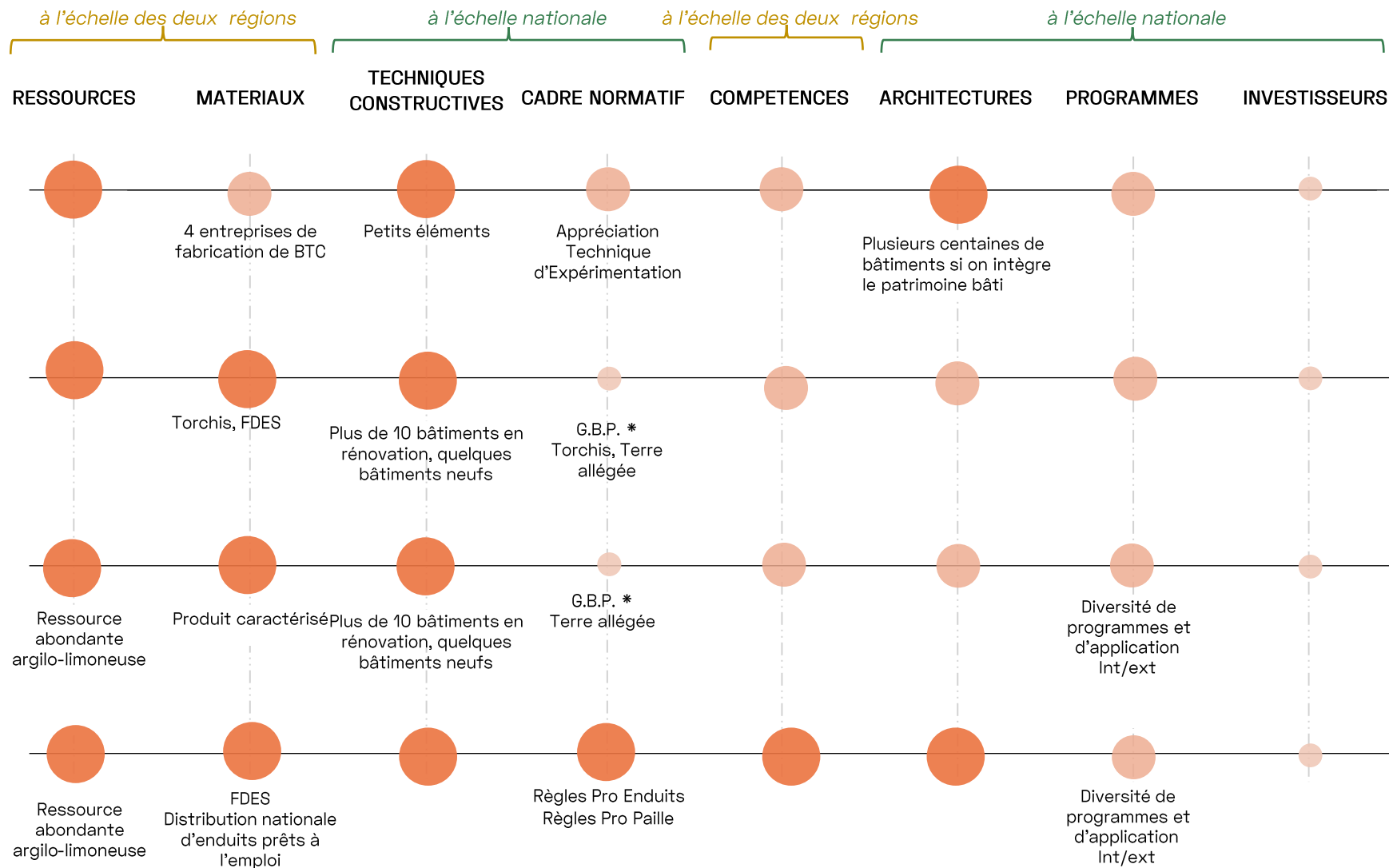
- Accompagner techniquement et financièrement la production de données techniques et normatives
- Mettre en place des formations professionnelles à la terre crue
- Accompagner techniquement et financièrement les projets innovants susceptibles de stimuler la filière interrégionale
- Aider les entreprises de transformation et de mise en œuvre à acquérir un matériel adapté

Pistes de développement à long terme

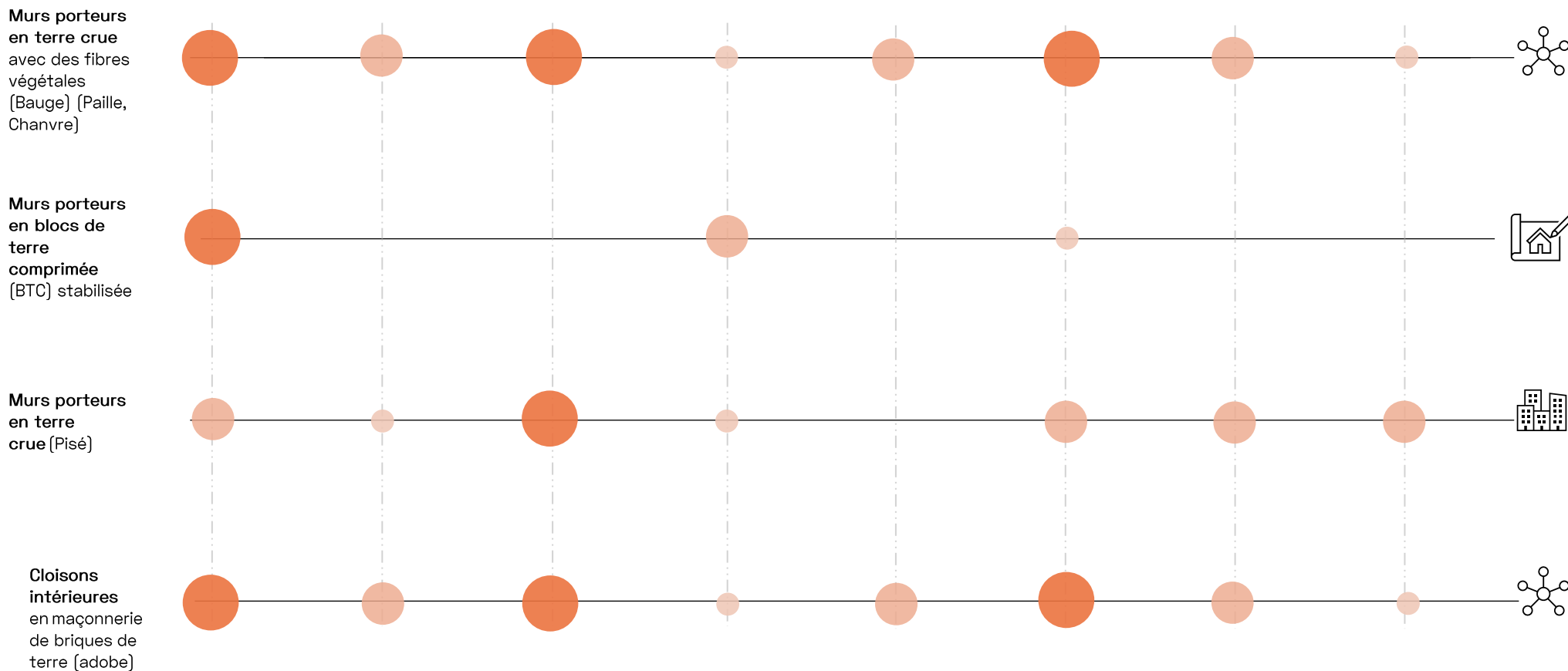
- Promouvoir et faciliter l'utilisation des techniques non industrialisées
- Structurer l'approvisionnement et la distribution de terre tamisée et séchée
- Développer l'offre de formation pour la mise en œuvre du matériau
- Accompagner la production de solutions intermédiaires, plus industrialisées







G.B.P. * Guide de bonnes pratiques



RESSOURCES MATERIAUX TECHNIQUES CONSTRUCTIVES CADRE NORMATIF COMPETENCES ARCHITECTURES PROGRAMMES INVESTISSEURS



	RESSOURCES	MATERIAUX	TECHNIQUES CONSTRUCTIVES	CADRE NORMATIF	COMPETENCES	ARCHITECTURES	PROGRAMMES	INVESTISSEURS	
Parements intérieurs/cloison en maçonnerie de briques de terre compressée	●	●	●	●	●	●	●	●	
Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales - Torchis	●	●	●	●	●	●	●	●	
Remplissage entre ossature bois à base de terre crue et de fibres végétales - Terre allégée	●	●	●	●	●	●	●	●	
Enduit mural int/ext de terre crue ou de chaux et fibres végétales	●	●	●	●	●	●	●	●	

Entretiens

Terre crue

- **Cycle Terre Sevrans** – Silvia Devescovi, Cheffe de projet (projet 2021) Zefco
- **Briqueterie Dewulf** – Marie Aeberli (05.05.22) ARPE Normandie
- **Association Enerterre** – Richard Bouillon (28.03.22) ARPE Normandie
- **Université Gustave Eiffel** – Chercheur Erwan Hamard (14.03.22) ARPE Normandie & UniLaSalle
- **PNR du Cotentin** – François Streiff (07.03.22) ARPE Normandie & UniLaSalle
- **ENSAN** – Chercheur doctorant sur la bauge Raphaël Rattier, ARPE Normandie
- **6 pieds sur terre** – Jan Minne, artisan (11.04.22) ARPE Normandie
- **21 EcoTERRA** – R&D (21.03.22) ARPE Normandie & UniLaSalle

Terre-chanvre

- **Arthur Hellouin de Menibus** - R&D (21.03.22) ARPE Normandie
- **EcoPertica** - producteur / mise en œuvre / AMO (21.03.22) ARPE Normandie

Webinaire filière TERRE : 19 mai 2022

- **Cassandra Guntz** (CEREMA)
- **Laurent Bouyer** - Enerterre
- **Julien KUNZLI** - Les 7 Vents du Cotentin
- **Guillaume CHARRIER** - maçon terre crue
- **Julien LUCAS** - Bâtir en terre
- **Margaux Raoul** - GOM architecture

Bibliographie

- Intervention de Patrick Grégoire, en charge de la filière « Construire en terre » de Saint-Gobain, à la conférence de Grand Paris Aménagement sur sa stratégie 2030 relative aux nouveaux matériaux et modes de construction
- Guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue, sous la direction de la Confédération de la Construction en Terre Crue, édition du 15 octobre 2020.
- Restitution des rencontres de professionnels des terres et fibres (torchis + terres allégées), ARPE Normandie, novembre 2020
- Guide des bonnes pratiques du chanvre fermier dans l'habitat, Les Chanvriers en circuits court, 2021