

**GUIDE À L'ATTENTION
DES PORTEURS DE PROJETS
POUR L'UTILISATION DE LA
TERRE CRUE DANS
LA CONSTRUCTION**

*Fabriquer la ville durable
avec Cycle Terre*

Sommaire

Le futur dans les bâtiments bas carbone.....3

La problématique des déblais et la solution Cycle Terre...4

Les avantages de la construction en terre crue.....6

Mener un projet en terre crue.....7

Le planning

Cycle terre dans vos projets

La certification

Exemples de projets en terre crue.....11

**Conservatoire européen des échantillons de sol à
Orléans (45)**

**Maison du Parc naturel régional du Gâtinais français à
Milly-la-Forêt (91)**

Groupe scolaire des Hauts du Moulin à Villepreux (78)

Maison des associations à Manom (57)

Pôle culturel de Cornebarrieu (31)

Le futur dans les bâtiments bas carbone



Le secteur de la construction en milieu urbain génère de forts impacts environnementaux, que ce soit par l'extraction de la matière, sa transformation en matériaux de construction, son transport et sa mise en œuvre.

Les villes sont actuellement dépendantes de ces matières, lointaines et au bilan carbone trop important. Comment construire et rénover dans ce contexte de raréfaction des ressources (fossiles, sable) en empruntant la voie de l'économie circulaire ? Comment gérer nos terres excavées, résultat de la construction de tunnels et des chantiers de terrassements sans les rejeter à la périphérie ?

En réponse à ces défis urbains, le projet Cycle Terre se positionne en alternative et propose une nouvelle Fabrique de la Ville. Projet d'économie circulaire ayant pour objectif de produire des matériaux de construction en terre crue à partir des terres excavées, le démonstrateur Cycle terre cherche à repenser la gestion des déblais et les manières de construire. Le projet entend développer un nouveau cycle de la terre excavée en construisant une chaîne de valeur avec trois fonctionnalités : récupérer, trier, valoriser.

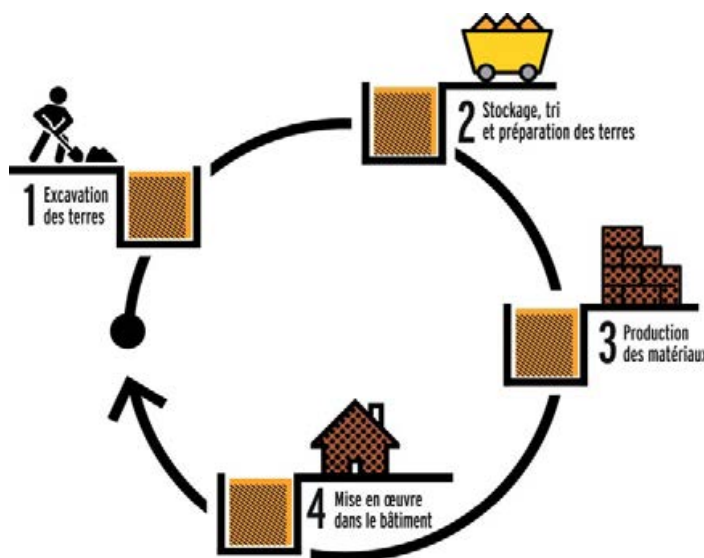
- **Le secteur de la construction à réformer**

Le secteur de la construction est le premier consommateur d'énergie au monde. En France, il représente 44% de l'énergie consommée, loin devant le secteur des transports (31.3%), de l'industrie (21%) et de l'agriculture (3%). D'après l'ADEME, chaque année, le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO₂, ce qui en fait l'un des domaines clé dans la lutte contre le réchauffement climatique et la transition énergétique.

Pour opérer cette transition, il est nécessaire de travailler sur la complémentarité des matériaux traditionnels et des matériaux bio et géo sourcés.

- **Un cadre réglementaire durcissant les exigences en termes de performance énergétique**

Pour rendre les bâtiments plus durables, respectueux de l'environnement et économes en énergie, des normes de plus en plus strictes en termes de construction et de consommation d'énergie, pour les bâtiments neufs, sont progressivement mises en œuvre. La réglementation actuelle, RT 2012, impose la construction de bâtiments bas carbone (consommation limitée à 50 kWh/m²) par une meilleure isolation thermique. Elle sera bientôt remplacée par la RE 2020, plus ambitieuse, prenant en compte l'approche carbone de l'énergie grise embarquée dans la matière et sa mise en œuvre.



A terme, la performance énergétique sera une injonction et l'adoption de matériaux à faible impact carbone, une nécessité. Il est donc primordial pour les acteurs du bâtiment de se saisir dès aujourd'hui des techniques et outils nécessaires à leur transition.

La construction en terre crue répond pleinement à ces enjeux, ainsi qu'à celui de la gestion des déblais, ci-après.

La problématique des déblais et la solution Cycle Terre



© Schnepf Renou

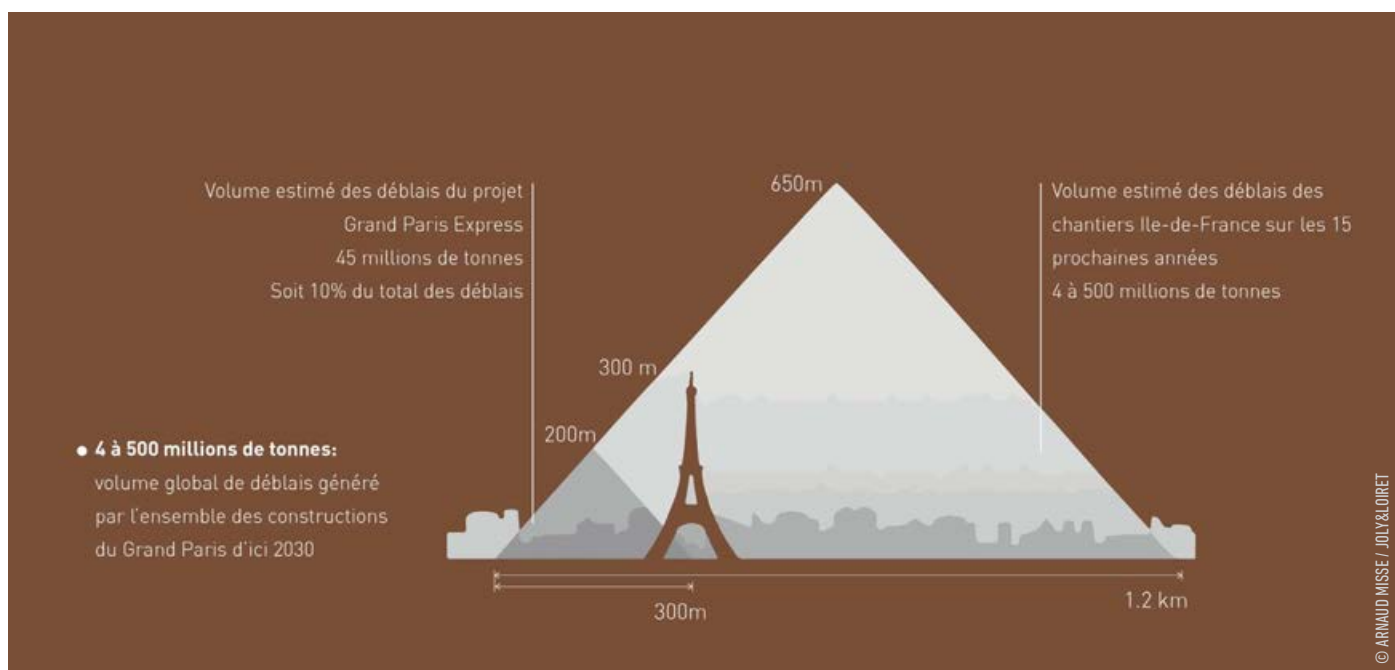
- **Des terres à évacuer pour éviter l'engorgement**

Un deuxième enjeu accompagne la croissance urbaine : la gestion des terres excavées. A lui seul, le Grand Paris Express devrait générer 45 millions de tonnes de terres excavées alors que le volume global de déblais généré par l'ensemble des constructions et aménagements du Grand Paris est évalué à environ 400 millions de tonnes d'ici 2030.

Cette matière extraite est aujourd'hui évacuée des centres urbains et son inévitable prise en charge se révèle problématique dans un contexte où le foncier disponible se raréfie. Aujourd'hui, les déchets de chantier sont principalement stockés dans des installations de stockage des déchets inertes (ISDI), avec un coût pour le maître d'ouvrage pouvant aller de 30 à 90 € la tonne. Par ailleurs, ces sites empiètent souvent sur des terres agricoles et leur saturation est proche.



© YPREMA-HUGO GASNIER





- **La solution Cycle Terre : fabriquer vos matériaux de construction**

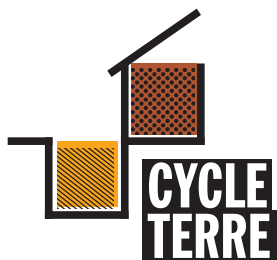
L'idée de Cycle Terre est de limiter les flux d'entrée comme de sortie de ce schéma habituel. Les déblais des chantiers du territoire constitueront la principale matière première de la Fabrique Cycle Terre. Trois lignes de production de matériaux en terre crue sont prévues : des blocs de terre comprimée non stabilisée (BTC) et stabilisée (BTCS), des panneaux d'argile extrudés ainsi que des enduits et mortiers (voir fiches produits). Cette variété permet à la fois le traitement d'un pourcentage plus important des terres extraites puisque chaque matériau nécessite des caractéristiques géotechniques différentes et une réponse à un large éventail de besoins en matériaux.

La Fabrique proposera des matériaux à intégrer à des procédés constructifs qui valorisent les qualités de la terre : il s'agit d'utiliser les matériaux terre là où ils sont les plus pertinents, en articulation avec d'autres matériaux (bois, fibres ...).

Lauréat de l'appel à projets européens Urban Innovative Action, en octobre 2017, Cycle Terre est un projet en plein développement. La Fabrique de matériaux en terre crue débutera son cycle de production fin 2020 à Sevrans, pour fournir les chantiers à partir de 2021.



La Fabrique de matériaux en terre crue Cycle Terre, rue Paul Langevin à Sevrans (93)



- **Les produits Cycle Terre disponibles à partir de janvier 2021**

La Fabrique sera implantée à Sevran rue Paul Langevin. Elle comprendra un laboratoire, 3 lignes de productions avec différentes machines (malaxeurs, extrudeuses, presses, etc.) et un espace de stockage pour les matériaux finis. La Fabrique Cycle Terre utilisera des terres naturelles et inertes soigneusement sélectionnées et analysées, provenant des terrassements et déblais de chantiers de proximité. La production démarrera fin 2020.

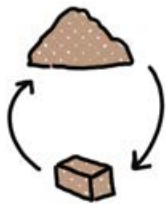
5 produits seront commercialisés à partir de janvier 2021 :

- **Les blocs de terre comprimée (BTC)** permettent la réalisation de tous types de parois verticales : murs, cloisons, doublages, parements.
- **Les blocs de terre comprimée stabilisée (BTC/S)** permettent les mêmes usages mais seront choisis pour des utilisations nécessitant une très grande résistance à l'eau.
- **Les panneaux d'argile extrudé (PAE)** permettent la réalisation de doublages de murs sous forme de plaques enduites fixées sur des montants d'ossature bois ou métal.
- **L'enduit MEC (mortier d'enduit de corps)** permet la réalisation du corps d'enduit ou la finition des supports en terre crue. Il peut également s'appliquer sur d'autres types de supports : paille, maçonnerie conventionnelle, béton, plaque de doublage, etc.
- **Le mortier de pose (MP)** convient pour la réalisation de maçonneries utilisant les blocs et briques de terre crue comprimée, moulée ou extrudée (BTC, BTM ou BTE).

Consultez les fiches produits de ces matériaux pour davantage d'information sur leurs caractéristiques techniques. La grille tarifaire est également disponible sur le site de Cycle Terre : www.cycle-terre.eu



Les avantages de la construction en terre crue



→ ECOLOGIQUE

La terre est **recyclable** à l'infini. Elle peut être réutilisée comme matière première ou retourner « à la terre » sans générer de pollution lors de la démolition des bâtiments, à partir du moment où le matériau n'est pas stabilisé au ciment ou à la chaux. Elle ne nécessite pas de cuisson et peut sécher naturellement, tout en gardant de bonnes propriétés techniques. La disponibilité et la proximité de la terre en font donc un matériau de construction à très faible impact carbone.



→ ECONOMIE D'ENERGIE

Utilisée dans la construction, la terre présente d'excellentes qualités **d'inertie thermique** : les murs en terre stockent ou déstockent l'énergie captée avec un déphasage journalier favorable. Ceci agit sur les températures intérieures et permet de lisser leurs variations en été comme en hiver.



→ CONFORT

La terre est un bon **régulateur hydrique** : elle réagit rapidement aux variations d'humidité de son environnement et permet, en absorbant ou en relâchant celle-ci sous forme de vapeur d'eau, de réguler le taux d'humidité de l'air ambiant. La terre permet une régulation hygrothermique bien plus performante que celle obtenue avec le béton. Lorsque que ce dernier absorbe environ 20 g d'eau par m², les enduits terre en absorbent environ 60 et les BTC jusqu'à 150.

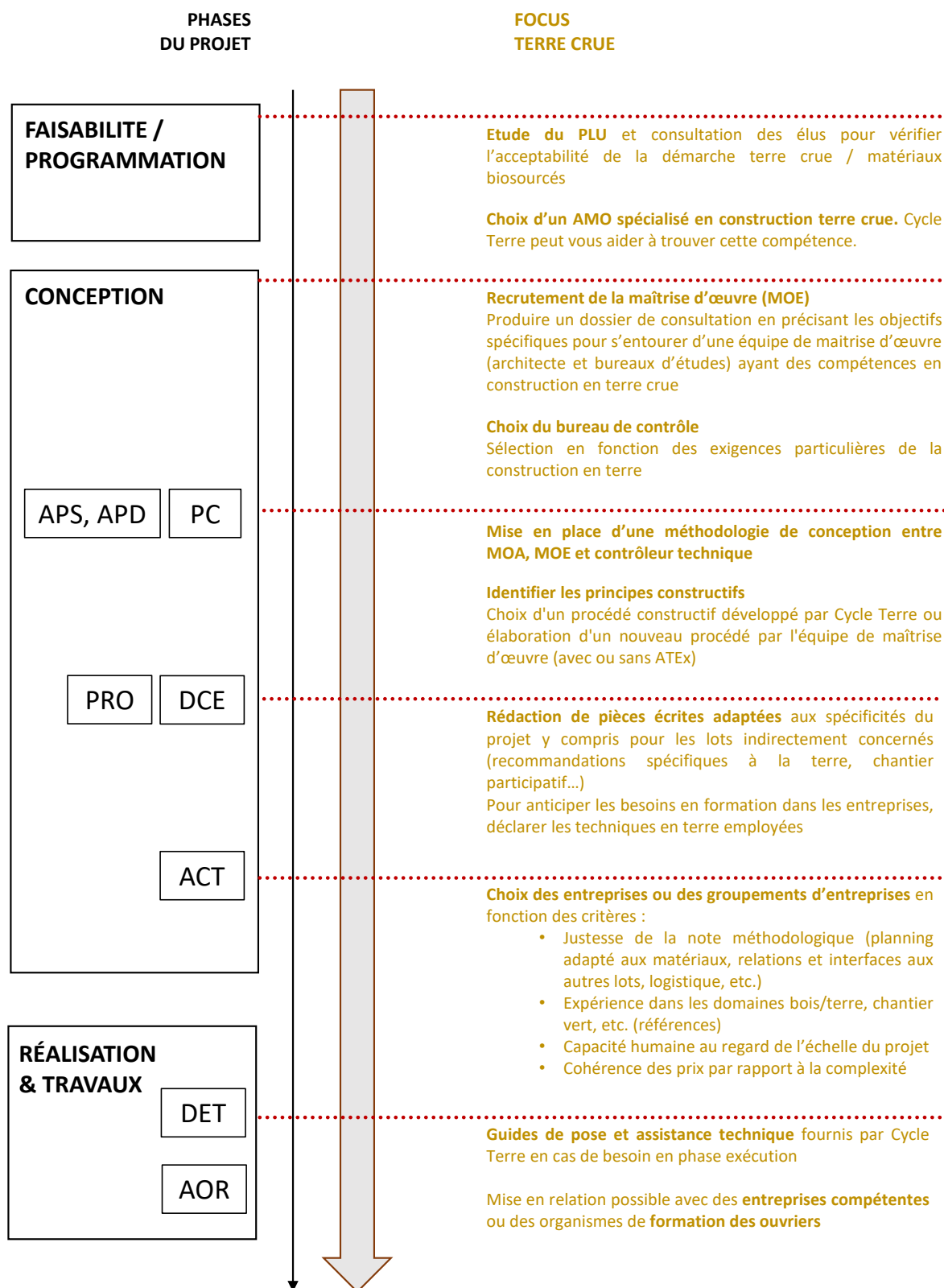


→ SANTE

La terre non stabilisée et inerte ne comporte aucun produit chimique ni polluant. La terre inerte garantit donc des constructions sans danger pour la santé des habitants et une bonne **qualité de l'air** intérieur, exempt de COV (composés organiques volatiles).

Mener un projet en terre crue

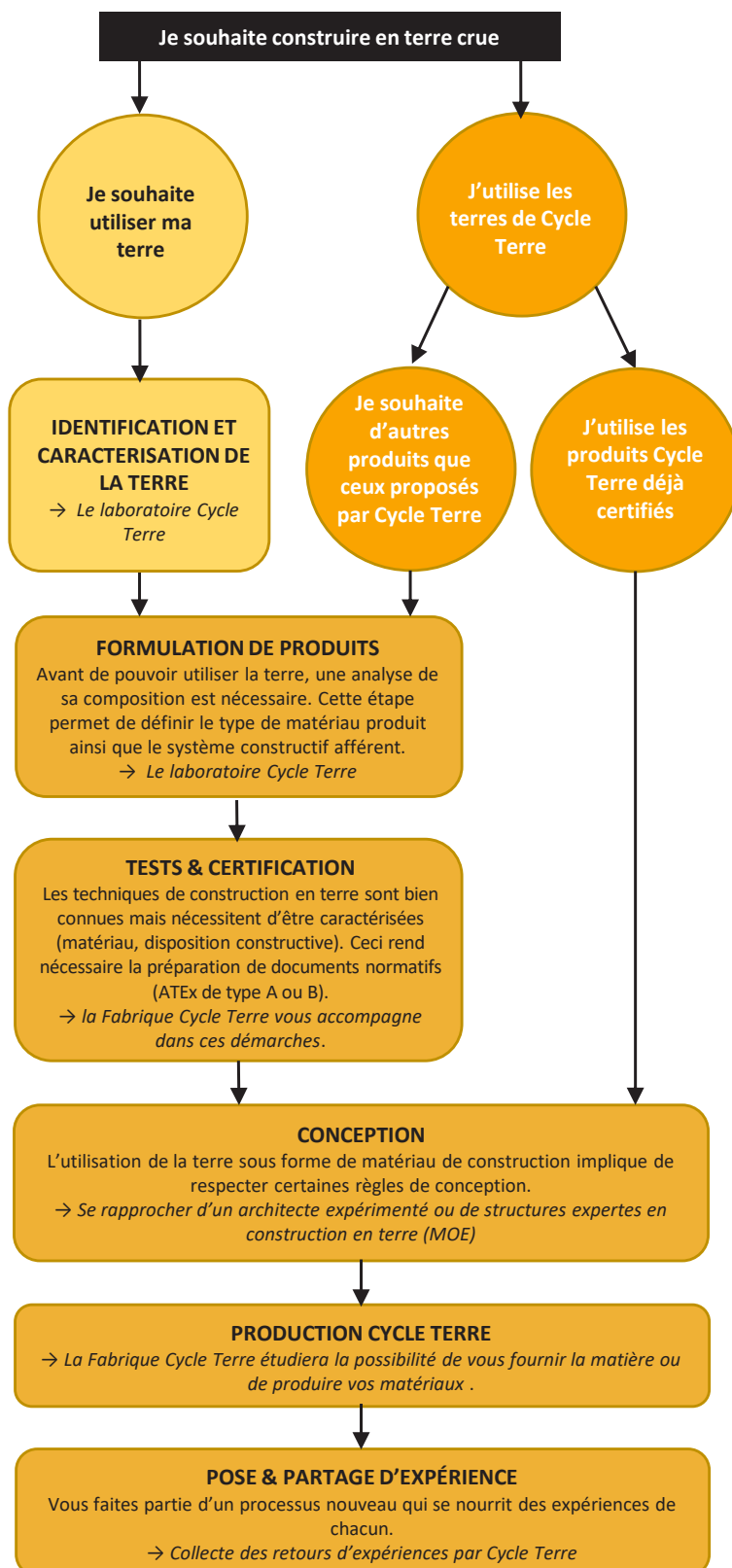
LE PLANNING



APS : Avant-projet sommaire
APD : Avant-projet définitif
PC : Permis de construire
PRO : Phase «projet»
DCE : Dossier de consultation des entreprises
ACT : Assistance pour la passation des contrats de travaux
DET : Direction de l'exécution des contrats de travaux
AOR : Assistance aux opérations de réception

Mener un projet en terre crue

CYCLE TERRE DANS VOS PROJETS



Mener un projet en terre crue

LA CERTIFICATION

- **La certification et la reconnaissance de la terre en tant que matériau de construction**

Malgré leur utilisation millénaire et largement répandue de par le monde, les techniques de construction en terre crue nécessitent d'être caractérisées (matériau, disposition constructive) afin de favoriser leur utilisation.

La première porte d'entrée vers la certification est l'Appréciation Technique Expérimentale (ATEX) délivrée par le CSTB. Celle-ci porte sur les performances d'un système constructif sur la base d'un référentiel établi. Le système doit être évalué sur trois aspects : faisabilité, sécurité et durabilité. La validation impose la réalisation de tests, d'essais et de calculs de dimensionnement.

L'ATEX de type A permet l'application d'une technique constructive sur différents chantiers pendant une durée limitée alors que l'ATEX de type B concerne l'application d'une technique sur un chantier précis à réaliser.

On constate une obtention croissante d'ATEX de type B sur des matériaux en terre crue (pisé porteur, BTC porteuse en intérieur, BTCS en extérieur...) montrant la volonté de remettre sur le devant de la scène ce matériau. Citons notamment une ATEX de type A obtenue en mai 2018 sur la production et l'utilisation de BTC pour l'île de Mayotte et une autre en décembre 2018 en Guyane.

Il n'est pas indispensable de disposer d'ATEX pour construire en terre crue, mais dans ce cas, il faudra anticiper le sujet pour que le bureau de contrôle puisse valider les procédés de construction retenus.

Par ailleurs, six guides de bonnes pratiques pour les techniques de la construction terre crue viennent d'être publiés par un groupe d'associations nationales et régionales de professionnels. Cette initiative est dirigée par la DHUP (Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages) du Ministère de la transition écologique et solidaire et elle concerne les techniques suivantes : le pisé, les enduits, le torchis, les terres allégées, la bauge et les briques en terre crue. Les guides permettent de faciliter l'acceptation de ces techniques par les bureaux de contrôle.

- **3 ATEX déposées par Cycle Terre**

Cycle Terre certifiera ses produits au moyen de 3 ATEX de type A.

- Une première concernera les cloisons intérieures en BTC (blocs de terre comprimée) maçonnés au mortier terre ;

- Une seconde sur les parements extérieurs en BTC ;

- Et la troisième ATEX portera sur les cloisons intérieures en panneaux extrudés fibres-terre.

Par ailleurs, la Fabrique assistera les maîtrises d'ouvrage dans de nouvelles démarches de certifications. Cycle Terre propose ainsi une mutualisation des demandes d'ATEX, et un travail de concentration des forces vives du domaine afin de permettre une reconnaissance progressive de la filière.

- **La formation**

La Fabrique Cycle Terre sera aussi à terme un lieu de formation pour les maîtrises d'œuvre et d'ouvrage, ainsi que les ouvriers du bâtiment, pour fournir une main d'œuvre qualifiée aux futurs chantiers franciliens en terre crue.

La formation en ligne « Construire en terre crue aujourd'hui » est disponible dès à présent sur la plateforme MOOC bâtiment durable <https://www.mooc-batiment-durable.fr/>

Gratuit et 100% en ligne, ce MOOC permet de mieux connaître le matériau terre crue, ses principes de fabrication et d'application, mais aussi la filière et ses acteurs.

Exemples de projets en terre crue

CONSERVATOIRE EUROPÉEN DES ÉCHANTILLONS DE SOL À ORLÉANS (45)



Programme	Un espace d'accueil, des espaces de travail, une salle de conférence, un laboratoire et un espace de stockage
Livraison	2015
Maîtrise d'ouvrage	INRA d'Orléans
Maître d'œuvre	Design & Architecture, mandataires et NAMA (LE TIEC + MISSE Architectes), associés
Partenaires terre	CRAterre (analyse des terres et formulation)
Autres partenaires	Batiserf – BE structure, Nicolas Ingénierie – BE Fluide et HQE, Bureau Michel Forgue – BE Economiste, BETIP – BE VRD, Ecologos – BE Acoustique
Phase d'arrivée de la terre crue dans le projet	Terre crue évoquée dans le programme du concours par la maîtrise d'ouvrage (3 réponses sur 4 employaient de la terre)
Types de produits en terre crue utilisés	Murs en pisé porteur de 40 à 60 cm d'épaisseur
Fonctions de la terre crue	Structurelle et ornementale
Atex	Non
Provenance de la terre	70 % de terres du site et 30% de terres de carrière
Terre stabilisée ou non	Non (mais utilisation de la chaux pour sécher la terre de certains murs qui étaient trop humide pour la mettre en œuvre (2%))
Nombre de jours de chantier terre	60 jours
Superficie des éléments réalisés terre & Superficie totale du projet	260 m ² (shon 1 400 m ²)
Coût du lot terre crue	150 000 € (Coût total : 3 310 000 € ht)
Autres paramètres	Lauréat au OFF du développement durable 2017, Finaliste aux Terra Awards 2015, Prix national de l'architecture en terre crue 2013, catégorie chantier



Exemples de projets en terre crue

MAISON DU PARC NATUREL RÉGIONAL DU GÂTINAIS FRANÇAIS À MILLY-LA-FORÊT (91)



Programme	Maison du parc naturel régional du Gâtinais
Livraison	2012
Maîtrise d'ouvrage	Département de l'Essonne
Maître d'œuvre	Joly&Loiret
Partenaires terre	Akterre, Claytec, Destas Gros Oeuvre
Autres partenaires	CFERM (fluides, HQE), EVP (structure), VPEAS (économie)

Phase d'arrivée de la terre crue dans le projet	Concours
Types de produits en terre crue utilisé	Briques d'adobes, mortiers de terre et enduits terre
Fonctions de la terre crue	Aménagements intérieurs. Confort intérieur, inertie thermique (le bâtiment est passif en structure bois), régulation hygrométrique, coloration naturelle et chaude de la lumière, aspect
Atex	Non, notes de calculs
Provenance de la terre	Briques en provenance d'Allemagne
Terre stabilisé ou non	Non
Nombre de jours de chantier terre	1 mois
Superficie des éléments réalisés terre & Superficie totale du projet	200 m ² de mur, 40cm d'épaisseur. Le projet fait 800 m ² SDP au total.
Coût du lot terre crue	80 000 €HT avec finition enduit 2 faces
Autres paramètres	Formation de l'entreprise de gros œuvre pendant le chantier : 2 jours

Exemples de projets en terre crue

GROUPE SCOLAIRE DES HAUTS DU MOULIN À VILLEPREUX (78)



Programme	Ecole maternelle et élémentaire, divers locaux mutualisés et un restaurant scolaire.
Livraison	2020
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Villepreux
Maître d'œuvre	Joly&Loiret
Partenaires terre	amàco, ECT, Dewulf, Di Terra, Société du Grand Paris
Autres partenaires	EVP (structure), BMF (économie), BET Choulet (fluides, HQE), ARWYTEC (cuisiniste), LASA (acoustique)
Phase d'arrivée de la terre crue dans le projet	Concours
Types de produits en terre crue utilisés	Briques extrudées, torchis, enduits terre
Fonctions de la terre crue	Aménagements intérieurs. Confort intérieur, inertie thermique, régulation hygrométrique, coloration naturelle et chaude de la lumière, aspect
Atex	Non, décennale de l'entreprise poseuse. Notes de calculs acoustiques.
Provenance de la terre	La brique vient de déblais de chantiers parisiens. Elle est chargée en fibres franciliennes. Les recherches ont été développées par amàco (formulations) en lien avec la briqueterie d'Allonne (mélanges, extrusion, séchage) et Joly&Loiret (détails de mise en œuvre, finitions).
Terre stabilisé ou non	Non
Nombre de jours de chantier terre	2 mois
Superficie des éléments réalisés terre & Superficie totale	500m ² de mur, de 10 à 50cm d'épaisseur selon les cas. Surface totale du projet : 3500 m ² SDP.
Coût du lot terre crue	140 000 €HT avec finition 2 faces
Autres paramètres	Les briques, non porteuses, ont été posées en refends entre classes pour éviter les contraintes feu



Exemples de projets en terre crue

MAISON DES ASSOCIATIONS À MANOM (57)



Programme	Salle des fêtes polyvalente, école de musique, espace théâtre, un laboratoire photo, une salle multi-activité et un espace de jeux extérieur
Livraison	2015
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Manom
Maître d'œuvre	Mil lieux
Partenaires terre	Caracol/BETerre (en phase exécution)
Autres partenaires	BET Fluides : LOUVET, BET Structure : OMNITECH, BET Acoustique : VENATECH
Phase d'arrivée de la terre crue dans le projet	Concours
Types de produits en terre crue utilisés	Terre coulée stabilisée au ciment
Fonctions de la terre crue	Structurale et ornementale
Atex	Atex de type B
Provenance de la terre	Granulat locaux et argile des carrières du Boulonnais
Terre stabilisée ou non	Oui, 5% ciment
Nombre de jours de chantier terre	10 jours sur place
Superficie des éléments réalisés terre & Superficie totale du projet	150 m ² (1 080m ²)
Coût du lot terre crue	75 000 € (comprenant 22 000€ de procédure d'ATEX) (Coût total : 1 800 000€)
Autres paramètres	HQE – Labellisé Passivhaus, Prix LQE/ARCAD/ENERGIVIE.PRO 2016 : sélectionnée parmi les 5 finalistes dans la catégorie "Équipements publics"



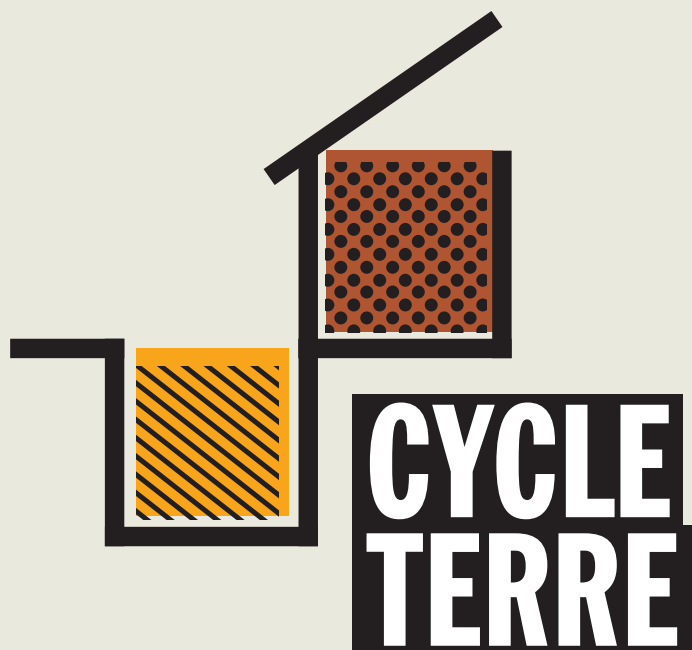
Exemples de projets en terre crue

PÔLE CULTUREL DE CORNEBARRIEU (31)



Programme	Equipement Culturel composé de deux programmes : Médiathèque et Salle de concert multifonction
Livraison	2017
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Cornebarrieu
Maître d'œuvre	Atelier Philippe Madec
Partenaires terre	DEMATHIEU&BARD + Les Briqueteurs Réunis, Gros Œuvre et Briques / Fournisseur Terre Crue, Briques Technic Concept (M. Etienne Gay)
Autres partenaires	Coloco, Paysagiste / C&E Ingenierie, Be Structure / Inex, Be Fluides, Hqe Et Coordination Ssi / Scene Evolution, Be Scenographie / Aab, Be Acoustique
Phase d'arrivée de la terre crue dans le projet	
Types de produits en terre crue utilisés	Briques de terre crue comprimée structurelles (36,5x17,5x10 cm) et en parement (30x10x10 cm)
Fonctions de la terre crue	Structurelle et ornementale
Atex	Atex de type B pour les BTC structurelles
Provenance de la terre	
Terre stabilisé ou non	Oui, les briques sont stabilisés avec 20% de chaux et le mortier terre à 10% de chaux
Nombre de jours de chantier terre	
Superficie des éléments réalisés terre & Superficie totale du projet	940 m ² (2 710 m ²)
Coût du lot terre crue	(Coût total : 7 293 000 € (VRD compris))
Autres paramètres	Bâtiment passif, VNAC (Ventilation Naturelle Assistée et Contrôlée)





contact : www.cycleterre.eu

Le projet Cycle Terre est co-financé par le Fond Européen de Développement Régional à travers l'Initiative Actions Innovatrices Urbaines.
Janvier 2020