

# TERRRES DE PARIS





**Exposition  
du 13 octobre 2016 au 8 janvier 2017**

# TERRRES DE PARIS

De la  
matière  
au matériau

Au commencement il faut creuser. Construire nécessite l'extraction de matière pour garantir des fondations sûres et une exécution sans failles. Cette étape préalable d'affouillement, rarement explorée, jamais exposée, produit pourtant annuellement plusieurs millions de tonnes de matière à usage souvent indéterminé. Chaque année, plus d'une vingtaine de millions de tonnes sont extraites en Île-de-France, auxquelles s'ajouteront jusqu'en 2030 une quarantaine de millions de tonnes excavées pour permettre l'aménagement du futur réseau de trains métropolitains.

Particulièrement encombrants à stocker, importuns et polluants à déplacer, complexes à traiter et parfois toxiques, les déblais souterrains interpellent. Le trop-plein préoccupe alors que la surface de stockage francilienne disponible tend à diminuer. Le transport inquiète d'autant que le surplus des déblais du Grand Paris Express à déplacer jusqu'à son achèvement, équivalant à 7 000 piscines olympiques de terres à traiter, nécessiterait 1,5 million de semi-remorques, soit 75 camions évacuant en moyenne 2 000 tonnes par jour pendant quinze ans<sup>1</sup>.

Néanmoins, si l'on rapproche ces contraintes des enjeux de la construction, des hypothèses réjouissantes apparaissent. Cette ambition s'accompagne d'une connaissance accrue de la composition des sous-sols franciliens, grâce notamment aux plus de 4 400 forages déjà réalisés pour le percement des infrastructures. De plus, l'évolution constante du savoir et des techniques des constructeurs de terre crue doit permettre d'envisager dès maintenant un autre avenir aux tas telluriques et autres merlons franciliens. De l'extraction aux tests de transformation, les architectes Paul-Emmanuel Loiret et Serge Joly, accompagnés d'amàco, projet d'excellence sur les sciences de la matière pour la construction durable, et du CRATERRE, référence mondiale dans le domaine de l'architecture de terre, ont mené l'expérience. Leurs travaux proposent un autre cycle : non plus de la terre aux déblais, mais de la ressource au matériau.

Au regard de cette démarche scientifique, une seconde expérimentation, plus empirique, a été engagée avec la briqueterie d'Allonne,

située à moins de 70 km de Paris. Elle a consisté à produire, pour la première fois, des briques extrudées en terre crue avec des agrégats argileux franciliens inexploitable. De la matière au matériau, près de 8 000 éléments ont été fabriqués à partir de 15 m<sup>3</sup> de terres argileuses. En quelques semaines seulement, grâce au soutien des acteurs de la filière de stockage et de retraitement tel ECT (plateforme de gestion et stockage de matériaux inertes) ou les centres de recyclage Eurovia-SPL et Yprema, plusieurs terres ont été prélevées au fil des opportunités sur des terrassements, des chantiers, puis testées. Tant la rapidité de réalisation de l'expérience que la qualité du résultat témoignent de la formidable diversité et du potentiel des sous-sols franciliens en matière de construction.

À l'air libre, la réglementation fait de la terre un déchet, *alma mater* s'agrégeant aux autres rebuts du BTP. Sur le fondement des études menées par la Société du Grand Paris, les volumes excavés devraient être constitués à 10% de terres polluées, à 45% de terres gypsifères et à 45% de terres inertes. La façon dont ces terres seront traitées représente un enjeu financier et écologique considérable, qu'il convient d'analyser au regard des engagements de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Celle-ci impose en effet, à l'horizon 2020, un objectif de 70% de valorisation et de recyclage des déchets du bâtiment.

Des expériences de construction en terre crue sans ajout de stabilisant (qui figerait la matière), démontrent, partout dans le monde, le potentiel du matériau pour bâtir tous types de programmes. Musées, bureaux, écoles, logements, usines : chaque expérimentation développe un peu plus la connaissance et les filières d'acteurs concernés. L'expansion souterraine de la métropole offre une opportunité rare d'exploitation d'un nouveau matériau. L'exposition-exploration «Terres de Paris» propose ainsi de considérer la première terre comme la première pierre de la fabrication de la ville.

1 – Extrait du compte rendu de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire, Assemblée nationale, 24/03/2015.

La presse généraliste et spécialisée s'est récemment fait l'écho de la problématique du stockage des millions de tonnes de «rebutés de sol» issus chaque année des chantiers de la métropole parisienne, auxquels s'ajoutent, depuis mai 2016, les terres à extraire liées au creusement des 200 km du Grand Paris Express.

Les enjeux et les atouts induits par ce constat permettent de penser que ce gigantesque chantier, ouvert à minima pour les vingt prochaines années, peut – et doit – offrir l'opportunité d'inventer le «levier d'un rééquilibrage» susceptible d'assurer un recyclage optimal qui valorisera ces prétendus «rebutés» extraits du sol et jusqu'à présent mis en décharge.

Paradoxalement, la terre crue est depuis plus de 10 000 ans un éco-matériau universel de construction. Un tiers de l'humanité vit aujourd'hui dans des édifices en terre, et la France regorge de patrimoines architecturaux bâtis en terre depuis des siècles et toujours habités. La France est par ailleurs reconnue internationalement comme étant, depuis trois décennies déjà, un pays moteur concernant les connaissances et les savoir-faire en matière de construction en terre crue. Recherche, enseignement et savoirs constructifs et interdisciplinaires y sont en développement continu. Depuis une dizaine d'années, la connaissance de la matière en grains et des argiles a ainsi permis des avancées scientifiques considérables, ainsi que la maîtrise de nouvelles techniques de fabrication et de mise en œuvre. Les récentes innovations relatives à la terre allégée, aux panneaux composites de terre, aux enduits intérieurs et extérieurs, au béton d'argile coulé non stabilisé, à la technique du pisé préfabriqué ou à la terre imprimée en 3D en constituent les plus évidents jalons et les garants d'un avenir prometteur.

Comme le bois, la pierre ou les fibres végétales, la terre a aussi de formidables vertus écologiques et sociales. Elle affiche un très faible bilan en carbone<sup>1</sup> (environ quatre fois inférieur à celui du béton armé); elle est totalement biodégradable si elle n'est pas stabilisée; elle est saine à 100% et sans COV<sup>2</sup>; elle est perspirante, régule l'humidité, la température intérieure et possède une forte inertie. La terre est surtout valorisante pour les

constructeurs et offre de surprenantes qualités haptiques liées à sa matérialité.

Cet «alignement de planètes» inédit autorise à présenter, dans cette publication et l'exposition qu'elle accompagne, une expérimentation de matériaux de construction pour l'architecture à partir du réemploi d'une ressource locale et manifestement sous-employée – les «terres de Paris» et de sa région –, avec l'ambition d'en faire une nouvelle matière urbaine, à la fois innovante et durable.

Cette expérimentation est un point d'étape d'une recherche en cours que nous souhaitons poursuivre en association avec les partenaires de la filière qui souhaiteront nous rejoindre. L'approche est non exhaustive. Elle a vocation à enrichir le débat de l'utilisation, en architecture, de cette matière méconnue, à tort déconsidérée car perçue comme un déchet. Une matière vertueuse et qui permet de construire, certes, mais qui offre surtout la possibilité d'incarner un rapport au monde réellement soutenable.

**1** – 100 à 200 kWh par tonne.

Source : Thomas Jusselme, «Table ronde : Les freins et les leviers de la filière terre dans le bâtiment», amàco, 2016.

**2** – Ces Composés organiques volatils constituent la principale source de pollution à l'intérieur des édifices. Pour mémoire, on considère aujourd'hui que l'intérieur d'un logement parisien est davantage pollué que les rues alentour, en raison des COV émis par les différents matériaux mis en œuvre (verniss, peintures, plastiques, etc.).



Chantier de terrassement pour une opération de 130 logements privés en accession





Lot 08, Zac Clichy-Batignolles





Centre de recyclage SPL-Eurovia de Gennevilliers





Centre de recyclage SPL-Eurovia de Gennevilliers



En extrapolant les données actuelles, à l'horizon 2030, les volumes cumulés de terres inertes extraites en Île-de-France seraient de l'ordre de 400 millions de tonnes<sup>1</sup>, un tas gigantesque qui atteindrait presque deux fois la hauteur de la tour Eiffel. L'impact économique estimé à plusieurs milliards d'euros, est aussi préoccupant que l'impact écologique, la filière entassant près de 70% des excavations.

Les terrassements préalables aux fondations des édifices, des infrastructures, des routes et des réseaux de transports ont généré en 2010, 18 millions de tonnes de déblais de terres inertes en Île-de-France, hors terres polluées et déchets non inertes évacués par d'autres réseaux. Seuls 20 à 30% de ces déblais ont été retraités pour être recyclés, généralement en produits de sous-couche routière ou de remblaiement divers<sup>2</sup>.

Selon l'article L541-1-1 du Code de l'environnement, les terres excavées prennent le statut de déchet si le détenteur s'en défait ou a l'intention de s'en débarrasser. Considérées aujourd'hui comme impropres à l'usage selon les conclusions du Predec (Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics), elles sont en grande majorité envoyées directement en Isdi (Installations de stockage de déchets inertes). Ces terres sont ainsi stockées soit dans des carrières de comblement (anciennes carrières de granulats par exemple), soit hors sol, sur d'anciens terrains agricoles. La durée de vie des Isdi est variable, selon le volume à y stocker, les cadences possibles d'apports de matériaux, la possibilité ou non d'extension, la conjoncture économique... Certains sites existent depuis plus de dix ans, tandis que d'autres ne seront exploitables que durant deux à cinq ans. Aujourd'hui, la capacité de stockage régionale annuelle décroît et devrait passer sous la barre des 5 millions de tonnes en 2025<sup>3</sup> car d'une part il est de plus en plus difficile de trouver du foncier pour accueillir de telles installations, et d'autre part, celles-ci doivent faire face à l'hostilité des riverains.

La linéarité du cycle de la matière est inhérente à une méconnaissance des caractéristiques physiques des terres excavées, particulièrement variables en Île-de-France. Dans une même région, en fonction de la géographie des chantiers, de la géologie du sol, mais aussi de la profondeur de forage et donc des différentes strates atteintes, la nature des excavations diffère. L'état des lieux inédit des sous-sols franciliens réalisé par la Société du Grand Paris, grâce à l'ensemble des sondages de territoire effectués pour le chantier du Grand Paris Express, révèle désormais la richesse méconnue de notre sous-sol. Il permet aussi de prévoir en amont le potentiel de ces terres et le calendrier de l'excavation et donc de leurs disponibilités. Celles-ci contiennent notamment une grande quantité d'argiles et de silts (limons), peu valorisés selon les process actuels, mais nécessaires à constituer des matériaux en terre crue par assemblage avec les sables, les graviers et les cailloux.

En 2010, la valorisation matière des terres excavées (hors remblayage de carrières) lors de travaux de terrassement ou souterrains représentait 800 000 tonnes. L'objectif de valorisation atteint les 2 000 000 tonnes en 2020, et 5 000 000 tonnes en 2026<sup>4</sup>. L'enjeu de la construction en terre crue constitue une occasion rare de passer du rebut à la ressource.

**1** – Selon l'extrapolation des chiffres du Predec (Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics) : «25 MT/an à l'horizon 2019, 35 MT/an à l'horizon 2026, voire 2030».

**2** – Source Predec, état des lieux 2010.

**3** – Idem.

**4** – Ibid.



Plateforme de recyclage Yprema de Lagny-sur-Marne





Plateforme ECT de gestion et stockage de matériaux inertes de Villeneuve-sous-Dammartin





Plateforme ECT de gestion et stockage de matériaux inertes de Villeneuve-sous-Dammartin





Installation Cosson de stockage de déchets inertes de Thiverval-Grignon



La France est reconnue internationalement comme étant, depuis trois décennies déjà, le pays leader dans les diverses filières essentielles assurant l'avancement des savoirs et des savoir-faire en matière de construction en terre crue.

Dès les années 1970, le groupe Palafitte, composé d'architectes militants de l'École d'architecture de Grenoble, prend la matière première «terre crue» comme objet principal de ses préoccupations. En 1975, ces architectes publient un premier ouvrage sur la construction en terre, diffusé par l'Institut de l'environnement à Paris. Cette publication va leur permettre de développer la recherche scientifique et technique sur la terre, en liaison étroite avec l'Institut de recherches interdisciplinaires de géologie et mécanique des sols (Irigm) à l'université de Grenoble. Déterminé par ses convictions écologiques, le groupe surmonte les obstacles techniques, culturels, politiques et sociaux pour fonder, en 1979, le laboratoire de recherche CRATERre au sein même de l'École d'architecture de Grenoble. Il publie *Construire en terre*<sup>1</sup>, puis, en 1989, *le Traité de construction en terre*<sup>2</sup>, traduit en de nombreuses langues et diffusé sur tous les continents. Dans le même temps, le CRATERre crée, pour les architectes et ingénieurs, un enseignement spécialisé postmaster unique en ce domaine, le diplôme de spécialisation et d'approfondissement en architecture de terre de l'Ensag, qui bénéficie de la triple caution culturelle, scientifique et pédagogique de l'Unesco. Cette avancée va de pair avec de multiples progrès décisifs dans la recherche technique et architecturale, et s'accompagne d'un essor de leurs applications pratiques.

Au début des années 2000, une coopération scientifique avec l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris (Espci) et l'Institut national des sciences appliquées de Lyon (Insa) permet de mieux comprendre le comportement et le rôle des argiles et de l'eau dans la matière et le matériau. Cette confrontation d'idées entre architectes et ingénieurs aboutit en 2009 à la publication d'un ouvrage liant arts, architecture et sciences : *Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture*<sup>3</sup>. En 2012, l'atelier matières à construire dit amàco, projet innovant questionnant la

relation entre la matière et l'architecture, voit le jour au sein des Grands Ateliers de la ville nouvelle de L'Isle-d'Abeau. Un demi-siècle de réflexion, de recherche et de pratique qui permet aujourd'hui de comprendre la matière terre, de l'échelle microscopique à la construction en terre crue.

**1** – Patrice Doat, Alain Hays, Hugo Houben, Silvia Matuk, François Vitoux, *Construire en terre*, Collection AnArchitecture, 1979.

**2** – Hugo Houben, Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, Éditions Parenthèses, 1989.

**3** – Romain Anger, Laetitia Fontaine, *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Belin, Cité des sciences et de l'industrie, 2009.

Comment vérifier la faisabilité de la transformation des terres et granulats extraits des chantiers franciliens en matériaux de construction? Comment ces déchets peuvent-ils devenir des ressources pour construire la ville de demain? Cette séquence présente la démarche scientifique et technique suivie par les experts de la construction en terre crue de CRAterre et d'amàco pour analyser ces matières premières, les comprendre et, enfin, les transformer en une gamme de matériaux écologiques recyclables à l'infini. L'histoire racontée ici relate les différentes étapes de cette démarche. Elle débute avec la collecte d'une douzaine de terres et autres matières minérales extraites du sous-sol parisien, se prolonge par une série de tests de laboratoire permettant de connaître la composition et les propriétés de ces matières, et s'achève avec l'élaboration de ces matériaux qu'il est possible de fabriquer et dont certains requièrent un mélange des matières premières initiales. Cette « cuisine » du bâtisseur consiste à établir les proportions des différents ingrédients et la façon de les mélanger en fonction du résultat visé : mur, enduit, brique, etc. Les recettes ainsi élaborées sont appelées « formulations ». Mis en œuvre selon diverses techniques, ces matériaux pourront avoir différentes fonctions dans l'architecture.

En plus de trente ans de recherche, la connaissance sur ce matériau a considérablement évolué. Grâce à l'adaptation d'essais issus des travaux publics et des analyses de sol, il est aujourd'hui possible de caractériser cette matière, de comprendre sa composition et si nécessaire de la recomposer à la manière d'un béton.

Les grandes étapes du prélèvement, de l'analyse et des expérimentations sont conduites par l'agence d'architecture Joly&Loiret à Paris, puis aux Grands Ateliers de Villefontaine en collaboration avec amàco (atelier matières à construire) et le laboratoire CRAterre de l'École nationale supérieure d'architecture de Grenoble.





(1) L'ensemble des terres ont été prélevées et sélectionnées sur des chantiers franciliens entre mai et juin 2016, dont certaines à Saint-Ouen, sur le chantier du prolongement de la ligne 14 de la Ratp.



(3) D'autres prélèvements ont été effectués sur des sites de retraitement comme le centre de recyclage Yprema de Lagny-sur-Marne.



(2) Des échantillons de terre ont également été prélevés sur des chantiers immobiliers, dont des mélanges graveleux de terres d'un chantier de terrassement à Quincy-sous-Sénart.



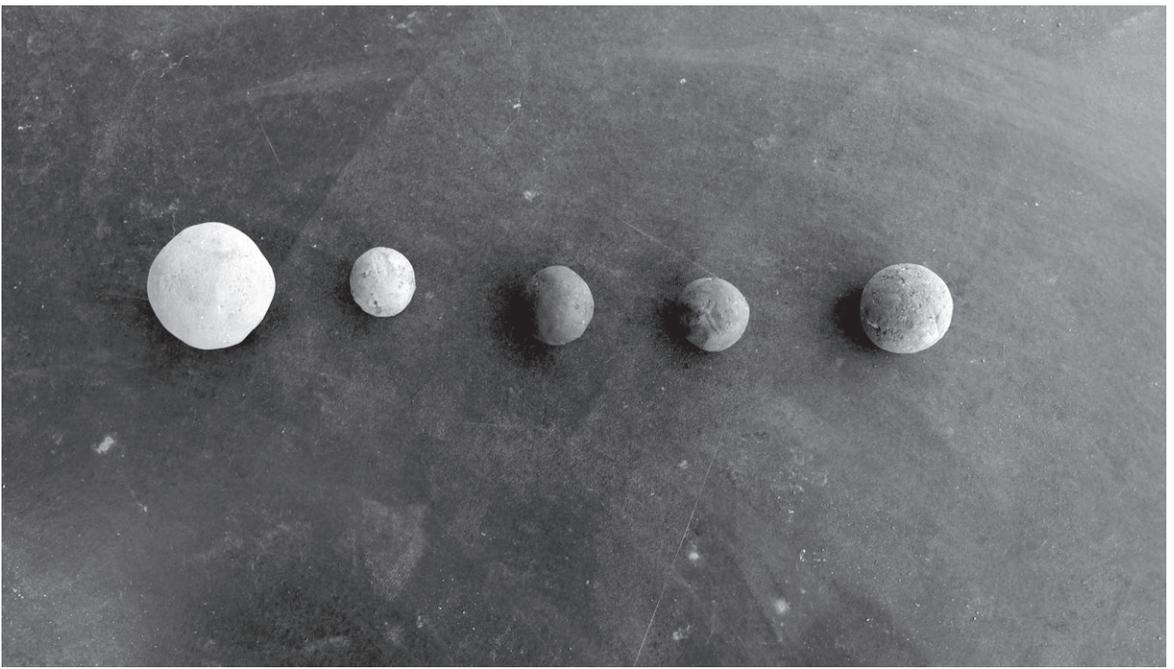
(4) Les échantillons ont été livrés aux Grands Ateliers de Villefontaine, pôle d'enseignement, de recherche et d'expérimentation de la construction en France.



(5) Dans un premier temps, de rapides manipulations permettent d'apprécier si les terres prélevées sont plus argileuses ou sableuses.



(7) En parallèle, les terres sont appréciées visuellement pour déterminer celles nécessitant un séchage.



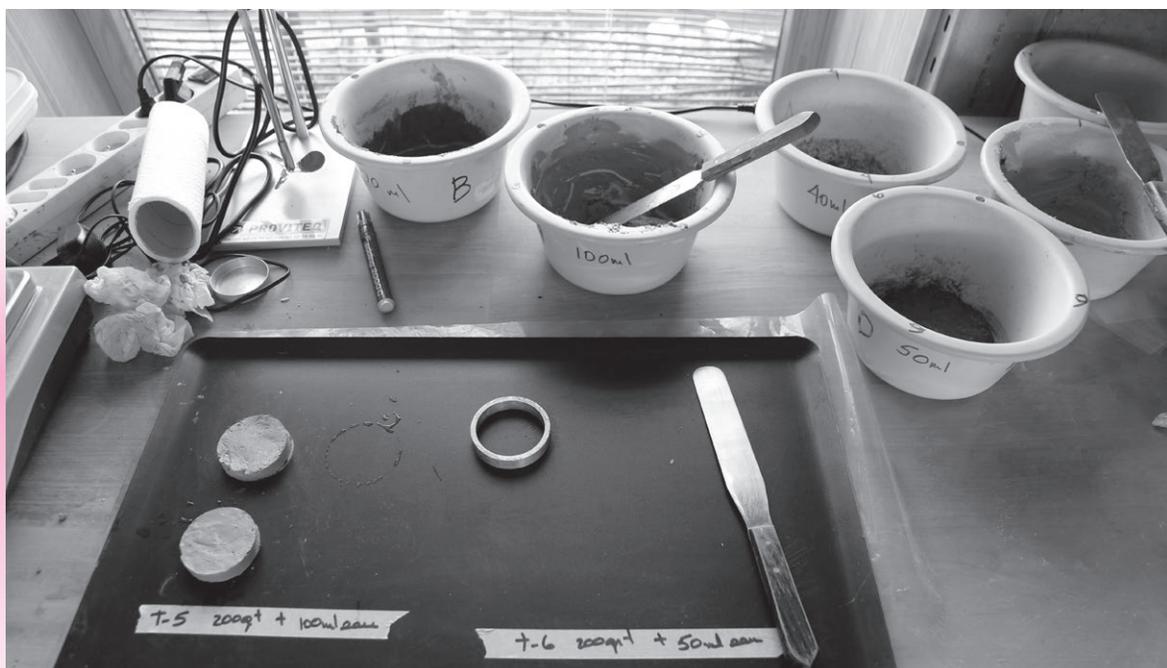
(6) Certaines boules de terres façonnées à la main durcissent vite en séchant et témoignent de leur bonne capacité de cohésion due à la présence de matières argileuses.



(8) Les terres aux particules les plus fines (argiles et limons) sont broyées après séchage. Le broyage permet de désagglomérer les particules d'argiles en vue de leurs analyses.



(9) Chaque terre ou granulat est un mélange de grains de différentes tailles, en proportions variées : cailloux, graviers, sables, silts (limons) et argiles. La granulométrie est un test de laboratoire qui permet ainsi de séparer ces grains par catégories de taille afin de connaître la composition granulaire de ces matières premières.



(11) Le test de la pastille consiste à mouler des pastilles de terre dans des cercles métalliques. Après séchage, il est possible de comparer le retrait des différentes terres. Afin d'évaluer leur cohésion, les pastilles sèches sont ensuite rayées avec l'ongle et brisées à la main.



(10) Les particules fines issues du test de granulométrie sont ensuite soumises au test de sédimentométrie. Ce test consiste à placer les particules en suspension dans de l'eau et à mesurer leur vitesse de sédimentation. Les sables très fins et limons tombent successivement au fond tandis que les argiles restent longtemps en suspension.



(12) La lecture globale des échantillons et des pastilles permet d'une part d'évaluer la palette chromatique à disposition et d'autre part de comparer les retraits des différentes terres correspondant aux potentialités des matériaux.



(13) À partir des résultats des analyses, l'étape de formulation consiste à mélanger, si nécessaire, les terres et granulats initiaux avec de l'eau et à trouver les bons dosages pour transformer ces ingrédients en matériaux de construction.



(15) Chaque technique de mise en œuvre nécessite ainsi une série de tests aux formulations différentes afin de définir la qualité et l'aspect du matériau visé, comme par exemple les enduits.



(14) Cet apport en eau s'effectue précisément pour éviter tout risque de fissuration au séchage, mais aussi en fonction des techniques de mise œuvre envisagées (compactage, coulage, lissage...).



(16) Certaines formulations sont mélangées avec des fibres naturelles (chanvre ou paille). Cette technique permet de produire des matériaux allégés (brique allégée, panneaux d'argile...).



(17) Les formulations sont suivies de la fabrication de plusieurs prototypes selon des techniques variées. La mise en œuvre d'un matériau compacté tel que le pisé est réalisé à partir d'un mélange de terre de retraitement non chaulée, d'une certaine quantité d'argile et d'eau.



(19) La portion convenable d'eau est ensuite incorporée au vaporisateur pour rendre la matière plus homogène. À échelle réelle, le mélange se fait au jet d'eau.



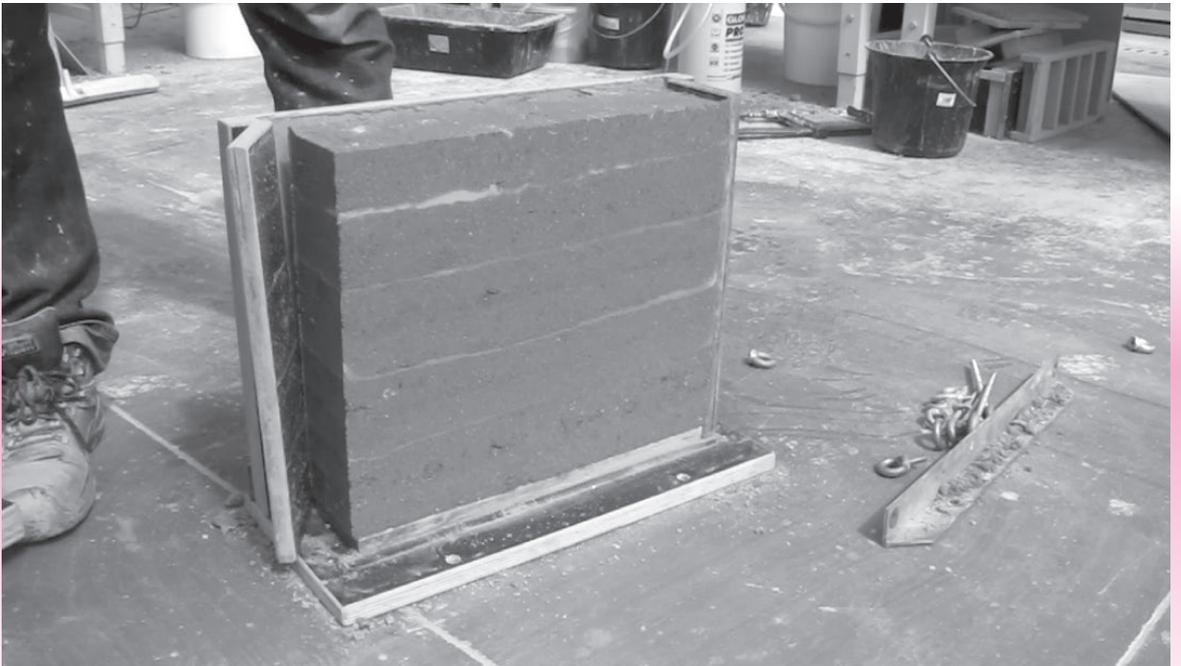
(18) Un premier mélange de terre non chaulée et de poudre d'argile est effectué à sec afin d'optimiser la répartition de l'argile autour des grains. Pour d'autres techniques comme les enduits, le mélange par voie humide ou en barbotine est préférable.



(20) En laboratoire, comme en situation de chantier, le versement du mélange doit se faire de manière régulière, en lits de quelques centimètres, dans le coffrage.



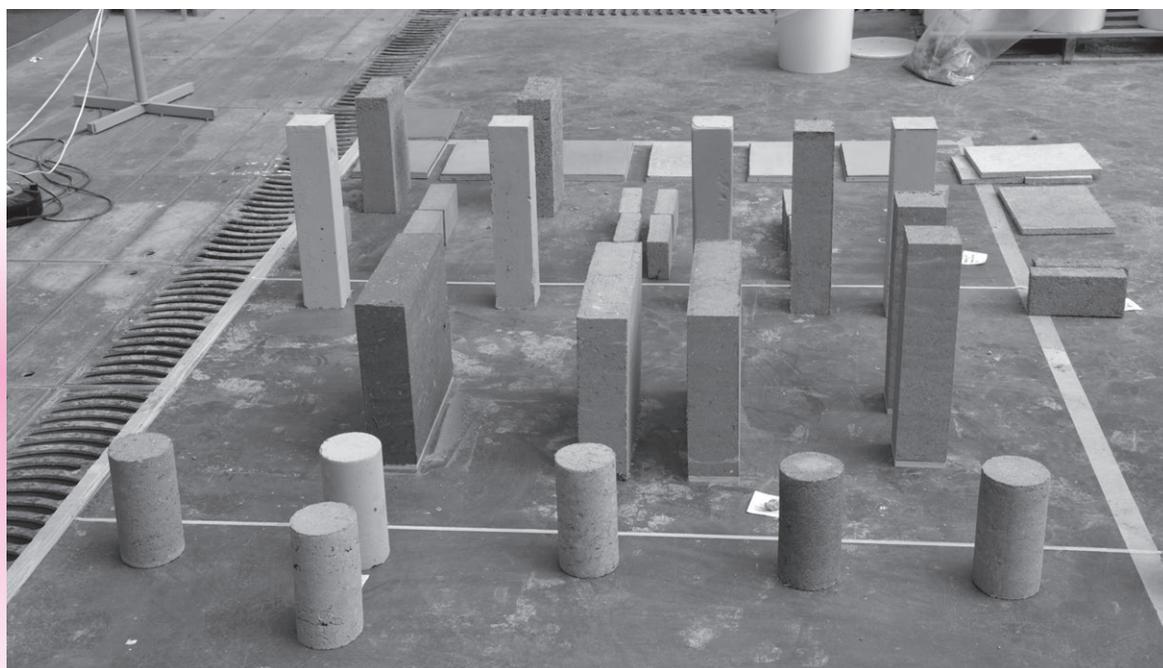
(21) Le compactage réalisé à l'aide d'un piseur manuel ou mécanique fait diminuer d'environ 1/3 la hauteur de chaque lit.



(23) Le pisé est immédiatement décoffré après la fin du compactage.



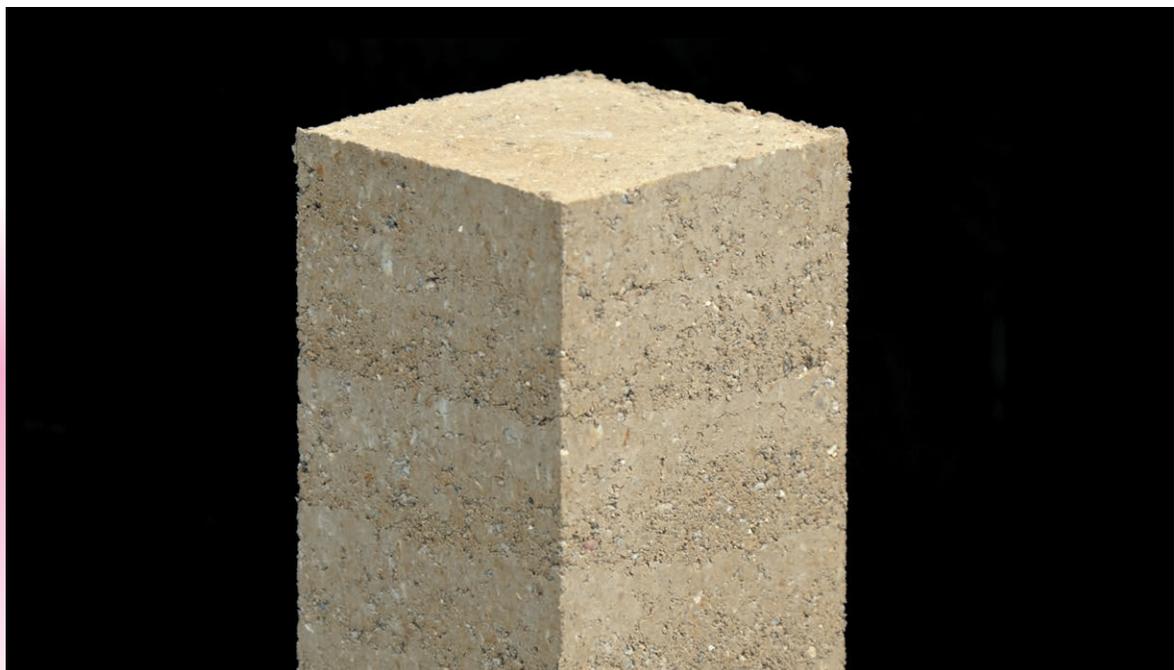
(22) Des couches d'argile plus claire mélangée à des limons (silts) et sables très fins sont rajoutées afin de mieux lire les strates de terre. En construction, il est possible d'incorporer différents matériaux afin par exemple de mieux maîtriser l'érosion (tuiles ou lits de chaux).



(24) Au terme de cette démarche expérimentale, l'ensemble des matériaux confectionnés en atelier à partir des terres et granulats issus de chantiers de Paris et de sa région ont été mis en œuvre par compaction, extrusion, moulage ou coulage.



(25) Panneau de terre coulée poncé après séchage. Matériau mi-lourd constitué d'un mélange gravelo-argileux et de chènevotte (chanvre) permettant de réaliser des cloisons et des doublages par exemple.



(27) Colonne en pisé constituée de terre argileuse et de béton recyclé concassé. Le pisé, béton d'argile compacté, permet de réaliser des structures porteuses ou des éléments de façade non porteurs.



(26) Brique de terre comprimée appelée BTC. Matériau dense constitué d'un mélange gravo-argileux permettant de réaliser notamment des parements de façade.



(28) Brique moulée à l'état plastique dit Adobe. Matériau mi-lourd, constitué d'un mélange gravo-argileux et de paille de blé hachée, utilisé en remplissage d'ossature bois ou en cloisonnements.



Ce qui est aujourd'hui considéré comme un rebut de construction, voire, au mieux, comme une boue informe et inutilisable, offre en réalité un immense potentiel d'utilisation. Que cela soit dans l'architecture, l'art ou le design d'objets, les «terres de Paris» ont des caractéristiques parfaitement adaptées à une mise en œuvre durable.

Les ressources sont considérables. Dans les années à venir, il est potentiellement envisageable de construire des millions de mètres carrés en réemployant les terres de chantier. À l'heure du défi de la lutte contre le réchauffement climatique et du tout-recyclable, la réutilisation de cette matière est une opportunité qui paraît incontournable.

Si la terre n'a pas vocation à remplacer le béton, l'acier ou le bois en raison de ses humbles caractéristiques mécaniques, elle peut être porteuse pour des bâtiments de petite hauteur ou associée à tout type de matériaux ou de systèmes structurels pour des constructions de dimensions variables. Sa résistance est parfaitement fiable, comme en témoignent, dans le centre historique de Lyon, des centaines d'édifices en terre qui subsistent de nos jours.

Au-delà de la démonstration des atouts de la terre, l'enjeu est désormais politique, économique et social. C'est sous l'impulsion des maîtres d'ouvrage, publics et privés, et avec le désir citoyen, qu'il sera en effet possible de développer des projets en terre. Et, par là même, les filières de recyclage, de production et de mise en œuvre de ce matériau à grande échelle, synonymes de croissance verte, d'emplois et de métiers locaux valorisants car porteurs de sens.

Construire avec les «terres de Paris», c'est une possibilité nouvelle de «renaturer» la ville en proposant un rééquilibrage en faveur de sa matière naturelle, face à l'artificialisation croissante de notre milieu de vie.

4

## **Première terre**

6

## **Habiter la terre de Paris**

16

## **Rebut ou ressource ? Un regard différent sur le cycle de la matière**

26

## **Connaissance de la matière**

28

## **Terres de Paris De la ressource-matière au matériau**

30

## **Séquence d'analyses et d'expérimentations**

45

## **La terre, un matériau urbain**

# TERRES DE PARIS

*De la matière  
au matériau*

EXPOSITION-EXPÉRIMENTATION  
CRÉÉE PAR

LE PAVILLON DE L'ARSENAL,  
CENTRE D'INFORMATION,  
DE DOCUMENTATION ET D'EXPOSITION  
D'URBANISME ET D'ARCHITECTURE  
DE PARIS ET DE LA MÉTROPOLE  
PARISIENNE

PRÉSENTÉE  
DU 13 OCTOBRE 2016  
AU 8 JANVIER 2017

SOUS LA DIRECTION  
DE L'AGENCE  
D'ARCHITECTURE JOLY&LOIRET,  
PAUL-EMMANUEL LOIRET  
(ARCHITECTE, ENSEIGNANT  
CHERCHEUR, LABEX AE&CC  
/ CRAterre – ENSAG)  
SERGE JOLY  
(ARCHITECTE, ENSEIGNANT,  
CHERCHEUR, LAB. LA FABRIQUE  
COLLECTIVE – ESA)

AVEC  
ROMAIN ANGER  
(CRAterre – ENSAG  
/ AMÀCO – GRANDS ATELIERS),  
LIONEL RONSOUX  
(AMÀCO – GRANDS ATELIERS),  
HUGO GASNIER  
(doctorant, LABEX AE&CC  
/ CRAterre – ENSAG)

AINSI QUE  
PATRICK RIBET, ALBA RIVERO  
(CRAterre – ENSAG / AMÀCO)  
MATHILDE BÉGUIN  
(ATELIER ALBA)  
NICOLAS BÉGUIN  
(ATELIER ALBA)  
ALBAN PINEL  
(MATEIS – INSA DE LYON)

CONCEPTION GRAPHIQUE  
PIERRE VANNI

PRISES DE VUE  
SCHNEPP RENOÜ

SECRÉTARIAT DE RÉDACTION  
JULIE HOUIS

LE PAVILLON DE L'ARSENAL  
ET LES COMMISSAIRES  
SCIENTIFIQUES REMERCIENT

MARIE AEBERLI, YVES ALBARELLO,  
ROMAIN ANGER, ALICHERIF ASSAD,  
JULIEN BARATHON,  
ANNE-MONIQUE BARDAGOT,  
MATHILDE ET NICOLAS BÉGUIN,  
AUDREY BERTRAND,  
MAXIME BOMBLE, AUDREY BOURGOIN,  
LIONEL BOUZIDI, EMELINE CANIZARES,  
JEAN-PHILIPPE CARUANA,  
SAMUEL COUSSY, EMMANUELLE COUTE,  
CINDY DELAGARDE, SYLVAIN DELEPORTE,  
JEAN DETHIER, CHRISTOPHE DEWULF,  
VINCENT DEWULF, PATRICE DOAT,  
ANTHONY FAGGIANA, RÉMI FEREDJ,  
ANDRÉ FIALAIRE, VINCENTE FLUTEAUX,  
LAURENT FORTUNE, HUGO GASNIER,  
THIERRY HUYGUES-BEAUFOND,  
HUGO HOUBEN, SYLVIE LOPES,  
CORINNE MARTIN, ARNAUD MISSE,  
PHILIPPE MOYAL, THOMAS PATRIZIO,  
GUILLAUME PRIGENT,  
FRANÇOIS PRZYBYLKO, MARTIN RAUCH,  
PATRICK RIBET, ALBA RIVERO,  
LIONEL RONSOUX,  
LAURENCE RIVA ROVEDA,  
DAVID VERHILE, FRÉDÉRIC WILLEMIN,

AINSI QUE  
AMÀCO, ANTEA GROUPE, LE BRGM,  
PARIS BATIGNOLLES AMÉNAGEMENT,  
COLAS ÎLE-DE-FRANCE NORMANDIE,  
COSSON, CRAterre, BRIQUETERIE  
DEWULF, ECT, ERG GÉOTECHNIQUE,  
EUROVIA-SPL, L'IAURIF, YPREMA,

ET TOUT PARTICULIÈREMENT  
POUR LEUR SOUTIEN  
ALLIANCE / DEMATHIEU BARD – NGE  
– PIZZAROTTI – IMPLENIA, LA RATP  
ET LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

© ÉDITIONS DU PAVILLON DE L'ARSENAL  
ISBN 978-2-35487-036-2  
DÉPÔT LÉGAL : OCTOBRE 2016

ACHEVÉ D'IMPRIMER EN OCTOBRE 2016  
SUR LES PRESSES DE L'IMPRIMERIE ESCOURBIAC  
À GRAULHET (81), FRANCE

