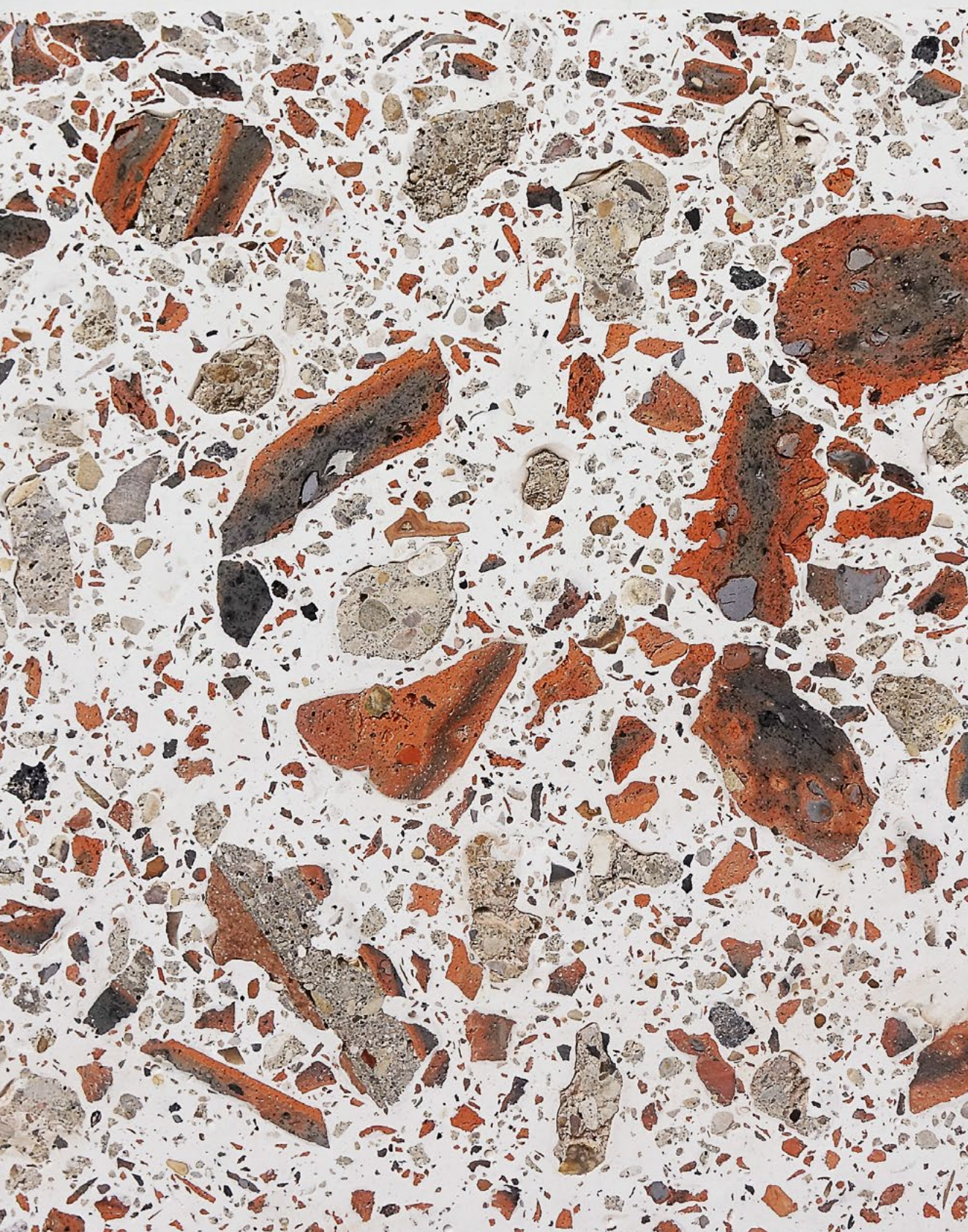
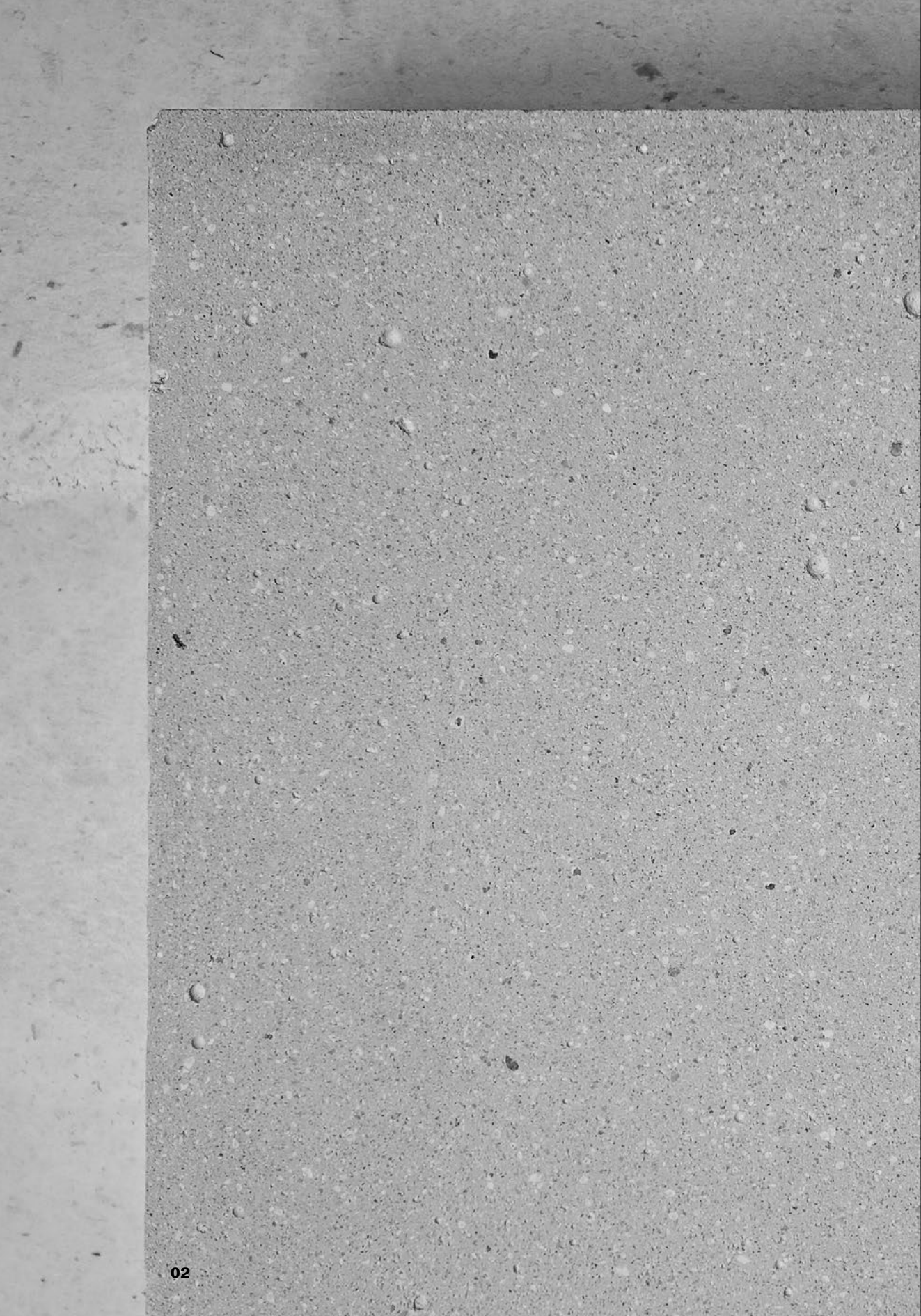


Béton de plâtre

ÉTUDE POUR UNE CHAPE POST-CIMENT
PAVILLON DE L'ARSENAL CIGUË





Si l'on s'intéresse à sa constitution, un béton est avant tout un bon liant, capable de durcir dans un moule sans cuisson *a posteriori* et d'agglomérer des granulats, dont la taille varie en fonction des applications. La fabrication du ciment, le liant le plus employé aujourd'hui dans nos bétons modernes, est responsable de près de 52 % des émissions de CO₂¹ du secteur du bâtiment. L'extraction démesurée de granulats qu'elle induit menace dangereusement gravement les ressources en sable à l'échelle mondiale.

Le béton de ciment présente par ailleurs des performances souvent importantes par rapport aux usages pour lequel il est convoqué, alors même que les déchets de béton de démolition, principalement recyclés en sous-couches routières, sont orientés vers un usage déclassé. L'ensemble de ces constats fait du recours quasi systématique au béton de ciment une aberration écologique, mais les archétypes restent puissants : qui façonne, maçonne, bétonne. Il semble aujourd'hui nécessaire de remettre en cause les matériaux entrant dans sa composition et d'explorer d'autres voies pour minimiser l'empreinte de nos constructions.

Cette recherche est née de la rencontre entre un projet, un chantier de démolition et de construction à Montreuil, et de notre appétence pour le plâtre. Ce matériau extrait du sous-sol francilien avec lequel on a modelé Paris est recyclable par recuisson, capable de lier entre eux des matériaux hétérogènes, et présente une fabrication moins énergivore que celle du ciment.

Sur le site du projet, deux maisons sont construites. L'une est conservée pour être réhabilitée, combinée à un bâtiment neuf en structure bois, l'autre est démolie pour laisser la place à un grand jardin. Comment mobiliser les gravats/ressources issus de la démolition dans la construction future ? Soucieux de trouver un mode de valorisation vertueux pour ces déchets inertes de brique et de béton, un scénario alternatif à la chape en béton de ciment est expérimenté, en utilisant les gravats de réemploi comme granulats et le plâtre comme liant.

Cette publication relate le développement de cette recherche, débutée il y a un an dans le cadre de l'appel à projets FAIRE 2019, à la découverte des potentiels d'un béton de plâtre qui repose sur les possibilités méconnues du plâtre à plancher. Avec l'appui d'essais en laboratoire pour caractériser ses performances et d'une analyse du cycle de vie des matériaux afin d'évaluer son impact environnemental, l'hypothèse de départ, grâce à des données chiffrées, est validée.

Bien que nommée « Béton de plâtre », cette publication ne promeut pas pour autant le « tout-plâtre », mais nourrit plutôt une réflexion plus globale face aux excès et aux contraintes qui caractérisent si bien notre époque : elle a été l'occasion d'interroger notre capacité, en tant qu'architectes, à porter un nouveau regard sur les ressources disponibles, à redéfinir notre rapport aux matériaux et à continuer de remettre en question les réflexes systémiques à l'œuvre dans la pratique contemporaine de la construction.

1 — Ignacio Bribián *et al.*, « Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential », *Building and Environment*, 2011, vol. 46, no 5, p. 1133-1140. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.156&rep=rep1&type=pdf>

Ressource universelle. Chantier de démolition de l'autoroute A168, dite «la balafre», en vue du prolongement de la ligne 1 du tramway, 46 000 tonnes de béton traitées in situ avant leur recyclage en couche de forme, frange Montreuil-Romainville, décembre 2020.



Liant local. Gypse broyé issu de la carrière du massif de Montmorency, livré en vrac avant cuisson et mise en sac, usine de plâtre Vieujot, Soisy-sous-Montmorency, février 2020.



06

Chape de plâtre à plancher. Essai de coulabilité de 1 m² de plâtre à plancher sur un hérisson de granulats de brique pilée, dans le cadre du stage de formation «Plâtre: pratique(s) et savoir-faire», organisé par l'association Rempart Île-de-France sur le site de la ferme d'Ithe, sur invitation de Loïc Dollet et Charles-Louis Roseau en compagnie de Joël Tressol, maçons plâtriers, Jouars-Pontchartrain, octobre 2020.



07

1. CONSTRUIRE EN PLÂTRE

Production du plâtre

Le gypse, connu historiquement sous le nom de *Pierre à plâtre* et chimiquement sous celui de sulfate de calcium, est une roche sédimentaire extraite en carrière avant d'être cuite et broyée pour donner le produit fini appelé *plâtre cuit*. Les natures et les propriétés des plâtres varient d'autant que les éléments composant le gypse diffèrent suivant les régions.

Au contact de l'eau, le plâtre cuit s'hydrate et la réaction exothermique qui en résulte produit le *plâtre pris*, dont la composition chimique est la même que celle du gypse. Sa cuisson s'effectue à des températures inférieures à celles du ciment (autour de 130 °C pour un hémihydrate et autour de 500 °C pour un plâtre surcuit, contre 1450 °C pour le ciment), ce qui rend sa fabrication moins énergivore.

Plâtre de Paris et plâtre à plancher

La capitale devient la « ville du plâtre » pour ses nombreux gisements souterrains mais aussi grâce aux propriétés spécifiques du matériau. Connu notamment pour son retardement au feu, le plâtre fait l'objet d'un édit de Louis XIV promulgué en 1667 et qui impose, suite à l'incendie de la ville de Londres l'année précédente, l'utilisation d'un enduit de plâtre protecteur dans les maisons à ossature de bois¹.

Avant d'être une bétonnière à ciel ouvert au cours du XX^e siècle, Paris fut une gigantesque plâtrière. L'utilisation du plâtre dans la construction était une pratique répandue il y a encore une centaine d'années, et particulièrement dans les régions productrices de gypse, comme c'est le cas de la région parisienne. Ce matériau fut abondamment utilisé dans la construction de la capitale, où les quantités de plâtre mises en œuvre dans les maisons locatives au XVIII^e siècle pouvaient atteindre 22 % en masse².

Éclipsé par l'avènement du ciment au siècle dernier, l'emploi du plâtre en application pour les sols est une tradition ancienne dont l'usage est attesté dès le XII^e siècle en Europe. Aussi appelé *plâtre à plancher*, ce plâtre de sol n'est aujourd'hui quasiment plus mis en œuvre, si ce n'est dans quelques bâtiments historiques, par une poignée d'artisans qui en maîtrisent encore le savoir-faire. Ce matériau dense et robuste rivalise avec certains bétons de ciment et permet une grande variabilité de mise en œuvre et de finitions : teinté dans la masse, lissé, poli...

2 — BnF, F-5009 (20), Ordonnance du 18 août 1667. Poids des matériaux mis en œuvre en pourcentage dans la maison à loyers à Paris sous Louis XV : moellons 57,02 %, plâtre 22,17 %, pierre de taille 8,60 %, chêne 7,79 %, terre cuite 2,50 %, métaux 0,36 %, ardoise 0,22 %, mortier salpêtre grès 1,32 %. Voir Pierre-Denis Boudriot, « La maison à loyers : étude du bâtiment à Paris sous Louis XV », *Histoire, économie et société*, 1982, no 2, p. 227-236.

Un matériau liant et recyclable

Historiquement, le plâtre est omniprésent dans les bâtiments. Derrière la pierre des façades, au mur, au plafond, au sol, il protège les habitations du feu et du bruit. Le plâtre a la capacité de relier des matériaux hétérogènes entre eux et de structurer des compositions : il s'associe aux baculas dans les plafonds, aux pans de bois dans les façades, aux silex et à la terre dans les murs, aux poutres dans les planchers.

De plus, le plâtre est un matériau dont la valeur repose pour partie sur son potentiel de recyclabilité. Le cycle de cuisson-hydratation du gypse est reproductible en théorie à l'infini, à échelle artisanale et industrielle, ce qui permet le recyclage complet du matériau. À l'instar de la pierre, taillée, montée, démontée puis remontée sans cesse, sa mise en œuvre ne signifie pas sa fin. Après cuisson et réhydratation, le matériau amorce un nouveau cycle.

Dans l'est parisien, des membres de l'association Pierres de Montreuil mettent en œuvre ce processus artisanal de recyclage du plâtre sur le site des Murs à pêches : « Le plâtre est facilement recyclable, et moins coûteux que le ciment, la brique ou la chaux, puisqu'il nécessite une température minimale de 150 °C, contre plus de 800 °C pour les autres, soit bien moins de combustibles », précise Charles-Louis, maçon et artisan plâtrier. Lors des chantiers de restauration, les *plâtras* (déchets de plâtre) liant les pierres des murs sont déposés et recuits dans un four à plâtre au charbon de bois construit pour l'occasion, puis remis en œuvre dans un nouvel ouvrage.

Un matériau de réemploi

Les cultures constructives des siècles passés valorisaient spontanément les matériaux de construction après la ruine ou la démolition des bâtiments. Les artisans plâtriers savaient tirer parti de cette qualité de liant du plâtre, et le réemploi des plâtras est une pratique bien connue et transmise sur les chantiers. Liés à du plâtre neuf, ils sont réemployés en tant que moellons ou lors de la mise en œuvre de planchers :

« À Paris et dans les pays à plâtre, on trouve souvent à très bon compte des déchets de démolition de cloisons, de plafonds et de légers ouvrages en plâtre de toutes sortes, en morceaux assez gros pour pouvoir remplacer les pierrailles et servir de matériaux solides pour le remplissage des planchers. On les appelle des plâtras, et on fait la maçonnerie des entrevous en plâtras et plâtre. Si les ouvrages démolis sont de première qualité et viennent de demeures propres, on en obtient des ouvrages économiques et parfaitement solides ; mais la plupart du temps, dans les grandes villes, on en ignore la provenance. »³

Dans le contexte d'une démolition, les plâtras pouvaient être recuits sur place dans des fours à plâtre éphémères. Une fois broyés et tamisés, ils forment à nouveau du plâtre en poudre prêt à l'emploi dans le cas d'une nouvelle construction, ou « envoyés aux champs »⁴ à l'extérieur de la ville pour être triés et réinjectés dans l'économie de manière moins officielle.

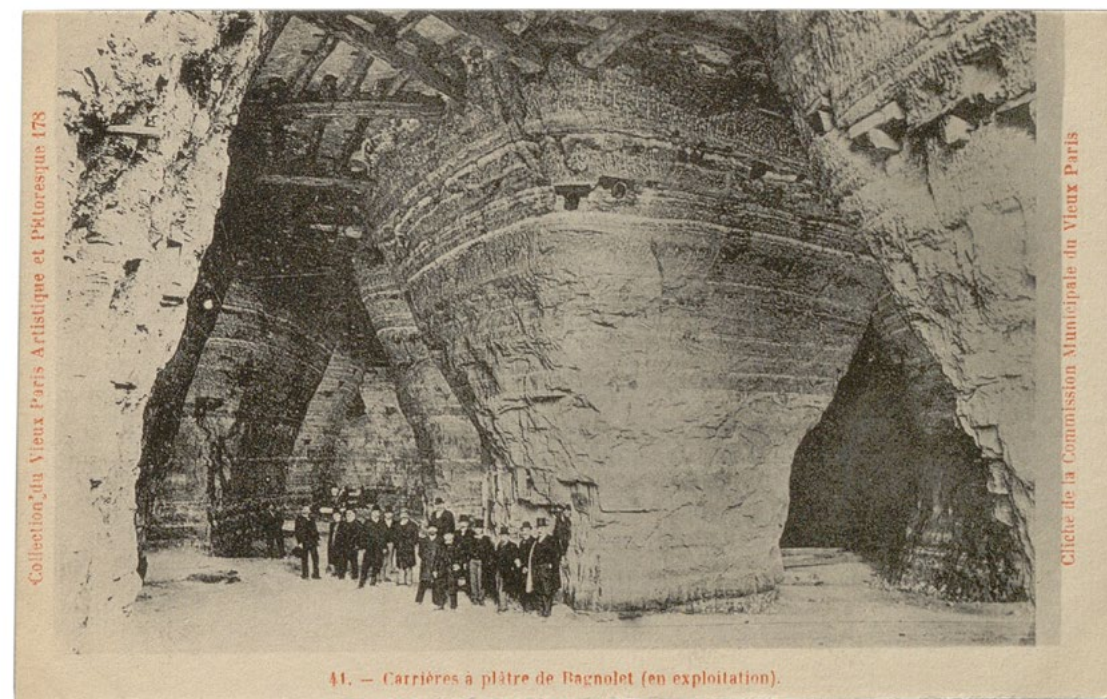
La pratique de recyclage des plâtras s'estompe vers la fin du XVII^e siècle à mesure que se développe l'économie de la guerre et la collecte intensive de salpêtre, ingrédient de la poudre à canon se formant sur les matériaux humides et poreux de la capitale, comme le plâtre. Une ordonnance de 1689 va jusqu'à interdire le réemploi de plâtras alors réquisitionnés systématiquement par les officiers du roi⁵. Une accessibilité immédiate aux ressources franciliennes associée à ce monopole d'État n'encourage pas la pratique de recyclage des plâtres de construction, qui reste alors marginale jusqu'au XX^e siècle.

3 — J. Denfer, *Charpenterie métallique : menuiserie en fer & serrurerie*, vol. 1 de *Encyclopédie des travaux publics*, Paris : Gauthier-Villars et fils, 1894.

4 — Félix Lazare et Louis Lazare, article « Battoir-Saint-André (rue du) », *Dictionnaire administratif et historique des rues de Paris et de ses monuments*, Paris : Félix Lazare, 1844, p. 55.

5 — BnF, F-5033 (3), Ordonnance du maître général des bâtiments du S. M. ponts et chaussées de France défendant d'employer dans les ouvrages de maçonnerie des plâtras dans lesquels il se trouvera du salpêtre, 30 décembre 1689.

Carrières. Exploitations souterraines de gypse à Bagnolet. Les piles préservées assurent la portance des couches géologiques supérieures laissées intactes. Cliché de la Commission municipale du Vieux Paris, collection du Vieux Paris artistique et pittoresque, daté d'avant 1945.



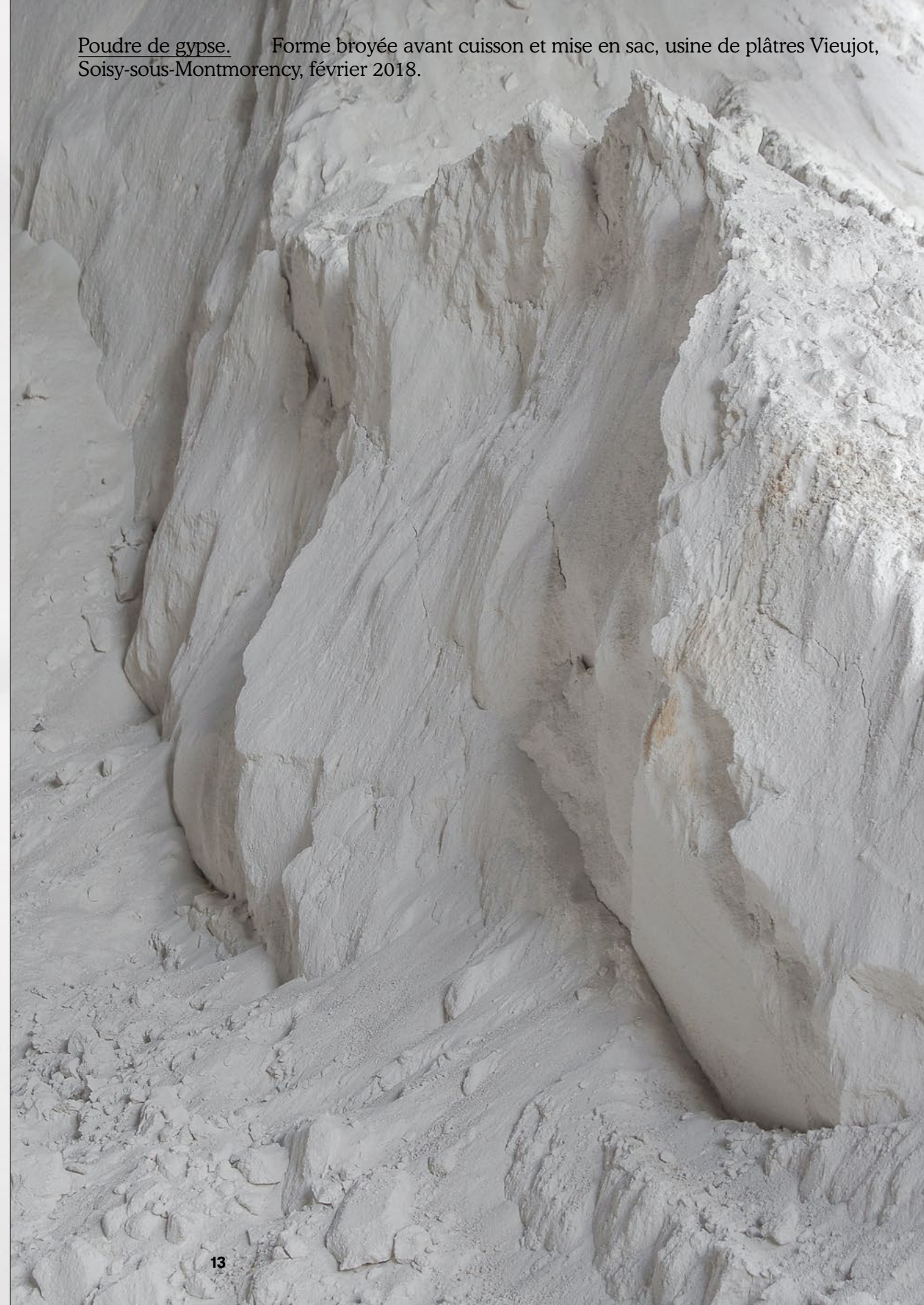
Paysage de production. Les fours à plâtre en activité, carte postale issue du fonds de la Société régionale d'horticulture de Montreuil (SRHM), Montreuil, vers 1900.



Bloc de gypse. Forme rocheuse naturelle avant cuisson, parfois utilisée crue telle quelle en Île-de-France. L' échantillon de Loïc Dollet, artisan maçon au sein des Pierres de Montreuil, extrait d'un pavillon à Montrouge, octobre 2020.



Poudre de gypse. Forme broyée avant cuisson et mise en sac, usine de plâtres Vieujo, Soisy-sous-Montmorency, février 2018.



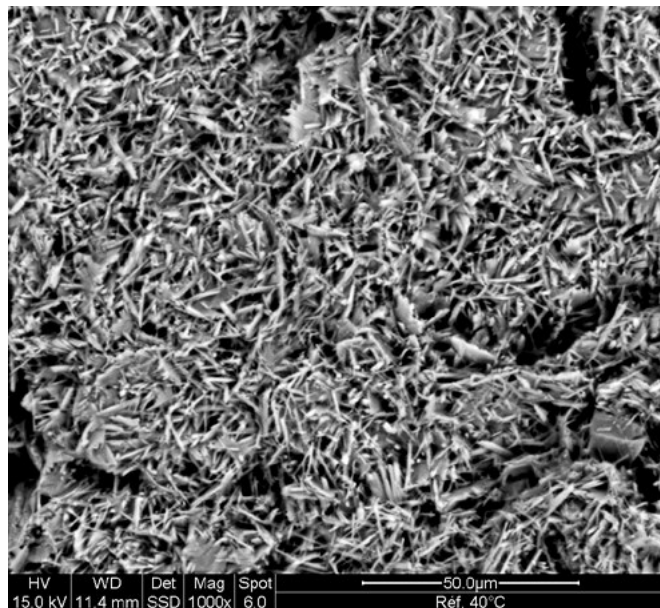
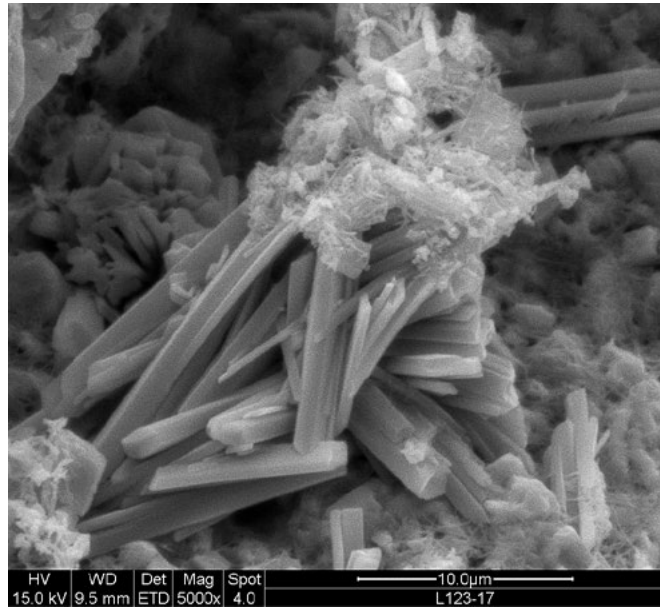
En attente. Moellons, terre et enduit plâtre d'époque, mur à pêches historique en attente de restauration par les artisans des Pierres de Montreuil. Murs à pêches, Montreuil, octobre 2020.



En œuvre. Texture d'un enduit plâtre recuit sur un mur à pêches restauré. L'inertie du matériau permet de stocker la chaleur la journée et de la restituer en continu, ce qui a historiquement favorisé la culture des pêcheurs dans la région. Murs à pêches, Montreuil, octobre 2020.



Procédé de prise. Une microstructure d'un échantillon de plâtre au microscope à balayage électronique, grossies 1 000 et 5 000 fois. Lors de l'hydratation du plâtre, les aiguilles de gypse se forment puis s'enchevêtrent, provoquant le durcissement du matériau.



Procédé de fabrication. Réflexions sur la mauvaise qualité du plâtre et sur sa cause ; et moyens pour parvenir à une meilleure fabrication, Ferroussat de Castelbon, édition 1776, lecture de Charles-Louis Roseau, artisan plâtrier aux Murs à pêches, lors de la construction d'un four à culée traditionnel, Montreuil, octobre 2020.



Recuisson traditionnelle. Moellon de plâtre recyclé au four à bois, échantillon provenant du site des Murs à pêches, Montreuil, octobre 2020.



Recuisson contemporaine. Plaques de plâtre Siniat avec mention «Recyclée et recyclable à l'infini» et «Cradle to Cradle», concrètement composées d'environ 10 % de plâtre recyclé ou issu de sous-produits de l'industrie, décembre 2020.



Cuisson homogène. Le gypse pré-broyé est lentement cuit au four à gaz et brassé dans un tambour à des plages de températures contrôlées, usine de plâtres Vieujo, Soisy-sous-Montmorency. Extraits de prises de vue du documentaire du projet FAIRE 2019, images de Julien Véron pour BLAST Production, mars 2021.



Cuisson hétérogène. Les moellons de gypse sont cuits en blocs dans un four au charbon de bois, appareillés du plus gros au plus fin afin d'exposer le gypse à des températures de flammes différentes pour la production de plâtre artisanal. Expérimentations de cuisson et de recyclage de plâtras avec les Ateliers du Paysage, photographie de Tiffanie Le Dantec, Alpes-de-Haute-Provence, septembre 2016.



Magnifier nos déchets

La démolition de nos bâtiments engendre des quantités considérables de gravats de béton et de brique. À l'échelle du territoire national, on compte près de 250 millions de tonnes⁶ de déchets par an issus de la déconstruction dans le BTP. Aujourd'hui, les deux tiers de ces déchets inertes sont valorisés sous forme de granulats recyclés – matériaux obtenus par concassage de bétons, en sous-couches routières et remblaiement de carrières. Si cette valorisation va dans le sens des directives européennes, elle reste insuffisante, alors même que nous pourrions envisager de tirer profit de ces matériaux pour des usages plus valorisants.

La problématique des gravats nous force à poser un nouveau regard sur ces matériaux, en remettant en question notre rapport au déchet et notre responsabilité en tant qu'architectes vis-à-vis de la déconstruction. Le bâti possède cette nature ambivalente de pouvoir être considéré à la fin de son utilisation à la fois comme une future source de déchets mais aussi comme une potentielle mine de matériaux à ciel ouvert, qui méritent d'être magnifiés.

Une alternative locale, un lieu d'application

Le site du projet de construction définit le contexte et constitue le lieu d'application de la recherche. Les granulats deviennent des matériaux de construction, avec l'ambition de boucler le circuit des matériaux du bâti démolit au bâti construit, tout en anticipant la déconstruction du bâti futur. Le scénario de réemploi des gravats, concassés et mis en œuvre sur le lieu même du gisement, s'ancre dans une logique d'économie circulaire.

À partir des matériaux du site et du plâtre de la région, une alternative au béton de ciment est proposée, en imaginant un béton de plâtre artisanal qui compose une chape résistante et non porteuse dans un bâtiment neuf à ossature bois. D'une stratégie classique de démolition-enfouissement, nous passons ici à une forme de digestion architecturale des déchets du chantier, recomposés dans un matériau de premier plan.

De l'intuition à la démarche de recherche

Cette publication a pour but de rendre compte des expérimentations menées ces derniers mois en atelier et sur site. Le projet conjugue la réalisation d'un chantier expérimental avec une phase de tests en laboratoire, dans l'intention de caractériser et mesurer les performances du matériau, et une phase d'études sur les impacts environnementaux des scénarios imaginés à l'aide d'analyses de cycle de vie des matériaux employés, tout en se référant au béton de ciment. Au-delà de cette phase d'expérimentations, l'ambition est d'appliquer le matériau et de le tester en conditions réelles dans la construction future, où il sera soumis à différents niveaux de sollicitations : usage domestique, usage en bureau et usage intensif d'atelier.

6 — Direccte IDF. « Gestion des déchets issus des chantiers du Bâtiment et des Travaux publics en Ile-de-France », 2013.

Gravats. Terres, gravats de béton de ciment et gros fers, démolition des infrastructures de l'autoroute A186 en vue du prolongement de la ligne 1 du tramway, frange Montreuil-Romainville, décembre 2020.



Concassage. Après le retrait des gros fers, concassage et criblage sur site des gravats de béton en graves de 0/60 mm, chantier de prolongement de la ligne 1 du tramway, frange Montreuil-Romainville, décembre 2020.



Protocole expérimental en atelier

Le plâtre est un matériau très variable. Suivant sa température de cuisson, et donc le niveau de déshydratation de la roche, les propriétés du plâtre sont modifiées. La mouture du plâtre (la finesse de son grain), son taux de gâchage (le rapport de la quantité d'eau nécessaire à la prise du matériau sur la quantité de plâtre), la nature de l'eau utilisée, ainsi que l'humidité du plâtre considéré après prise sont autant de paramètres qui influencent également ses caractéristiques mécaniques.

Aujourd'hui, la plupart des plâtres disponibles industriellement sont en réalité des assemblages de plâtres combinant différentes moutures, plages de cuisson et additifs, pour répondre à différentes applications. En relation avec Marc Potin, directeur de la plâtrière Vieujot à Soisy-sous-Montmorency, deux types de plâtres ont été expérimentés : un plâtre à plancher à grosse mouture et un hémihydrate standard à mouture fine. Par la suite, un assemblage adapté à notre problématique de coût et de mise en œuvre a été élaboré : optimisation de sa consistance lors de la coulée, de sa capacité à lier les granulats, de sa résistance à l'abrasion et de sa finition de surface.

En parallèle, en faisant varier la nature des granulats et leur répartition granulométrique, on influence les caractéristiques superficielles de la chape – sa dureté de surface, son aspect visuel et son état de surface général.

La dureté de surface varie *a priori* en fonction de la nature des granulats, le béton possédant une densité plus élevée que la brique, et la brique possédant une densité plus élevée que les argiles excavées sur le site. Ces densités sont à mettre en regard avec la densité du liant plâtre choisi, afin de veiller à mettre en œuvre le matériau le plus homogène possible.

L'aspect visuel varie en fonction du type et de la taille des granulats. Le plâtre étant un matériau qui se teinte facilement dans la masse, il se pigmente naturellement aux fines des terres cuites lors de son gâchage. Les granulats de plus grandes dimensions révélés par le polissage composent graphiquement la surface, comme une reconstitution photographique des matériaux disponibles sur le chantier.

Enfin, l'état de surface est amélioré par les traitements de finition, qui visent à augmenter la dureté superficielle du matériau mais aussi sa résistance à l'absorption. Ces derniers dépendent de la qualité du polissage, qui peut aller d'un ponçage de propreté jusqu'à une finition lustrée, ainsi que de la protection choisie. Avec l'intention de s'affranchir des vernis à base de polyuréthane ou des hydrofuges à base de résine de silicone issus de la pétrochimie et utilisés systématiquement pour la protection des sols en ciment, les recherches se sont orientées vers les trois produits naturels suivants : l'huile de lin cuite, le lait de cire de carnauba et le savon noir, réputés pour être sans solvants, imperméabilisants et adaptés à l'entretien régulier du sol.

Versions de chape

V0	plâtre
V1	plâtre + granulats de gravats inertes de démolition
V2	plâtre recyclé + granulats de gravats inertes de démolition

Granulométrie (mm)

cailloux	16 à 63
gravillons	4 à 16
sables	0,08 à 4

E/L

0,25
0,30
0,35
0,40

Liant (pourcentage volumique)

L100	plâtre 100%
L50	plâtre 50%
L40	plâtre 40%
L30	plâtre 30%

Traitement de surface

p	polissage
c	lait de cire de carnauba
h	huile de lin cuite
s	savon noir

Répartiton granulométrique

G0	granulats 0%
G1	sables 50% + gravillons 50%
G2	sables 100%
G3	gravillons 100%
G4	cailloux 100%
G5	sables 25% + gravillons 75%
G6	gravillons 25% + cailloux 75%
G7	gravillons 75% + cailloux 25%
G8	sable 33% + gravillons 33% + cailloux 33%
G9	sable 17% + gravillons 33% + cailloux 50%

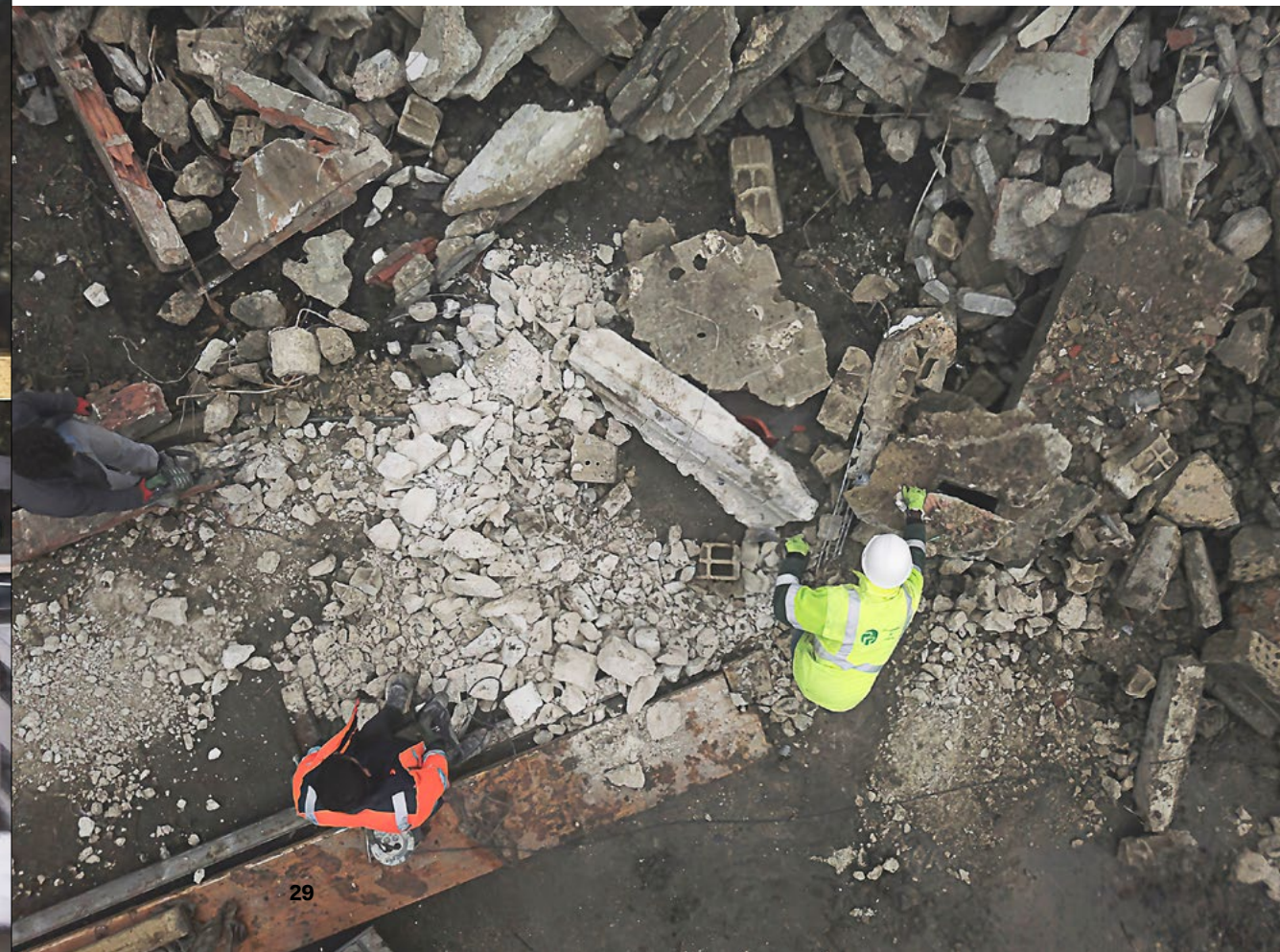
Densité

D0	plâtre
D1	plâtre + béton
D2	plâtre + parpaing
D3	plâtre + béton + parpaing
D4	plâtre + béton + brique
D5	plâtre + parpaing + brique
D6	plâtre + brique
D7	plâtre + brique + tuile

Chantier expérimental. Vues aériennes du chantier, 450 m³ de déchets après démolition complète d'un pavillon de 150 m². Les gravats seront réutilisés dans les sols liés au plâtre, le pavillon conservé au nord-est sera réhabilité. Quartier Signac-Murs à pêches, Haut-Montreuil, décembre 2020.



Déconstruction sélective. Retrait des gros fers des gravats de béton de ciment préalablement au concassage. Quartier Signac-Murs à pêches, Haut-Montreuil, décembre 2020.



Démarche de recherche

Le premier temps de la recherche consiste à caractériser le matériau plâtre à plancher pur, puis de le comparer au béton de ciment dans le cadre de son application en chape.

Dans un deuxième temps, la possibilité d'intégrer des gravats de démolition sans altérer les qualités de base du plâtre est évaluée, en faisant varier leur nature et leur proportion. Dans un souci d'économie des matériaux et d'amélioration du bilan carbone, l'objectif est de mettre en œuvre un maximum de granulats recyclés par unité de volume, tout en employant un minimum de liant plâtre.

Enfin, le troisième temps correspond à une phase de caractérisation des performances d'un matériau entièrement recyclé, donc broyé, recuit, puis mis en œuvre à nouveau, à partir de la version composée de plâtre et de gravats de réemploi. Cette phase est encore en cours d'étude.

Les versions testées se présentent ainsi :

- **VR**, version de référence béton de ciment standard ;
- **V0**, version 0 plâtre à plancher standard ;
- **V1**, version 1 plâtre à plancher et granulats de gravats inertes de démolition de teneur et nature variables (brique, tuile, parpaing, dallage béton, graviers et silex) ;
- **V2**, version 2 plâtre à plancher recyclé et granulats de gravats inertes de démolition.

Mode opératoire

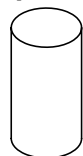
Les expérimentations sont guidées suivant les critères qui composent le cahier des charges de la chape de sol souhaitée : obtenir un matériau possédant une densité et une dureté de surface satisfaisantes, tout en étant maniable et facile à mettre en œuvre.

Chaque version du matériau est coulée sous la forme de séries d'échantillons aux dimensions normalisées, nommées « éprouvettes ». Celles-ci permettent de déterminer précisément le comportement des matériaux soumis à différentes contraintes, que l'on nomme « essais ».

L'élaboration des éprouvettes s'est déroulée dans un temps condensé de 10 jours pour homogénéiser les conditions d'expérimentations, et le gâchage est réalisé avec de l'eau de ville selon le mode opératoire suivant :

- la poudre de plâtre est versée dans l'eau en 30 secondes ;
- le mélange de la pâte est réalisé à nouveau en 30 secondes avec des mouvements hélicoïdaux à l'aide d'un malaxeur ;
- les granulats secs sont incorporés puis mélangés à la pâte pendant 30 secondes ;
- la pâte est coulée puis arasée dans les moules ;
- les éprouvettes sont séchées en cure humide pendant 28 jours.

Éprouvette cylindrique pour essai de résistance à la compression



150 x 300 mm

Éprouvette parallélépipédique pour essai de résistance au poinçonnement
inspiré norme EN 13892-6



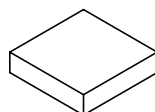
40 x 40 x 160 mm

Éprouvette parallélépipédique pour essai de résistance à l'absorption



40 x 40 x 160 mm

Éprouvette dalle pour essai de résistance à l'abrasion
inspiré norme EN 13892-4



250 x 250 x d mm
d = épaisseur d'application
prévue / 60mm

Prélèvements sur site. Échantillons de dalle de béton et brique creuse, concassés, criblés et répartis en 4 classes entre 0,8 et 60 mm : fines, sables, gravillons et cailloux. Atelier ciguë, Montreuil, mai 2020.



Transformation. Concassage et criblage des gravats issus du chantier de démolition avant fabrication des éprouvettes en atelier. Atelier ciguë, Montreuil, septembre 2020.



Outillage. Moules normalisés des éprouvettes cylindriques pour essais de compression, trois éprouvettes destinées aux essais destructifs, une pour archive. Moules en acier des éprouvettes parallélépipédiques pour essais de poinçonnement. Moule en contreplaqué filmé pour prototypage de dalle à épaisseur réelle. Atelier ciguë, septembre 2020.



Formulation. Matériau de chape en béton de plâtre à 50 % de granulats de briques et de tuiles pour 50 % de plâtre à plancher standard. Atelier ciguë, Montreuil, septembre 2020.



Campagne d'essais. Série d'éprouvettes cylindriques pour essais de compression après une cure de 28 jours, prêtes à l'envoi au laboratoire de l'université Gustave-Eiffel. Atelier ciguë, Montreuil, septembre 2020.



Matériauthèque. De bas en haut, sacs de plâtre à plancher, sacs de granulats concassés issus du site de déconstruction, éprouvettes cylindriques pour essais de compression, expérimentations graphiques de bétons de plâtre avec les matériaux issus du site. Atelier ciguë, Montreuil, janvier 2021.



Éprouvettes parallélépipédiques. Échantillons de plâtre à plancher additionnés de granulats de béton de ciment, silex, briques, tuiles. Atelier ciguë, Montreuil, septembre 2020.



Éprouvettes cylindriques. Échantillons de béton de plâtre en cours de séchage destinés aux essais en compression. Atelier ciguë, Montreuil, septembre 2020.



Pour caractériser ces matériaux, le laboratoire Granulats et procédés d'élaboration des matériaux de l'université Gustave-Eiffel, basé à Nantes, a été sollicité. Son équipe a suivi l'ensemble du déroulement du projet et validé le protocole d'essais. Les problématiques posées par l'élaboration de ce béton de plâtre s'inscrivent plus globalement dans les thématiques de recherche du laboratoire, comme le précise Bogdan Cazacliu, directeur de recherche sur les enjeux de recyclage des granulats de béton :

« Sans parler de notre activité de recherche sur la terre crue en construction, nous sommes activement à la recherche de pistes de valorisation pour les déchets de chantiers avec un objectif de 0 % de rejets. J'ai la conviction que la démarche à suivre est de proposer des produits "recyclés" de meilleure qualité que leurs concurrents naturels : soit en fabriquant des composants issus du recyclage, de qualité supérieure, pour intégrer par le haut les filières traditionnelles en diminuant leurs nuisances ; soit en concevant des produits innovants avec une forte valeur environnementale comme vous le proposez. »

Description des essais

- Essai de compression sous presse mécanique pour déterminer la résistance mécanique. La valeur obtenue correspond à la force nécessaire à la rupture du matériau, et définit notamment sa résistance en compression.
- Essai de poinçonnement sous presse mécanique pour déterminer la dureté de surface (résistance à la pénétration d'une bille d'acier). La valeur obtenue correspond à la profondeur de pénétration de la bille dans la surface du matériau.
- Essai d'abrasion sous l'action d'une brosse métallique pour déterminer la résistance à l'usure. La valeur obtenue est la masse de matériau perdue après abrasion, avec une force d'application et une durée égales, et permet de comparer les matériaux.
- Essai d'absorption après polissage et application d'un traitement de protection pour déterminer la résistance à l'absorption du matériau. La valeur obtenue correspond au temps nécessaire à l'absorption d'une goutte d'eau par le matériau, et donne une indication de sa porosité et de la performance du traitement de surface appliqué.

Pertinence et résultats des essais

Les essais en laboratoire ont permis d'obtenir de nombreuses données sur les performances des matériaux testés. Une sélection des résultats est présentée dans les graphiques suivants, et décrit le comportement du matériau selon différents facteurs : le pourcentage de plâtre et d'eau dans le mélange et la nature des granulats employés. Les graphiques présentent les résultats comparés du matériau V0 à base de plâtre à plancher pur et de différentes versions du matériau V1 à base de plâtre à plancher additionné de granulats de briques et de béton (notés A, B, C, D, E en fonction des différents facteurs étudiés).

Cette première campagne d'essais permet de comprendre l'influence de ces facteurs sur les performances du matériau et d'affiner sa formulation en atelier, avant de valider les versions finales lors d'une seconde campagne d'essais en laboratoire. La donnée principale retenue pour le dimensionnement du béton de plâtre est la résistance en compression, que nous comparons aux normes produits attendues pour les matériaux de chape de sols. Les résistances au poinçonnement et à l'abrasion sont également deux critères de choix importants, relatifs à son usage en chape.

Il est à noter que la version V2, à base de plâtre recyclé et granulats de réemploi, n'a pas été caractérisée en laboratoire à ce stade de la recherche. Toutefois, des formulations recyclées sont expérimentées en atelier et des essais de recyclage sont en cours. Les résultats obtenus permettraient de comprendre l'influence d'une recuisson du plâtre sur sa capacité de liant et sur les performances globales du matériau de chape.

Vocabulaire

Rapport de résistance

Le rapport ou ratio de résistance est le rapport de la résistance en compression du matériau ramené à la résistance en compression du plâtre pur.

Teneur en pâte

La teneur en pâte correspond à la proportion de mélange liant-eau-air dans le matériau.

Essai de compression. Échantillon de plâtre à plancher cylindrique soumis à un essai de compression sous presse jusqu'à rupture du matériau pour détermination de la résistance mécanique, laboratoire Granulats et procédés d'élaboration des matériaux de l'université Gustave-Eiffel, Nantes, septembre 2020.



Résistance en compression

Influence de la teneur en pâte

Si l'on regarde les performances des matériaux A, C et E à nature de granulats égale (ici : béton et brique mélangés) et dont on a fait varier la quantité, on constate une diminution de la résistance en compression à mesure que l'on diminue la quantité de liant.

Le matériau B (granulats de briques) de teneur en pâte autour de 70 % présente un comportement à la compression relativement peu altéré, comparé à la version en plâtre pur V0. Les granulats de briques semblent présenter une affinité particulière avec le plâtre.

Vu la quasi-absence d'altération de la résistance en compression du matériau B, il conviendrait de mener une nouvelle série d'essais pour déterminer la teneur en pâte minimale assurant une résistance à la compression toujours satisfaisante.

Influence de la nature des granulats

En revanche, en comparant les performances des matériaux B, C et D, dont on a fait varier la nature des granulats à quantité de liant égale, on constate que l'ajout de granulats de béton progressif dans le plâtre (C et D) détériore nettement la résistance en compression du matériau de base.

Note

Les mélanges contenant de la brique ont nécessité un apport en eau plus important afin d'assurer une consistance propre à la coulée, la teneur en pâte qui prend en compte la proportion d'eau fluctue en conséquence, alors que le rapport plâtre/granulats reste fixe dans cet essai.

Chute de la résistance en compression en fonction de la nature des granulats et de la teneur en pâte

V0 100% plâtre pur

Variation de la teneur en plâtre, à répartition de granulats brique / béton égale

A 71 % pâte

C 65 % pâte

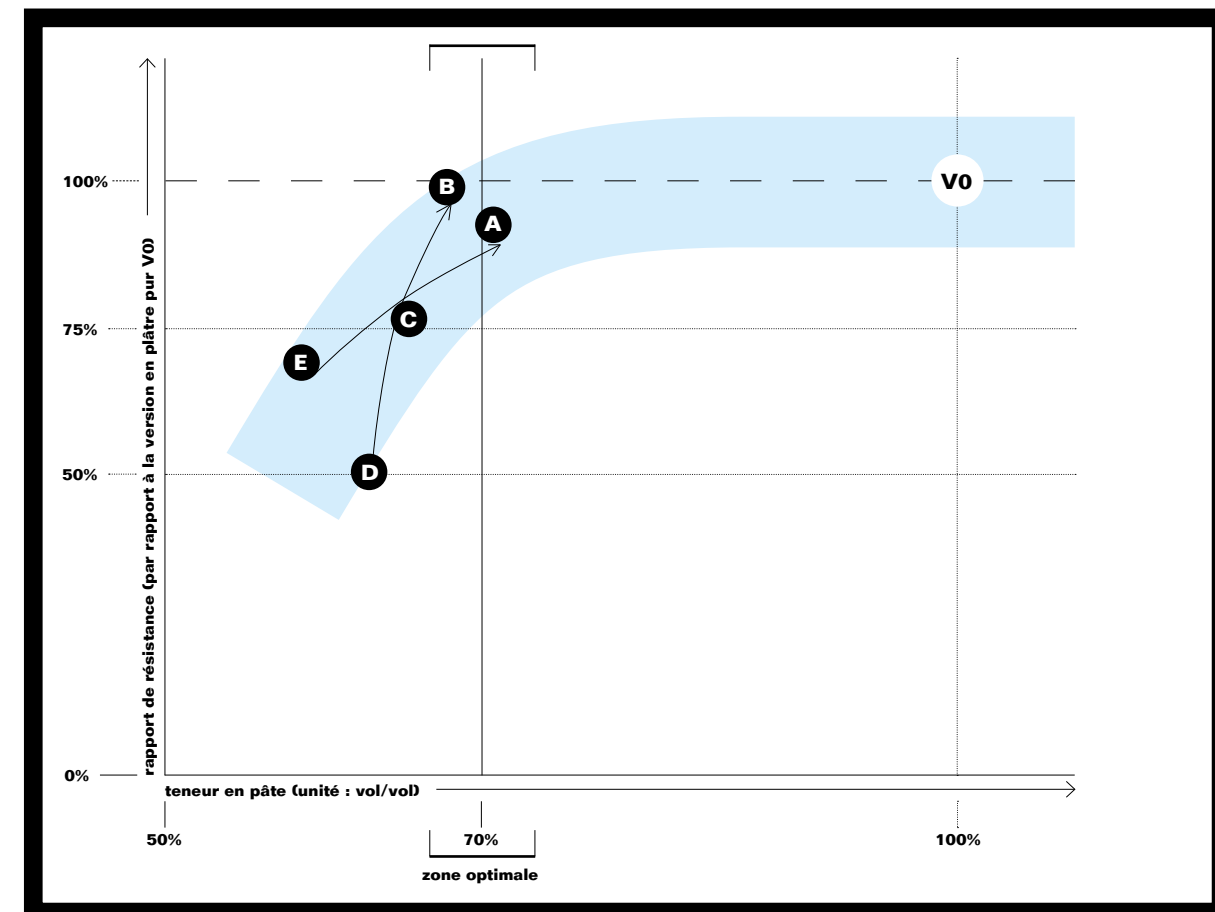
E 59 % pâte

Variation de la nature des granulats, à quantité de plâtre constante

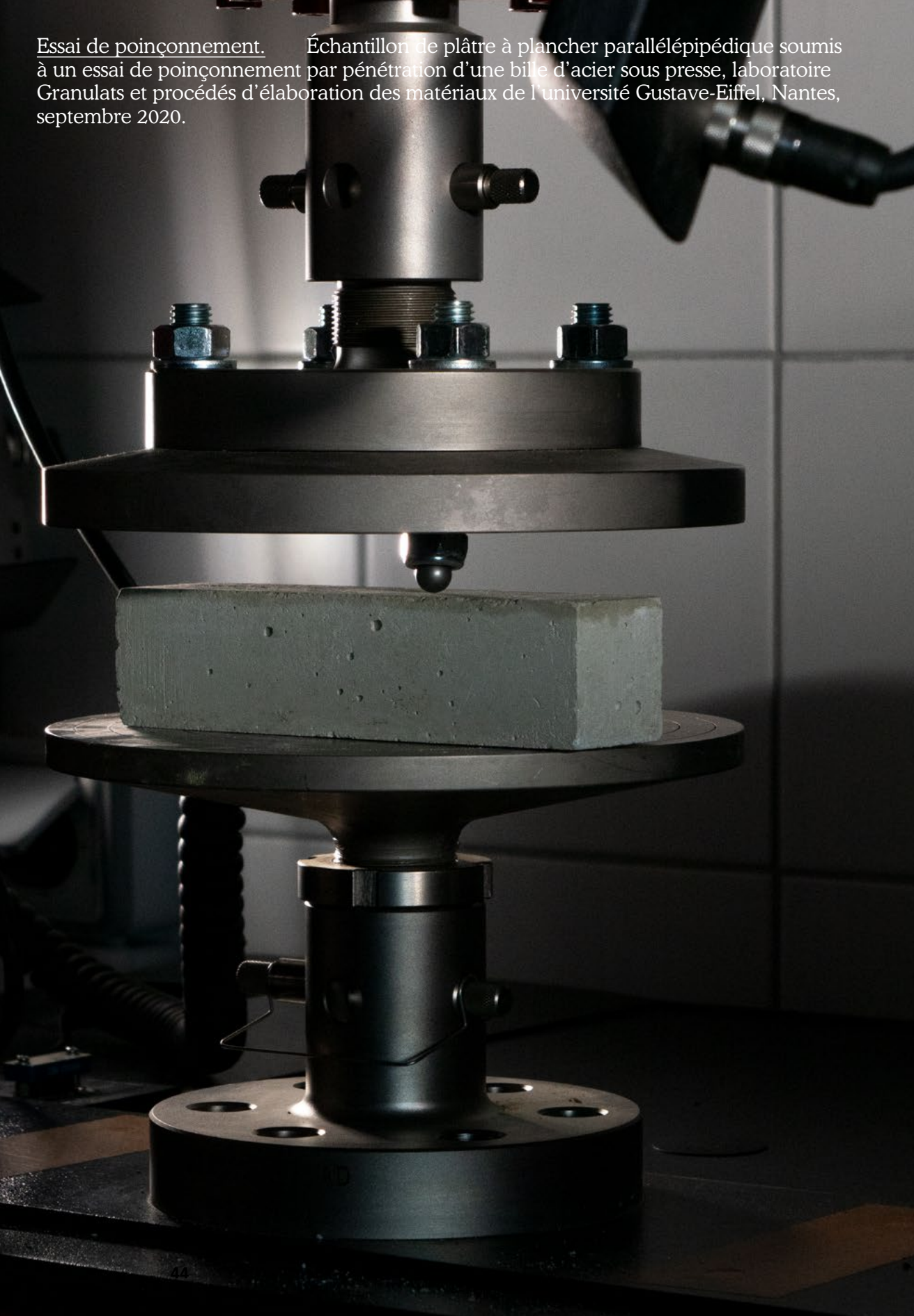
B 100% brique

C 50% brique, 50% béton

D 100% béton



Essai de poinçonnement. Échantillon de plâtre à plancher parallélépipédique soumis à un essai de poinçonnement par pénétration d'une bille d'acier sous presse, laboratoire Granulats et procédés d'élaboration des matériaux de l'université Gustave-Eiffel, Nantes, septembre 2020.



Résistance au poinçonnement

Influence de la nature des granulats

Les résultats des essais de résistance au poinçonnement sur les matériaux B, C et D, dont la quantité de liant est fixe et la nature des granulats varie, montrent une nette amélioration de la résistance à la pénétration de la bille d'acier dans le matériau à base de granulats de brique (B) par rapport au matériau de référence en plâtre pur V0.

À l'inverse, et en corrélation avec les performances de résistance à la compression en ordonnée et vues précédemment, l'ajout de béton détériore nettement la dureté de surface (C et D).

Influence de la teneur en pâte

Les résultats des essais sur les matériaux A, C et E, dont on a modifié la teneur en pâte avec un mélange à parts égales de granulats de brique et de béton, trouvent difficilement d'interprétation de tendances à ce stade. D'autres essais à teneurs en pâte variables en dissociant les granulats de brique et de béton seraient nécessaires pour mieux comprendre l'influence de la teneur en pâte sur la dureté de surface du matériau.

Note sur le type de plâtre

Comme décrit précédemment, la campagne d'essai était centrée autour de l'utilisation d'un plâtre à plancher (V0), mais un deuxième plâtre, de type hémihydrate standard à mouture fine, a été testé.

Réputé pour posséder une densité relativement élevée, il s'est révélé présenter une résistance au poinçonnement légèrement supérieure au béton de ciment. Des essais complémentaires seraient nécessaires pour optimiser d'autant plus les performances du plâtre à plancher à la résistance au poinçonnement, en affinant sa formulation.

Évolution de la sensibilité au poinçonnement (exprimée en profondeur de pénétration de la bille d'acier) en fonction de la nature des granulats

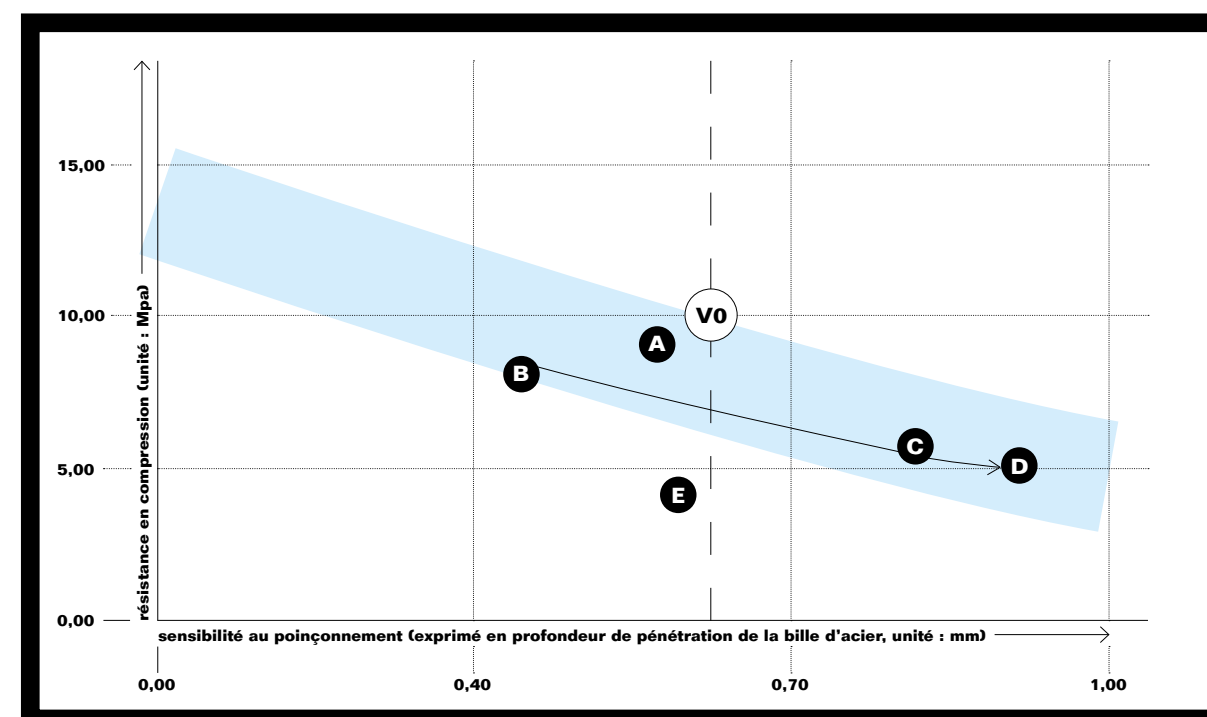
V0 100% plâtre pur

Variation de la teneur en plâtre, à répartition de granulats brique / béton égale

A 71 % pâte
C 65 % pâte
E 59 % pâte

Variation de la nature des granulats, à quantité de plâtre constante

B 100% brique
C 50% brique, 50% béton
D 100% béton





Résistance à l'abrasion

Note préliminaire

Le protocole mis en place pour réaliser ces essais s'inspire d'une norme d'essai de résistance à l'abrasion existante et a été réalisé après validation des paramètres par le laboratoire. Ces premières données n'ont donc ici que vocation à dessiner des tendances.

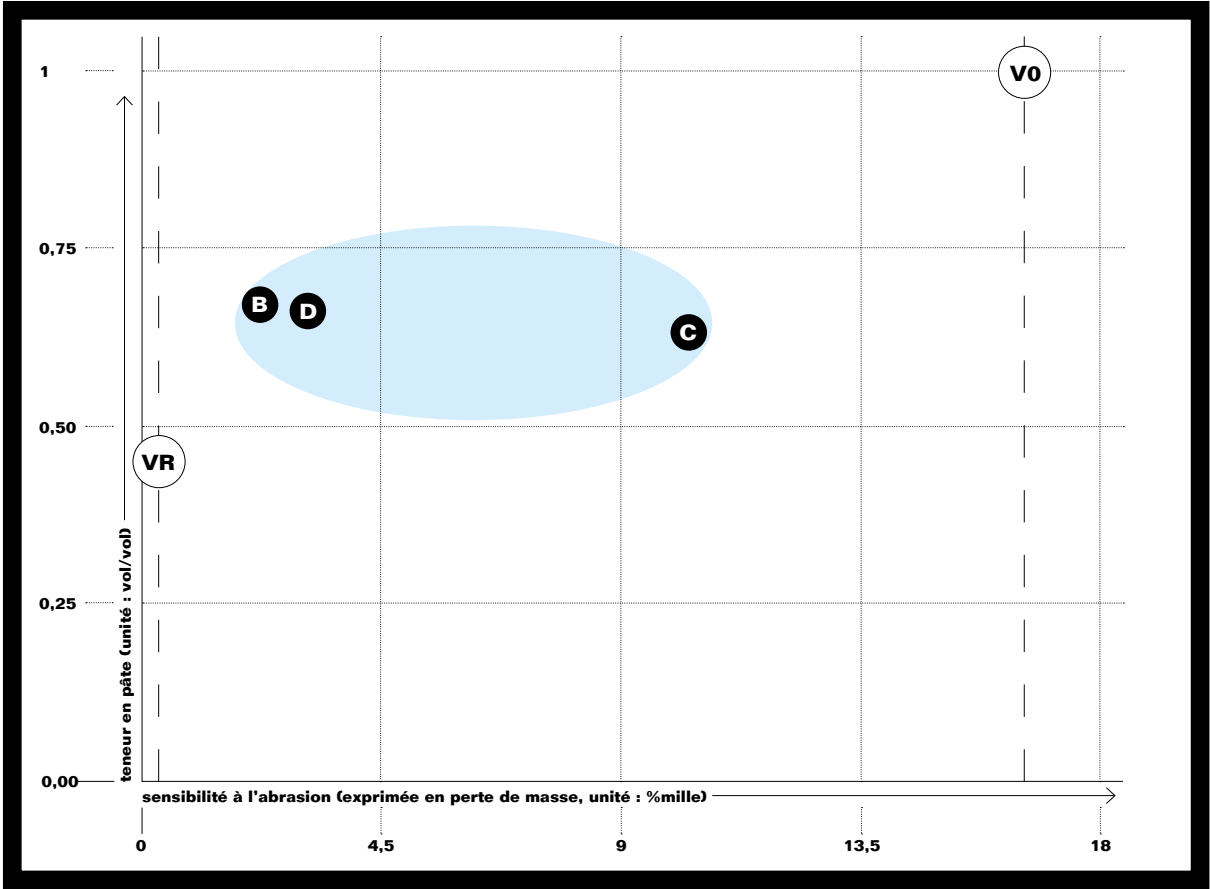
Influence des granulats

On voit ici que l'ajout de granulats dans le plâtre améliore fortement sa résistance à l'abrasion en comparaison au plâtre pur (V0). Les matériaux B (granulats de brique) et D (granulats de béton) présentent une résistance à l'abrasion quasi équivalente à celle du béton de ciment (VR).

Évolution de la sensibilité à l'abrasion en fonction de la nature des granulats

VR béton de ciment
V0 100% plâtre pur

Variation de la nature des granulats, à quantité de plâtre constante
B 100% brique
C 50% brique, 50% béton
D 100% béton



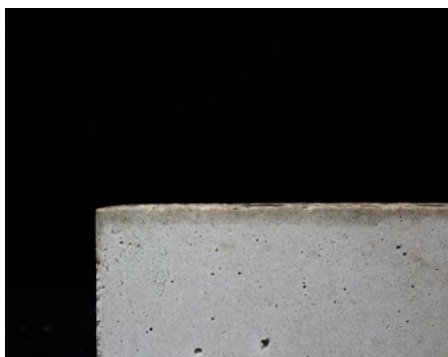
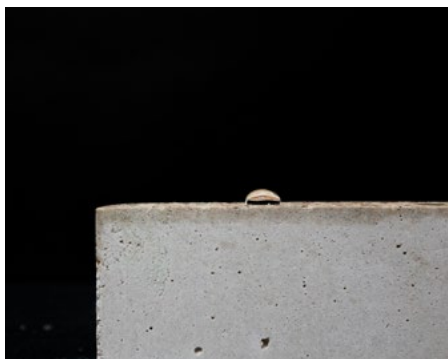
Essais comparatifs. Dalles après essais d'abrasion, de haut en bas : version 0 en plâtre à plancher pur ; version 1 avec ajout de granulats de briques ; version 1 avec ajout de granulats de béton de ciment de briques ; version 1 avec ajout de granulats de béton de ciment, atelier ciguë, octobre 2020.



Essais destructifs. Éprouvettes cylindriques de plâtre à plancher après rupture lors des essais en compression en laboratoire. Atelier ciguë, Montreuil, octobre 2020.



Résistance à l'abrasion. L'application d'huile de lin cuite après polissage de la surface procure les meilleurs résultats sur la résistance à l'absorption du matériau et semble même avoir un effet favorable sur sa dureté de surface, même si cela reste à démontrer dans le cadre d'essais approfondis. Enfin l'emploi de savon noir, nettoyant naturel à base d'huile végétale et diluée dans l'eau, est envisagé pour l'entretien régulier du sol.



Résistance à l'abrasion

L'application d'huile de lin cuite après polissage de la surface procure les meilleurs résultats sur la résistance à l'absorption du matériau et semble même avoir un effet favorable sur sa dureté de surface, même si cela reste à démontrer dans le cadre d'essais approfondis. Enfin l'emploi de savon noir, nettoyant naturel à base d'huile végétale et diluée dans l'eau, est envisagé pour l'entretien régulier du sol.

Conclusion des essais

Les matériaux à base de granulats de brique de réemploi (brique et tuile mélangées) présentent des résultats de résistance à la compression, au poinçonnement et à l'abrasion très satisfaisants, en se rapportant aux normes produits attendues pour un usage du matériau en chape.

La proportion la plus basse de liant plâtre testée à ce stade de la recherche est de 40 %. Dans cette proportion, la résistance en compression du matériau n'est pas altérée, en comparaison à celle du matériau de base V0 (plâtre à plancher standard). Les résistances au poinçonnement et à l'abrasion sont même améliorées, proposant ainsi en l'état une formulation propre à ouvrir le plâtre à plancher à des usages plus intenses.

Dans une perspective de préservation de la ressource en gypse et d'économie de matière liante, des essais complémentaires permettraient d'identifier la proportion de plâtre minimale à laquelle descendre tout en conservant des performances satisfaisantes.

Les matériaux à base de plâtre et granulats de béton de réemploi (parpaing, dallage, graviers et silex) présentent les résultats de résistance à la compression et au poinçonnement les moins bons, et ce, même à partir d'un faible pourcentage de granulats. L'étude montre donc que les gravats de béton ont une mauvaise interaction avec le plâtre.

Dans le cadre du chantier en construction bois et en relation avec le BET acoustique, ces premières conclusions ont permis de réorienter les scénarios de réemploi: les granulats de béton seront mobilisés pour leur masse et l'isolation acoustique qu'ils procurent entre étages en les intégrant dans le complexe de plancher, non mélangés au plâtre, en lit de granulat désolidarisant et support de la chape de plâtre.

Chaque matériau de ce complexe sera ainsi ré-employable ou recyclable en fin de vie du bâtiment. Le matériau à base de plâtre et de granulats de briques présentant de meilleurs résultats à l'abrasion sera testé sur des zones à trafic intense.

Le bureau d'étude environnement Le Sommer a soutenu la recherche en évaluant les impacts environnementaux des différentes versions de la chape à travers une analyse comparative du cycle de vie des matériaux (ACV).

Cadre de l'étude

L'étude s'intéresse à l'impact de l'ensemble des étapes du cycle de vie du matériau composant la chape, depuis l'extraction de la matière première (des carrières de gypse franciliennes aux zones de stockage des déchets de chantiers de démolition), à la transformation (cuisson, broyage et formulation) mise en œuvre sur site (déconstruction, concassage des granulats, mélange et pose de la chape), ainsi qu'à l'entretien régulier du sol jusqu'à sa fin de vie, en prenant en compte la valorisation des matériaux employés à travers le potentiel de recyclage de chaque version développée. La chape en béton de ciment constitue le scénario de référence pour évaluer les différentes variantes de la chape en plâtre et granulats.

La durée de vie hypothétique retenue est de 50 ans, et l'unité fonctionnelle choisie pour comparer les résultats est de 1 m² de chape pour 6 centimètres d'épaisseur. Les impacts environnementaux retenus sont les suivants :

- indicateur de changement climatique (en kilogramme équivalent CO₂)⁷ ;
- indicateur d'épuisement des ressources minérales (en éco-point)⁸.

L'ensemble de l'étude se fonde sur le contexte du projet du chantier de déconstruction et de réhabilitation à Montreuil. Une partie des matériaux composant les chapes de sol proviennent donc du site, l'autre partie provient d'usines de plâtre en périphérie de Paris.

7 — Méthode ReCiPe Midpoint H, v1.13.

8 — Méthode Ecological Scarcity 2013.

Notes

Lecture des résultats

Les deux graphiques représentent, à chaque étape du cycle de vie, en valeurs positives les impacts de la chape, et en valeurs négatives les impacts évités, grâce notamment au recyclage des déchets de chantiers. Les aplats correspondent au bilan environnemental de chaque version.

Carbonatation

Réaction chimique entre le CO₂ contenu dans l'air et le béton, qui provoque son vieillissement naturel. Les données comparatives utilisées ici font valoir pour la VR cette capacité du béton de ciment à stocker le CO₂ présent dans l'air durant sa vie en œuvre. Ce phénomène chimique serait également observable avec le gypse, mais en l'absence de données, le choix s'est porté sur la lecture de l'impact pour un béton avec et sans carbonatation afin d'ouvrir les modes de comparaison.

Vocabulaire

Bénéfices et charges au-delà des frontières du système

Impacts évités grâce au recyclage, à la réutilisation ou au réemploi du matériau ou d'éléments constituant le matériau, permettant d'éviter la production conventionnelle à partir de matières premières.

Étapes de production

Impacts liés à la production du matériau, l'approvisionnement en matières premières, le transport et la fabrication.

Étapes de mise en œuvre

Impacts liés au transport vers le chantier et à la mise en œuvre du matériau.

Étapes de vie en œuvre

Impacts liés à la vie en œuvre du matériau, c'est-à-dire son usage, sa maintenance, les réparations, la réhabilitation et l'utilisation d'énergie ou d'eau nécessaire à son fonctionnement si besoin.

Étapes de fin de vie

Impacts liés à la fin de vie du matériau, la déconstruction ou démolition, le transport vers le lieu de traitement et/ou stockage, le traitement des déchets recyclables, réutilisables ou réemployables et l'éventuelle élimination des déchets ultimes.

Bilan

Somme des impacts du matériau et de ses bénéfices. Il permet dans certains cas de déterminer quelle version du matériau est la plus bénéfique. Un bilan négatif ne garantit cependant pas un matériau économe en moyens et en énergie.

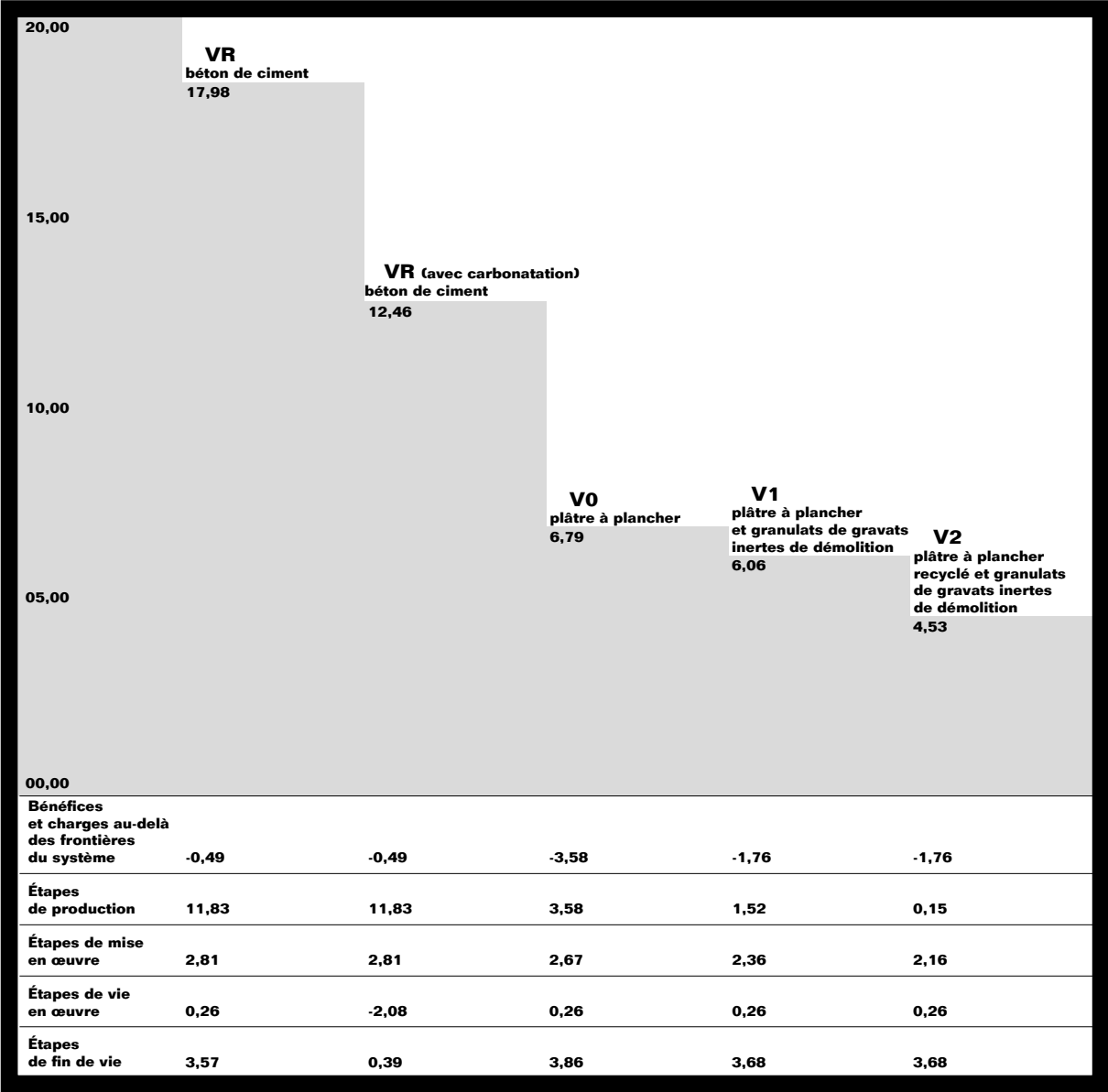
Indicateur de changement climatique

La version de référence VR en béton de ciment a un impact sur le changement climatique bien plus important que les alternatives à base de plâtre. Même en prenant en compte le phénomène de carbonatation, son bilan est deux fois plus important qu'une chape V0 à base de plâtre à plancher. Le principal contributeur de cet impact est la fabrication du ciment qui est fortement consommatrice d'énergie (étapes de production).

Toutes les versions en plâtre permettent une diminution de l'impact sur le réchauffement climatique: comparé à la version de référence VR en béton de ciment, au moins 46 % d'impacts évités pour le scénario V1 à base de plâtre et granulats de réemploi et jusqu'à 64 %, soit 4 fois moins d'impacts pour le scénario V2 à base de plâtre recyclé (à hauteur de 90 %) et granulats de réemploi. Cette diminution provient essentiellement d'une fabrication moins énergivore du plâtre (étapes de production).

Bien que le recyclage du liant plâtre soit émetteur de gaz à effet de serre (concassage de la chape, cuisson et broyage au cours des étapes de fin de vie), la V2 présente le meilleur bilan du point de vue du changement climatique, car la production de plâtre neuf est ainsi évitée par la réutilisation de plâtre recyclé.

Bilan (kg eq CO2)



Indicateur d'épuisement des ressources naturelles

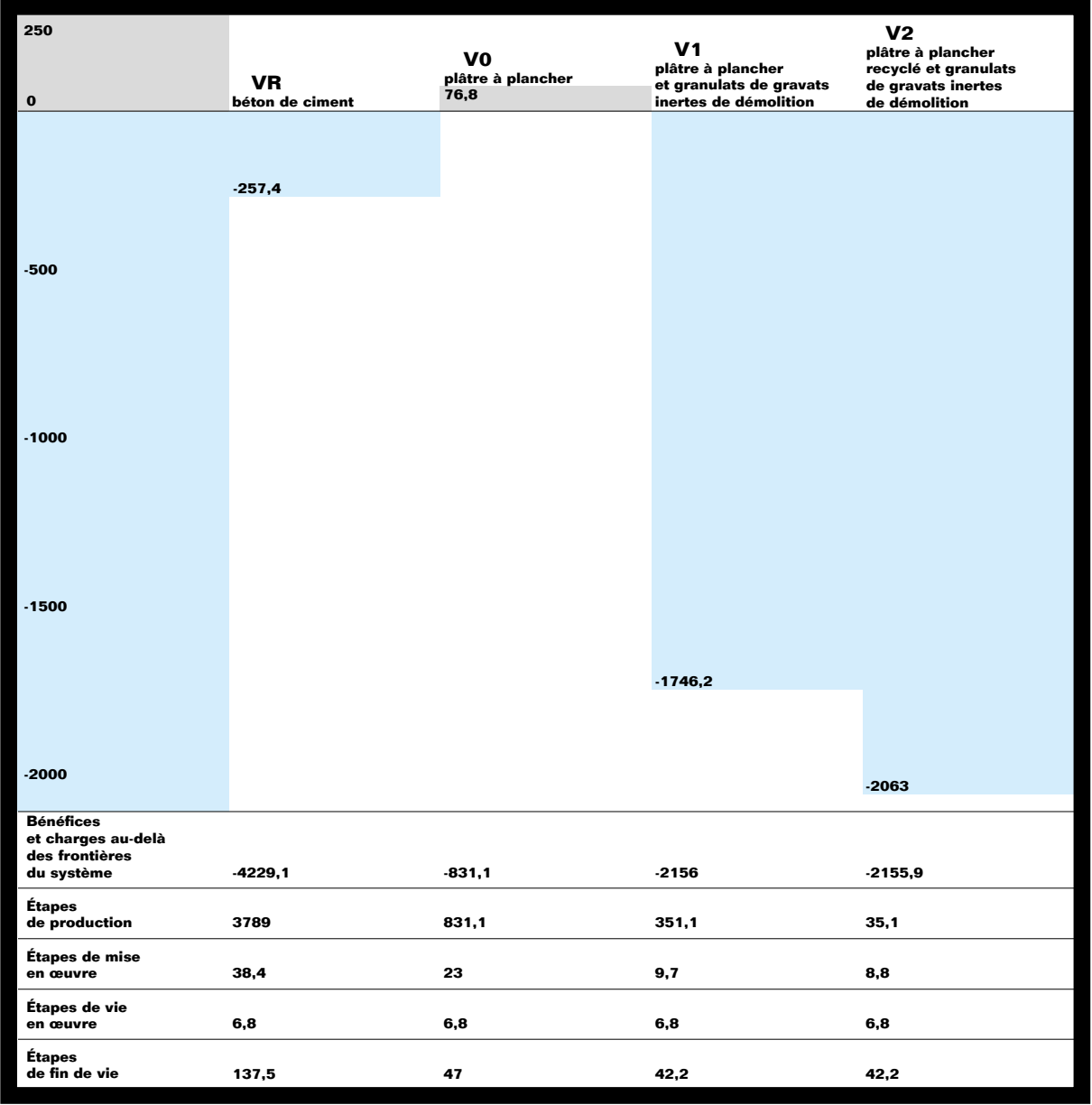
Du point de vue de l'épuisement des ressources naturelles, notamment du gravier et du sable nécessaires à la fabrication du béton de ciment, le scénario de référence VR présente un bilan quasiment neutre, voire bénéfique (avec un impact négatif), grâce à l'effort conduit par les acteurs de la construction pour valoriser les déchets inertes de béton en granulats routiers.

Toutefois, l'extraction du gypse utilisé dans la fabrication du plâtre constituant la chape présente des impacts beaucoup plus faibles que ceux de la production de béton, et ce, quelles que soient les versions (étapes de production).

L'utilisation de granulats recyclés dans les chapes V1 et V2 permet d'en éviter l'extraction et présente donc des bénéfices vis-à-vis de l'épuisement des ressources.

Enfin, la variante V2 à base de plâtre recyclé et granulats de réemploi présente le meilleur bilan, grâce à l'utilisation quasi exclusive de produits issus du recyclage, ce qui permet de diminuer nettement la consommation de ressources minières.

Bilan (éco-point)



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse des cycles de vie des différents matériaux de chape prototypés montre la pertinence écologique de ces matériaux et de leurs conditions locales de production, avec notamment des granulats réemployés *in situ*, un liant recyclable, sourcé dans la région et nécessitant peu d'énergie de transformation.

Concernant l'extraction du gypse, celle-ci a moins d'impact que l'extraction du sable et des graves, mais dans une logique de déploiement à grande échelle de cette alternative, il serait nécessaire de mener une étude sur la disponibilité de la ressource. Du point de vue du réemploi des granulats issus des gravats de chantier, l'ACV a permis de démontrer les bénéfices d'une réutilisation sur site, en limitant la masse de matériaux à transporter.

D'autre part, l'étude montre également l'échelle de l'impact du béton de ciment, remettant ainsi à nouveau en question son emploi quasi systématique dans des applications de chapes de sol coulées en dépit de la sous-exploitation de ses propriétés mécaniques, de son impact sur les ressources en sable et sur le réchauffement climatique.

Les bons résultats du béton de ciment concernant l'indicateur d'épuisement des ressources naturelles ne sont valables qu'en considérant la réutilisation des déchets de béton en granulats pour sous-couches routières. Toutefois, ces résultats soulèvent des points qui posent question : les méthodes d'extraction (carrières à ciel ouvert, consommation des sols et impacts sur l'écosystème) ; la dégradation de l'usage du béton en sous-produits ; enfin, la validité de ce mode de calcul, qui repose sur la perspective de construire des routes de façon indéfinie. Ces constats confortent un sentiment d'urgence à imaginer des alternatives plus frugales, telles que celles proposées ici.

Enfin, cette étude interroge les limites de l'évaluation environnementale conventionnelle qui a tendance à valoriser des pratiques de filières établies. En effet, les grandes filières de matériaux, au-delà des effets d'optimisation liés à leur échelle, ont su se structurer pour quantifier et limiter leur impact environnemental, tandis que les filières de matériaux émergents ou artisanaux ne profitent pas encore de cet effort de structuration.

Des tests de recyclage sont en cours d'expérimentation, en collaboration avec les artisans plâtriers des Pierres de Montreuil, en prenant en compte la difficulté que présente l'ajout de granulats inertes dans le plâtre pur pour son recyclage, ainsi que l'impact environnemental du procédé de recyclage lui-même.

En parallèle, une solution est envisagée : le réemploi du matériau sans recuisson ni recyclage, à partir de dalles pré-coulées en atelier et posées sur site une fois sèches. Ce scénario permet d'imaginer une pose simplifiée, une maintenance facilitée et surtout une déconstruction et un réemploi aisés des dalles de béton de plâtre sans transformation du matériau.

Alors que les matériaux élaborés attestent en sortie de laboratoire de performances qui sont satisfaisantes pour les applications visées, en ateliers, en bureaux et en logements, les différentes formulations et mises en œuvre imaginées seront appliquées dans un lieu démonstrateur qui permettra de tester dans la durée et au cours de son usage le comportement de ces bétons de plâtre, et d'éprouver leur vie en œuvre.

Béton de plâtre

Étude réalisée avec le soutien du Pavillon de l'Arsenal dans le cadre du programme FAIRE

Éditions du Pavillon de l'Arsenal
Centre d'urbanisme et d'architecture de Paris
et de la Métropole parisienne

Alexandre Labasse, architecte, Directeur général,
directeur de la publication

Marianne Carrega, architecte, Adjointe au Directeur
général, Responsable des éditions

Jean-Sébastien Lebreton, architecte, Responsable
des expositions, avec Adèle Busschaert,
Sophie Civita, Valentine Machet et Ines Journoud,
architectes, chargées de production

Julien Pansu, architecte, Directeur de la
communication, du multimédia et du développement
des publics, avec Estelle Petit et Eline Latchoumy

Léa Baudat, Responsable de la documentation,
avec Violette Giaquinto, chargée de documentation

Conception scientifique ciguë

À la croisée de l'architecture, du design et de
l'installation, ciguë réactive les archétypes pour
produire des univers contemporains. Ses projets
sont traversés par l'expérimentation, la nudité des
dispositifs et la radicalité du collage. Réunissant
une équipe de 20 personnes à Montreuil, l'atelier
est le théâtre d'élaborations de lieux et de
matériaux. En déhiérarchisant les échelles et en
décloisonnant les savoir-faire, ciguë réconcilie
notre manière d'habiter le monde et de le construire.

Conseils scientifique et technique Vieujot

Conseil scientifique et essais en laboratoire Université Gustave Eiffel

Études des cycles de vie Le Sommer Environnement

Conseils techniques et essais de recyclage Les Pierres de Montreuil

Conception graphique Syndicat

Secrétariat de rédaction Laure Dupont

Le Pavillon de l'Arsenal, les commissaires
scientifiques et ciguë remercient les nombreux
acteurs qui ont contribué à cette étude et nous
permettent d'envisager l'émergence d'un béton
de plâtre sur le territoire francilien par la création
d'un réseau d'acteurs issus de la recherche,
de l'industrie, de l'artisanat du plâtre, du béton,
des métiers de la démolition et du recyclage :

Marc Potin, ingénieur et dirigeant de la société
Vieujot, usine de transformation de gypse
à Soisy-sous-Montmorency spécialisée dans la
fabrication et formulation de plâtres spéciaux,
conseils techniques
> <https://vieujot.org/>

Bogdan Cazacliu et Erwan Hamard, chercheurs au
laboratoire Granulats et Procédés d'Élaboration
des Matériaux au sein du département Matériaux
et Structures de l'Université Gustave Eiffel,
accompagnement scientifique et essais en
laboratoire
> <https://www.gpem.ifsttar.fr>

Jean-Christophe Aguas, Mathilde Besson,
Alexandre Charousset, Michel Le Sommer, équipe
du bureau d'étude Le Sommer Environnement,
experte dans l'évaluation environnementale de
projets bâti, analyses de cycle de vie des matériaux
> <http://www.lesommer.fr/web/home.html>

Loïc Dollet, Charles-Louis Roseau, artisans maçons
et plâtriers, membres de l'association Pierres
de Montreuil qui oeuvre pour la restauration du
patrimoine bâti en plâtre par la formation, conseils
techniques et essais de recyclage
> <https://lespierresdemontreuil.fr/>

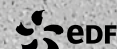
Édith Serralheiro, artisan experte dans le
revêtement et la finition de sols en béton, murs et
mobilier, dirigeante de la société Quand les filles
s'en mêlent
> <https://quand-lesfilles.com/>

Benoît Roglet, directeur de la société RME, spé-
cialisée dans les solutions de concassage sur site
> <http://rme-solutions.fr/>

Tiffanie Le Dantec, docteure en histoire de
l'architecture et du patrimoine, Jean Ducasse-La-
peyrusse, ingénieur-chercheur au Cercle des
partenaires du Patrimoine, Joël Tressol, artisan
maçon, et bien d'autres.

Achévé d'imprimer sur les presses
de l'imprimerie XXXXX
ISBN XXXXXX
Dépôt légal : XXXX 2021
© Pavillon de l'Arsenal, 2021
www.pavillon-arsenal.com

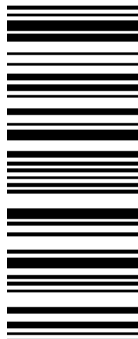
FAIRE est une plateforme expérimentale destinée aux architectes. Elle a pour ambition de faciliter la
réalisation de prototypes à échelle 1 dans le Grand Paris, d'accompagner et de promouvoir la recherche
appliquée et de favoriser la mise en œuvre de nouveaux process, matériaux et programmes de
construction. Plateforme créée par le Pavillon de l'Arsenal avec le soutien de la Ville de Paris, de la
Caisse des dépôts, de MINI et EDF.



BÉTON DE PLÂTRE

ÉTUDE POUR UNE CHAPE POST-CIMENT

13 euros — 9-782354-870454



PRÉAMBULE	p. 03
1. CONSTRUIRE EN PLÂTRE	p. 08
Production du plâtre	p. 09
Plâtre de Paris et plâtre à plancher	p. 09
Un matériau liant et recyclable	p. 10
Un matériau de réemploi	p. 10
2. DIGÉRER NOS GRAVATS	p. 22
Magnifier nos déchets	p. 23
Une alternative locale, un lieu d'application	p. 23
De l'intuition à la démarche de recherche	p. 23
3. ÉLABORATION DU MATÉRIAU	p. 26
Protocole expérimental en atelier	p. 27
Démarche de recherche	p. 30
Mode opératoire	p. 30
4. ANALYSE DES ESSAIS EN LABORATOIRE	p. 40
Description des essais	p. 41
Pertinence et résultats des essais	p. 41
Résistance en compression	p. 43
Résistance au poinçonnement	p. 45
Résistance à l'abrasion	p. 47
Conclusion des essais	p. 51
5. ANALYSE DE CYCLE DE VIE DU MATÉRIAU	p. 52
Cadre de l'étude	p. 53
Indicateur de changement climatique	p. 54
Indicateur d'épuisement des ressources naturelles	p. 55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	p. 56