

Retour d'expérience : Réemploi de pierres en maçonnerie

Pilote : La Fabrique de Guyenne

Opération : Techniques de construction d'une chapelle du début du XI^e siècle - mise en œuvre des maçonneries de pierre, pierres de taille et mortier



Vidéo du chantier [sur le site internet](#)

1.	Contexte.....	2
1.1.	Introduction.....	2
1.2.	Informations générales	3
1.3.	Gouvernance et acteurs.....	3
1.4.	Nature du chantier	3
1.5.	Matériaux réemployés.....	3
1.6.	Type de réemploi et logistique	4
1.7.	Calendrier	4
1.8.	Quantités et tonnages réemployés	4
2.	Opération	5
2.1.	Le programme architectural	5
2.2.	Les matériaux	5
2.3.	Stratégie de réemploi	6
3.	Annexes.....	16
3.1.	Assurance et conformité	16
3.2.	Aspects financiers	16
3.3.	Changement de pratiques et sensibilisation	16



Pour des raisons de simplification, le terme « réemploi » est utilisé pour désigner les pratiques de « réemploi, de réutilisation et de préparation en vue d'une réutilisation ».

1. Contexte

1.1. Introduction

Le Chantier Médiéval de Guyenne est né d'une volonté forte : partager et transmettre les savoir-faire des bâtisseurs de cathédrales.

Aujourd'hui, ces métiers sont en tension, aussi bien dans les entreprises que dans les centres de formation, en raison du manque de transmission intergénérationnelle. Des projets emblématiques tels que l'Hermione ou Guédelon ont démontré l'intérêt du grand public, et notamment des jeunes, pour ces techniques ancestrales en voie de disparition.

En 2018, sous l'impulsion de Valéry Ossent, ingénieur et tailleur de pierre, l'association Fabrique de Guyenne a été fondée par des professionnels du patrimoine – entrepreneurs, artisans, artistes, historiens et architectes – désireux de préserver et valoriser ces savoir-faire.

Une partie des pierres sont issues de la déconstruction des bâtiments du chantier Canopia (pilote par Apsys et financé par Ecominéro). Cette collaboration entre deux MOA d'un même territoire démontre l'importance du réseau local dans le développement des pratiques de réemploi et de réutilisation des produits de construction.

Ce chantier permet notamment un retour d'expérience sur une méthode de caractérisation et validation des performances des pierres mêlant empirisme et technologies.

Ce chantier est lauréat des appels à projets pilotés par Ecominéro

Montant du soutien : 20 000 €

1.2. Informations générales

Nom du projet : Chantier Médiéval de Guyenne : un projet de transmission et de réemploi des matériaux

Localisation : La lande de Fronsac, Nouvelle Aquitaine

Type d'ouvrage :

- Une chapelle de style roman primitif,
- Les soubassements d'une église romane,
- Un cloître dont les quatre galeries illustreront l'évolution architecturale entre ces deux périodes,
- Des bâtiments conventuels : réfectoire, dortoir, scriptorium, salle capitulaire.

1.3. Gouvernance et acteurs

Acteur	Rôle
La Fabrique de Guyenne Association auto constructrice, chantier d'insertion	MOA et Entreprise

1.4. Nature du chantier

Type de travaux : construction neuve, ouvrage en pierre en reconstitution architecturale du XI^{ème} siècle. Chantier participatif et visitable par le public

Objectif principal : Une ambition architecturale et pédagogique sur 40 ans – le projet architectural consiste à reconstruire, en utilisant exclusivement des techniques et matériaux traditionnels, un ensemble de bâtiments s'échelonnant de l'époque romane à l'époque gothique, dans le cadre d'un chantier-école.

Le chantier vise à retrouver les techniques d'autrefois comme l'équarrissage manuel des poutres, la taille de pierre au taillant et au ciseau, le soufflage de verre plat en cive et manchons.

Durée de l'intervention : 1 an (hiver 2024 – hiver 2025)

1.5. Matériaux réemployés

Matériaux concernés : pierre de taille, moellon en pierre

Applications visées : appareillage en moellons ou pierre de taille

1.6. Type de réemploi et logistique

Type de réemploi : en approvisionnement externe, issu de chantiers locaux, notamment du chantier de déconstruction Canopia (proche de la Gare Saint-Jean) des artisans locaux et des particuliers

Stockage : ---

Transport : ---

1.7. Calendrier

- Hiver 2024 – 2025 : identification de gisements, partenariats
- Automne 2025 : Tri des matériaux, conditionnement, mise en œuvre,
- Hiver 2025 : Mise en place d'un protocole d'étude sur les maçonneries

1.8. Quantités et tonnages réemployés

- Pierre de taille – 6 tonnes
- Moellons en pierre - 165 tonnes

2. Opération



2.1. Le programme architectural

D'une dimension de 8 mètres de haut, d'une largeur de 7 mètres et d'une longueur de 12 mètres de long, la chapelle primitive répond à des caractéristiques architecturales de mises en œuvre communes sur un territoire allant des Pyrénées à la Normandie :

- Maçonnerie de petit appareils (petits moellons appelés également « pierres de champs » issus des remontées des couches supérieures des plateaux rocheux ayant subis des cycles de gel et ramassés au cours des labours)
- Garni des maçonneries des murs (en moyenne 0.80m) à l'aide de mortier de chaux et/de terre et dégraissant (sable, grave, galets de silex...)
- Encadrement en pierres de taille d'assises irrégulières parfois posées en délits pour les roches sédimentaires

2.2. Les matériaux

Les édifices de cette période se caractérisent souvent par de la récupération de pierres issues de bâtiments gallo-romains et les techniques d'extraction ne permettent pas encore de fournir des blocs réguliers et restent de petites tailles (capables d'être portés par un homme).

Les petits moellons proviennent de récupération sur des édifices des 18e et 19e siècle sur le Fronsadais et de résurgences sur une exploitation viticole partenaire.

Pour la pierre de taille, l'association a fait le choix de travailler avec des matériaux de récupération provenant essentiellement de chantier de démolitions (notamment le chantier Canopia). Les pierres (calcaire à Astéries) sont retaillées sur le chantier et placées dans l'édifice en fonction de leurs caractéristiques.

La mise en œuvre se fait avec un mortier composé de chaux NHL5 (la société Saint-Astier) et d'une grave minière brute (sable, argile, galets de silex). Le mélange est réalisé sur site à la main.

2.3. Stratégie de réemploi

Un chantier durable basé sur le réemploi des matériaux

Le choix des matériaux constitue un enjeu central du projet. Ne disposant ni de carrières exploitables sur site, ni des ressources financières pour l'achat des matériaux, nous avons mis en place un système de récupération des matériaux inertes issus de chantiers de démolition. Cette démarche s'inscrit pleinement dans une logique d'économie circulaire et de valorisation des ressources.

Les fondations des bâtiments sont réalisées en maçonnerie cyclopéenne, un assemblage de moellons en pierre dure non gélive liés au mortier de chaux. Pour la chapelle, elles ont été creusées à 1,50 mètre de profondeur. Les murs, et notamment l'appareillage en moellons et pierre de taille, sont bâtis selon des techniques adaptées aux différentes périodes historiques.







Protocole de qualification et de validation expérimentale des pierres issues de la déconstruction pour leur réemploi en maçonnerie a fait le choix de réaliser une partie des tests de caractérisation / performance sur site (méthode empirique et technologique). Les résultats sont revalidés par des tests en laboratoire.

1. PROCÉDURE INTERNE : SUR LA PLATEFORME DE RÉEMPLOI

Objectif et champ d'application du protocole interne

Le protocole s'applique à l'ensemble des pierres naturelles récupérées sur chantier de démolition (calcaires, grès, granits, etc.) et destinées à un réemploi en maçonnerie.

L'objectif de la méthodologie est de permettre de :

- Réceptionner et tracer un lot de pierres démolies (farde, big-bag, benne, palette),
- Évaluer rapidement l'aptitude au réemploi en maçonnerie apparente ou courante,
- Décider si le lot doit rester seul (car propriétés techniques distinctes) ou peut être ajouté à un lot similaire (même usage / même mise en œuvre),
- Enregistrer toutes les données dans un formulaire (interface de la base de données) et indiquer instructions de stockage.

Réception du lot et enregistrement

Avant la réception, le Maître d'ouvrage ou son prestataire remplit une demande de dépôt dans la base de données via une interface de type formulaire :

- L'apporteur,
- Le maître d'ouvrage,
- Le descriptif de la construction d'origine (adresse chantier, âge, localisation des matériaux dans la construction, intérieur/extérieur, ...),
- Les photos du lot avant démolition et après démolition,
- Le volume et/ou le poids estimé ou nombre des pièces selon le cas,
- Nombre de livraison (camion) envisagée.

L'agent d'accueil sur le chantier contrôle chaque livraison avant vidage et revalide les données enregistrées par le Maître d'ouvrage.

Les observations initiales avant vidage : état, présence de contaminants (peinture, ciment, produits) ou d'indésirables (terres, bois ou autres déchets non minéraux) peuvent amener à refuser un lot avant son vidage si celui-ci n'est pas conforme à la description.

Si le lot ou partie de lot peut être déposé, l'agent d'accueil l'enregistre et lui affecte (automatique) :

- Un numéro de lot (identification de la demande initiale),
- Un numéro de livraison : basé sur le numéro de lot + date de livraison + heure.

Inspection visuelle

Les caractéristiques principales de chaque lot ou sous-lot sont décrites :

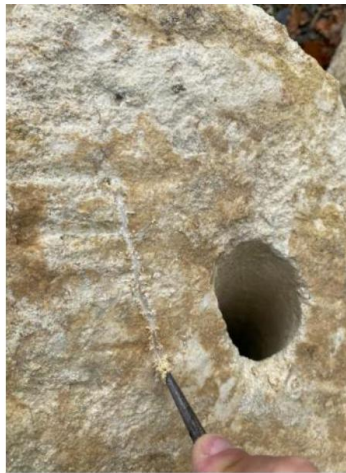
- Type de pierre matières et format (moellons, pierre de taille...)
- Gamme de couleur
- Granulométrie / composition
- Dimension des pièces
- Photos de détail (faces, litage, faciès, défauts...)

Chaque livraison (lot ou sous-lot) est également inspectée pour décrire :

- Apparence générale : pierre saine / altérée (effritement surface) / pierre gélive apparente
- Présence de croûtes salines / efflorescences/ calcin
- Présence de traces de traitement (crépis, enduits plâtre, peinture, ciment, revêtements)
- Présence d'inclusions dangereuses (amiante dans joint, peinture ou enduit, plomb...) si suspect, retenir lot et alerter expertise.
- Fractures visibles / pièces en demi-blocs / fortement fissurées.
- Humidité apparente (mouillé / sec)

Les lots ou sous-lots présentant des contaminants non-identifiés sont isolés. L'observation est accompagnée de photographies rapprochées. Une fiche de non-conformité est remplie et envoyée au MOA et son prestataire pour demander un retrait par ses soins ou la prise en charge de l'évacuation vers la filière agréée.

Des tests simples et empiriques sont réalisés pour compléter cette première qualification, issus des savoir-faire des tailleurs de pierre. Les opérateurs rayent la pierre à l'aide d'une pointe à tracer en acier trempé afin de juger la pénétration de celle-ci : est-elle profonde ou en surface, se fait-elle avec peu ou beaucoup d'effort. Il est également possible de faire sonner la pierre et tapant dessus avec la pointe et être attentif à la résonance ou au contraire si le son est mat. Ces tests vont donner des indications sur le fait que les pierres soient tendres ou demi-dures voire dures, et si elles contiennent des fragilités internes. Plus la pierre est tendre plus la pointe pénètre dans la pierre.



Classification du lot par mesures ultrasoniques

L'association a utilisé un appareil UK1401 permettant d'évaluer de manière non-destructive la compacité / homogénéité / présence de fissures (ou vides) du matériau par mesure de la vitesse de propagation ultrasonore. En fonction du classement du rapprochement entre lot pourra être envisagé.

Descriptif sommaire de l'équipement : <https://acs-international.com/product/uk1401/>

- Appareil à deux transducteurs,
- Base de mesure 150 mm,
- Modes VELOCITY / TIME / CRACK / FRONT / STRENGTH ;
- Précision $\approx \pm (0.01 \cdot c + 10)$ m/s et résolution 10 m/s.
- Mesures de force calculées sur 4 positions (V1..V4) et la moyenne V_m ;
- Mesure considérée invalide si une valeur sort de $V_m \pm 2\%$. Mode CRACK / FRONT permet repérer fissures / profondeur.
- Plages de fonctionnement du dispositif (-30 à +55 °C, humidité jusqu'à 95%).

Les seuils proposés sont issus de la bibliographie (Parent & Al.) pour les pierres calcaires. Ils pourront être utilisés comme base pour d'autres pierres, avec ajustement par calibration spécifique.

Ces classes sont proposées comme outil opérationnel et doivent être validées/calibrées par 5-10 essais destructifs locaux si possible, en comparant V_p et résistances.

Parent donne indications de gammes pour calcaires (valeurs observées) :

- Classe A - Pierre « dure » : $V_m > 3\,800$ m/s

Usage : moellons porteurs, pierres de soubassement, parement fin possible.

- Classe B - Pierre « moyenne » : $3\,000 < V_m < 3\,800$

Usage : parement courant, maçonnerie non portante, remplissage, rejointoiement suivant état.

- Classe C - Pierre « tendre ou altérée » : $V_m < 3\,000\text{ m/s}$

Usage limité : appareillage intérieur, éléments non structuraux, ou refus pour maçonnerie extérieure porteuse.

Les formules de calcul pour la conversion en valeur équivalente d'essais mécaniques (compression, densité, porosité) seront basées sur les données bibliographiques dans un 1er temps puis ajustées après essais calibration par le laboratoire IME. Elles seront pré-enregistrées dans la base de données.

Méthodologie de mesures

Préparation :

- Nettoyer la surface (dépoussiérer) au droit de la zone de mesure. Surface brute la plus plane possible (pas d'enduit ou autre).
- Vérifier batterie, réglages : fréquence d'accumulation (par défaut 4 ou 8), mode « VELOCITY », unités : m/s et positionner langage/fréquence dans SETUP si nécessaire.

Procédure de mesure (par bloc représentatif) :

- Pour chaque "échantillon" représentatif du lot (voir nombre ci-dessous), faire 4 mesures V1 à V4 selon l'écran conseillé par l'instrument ; enregistrer chaque valeur en mémoire/appuyer ENTER pour enregistrer chaque V. L'instrument calcule V_m (moyenne).

Si une mesure sort de $V_m \pm 2\%$ elle est considérée invalide et l'opération doit être répétée. Des mesures complémentaires peuvent être faites en mode CRACK ou FRONT pour détecter les fissures.

- Nombre de blocs mesurés par lot (recommandation pratique) Petit lot ($< 2\text{ m}^3$) : mesurer 3 blocs distincts

Lot moyen ($2\text{--}10\text{ m}^3$) : mesurer 6 blocs ;

Grand lot ($> 10\text{ m}^3$) : mesurer 10 blocs distribués (au moins 1 par palette/benne). Ces effectifs équilibrent rapidité / représentativité sont à ajuster selon hétérogénéité visuelle.

- Pour chaque bloc enregistrez : position sur lot (photo), humidité (sec / humide), présence de fissure visible (oui/non) ; si fissure visible, faire mesure en CRACK et FRONT pour estimer profondeur et front duration (microfissuration).

En fonction des résultats un même lot peut être amené à être trié et séparé en plusieurs sous-lots en fonction des classes ci-dessus.

Conseils pratiques & pièges à éviter :

- Respecter la perpendicularité des transducteurs à la surface et la base 150 mm de l'appareil. Tenir l'appareil stable pendant la mesure.
- Ne pas utiliser le mode STRENGTH et la formule de conversion « Concrete » fournie par l'appareil pour pierres calcaires ; Les formules sont pour le béton. Pour les pierres, se référer aux corrélations issues des travaux de Th Parent et puis compléter par le calibrage local (voir ci-après).
- Toujours documenter l'état hydrique ; indiquer si pierre humide et si possible mesurer à sec et après séchage car il a été observé un effet sensible de l'eau sur la résistance.
- Pour pierres de petites dimensions, attention aux effets de bord et fausses mesures — réduire la fréquence d'émission et multiplier l'accumulation de mesure.
- Si grande variabilité au sein d'un lot, opérer un tri en plusieurs sous-lots homogènes.

Décision de tri et stockage

Principe général : Les lots de même classe et caractéristiques visuelles similaires peuvent être regroupés. Les pierres tendres sont stockées à l'abri de l'humidité, sur supports boisés. Les lots incertains sont placés en quarantaine pour examen approfondi ou retour au MOA ou élimination.

Règles de décision pour grouper des lots ou sous-lots de lots différents :

- Ne jamais mélanger des lots de classes différentes (ex. A + C) pour utilisation structurale.
 - Les lots peuvent être combinés l'un à l'autre si : Mêmes classe UK1401 (A/B/C) (V_m moyenne $\pm 5\%$),
 - Même apparence visuelle (absence/présence d'altération, couleur),
 - Humidité similaire (sec vs humide),
 - Pas de contamination d'un lot.
- Si V_m moyen du lot a écart-type élevé ($>5-10\%$) → lot hétérogène : séparer en sous-lots selon clusters de V_m , ou demander tri/essai destructif.
- Si mesures CRACK / FRONT signalent fissuration de surface / profondeur importante → réserver pour expertise (examen approfondi par expert) ; possible rejet si fissures profondes atteignent $> 20-30$ mm (valeur indicative dépendant de l'usage). Utiliser mode CRACK pour quantifier.

Conditions de stockage sur la plateforme et traçabilité post test sur site

Les pierres de taille sont stockées sur surface plane, sur cales bois, protégées de la pluie par bâche respirante selon sa qualité.

Les moellons sont stockés selon leurs dimensions en palettes ou big bag.

Les classes sont séparées. Chaque lot porte une étiquette visible indiquant sa classe et son ID.

Attention à la sécurité en constituant des empilages stables et éviter les chocs qui fragmenteraient les pièces.

Traçabilité : conserver à minima 3 ans fiches lot + photos + export mesures UK1401 ou transfert avant lors de la vente du lot.

Au-delà de 3 ans : revalider les caractéristiques du lot et l'intérêt de le conserver.

Points de contrôle qualité et escalade

Dès le début puis en fonction des apports, valider les classes et la calibration en réalisant 8 à 12 essais mécaniques (compression, cisaillement, flexion, cycles gel/dégel) en de laboratoire répartis sur matériaux entrants en fonction des différentes qualités (Pierre de Bordeaux, de St Macaire de Frontenac...) pour caler les courbes $V_p \leftrightarrow$ résistance/densité. Voir la méthodologie et la nécessité de calibration dans la Thèse de Th. Parent.

L'escalade est la procédure de remontée d'alerte en cas d'anomalie détectée.

- Niveau 1 : anomalie mineure (valeurs dispersées, humidité élevée) → recontrôle.
- Niveau 2 : anomalie moyenne (fissures visibles, hétérogénéité du lot) → signalement au responsable technique.
- Niveau 3 : anomalie majeure (pollution, effritement généralisé) → blocage du lot et demande d'expertise externe.

Chaque cas d'escalade est enregistré dans la base avec décision corrective.

Références normatives et bibliographiques

NF EN 14579 : Mesure de la vitesse de propagation ultrasonore.

DIN EN 12504-4, ASTM C597 : Essais non destructifs.

Parent, T. et al. (2015) – Mechanical characterization of limestone.

UK1401 Manual (2020) – Ultrasonic tester operating instructions.

Thèse T. Parent (Université Bordeaux, 2015) – Étude des calcaires du Sud-Ouest.

2. PRINCIPE DU PROTOCOLE D'ÉTUDE LABORATOIRE SUR LES MACONNERIES

Ce protocole définit les essais de validation à conduire avec le laboratoire I2M de l'Université de Bordeaux. L'objectif est de vérifier la corrélation entre la qualification initiale réalisée sur la plateforme de réemploi obtenue par mesures ultrasoniques et le comportement mécanique réel des maçonneries constituées de matériaux réemployés.

Les résultats permettront de confirmer les seuils de classification, de proposer des recommandations d'usage et de définir les garanties minimales pour chaque catégorie de matériau selon les performances mesurées.

Le protocole (expérimental) inclue :

- Sélection de lots qualifiés par le protocole (classes A, B, C).
- Construction d'échantillons de maçonnerie (panneaux 1 m²) selon diverses techniques : liant chaux, mortier ciment, pose à sec.
- Essais mécaniques : compression, cisaillement, flexion, cycles gel/dégel.
- Suivi des déformations, cartographie des fissures.
- Analyse statistique Vp – résistance – durabilité.

Calibration inter-matériaux

Une base de données sera construite pour chaque type de pierre.

Pour les pierres autres que calcaires, des séries d'essais destructifs seront réalisés pour établir les équivalences de vitesse ultrasonore et de résistance mécanique. Cela permettra d'adapter les seuils de classification.

Pour établir la relation entre vitesse ultrasonore et résistance mécanique, des échantillons représentatifs sont testés simultanément en ultrason et en compression. Les données sont ajustées par régression linéaire (voir les graphiques et formules susvisées et graphiques ci-après). Chaque famille lithologique (calcaire, grès, granit) doit disposer d'au moins 10 points de mesure.

Des formules de corrélations entre la force de compression et la densité et entre la porosité (%vides) permettent de valider les corrélations avec la vitesse ultrason.

3. Annexes

3.1. Assurance et conformité

Voir protocole de qualification

3.2. Aspects financiers

Non renseigné

3.3. Changement de pratiques et sensibilisation

Sensibiliser et former les nombreux professionnels qui viennent sur le chantier et qui demain auront à restaurer des édifices de la période médiévale.

Ce qu'il faut retenir

Utilisation d'un protocole mixte de validation des performances de pierres calcaires ; s'appuyant sur une connaissance empirique et technologique.

Contacts



Valery Ossent

Responsable de chantier

contact@guyenne-medieval.com

MàJ : Février 2026