



PIERRE NATURELLE : MIXITÉ BOIS-PIERRE, CONSTRUCTION HORS SITE ET RÉEMPLOI

16ÈME
JOURNÉE TECHNIQUE
DU CTMNC

MARDI 11 JUIN 2024
À FCBA DE BORDEAUX



Le réemploi de la pierre, de l'analyse des freins, à la mise en place de solutions.

Tristan Pestre et Martin Vigroux - CTMNC

Plan de présentation

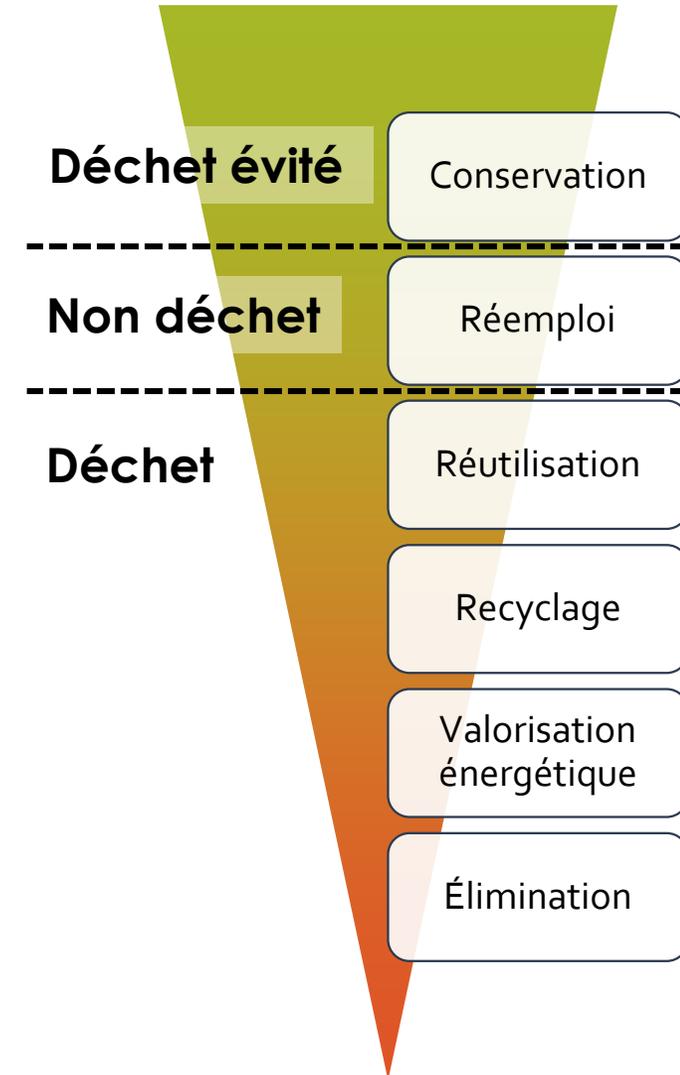
1. Le réemploi de la pierre naturelle : le constat
2. Freins au réemploi et parades (PN DOLMEN Axe 5)
3. Normes, réglementations et assurabilité
4. Etat de l'art : exemples d'outils & guides existants
5. Place à l'action (GT Réemploi RHONAPI, REX CTMNC ROC)

Définitions

Réemploi, réutilisation, recyclage

- **Réemploi** = toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un **usage identique** à celui pour lequel ils avaient été conçus (Article L541-1-1 du Code de l'environnement).
- **Réutilisation** = substances, matières ou produits devenus des déchets et **utilisés de nouveau**.
- **Recyclage** = opération de valorisation matière reposant sur un **processus de transformation de déchets** en des substances, matières ou produits.
- **Ces « 3R »** = principales solutions pour **revaloriser** des éléments en fin de vie.

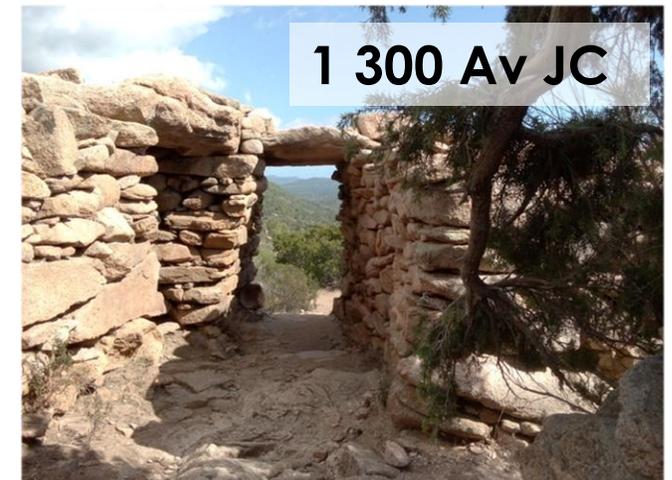
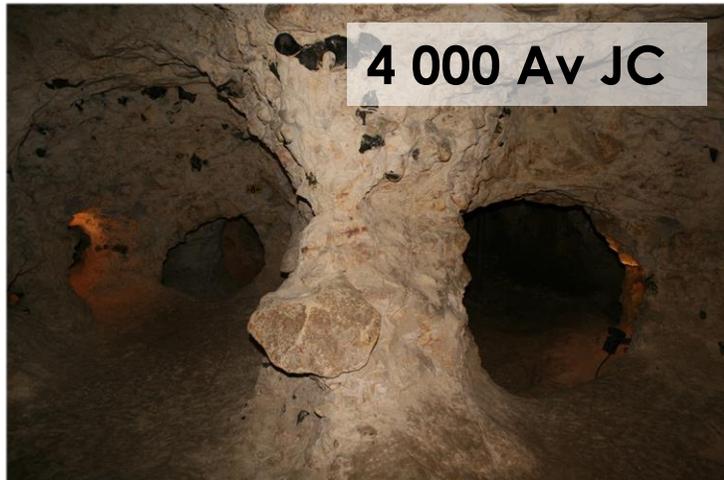
Hiérarchie des modes de traitement des déchets



1. Le réemploi de la pierre naturelle : le constat

Avant le réemploi, l'emploi

- Premières utilisations de la pierre pour la construction : récupération de pierres alluvionnaires ou issues de l'érosion naturelle.
- Pierres dures (mines de silex) pour tailler des pierres plus tendres, puis alliages pour tailler les pierres plus dures.
- **Travail difficile et grande durabilité du matériau : récupération = logique et naturelle.**



1. Le réemploi de la pierre naturelle : le constat

Avant le réemploi, l'emploi

- Bonne conception, entretien et restauration = grande durabilité.



1. Le réemploi de la pierre naturelle : le constat

Nombreux exemples de réemploi dans l'histoire

- Réutilisation d'éléments de monuments (locaux ou non),
- Nouvelles constructions avec des éléments de ruines,
- Déconstruction & reconstruction d'ouvrages.

Selon Articonnex : « *Le réemploi, une histoire de siècles* », 2020 :

- Du 11^{ème} au 18^{ème} : affiches distribuées aux alentours du chantier de démolition pour informer d'une vente publique des éléments.
- 19^{ème} : appels d'offres des pouvoirs publics pour la démolition. Lauréats qui peuvent revendre les éléments récupérés à proximité.



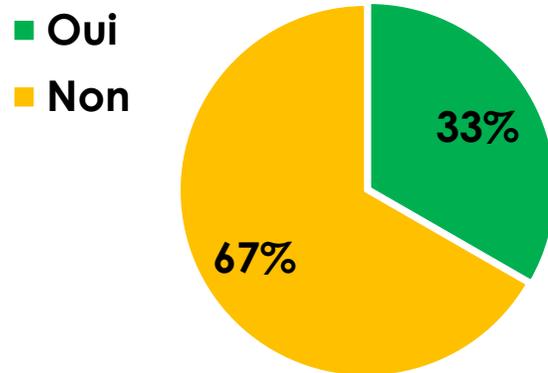
Colonnes Antiques,
Cathédrale Notre-Dame-de-
Nazareth de Vaison-la-Romaine.
Caroline Lefebvre (2017).
<https://doi.org/10.4000/mefrm.3570>

1. Le réemploi de la pierre naturelle : le constat

Oubli et renaissance

- Ère industrielle, matériaux bon marché abondants.
- Encore pratiqué, mais à petite échelle.
- Société sécuritaire, besoin d'encadrer la pratique.

Actuellement : Engagez-vous des actions en faveur du réemploi ?



DolmEn

Développement d'Outils et de Logiciels
pour la Maçonnerie Existante et Neuve



Ex. : Musée de Ningbo, Chine

2. Les freins au réemploi de la pierre et solutions pour les lever.

www.pndolmen.fr

Tristan Pestre, CTMNC

Équipe projet : CSTB, CTMNC, MAÏA SONNIER

Journée technique CTMNC du 11/06/2024

► PN DOLMEN :

- Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Existante et Neuve.
- 65 partenaires (centres de R&D, fédérations, industriels, ingénieurs, bureaux d'études, MOA, ...).
- 5 Axes de travail :
 - Axe 1 : Caractérisation du matériau composite,
 - Axe 2 : Évaluation des structures existantes,
 - Axe 3 : Dimensionnement des constructions neuves,
 - Axe 4 : Maîtrise des incertitudes et des risques,
 - **Axe 5 : Analyse développement durable.**

► Fiche action « Freins à la réutilisation de la pierre » :

- Action proposée par J-L Martin (AREP),
- Lauréats : groupement CTMNC (pilotage), CSTB, MAÏA SONNIER.
- Travaux de décembre 2023 à juin 2024.

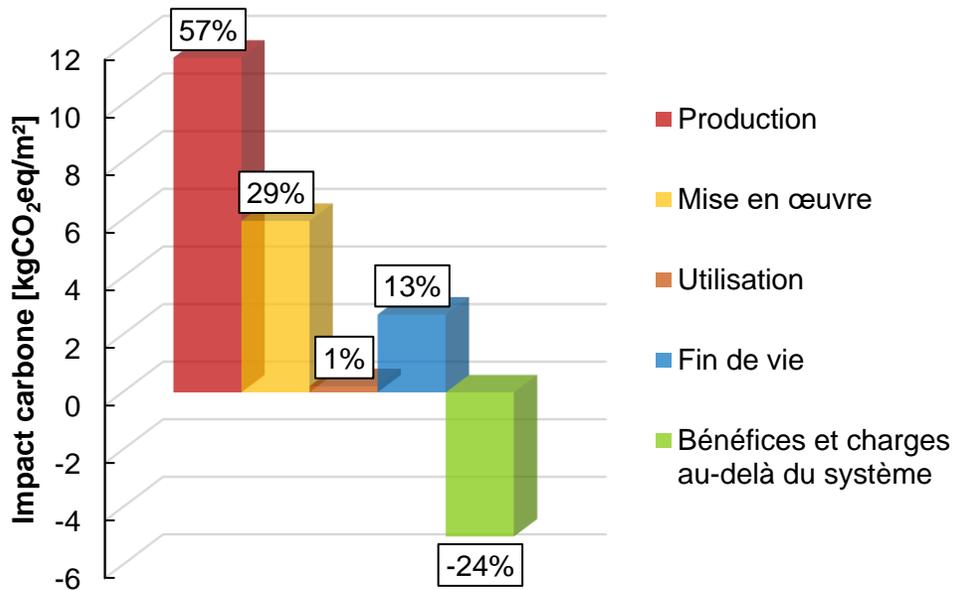


<https://pndolmen.fr/>



► Les enjeux du réemploi / de la réutilisation :

- Evaluation des gains environnementaux liés à la réutilisation / au réemploi d'éléments.
- Détermination des limites de rentabilité environnementale.
- Exemple pour une maçonnerie en pierre massive :
- Produit neuf $\approx 15 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ jusqu'à la livraison sur le chantier.



Scénarios :	Taux de réutilisation / réemploi [%]	Reconditionnement [%]	Livraison [km]	Bénéfices (-) ou charges (+) de la revalorisation [kgCO ₂ eq/m ²]
Réutilisation en local avec reconditionnement	90%	33%	60	-4,8
Réutilisation en local avec très fort reconditionnement	90%	90%	60	-0,2
Réutilisation partielle à l'échelle régionale avec reconditionnement	50%	50%	240	+0,7
Faible réutilisation à l'échelle nationale avec fort reconditionnement	25%	75%	480	+2,4
Très faible réutilisation à l'échelle transnationale avec très fort reconditionnement	10%	90%	960	+2,3
Seuil de rentabilité environnementale : distance parcourue	90%	33%	650	+15
Seuil de rentabilité environnementale : taux de reconditionnement	90%	450%	60	+15





Nomenclature des gisements de pierre :

► Pourquoi ?

- Identifier les différents types de gisement,
- Les différencier selon plusieurs facteurs :
 - Nature géologique,
 - Densité,
 - Propriétés,
 - ... ,
 - Contexte d'utilisation.

► Nomenclatures existantes :

- Diagnostic PEMD (bâtiment)
- NF B10-601

Pierre massive	<ul style="list-style-type: none">• Elévation en partie courante, sans possibilité de rejaillissement,• Assise de rejaillissement, balustre,• Appui de fenêtre,• Console,• Corniche, couronnement,• Main courante, saillie (> 6 cm),• Saillie ≤ 6 cm (encadrement de baie, bandeau, ...),• Soubassement,• Dalle massive de balcon,• Pile de pont,• Gargouille.
Revêtements muraux attachés	<ul style="list-style-type: none">• Revêtements intérieurs attachés,• Revêtements extérieurs attachés,• Elévation en partie courante,• Saillie (> 6 cm) et tablette d'appui de balcon,• Appui de fenêtre,• Soubassement,• Revêtement mince de couronnement d'acrotère ou autre ouvrage similaire.
Revêtements muraux collés	<ul style="list-style-type: none">• Revêtements intérieurs collés,• Revêtements extérieurs collés,• Elévation en partie courante,• Saillie (> 6 cm) et tablette d'appui de balcon,• Appui de fenêtre,• Soubassement,• Revêtement mince de couronnement d'acrotère ou autre ouvrage similaire.
Revêtements de sol intérieur et extérieur	<ul style="list-style-type: none">• Revêtement de sol intérieur (sols et escaliers),• Revêtement de sol extérieur (sols et escaliers).
Revêtements de voirie	<ul style="list-style-type: none">• Revêtement de sol extérieur (dalles, pavés, bordures) de voirie.



Nomenclature des gisements de pierre

► Proposition de nomenclature :

Domaine d'emploi d'origine - 3 niveaux	Masse		Encombrement		Système de fixation	Matériaux - spécification		Essais d'identité matériaux		
	Couramment manutentionnable [0-55 kg]	Difficilement manutentionnable [plus de 55kg]	Plus grande dimension inférieure à 1 m	Plus grande dimension supérieure à 1 m	Liants hydrauliques, Pose scellée, Pose collée, Pose sur lit de sable, Pose sur plots, Système mécanique, Sans objet	Type de pierre (calcaire, granite, schiste, marbre, grès, lave, gneiss, basalte).	Si connu : dénomination, classe géologique, origine géographique	Masse volumique apparente [kg/m ³]	Porosité ouverte [%]	Résistance à la flexion [MPa]
0. Ouvrages d'arts										
1. VRD (Voirie, Réseaux Divers)										
3. Superstructure - Maçonnerie										
4. Couverture - Étanchéité - Charpente - Zinguerie										
6. Façades et menuiseries extérieures										
7. Revêtement des sols, murs et plafonds - Chape - Peintures - Produits de décoration										
9. Installations sanitaires										
11. Mobilier										
14. Autres										





Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

► Présentation de l'enquête :

- Sondage : 41 questions,
- Consultation d'un large panel d'acteurs de la construction,
- 3 mois (décembre 2023 à février 2024),
- 30 répondants.

► Questions :

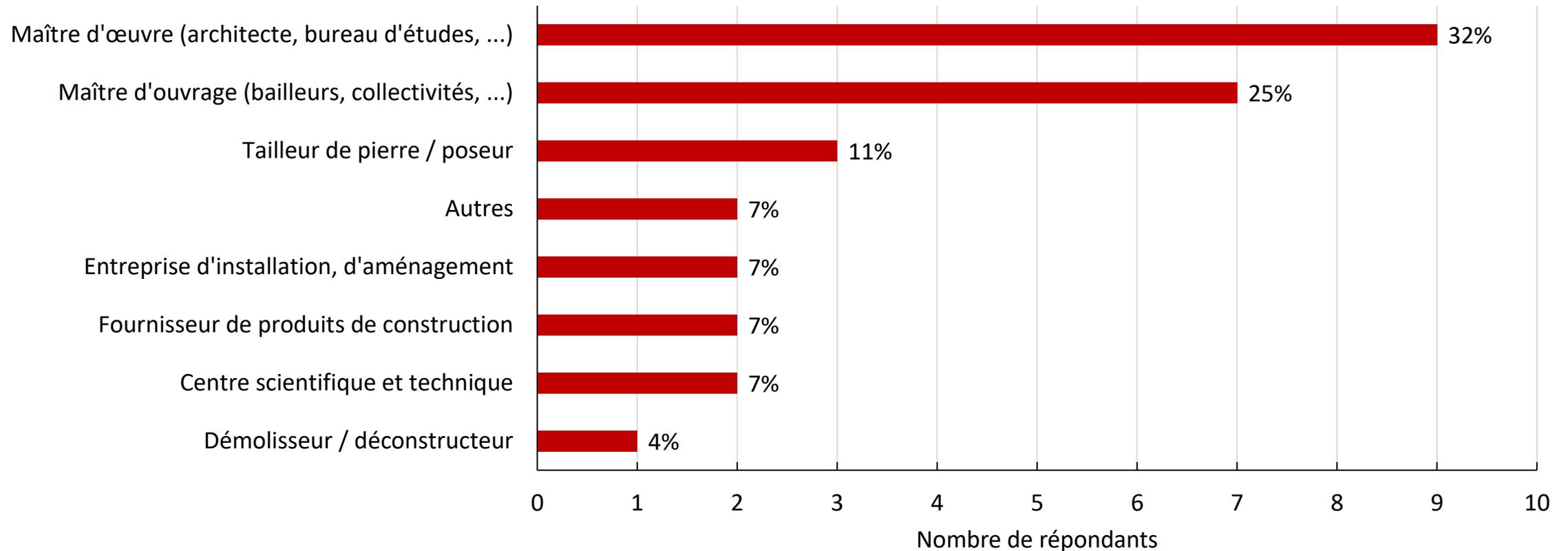
- Partie 1 : Identification des freins à la réutilisation de la pierre,
- Partie 2 : Hiérarchisation des freins à la réutilisation de la pierre,
- Partie 3 : Solutions pour remédier à ces freins,
- Partie 4 : Pratiques de valorisation des produits de déconstruction en pierre naturelle.





Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

► Catégories représentées :





Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

► Perception des freins :

Freins réglementaires	Freins techniques	Freins économiques	Freins juridiques	Freins culturels	Freins logistiques	Autres freins non catégorisés
<ul style="list-style-type: none"> • Normes et réglementations inexistantes ou non adaptées. • Défis techniques et manque d'outils adaptés (justification des ouvrages). • Formation et compétences. • Gestion des gisements hétérogènes et caractérisation. • Problèmes d'assurabilité et de qualification des matériaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Séparation des éléments, tri, nettoyage et analyse des pierres. • Justification des propriétés et des ouvrages. • Qualification des matériaux. • Gestion des ressources (locales). • Compétences des entreprises. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts liés à la réutilisation. • Contraintes temporelles et coûts associés. • Budgets limités et choix prioritaires. • Incertitudes économiques. • Connaissance de l'origine et de la qualité des matériaux. • Complexité des travaux et coûts associés. • Contraintes économiques des grands groupes et perception des éléments de réemploi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsabilités et assurances. • Justification et normes. • Responsabilités en cas de désordre. • Caractérisation du matériau et litiges. • Garanties et durabilité des matériaux. • Assurances et coûts. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apparence, habitudes et perception. • Oubli des techniques traditionnelles. • Monuments historiques et religieux. • Association à une perte de qualité. • Manque de transmission culturelle. • Risque et judiciarisation. • Intérêt des acteurs et concurrence. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de pénurie et difficulté d'approvisionnement. • Organisation des acteurs et nécessaire dynamique de reconstruction. • Durée de mise en œuvre et phases entre la démolition et le réemploi. • Adaptation des outils et problématique du stockage. • Contrôle des travaux et gestion des livraisons sur site. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hétérogénéité du gisement et adaptation à l'usage. • Manque de connaissances et de compétences. • Import de pierres étrangères. • Mauvaise éco-conception du produit. • Lobbys industriels. • L'entretien en prévention du statut de déchet. • Identification des gisements et publicité. • Manque d'outillages spécifiques.



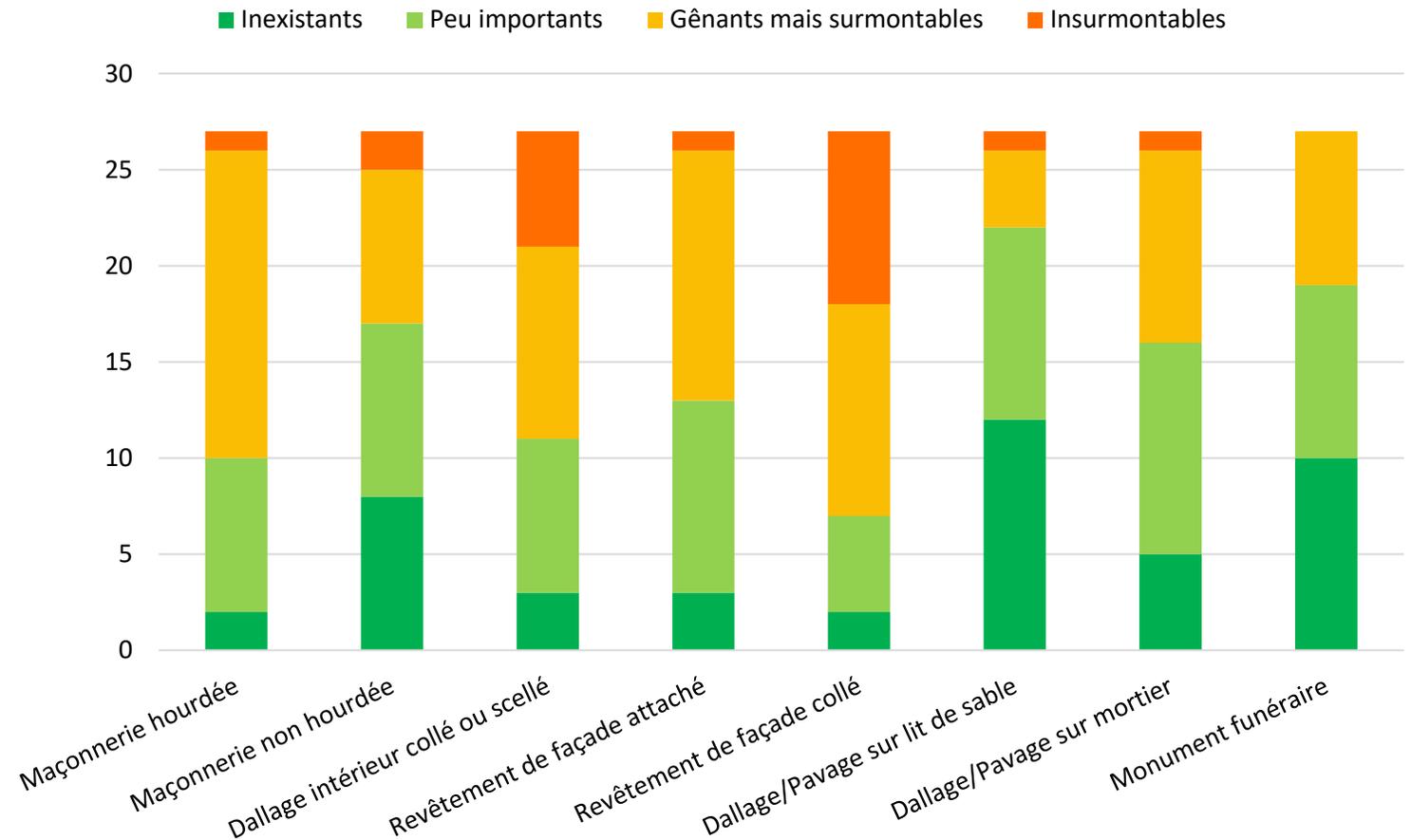


Enquête auprès des professionnels

► Hiérarchisation des freins :

- Réglementaires et juridiques :
 - Responsabilité
- Techniques :
 - Justification des ouvrages
- Manque de compétences :
 - Savoir-faire perdu
- Economiques :
 - Corrélation gisement et besoins
 - Logistique
 - Reconditionnement
- Culturels :
 - Esthétique.

Hiérarchisation des freins par éléments



Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

► Solutions pour remédier à ces freins :

Pistes pour lever les freins réglementaires	Pistes pour lever les freins techniques	Pistes pour lever les freins économiques	Pistes pour lever les freins juridiques	Pistes pour lever les freins culturels	Pistes pour lever les freins logistiques
<ul style="list-style-type: none"> • Ajout ou mise à jour des normes. • Souplesse et cas par cas. • Formation et sensibilisation. • Guides, documentation et contrats. • Identification et certification de la matière. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-conception et outils spécifiques de dépose et de reconditionnement. • Structuration d'une filière de réemploi. • Contrôle qualité et coefficients de sécurité. • Guides techniques et qualification du personnel. • Chantier pilote et études/essais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de l'accès au gisement via leur centralisation et minimisation des intermédiaires. • Intégration dès la conception. • Politique volontariste, détaxation des matériaux vertueux. • Modification de la répartition technico-financière des projets. • Chantiers d'insertion ou de formation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Résolution des freins réglementaires. • Normalisation du contrôle qualité des éléments de réemploi. • Qualification professionnelle d'entreprise. • Maintien de la garantie pour les pierres réemployées. • Evolutions du côté des assureurs et des DTU. • Groupe de travail ministériel. • Evolution des marchés publics. 	<ul style="list-style-type: none"> • Communication et valorisation de la pratique. • Construction de prototypes et capitalisation. • Imposer un taux de réemploi minimum dans les projets. • Formation et sensibilisation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Centraliser et cataloguer les gisements. • Développer la filière du réemploi, stocks, prix, localisation. • Connaissance des stocks existant. • Valoriser le réemploi in situ pour ses avantages. • Réduction des coûts de transport.





Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

- ▶ **Actions souhaitées ou entreprises par les répondants en faveur du réemploi :**
 - Développement et innovation,
 - Promotion / sensibilisation,
 - Inclusion dans les marchés et dans les conceptions,
 - Tri et soin du conditionnement,
 - Communication sur les stocks et proposition active dans des projets et programmes de construction.

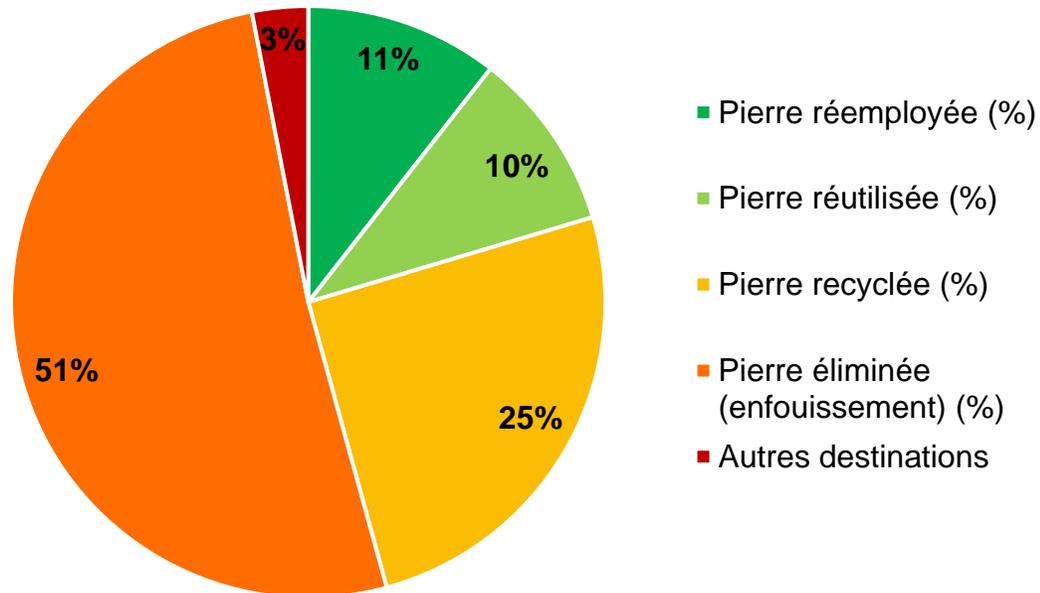
- ▶ **Quelques exemples concrets :**
 - Réalisation d'espaces publics en pierre de réemploi,
 - Travail essentiellement avec de la pierre de déconstruction,
 - Récupération sur site et réemploi en restauration du patrimoine,
 - Intégration d'actions de revalorisation dans les cahiers des charges de démolition.



Enquête auprès des professionnels sur les freins au réemploi de la pierre

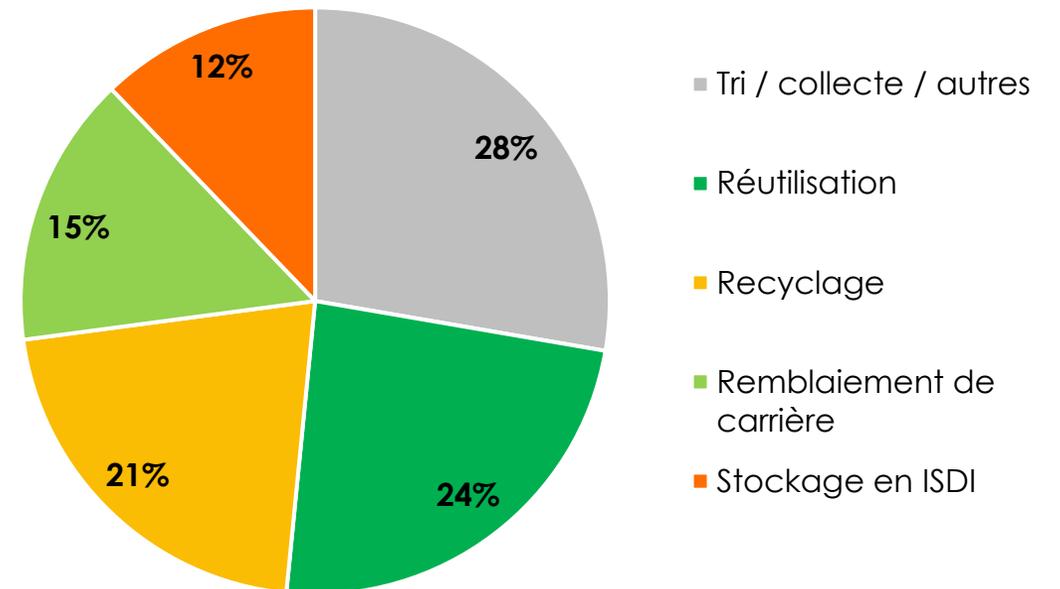
► Perception de la destination des pierres en fin de vie :

Appréciation de la destination des pierres en fin de vie



« 3R perçus » ≈ de 46 à 49%

Destination des déchets inertes
Selon DataLab Déchets du BTP, mars 2017



« 3R estimés » ≈ de 60 à 88 %



Enquête auprès des professionnels

► Gisements à réutiliser :

- Chantiers de déconstruction (voiries, bâtiments),
- Monuments funéraires,
- Stocks existants dans les parcs de collectivités,
- Carrières (déchets générés à la production).

► Gisements importants pour :

- Les entreprises d'installation et d'aménagement,
- Les centres scientifiques et maîtres d'œuvres (chantiers de déconstruction).



► Focus sur les parades et perspectives mises en avant par l'équipe projet :

Famille	Désignation du frein	Hiéran-chi-sation	Proposition de parades	Pilote
Règlementaire	Absence de cadres réglementaires pour le réemploi et la réutilisation de la pierre naturelle	5	Accompagnement à la mise en place de ces cadres...	Ministère de l'envt (DHUP ?) / DOLMEN
	Flous réglementaires...quid des assurances ?	5	Etat des lieux de la situation réglementaire à date.	CTMNC/CSTB
	Absence de normes pour le réemploi et la réutilisation de la pierre naturelle	5	Contribuer à des futures normes, notamment à partir de potentielles premières expériences sur l'élaboration de méthodologies pour le réemploi de la pierre naturelle	CTMNC/CSTB
	Complexité de justification des ouvrages en maçonnerie	5	Résultats attendus du PN DOLMEN	DOLMEN
	Hétérogénéité des pierres et des gisements de réemploi	5	Etablissement d'une nomenclature spécifique pour le réemploi et la réutilisation	CSTB
	Préoccupations quant à l'assurabilité des matériaux remis en œuvre	5	Mise en place du métier de qualificateur, avec l'appui des assurances	MAÏA SONNIER (BOBI Réemploi/SMA BTP)
			Veille sur les actions de l'AQC en cours (mise en place cadre réemploi)	CSTB
		Accompagnement de la structuration des centres de reconditionnement	CSTB	



► Focus sur les parades et perspectives mises en avant par l'équipe projet :

Famille	Désignation du frein	Hiérarchisation	Proposition de parades	Pilote
Technique	Tri et identification des matériaux de réemploi	4	Etablissement d'une nomenclature spécifique pour le réemploi et la réutilisation	CSTB
	Manque d'un processus de reconditionnement partagé, notamment sur la qualification et l'évaluation des caractéristiques mécaniques des pierres de réemploi	4	Etablir un guide de préconisations sur le processus de reconditionnement : de dépose, de conditionnement et de contrôles visuels/essais standardisés	CTMNC + CSTB
	Manque de cartographie des ressources naturelles locales	4	S'appuyer sur la cartographie d'approvisionnement en pierre naturelle pour la valorisation des déchets de carrière	Cartographie FHC - Frugalité Heureuse et Créative (MAÏA SONNIER / RHÔNAPI)
			Sonder les maîtres d'ouvrage sur leurs viviers à venir	MAÏA SONNIER
			Chercher les cartographies existantes (OPALIS ...)	MAÏA SONNIER
	Manque de formation des professionnels à l'utilisation des pierres naturelles (notamment celles issues du réemploi)	4	Renforcer la communication sur les formations pierre existantes via : VAD, Grands Ateliers, Compagnons du devoir et du tour de France, Rhônapi (avenirdepierre.fr)	MAÏA SONNIER
	Problème de justification technique des ouvrages réalisés à partir des matériaux de réemploi (notamment conformité aux exigences de calcul de stabilité en situation courante ou lors de séismes)	4	Résultats attendus du PN DOLMEN	DOLMEN
	Défis du nettoyage des matériaux	4	Etablir des protocoles de nettoyage distincts pour chaque éléments de la nomenclature	CSTB/CTMNC
Défis du redimensionnement des matériaux	4	Informers sur les techniques existantes in situ : sciage / flammage ; mais aussi sur les usines de transformation - marbriers aux abords du projet	MAÏA SONNIER / RHÔNAPI	



► Focus sur les parades et perspectives mises en avant par l'équipe projet :

Famille	Désignation du frein	Hiéran- sation	Proposition de parades	Pilote
Economique	Coûts associés au processus de tri, de décrochage, et de préparation des pierres de déconstruction, ainsi que de leur transport	3	Travailler à lever la méconnaissance des coûts et à contribuer à l'établissement de ratio simple. Utiliser la nomenclature avec localisation vivier/destination (coût économique + coût carbone).	CSTB/MAÏA SONNIER / RHÔNAPI
	Manque de temps et ressources associées	3	Méconnaissance des plannings (projet et vivier) et de la filière	MAÏA SONNIER / RHÔNAPI
	Multiplication des sous-traitants liée à la méconnaissance de la filière	3	Transparence !!!	RHÔNAPI
Juridique	Déterminer la responsabilité en cas de désordres liés à des matériaux de réemploi (maître d'œuvre, entreprise, contrôleur)	5	Mise en place du métier de qualificateur, avec l'appui des assurances	BOBI Réemploi/SMA BTP (MAÏA SONNIER)
	Appréciation de la durée de vie résiduelle de la pierre	5	Raisonnement empiriquement : date/nature de l'ouvrage vivier//durabilité de la pierre -> solde...	CTMNC
	Risque juridique lié à l'utilisation de produits réutilisés / réemployés	5	Confronter ces produits aux exigences du RPC	CSTB



► Focus sur les parades et perspectives mises en avant par l'équipe projet :

Famille	Désignation du frein	Hiéran-chi-sation	Proposition de parades	Pilote
Culturelle	Réticence due à l'apparence usée ou hétérogène des pierres, peur d'avoir un "patchwork" dans les projets	1	La solution est dans la perception des architectes !	MAÏA SONNIER/RHÔNAPI/VAD
	Les carrières pourraient craindre une forme de concurrence de la pierre de réemploi	1	Renverser le point de vue et plutôt y voir une opportunité pour valoriser leur "déchets". Exemple de Guinet Derriaz	MAÏA SONNIER/RHÔNAPI/VAD
	Manque de formation des jeunes techniciens et ingénieurs sur le réemploi	1	Cycles de formation existante / à mettre en place, à l'instar des formations d'utilisation des éco-matériaux ... ?	MAÏA SONNIER/RHÔNAPI/BOB I Réemploi / VAD / Grands Ateliers
Logistique	Optimisation des transports et des lieux des viviers/destinations + besoins de stockages	2	A partir d'une cartographie de gisements et d'une cartographie des besoins, identifier les acteurs et les flux entre ces acteurs pour une mise en visibilité mutuelle permettant une optimisation de ces flux (d'un point de vue économique et carbone) + identifier des acteurs permettant de densifier ce maillage	CSTB/MAÏA SONNIER / RHÔNAPI
	Absence de filière bien établie	2	S'appuyer sur le syndicat du réemploi ?	MAÏA SONNIER
	L'organisation peu structurée de la profession de la maçonnerie, notamment dans des opérations complexes avec d'autres corps d'état.	2	S'appuyer sur la FNTF ?	MAÏA SONNIER



Futurs travaux à mener selon l'équipe projet

► 1. Nomenclature et identification des gisements :

- 1.a) Travailler sur la nomenclature, déterminer sur quelles familles se concentrer et quelles sont les informations nécessaires.
- 1.b) Identifier les familles propices au réemploi et à la réutilisation (poursuivre le développement de la matrice pour faciliter la prise de décision).

► 2. Cartographie des gisements et des sites de déconstruction :

- Déterminer où se trouvent les gisements de matériaux réutilisables et où se situent les sites de déconstruction qui pourraient fournir ces matériaux.



Futurs travaux à mener selon l'équipe projet

▶ 3. Communication :

- Mettre en place des initiatives de communication / guides :
 - Modes opératoires pour la dépose des matériaux, processus de reconditionnement, solutions assurantielles, ...

▶ 4. Technique :

- Faire un focus sur les aspects techniques et l'évaluation qualitative des caractéristiques mécaniques des pierres de réemploi. Modifier les normes actuelles (coefficients de sécurité, valeurs caractéristiques).

▶ 5. Faisabilité économique et coût environnemental :

- Analyser l'impact économique et environnemental du réemploi et de la réutilisation pour évaluer leur faisabilité.



Futurs travaux à mener selon l'équipe projet

▶ 6. Évolution du contexte réglementaire :

- Examiner la possibilité de créer un diagnostic déchets (PEMD) pour le secteur des travaux publics.

▶ 7. Formation et diffusion des connaissances :

- 7.a) Former les MOA et AMO pour sensibiliser à l'intérêt du réemploi du point de vue contractuel / juridique.
- 7.b) Former les MOE pour aborder les recommandations, les chiffrages, les CCTP, et les processus de caractérisation des gisements.
- 7.c) Former les entreprises et artisans à travers des guides de dépose, des formations pratiques (« par le geste »), et des méthodes de reconditionnement.



3. Normes, réglementations et assurabilité

Cadre technique et exigences : matériaux neufs *versus* matériaux de réemploi

Neuf	<i>versus</i>	Réemploi
Production industrielle	<i>versus</i>	Histoire et vie antérieure
Constance des performances	<i>versus</i>	Hétérogénéité (durabilité, vieillissement)
Prêts à l'emploi	<i>versus</i>	Phases de préparation à la repose
Cadre technico-normatif	<i>versus</i>	Non visée par les textes existants
Technique traditionnelle / courante	<i>versus</i>	Non courante (cf. assurabilité)

3. Normes, réglementations et assurabilité

Cadre technique : rappels concernant les matériaux neufs PN

- Le RPC (Règlement des Produits de Construction) définit des exigences :
- Normes produit ;
- Normes de mise en œuvre (les différents DTU) ;
- Normes de dimensionnement (EC6, EC8, etc) ;
- Norme de prescriptions d'emploi des PN :



1. EXIGENCES ESSENTIELLES	
1.1 Exigences réglementaires essentielles	Selon la réglementation applicable : <ul style="list-style-type: none">• Performance thermique• Qualité de l'air intérieur• Substances dangereuses• Performance acoustique• Performance environnementale• Résistance et réaction au feu• Performance sismique• Résistance mécanique et stabilité
1.2 Exigences essentielles relatives à la santé et à la sécurité des occupants	Nécessaire que les produits soient aptes à être utilisés en tenant compte des risques potentiels pour la santé et la sécurité. Liés à des normes de produits spécifiques, par exemple : performance antidérapante des revêtements de sol.
2. EXIGENCES COMPLÉMENTAIRES	
2.1 Exigences complémentaires relatives à l'aptitude à l'emploi	Liées aux performances spécifiques du projet, par exemple : perméabilité à l'eau, propriétés mécaniques, résistance chimique, conditions hygrométriques, etc.
2.2 Exigences complémentaires particulières aux spécifications du projet	Liées à la conception ou à l'esthétique du produit, par exemple : couleur, dimensions, poids, texture.

3. Normes, réglementations et assurabilité

Cadre technique : qu'en est-il des matériaux de réemploi ?

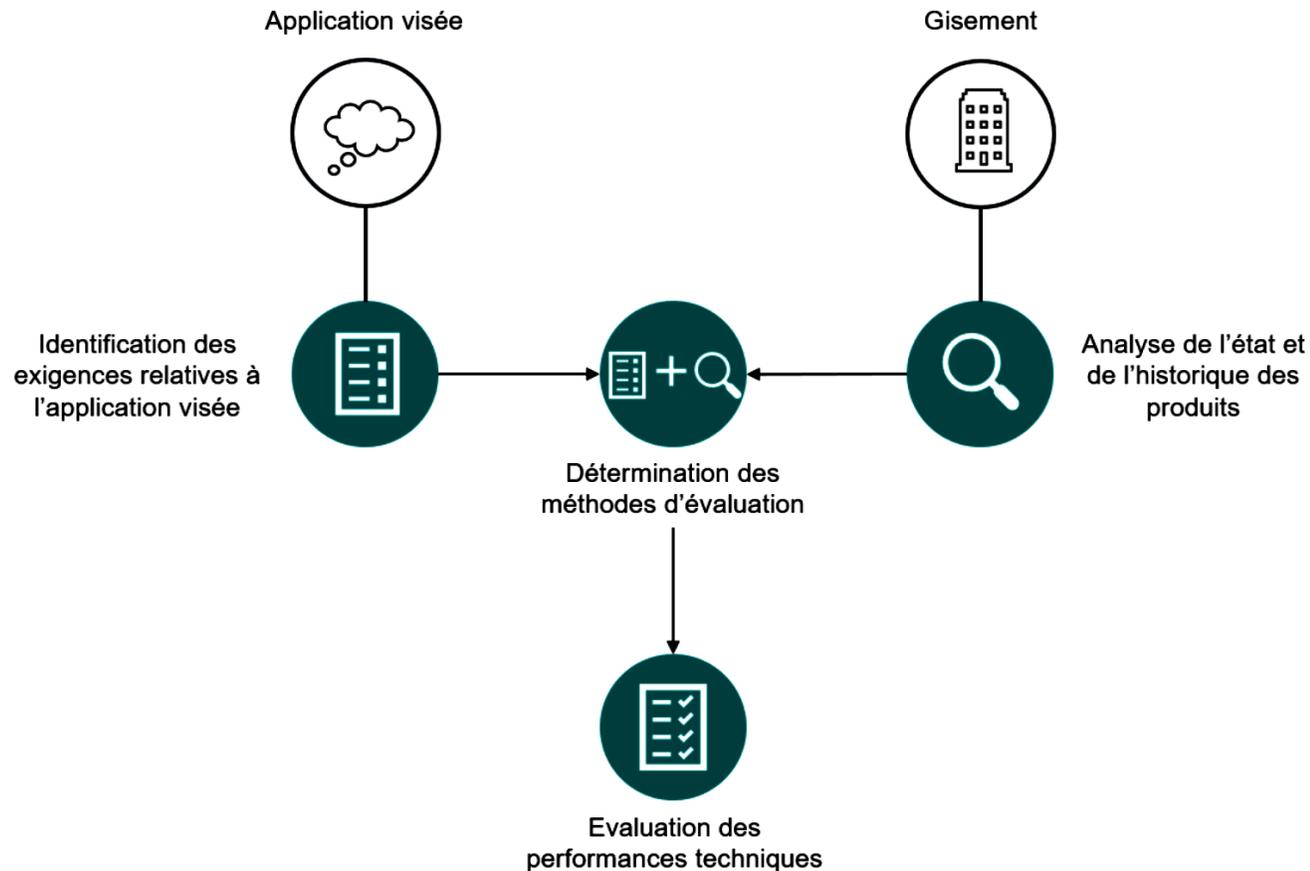
- Le RPC (Règlement des Produits de Construction) définit des exigences :
- Normes produit ;
- Normes de mise en œuvre (les différents DTU) ;
- Normes de dimensionnement (EC6, EC8, etc) ;
- Norme de prescriptions d'emploi des PN :

→ Les **produits de réemploi** : doivent présenter des performances répondant aux mêmes exigences réglementaires pour vérifier leur aptitude à l'emploi que les produits neufs

Les méthodes d'évaluation des performances peuvent être différentes, et adaptées à la situation (sous réserve que la méthode alternative soit jugée pertinente, fiable et maîtrisée)

3. Normes, réglementations et assurabilité

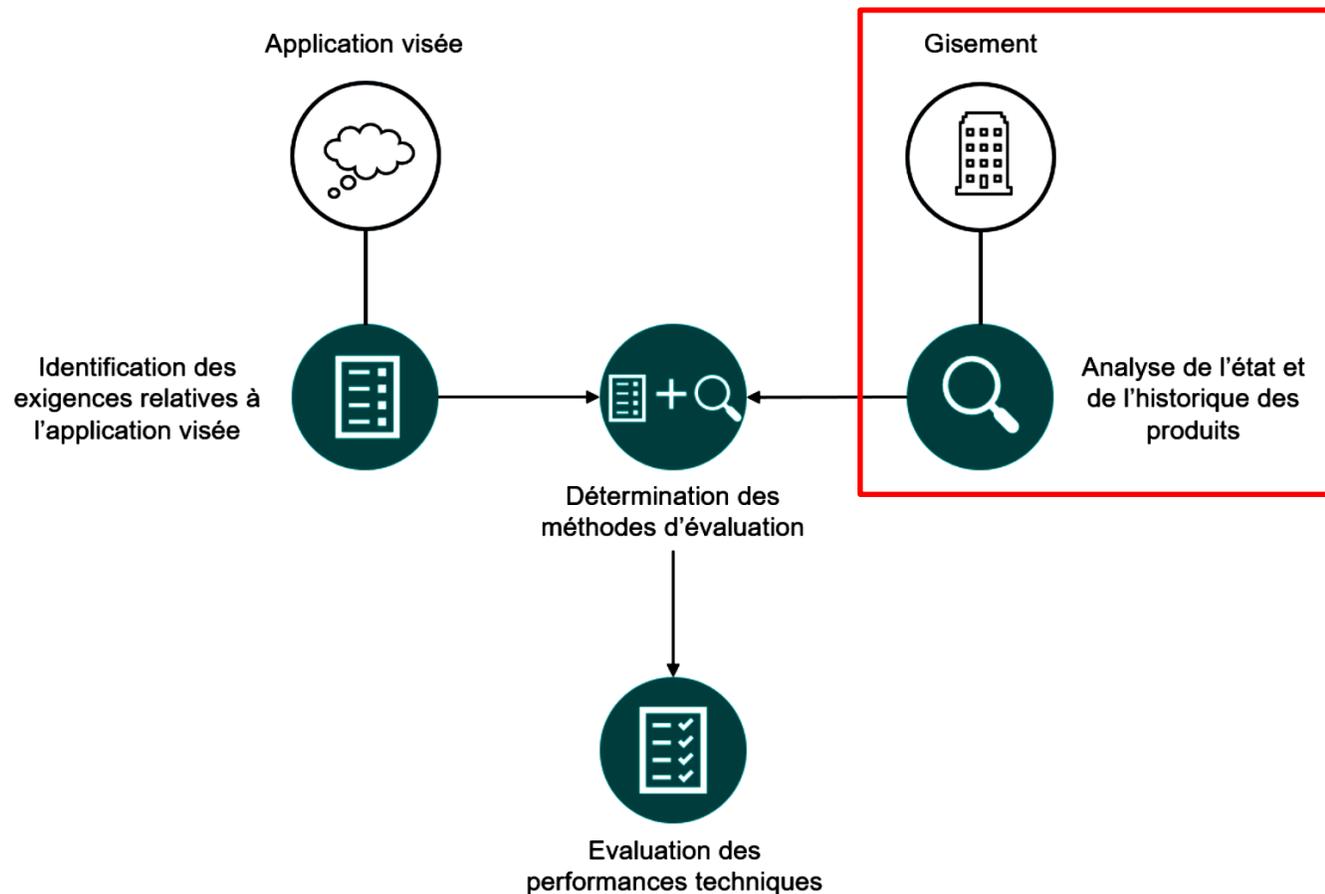
Cadre technique : qu'en est-il des matériaux de réemploi ?



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

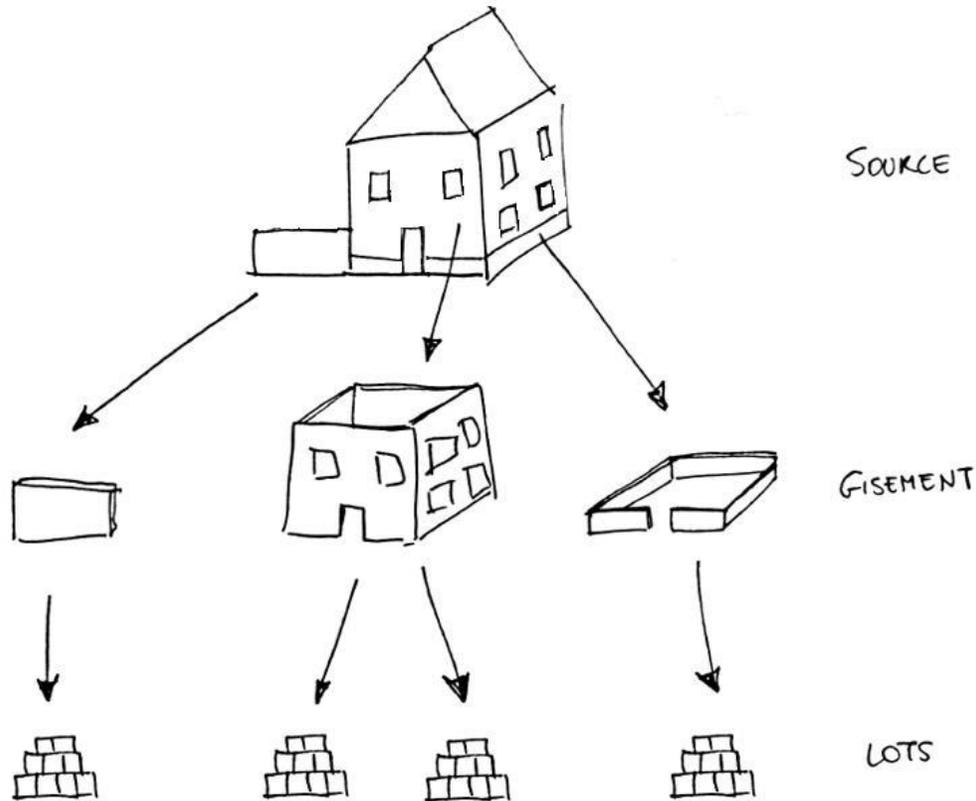
Cadre technique : qu'en est-il des matériaux de réemploi ?



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

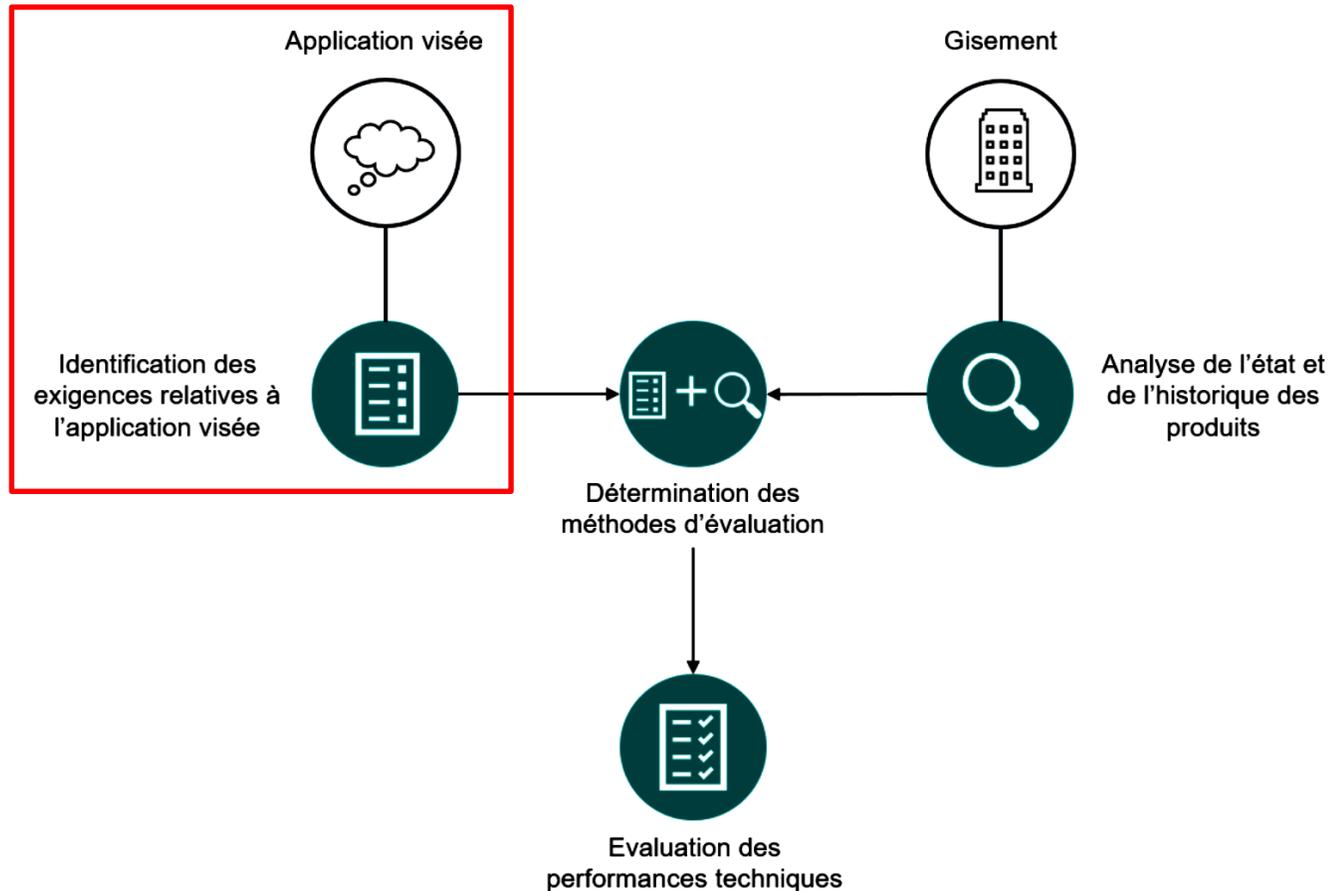
Quel **gisement** ? → identifier son état, quantification, représentativité



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

Cadre technique : qu'en est-il des matériaux de réemploi ?



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

Quelle(s) pistes de valorisation envisagées ?

Définir le nouveau **domaine d'application** envisagé :

- Réemploi ?
- Réutilisation ?
- Recyclage ?
- Autres ?

→ Dépendant de nombreux paramètres :

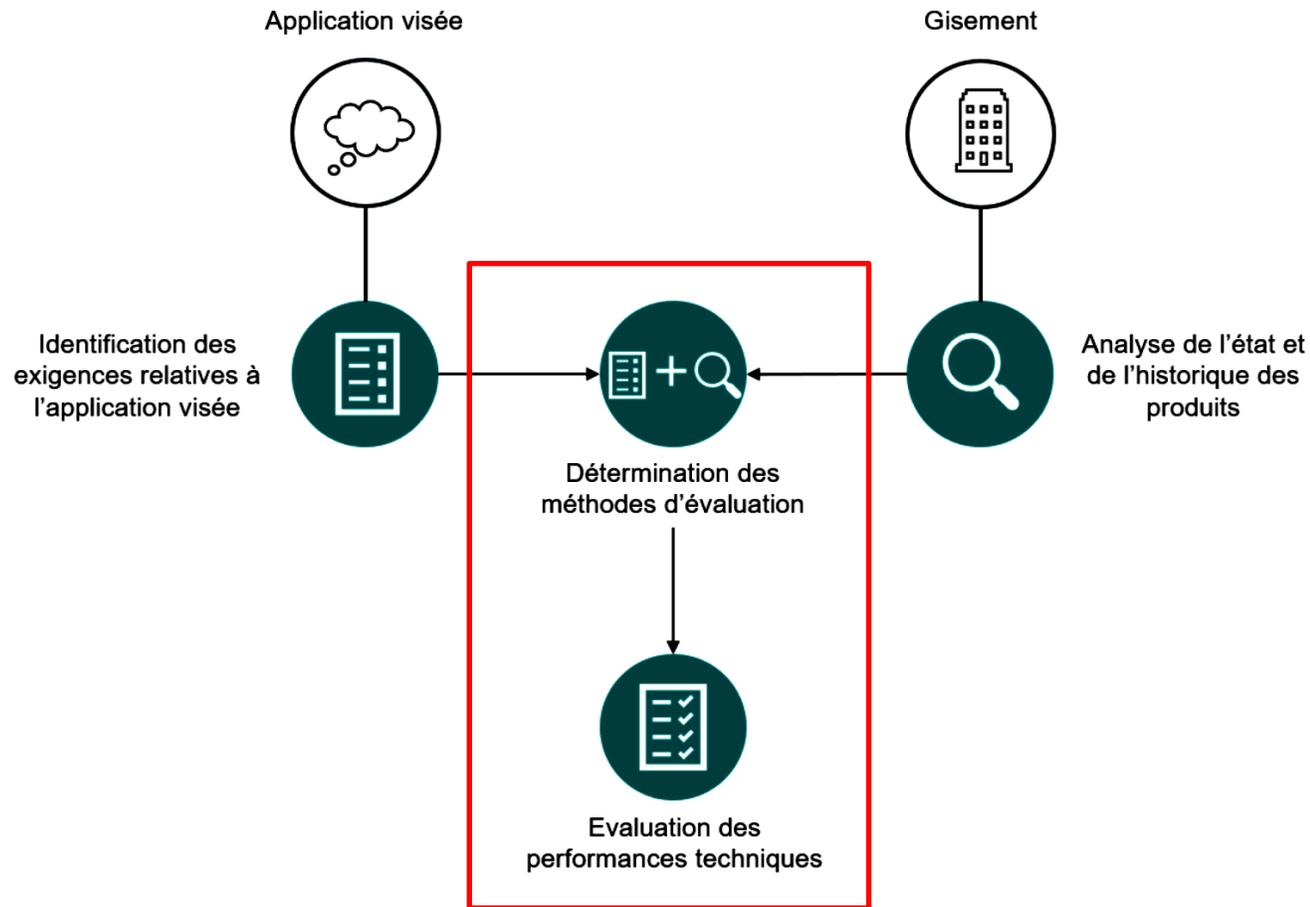
- **Etat d'altération** du matériau après sa première vie,
- Propriétés et **performances de la pierre** en seconde vie,
- **Compatibilité des caractéristiques dimensionnelles** (cf. épaisseur) si emploi dans une nouvelle technique constructive (réutilisation)



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

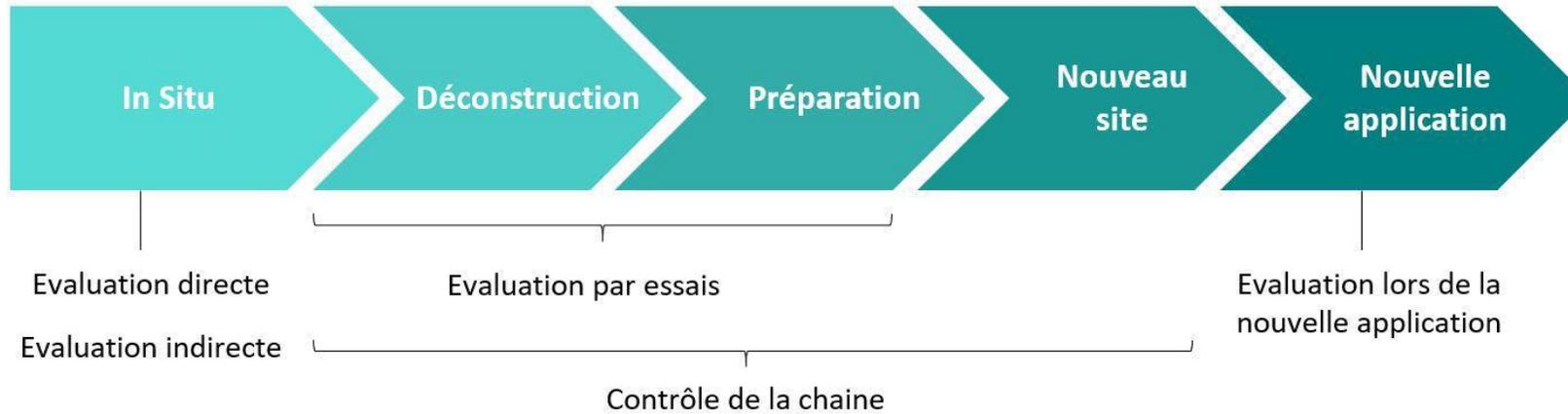
Cadre technique : qu'en est-il des matériaux de réemploi ?



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

Evaluation des performances attendues :



Quelles voies et méthodes d'évaluation :

- Méthode d'essai normalisée vs protocole spécifique alternatif
- Directe vs indirecte - Destructive vs non-destructive
- In-situ vs en laboratoire
- Recours à des valeurs tabulées ou classement conventionnel



Extrait de : « Cadre technique des matériaux de réemploi : comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi », mai 2021

3. Normes, réglementations et assurabilité

Aspect assurantiel : à qui revient la responsabilité?

Double problématique pour les **assureurs** :

- **Modification** de la **chaîne de responsabilité** : le matériau réemployé issu d'un ouvrage déconstruit n'est plus de la responsabilité du fabricant ;
- Les **caractéristiques techniques** du matériau de réemploi et notamment son **aptitude à l'emploi** dans un nouvel ouvrage sont à priori inconnues,

Dépendant des scénarios de réemploi applicables :

- **Scénario 1** : réemploi par l'intermédiaire d'un **revendeur de matériaux**
- **Scénario 2** : réemploi direct d'un projet à un autre (**projet A** vers **projet B**)

3. Normes, réglementations et assurabilité

Aspect assurantiel : à qui revient la responsabilité?

A retenir :

Essentiel de **définir clairement les rôles** et **responsabilités de chacun**, à chaque étape du processus, afin d'assurer une bonne **continuité et traçabilité des informations**

(d'autant plus, dans le cas de combinaisons de plusieurs méthodes d'évaluation des performances)

4. Etat de l'art : exemples d'outils & guides existants



4. Etat de l'art : exemples d'outils & guides existants

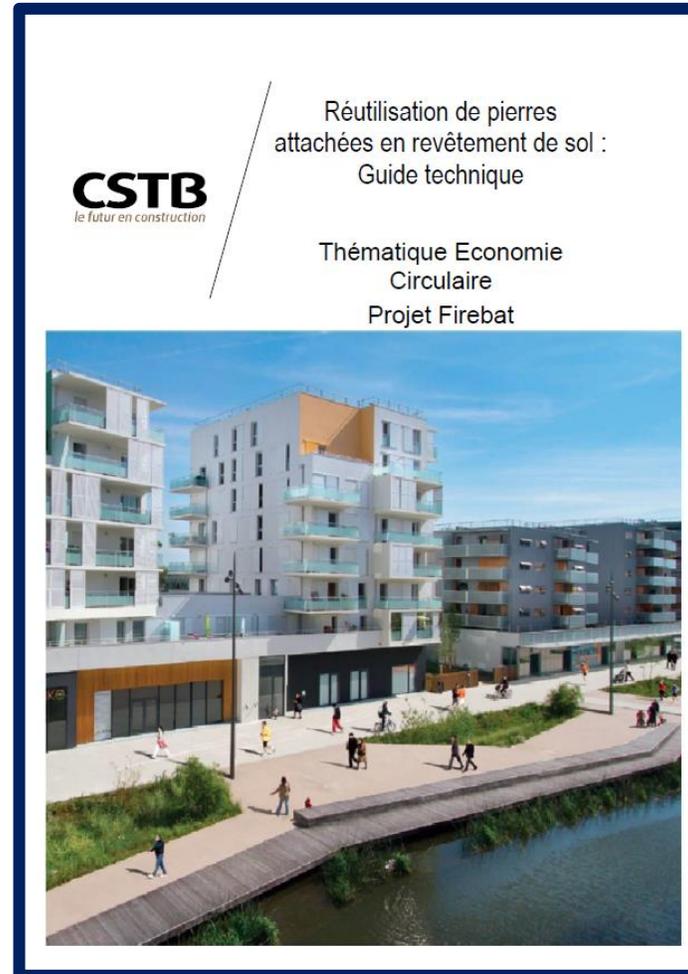


4. Etat de l'art : exemples d'outils & guides existants

Contenu et objectifs de ces documents :

- Présenter le processus à suivre de l'identification du gisement à sa remise en œuvre
- Identifier les différentes performances à justifier pour l'emploi futur
- Définir les modes de preuves qui permettent de caractériser chacune de ces performances (documentation, contrôle visuel, essais in-situ et en laboratoire, etc)
- Thématiques couvertes : philosophie et principe du réemploi, stratégies et actions en mettre en place pour déboucher sur une intégration réussie du réemploi, application concrète à des produits en pierre naturelle (réemploi & réutilisation)

4. Etat de l'art : exemples d'outils & guides existants



- **Réemploi :**

Pierre naturelle en tant que revêtement mural attachée (NF DTU 55.2) – fixation mécanique par attaches, technique avec agrafes et polochons non visée

- **Réutilisation :**

Pierre naturelle en tant que revêtement mural attachée (NF DTU 55.2) vers revêtement de sol (hors voirie) en pose scellée (NF DTU 52.1) et collée (NF DTU 52.2)

5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

- GT Réemploi RHONAPI



- Retour d'expérience CTMNC ROC : cas pratique de Tours Habitat



5. Place à l'action :

Atelier de travail RhônApi : Valorisation et Réemploi de la pierre en aménagement urbain



Place des Jacobins (Lyon)



L'association qui dynamise la filière pierre naturelle en Auvergne-Rhône-Alpes <https://rhonapi.org/>

5. Place à l'action :

Préambule

Contrairement à toutes les avancées concernant le réemploi des autres matériaux (notamment dans le bâtiment), la pierre est destinée uniquement au revêtement **fini** ; et donc soumise à validation des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre ET architectes. Aussi, la standardisation de cette filière n'est pour l'instant pas possible.

L'exemple des couleurs et finitions variables de chaque pierre de réemploi est aussi un élément important à intégrer dans la conception des projets.

L'ensemble des tâches à réaliser une fois les pierres déposées :

- les trier,
- les nettoyer,
- les stocker,
- voire modifier leurs côtes (sciage) et leurs finitions (bouchardées, flamées...)

ne peut malheureusement pas, à ce jour, présenter un modèle économique viable.

5. Place à l'action :

Rappel des objectifs de l'atelier lancé en octobre 2021 :

1. Établir un cahier des charges définissant les modalités techniques de réemploi des pierres dans le cadre des marchés de travaux.
2. Réaliser un inventaire des ressources disponibles localement à ce jour.

Participants : adhérents Rhônapi, SERL, Laboratoire de la Métropole de Lyon

À noter que la genèse de cet atelier de travail est l'aménagement du parvis du lycée Brossolette aux Gratte-Ciel.



5. Place à l'action :

Établir un cahier des charges définissant les modalités techniques de réemploi des pierres, dans le cadre des marchés de travaux : Objectif atteint !

Hypothèses proposées, à intégrer dans le cahier des charges / CCTP de réemploi :

- Raisonner empiriquement,
- Définir : la nature de la pierre, la couleur et la géométrie souhaitée,
- Exiger une épaisseur minimale pour les pavés à destination des trottoirs : ex. 6 cm,
- Exiger une épaisseur minimale pour les pavés à destination des routes : ex. 8 cm,
- Pas de norme existante donc pas de norme de référence,
- Pas d'essai à demander, utiliser une VMA (Valeur Minimale Attendue), ex. de 12 MPa forfaitaire en flexion (atteinte par la plupart des granits) pour le dimensionnement.

NB : Prescriptions validées par le Laboratoire de la Métropole du Grand Lyon.

5. Place à l'action :

Réaliser un inventaire des ressources (pierres de réemploi) disponibles à ce jour : Le constat

Le vivier disponible de pierre de réemploi est situé soit :

- En Europe du Nord : solution environnementalement contre-productive,
- Au près de la Métropole de Lyon, conformément au règlement de voirie :

1.8.1 - Gestion des déblais

Les matériaux provenant des fouilles seront évacués vers un centre de recyclage autorisé pour être valorisés. Pour le cas de matériaux non valorisables, ils seront évacués vers un centre d'élimination agréé. Les déblais seront évacués au fur et à mesure de leur extraction pour limiter le stockage sur la voie publique. A noter l'exception des bordures de trottoirs, pavés ou dalles en pierre naturelle sous-jacents ou de surface qui devront être remis dans les dépôts de la direction de la voirie de la Communauté urbaine de Lyon, en vue d'une réutilisation ultérieure.

Constat : Toutes les pierres déposées lors des chantiers de voirie de la métropole **ne sont pas systématiquement récupérées** et stockées par la métropole. Problèmes de place, de logistique, de moyens humains, etc. A ce jour, seuls 7 km de bordures sont gérés/stockés annuellement par la Métropole de Lyon...

Exemple de la Place Béraudier 6 ans auparavant : où sont les dalles ?

5. Place à l'action :

Réaliser un inventaire des ressources (pierres de réemploi) disponibles à ce jour : Les actions

Éléments de réponse de RHÔNAPI:

Communication forte via **VAD** : GT réemploi, organisation de visites de carrières, formation, revue de projets, ...

Plate-Forme des Acteurs du BTP de la Métropole de Lyon : participation aux réunions de travail, co-élaboration d'un livret PIERRE.

Action via la FFPPS (Fédération Française des Professionnels de la Pierre Sèche) et la présentation du **mur de la biodiversité** à ROCALIA 2023 avec de la pierre de réemploi de la Métropole de Lyon.

Accompagnement de la Métropole de Lyon pour déployer leur service actuel de stockage et sciage de pierre à Vénissieux. *S'inspirer du site de Bonneuil sur Marne de la Ville de Paris ...*

5. Place à l'action :

Pour aller plus loin

Travail élargi sur la valorisation:

Actuellement, la perte de matière de l'extraction au produit fini est estimée à 60%-70%. De futurs investissements de certaines carrières pourraient permettre la création de nouvelles pièces dans ces « rebuts et chutes ». Un catalogue pourrait alors être réalisé, présentant des pièces standardisées à disposition des MOA, MOE et entreprises.



Exemple : Action Guinet Derriaz (Villebois / Hauteville) : depuis septembre 2023, des dalles standardisées, issues des chutes des blocs, sont disponibles à 36€/m². Ces dalles sont d'épaisseur 4 cm maximum, pour le moment...

5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

Retour d'expérience CTMNC : cas de Tours HABITAT

- Déconstruction de 4 immeubles de logements sociaux dans un quartier en restructuration.
- Volonté de revalorisation des éléments de **maçonnerie massive** par le réemploi.
- CTMNC missionné pour **évaluer l'aptitude à l'emploi** des pierres pour une réutilisation.
- Echantillonnage, essais en laboratoire, préconisations.
- Poursuite de l'opération par Tours Habitat qui prévoit un taux de réemploi d'environ 55%.



*In situ 145
Tours Habitat*

5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

Retour d'expérience CTMNC : cas de Tours HABITAT

- Résultats des essais d'identité et d'aptitude à l'emploi :
 - Élévation en partie courante,
 - Assise de rejaillissement / Balustre,
 - Console,
 - Main courante / saillie ≥ 6 cm,
 - Saillie ≤ 6 cm (encadrement de baie, bandeau, ...).

Pierre apte au réemploi

Performances semblables à celles d'une pierre neuve



5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

Retour d'expérience CTMNC : outils **CND** à disposition



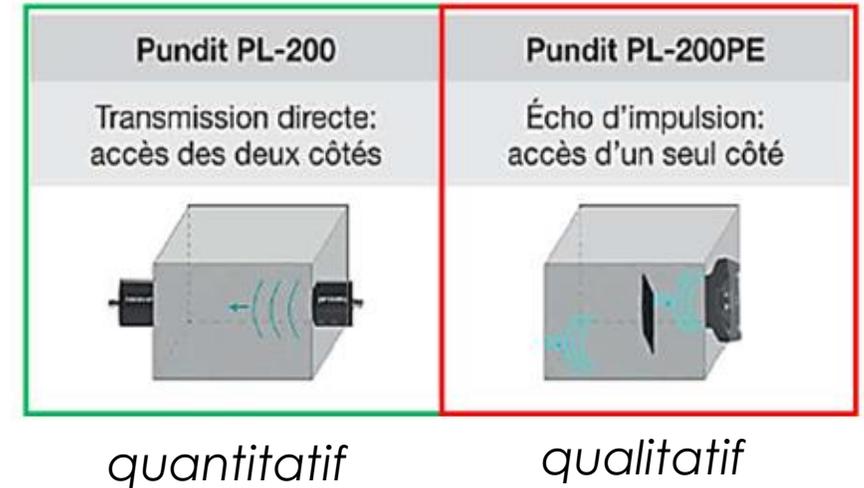
➤ Estimation fiable et maîtrisée de :
(par corrélation, capitalisant une très large BDD interne)

Résistance en compression,
Masse volumique,
Porosité

5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

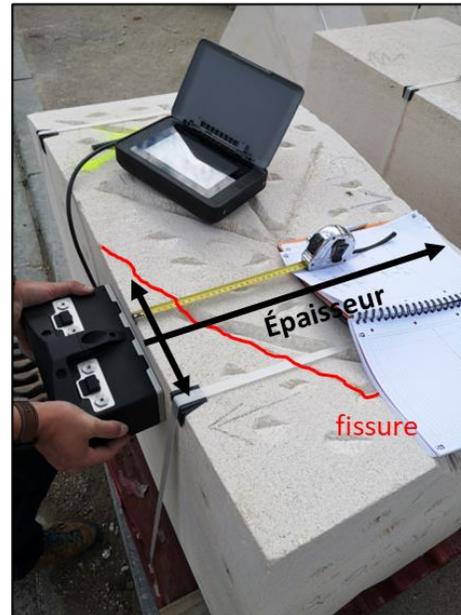
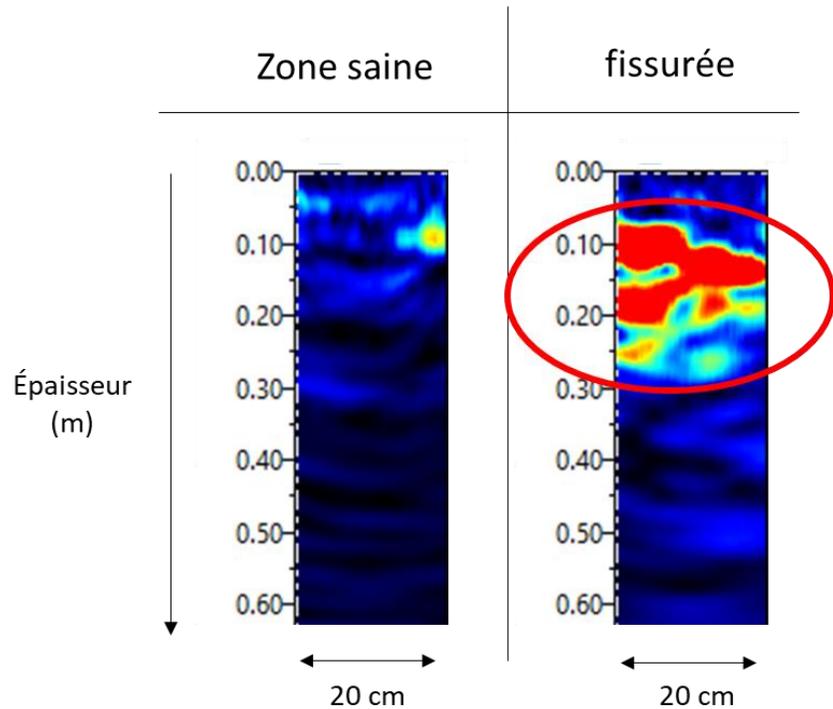
Retour d'expérience CTMNC : outils **CND** à disposition



5. Place à l'action :

Exemples de mise en pratique du réemploi avec la pierre naturelle

Retour d'expérience CTMNC : outils CND à disposition



Scanner d'imagerie par ultrasons



Mise en évidence de zones hétérogènes au sein de blocs massifs de calcaire

Le réemploi de la pierre, de l'analyse des freins à la mise en place de solutions



Tristan PESTRE
+33 (0)6 75 44 61 45
pestre.t@ctmnc.fr



Martin VIGROUX
+33 (0)7 88 49 53 68
vigroux.m@ctmnc.fr



Amélie IMBENOTTE
+33(0)6 24 54 07 39
aimbenotte@maia-sonnier.fr

Avec les remerciements du PN DOLMEN et de l'IREX

