

ECOLE D'AUTOMNE DU GDR
7 AU 10 NOVEMBRE 2022 - LORIENT



Les liants minéraux



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



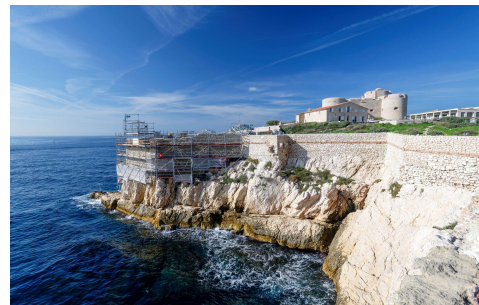
■ Le Groupe Vicat

■ Le Ciment Naturel Prompt

- Applications
- Fabrication
- Réactivité et minéralogie
- Propriétés

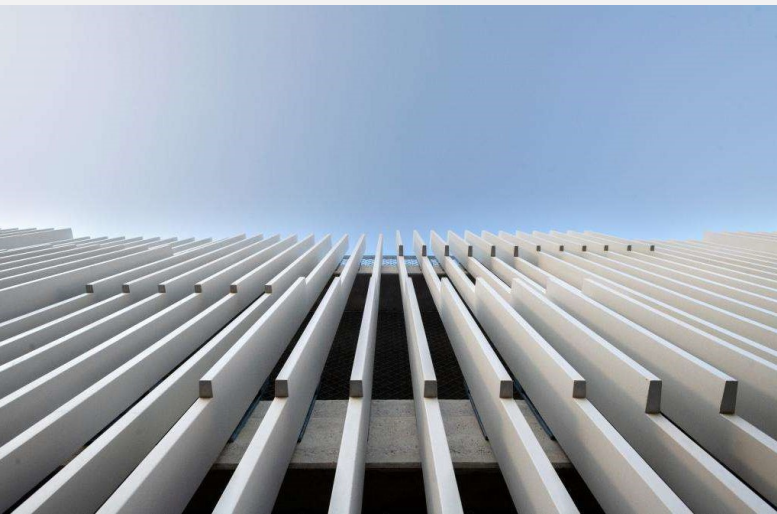
■ Le Ciment Naturel Prompt dans les biosourcés

■ Le futur

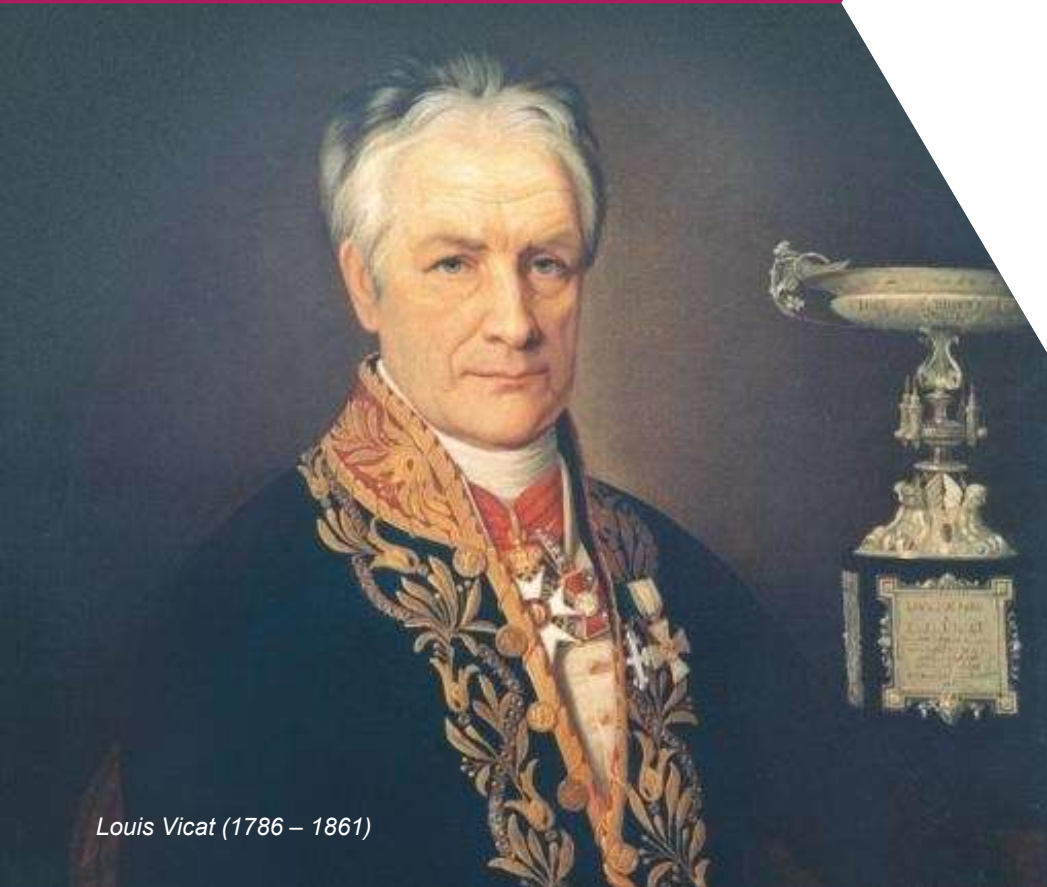




Le groupe Vicat



Vicat, 200 ans d'innovation



Louis Vicat (1786 – 1861)

- Aujourd'hui présent dans 12 pays, le Groupe développe une offre performante de **matériaux de construction minéraux et biosourcés**, et de **services** répondant aux besoins des métiers de la construction.
- Partout où ses cimenteries, carrières de granulats, centrales à béton, usines de produits de second œuvre sont implantées, Vicat s'attache à **produire localement**, en développant les **territoires** et l'**emploi**.
- Depuis plusieurs années, le Groupe s'engage dans la **transition écologique** en réduisant l'empreinte carbone de l'ensemble de ses activités et en déployant les vertus de l'**économie circulaire**.
- L'entreprise, sous **contrôle familial**, cultive au quotidien des **relations de confiance** avec ses clients, ses partenaires et ses collaborateurs.

Vicat est une entreprise française créée il y a 169 ans dans la lignée de Louis Vicat, inventeur du ciment artificiel en 1817.

Le groupe Vicat en chiffres

3,1 Mds€
de chiffre d'affaires
2/3 réalisés hors de France

Près de

9 500 collaboratrices et
collaborateurs

12 pays
d'implantation

3 activités
principales



CIMENT

16 cimenteries
5 centres de broyage
28 millions de tonnes
de ciment vendues



BÉTON

267 centrales à béton
10 millions de m³ de
béton vendus



GRANULATS

72 carrières de granulats
24 millions de tonnes de
granulats vendues

Vicat à travers le monde 6 zones, 12 pays



Le Ciment Naturel Prompt

- Applications
- Fabrication
- Réactivité et minéralogie
- Propriétés

Un matériau unique



PROMPT VICAT 
CIMENT NATUREL


Bâtir
le vivre
ensemble

Appellations et historique

- Ciment hydraulique : réaction avec l'eau, formation de phases et durcissement
- Appellations : ciment romain, plâtre-ciment, ciment prompt, ciment de la méditerranée (origine) ou encore calce forte ...



■ Historique :

- 1796, Ile de Sheppey-UK, J. Parker, Commercialisation sous le nom « Ciment romain »
- Au début du XIXème siècle en UK, on compte une dizaine de sites de fabrication de ciment romain
- En France,
 - 1802, Boulogne sur mer, France
 - Production du plâtre-ciment, appellation liée à la prise rapide, Dénommé aussi Ciment de Boulogne-sur-mer
 - 1824, Ciment de Pouilly, Pouilly-en Auxois, Côte d'or
 - 1832, Ciment de Vassy, Vassy les Avallons
 - 1842, Porte de France, Grenoble
 - 1875, La Pérelle à Saint Laurent du Pont, Grenoble (VICAT)

Applications

■ La restauration : réparation, moulage, sculpture, imitation pierre, jointement, confortement des murs anciens



Pose de pavés - Château d'If



*Joints de pavé
St Cirq Lapopie-46*



*Casamaures - Grenoble (38) Construction en 1855
Bâtiment entièrement bâti en pierre factice
Balustrades restaurées grâce à la préfabrication
d'éléments moulés*



*Berlethaus - Dortmund - Allemagne
Rénovation / reconstruction de la façade à l'identique*



*Vuillecin (25) - Restauration de façade en
mélange chaux - ciment naturel Prompt*



*Fontaine de Mlada Boleslav
République Tchèque*

Moulage Création de sculptures

Applications

■ Les travaux à la mer

- Le ciment naturel Prompt est un liant prise mer (NF P15-317)
- Réparation, jointement, consolidation, scellement



Applications

■ Les Bétons rapides

- Le ciment naturel Prompt est utilisé pour le formulation de mortiers et bétons à durcissement rapide
- Béton rapide pour la réparation des pistes aéroportuaires :
 - Résistance élevée : 20 MPa à 2 heures
 - Durabilité élevée et faible retrait



Applications

■ L'éco-construction

- Solutions Biosourcés : mélange de chanvre et ciment naturel
- Plus de 15 ans d'expérience dans le développement
- Un liant adapté : perméabilité à la vapeur d'eau, réactivité, durabilité
- Application : banché, projeté ou en blocs et éléments préfabriqués

+ Biosys
Imaginé par Vicat



Le Ciment Naturel Prompt

- Applications
- **Fabrication**
- Réactivité et minéralogie
- Propriétés

Un matériau unique



PROMPT VICAT 
CIMENT NATUREL


Bâtir
le vivre
ensemble

Matière première



- Extraction d'une pierre naturelle :
 - une seule matière première extraite de la carrière souterraine du massif de la Chartreuse
- Un banc géologique unique : calcaire argileux de composition régulière, appelé Pierre à Prompt
 - $\frac{3}{4}$ calcaire
 - $\frac{1}{4}$ phases argileuses (muscovite, kaolinite, illite)

Matière première



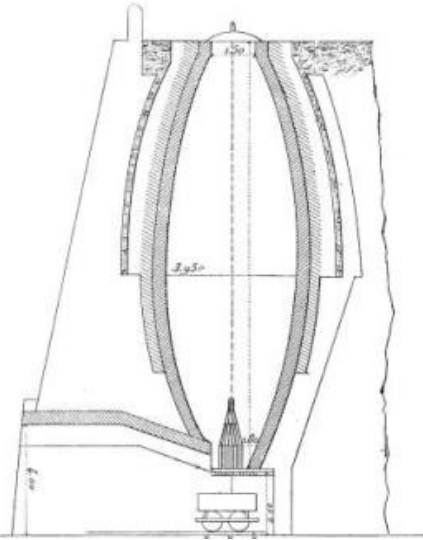
- Le transport de la Pierre à Prompt entre la carrière et l'usine de La Perelle s'effectue en train.

Fabrication



- L'usine de La Perelle, créée en 1875 par J. VICAT.
- Un procédé de fabrication inchangé depuis 170 ans
- Des techniques industrielles modernes
- Cuisson en fours droits

Fabrication



- Une cuisson en fours verticaux à des températures entre 500°C et 1200°C
- A la sortie du four, on identifie des grumes incuites, cuites et surcuites
- Le ciment naturel est le mélange dans des bonnes proportions de ces différentes grumes
- Les grumes sont concassées et broyées finement sans aucun ajout

Le Ciment Naturel Prompt

- Applications
- Fabrication
- **Réactivité et minéralogie**
- Propriétés

Un matériau unique

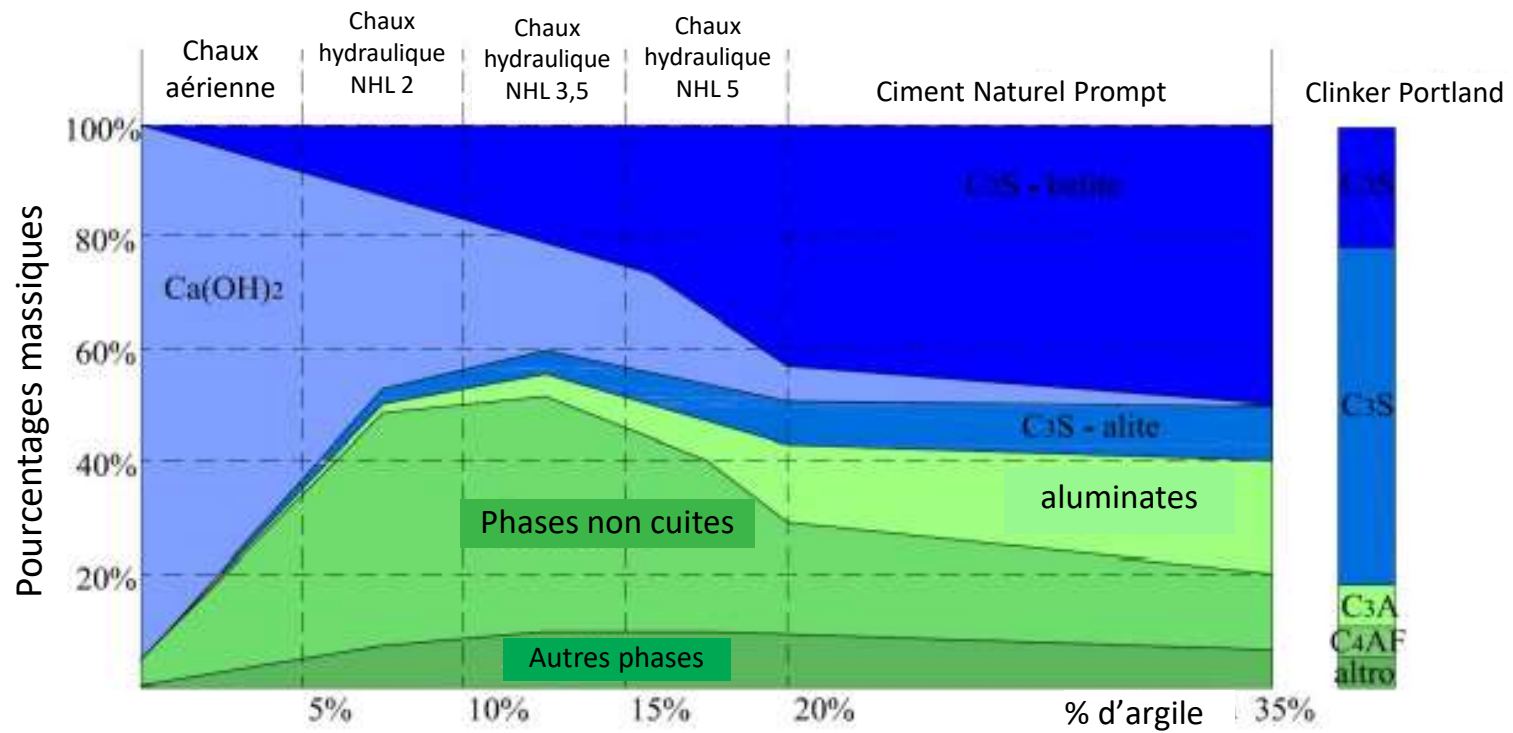


PROMPT VICAT 
CIMENT NATUREL


Bâtir
le vivre
ensemble

Réactivité et minéralogie

- Comparaison de la chaux aérienne, hydraulique, du ciment Naturel et du clinker Portland



Réactivité et minéralogie

■ Comparaison de la chaux aérienne, hydraulique, du ciment Naturel et du clinker Portland

Liant	Chaux aérienne	Chaux hydrauliques	Ciment Naturel	Clinker Portland
Matières 1 ^{res}	1 pierre naturelle	1 pierre naturelle	1 pierre naturelle	Mélange calcaire et marnes
% argile	< 10%	5 à 20%	20 à 35%	≈ 20%
Four	vertical	vertical	vertical	Rotatif horizontal
Température	< 1200 °C	< 1200 °C	< 1200 °C	1450°C
Extinction	oui	oui	non	non
Minéraux principaux	Ca(OH) ₂	C2S + Ca(OH) ₂	C2S + Aluminates Formation après hydratation de Ca(OH) ₂	C3S + C2S + C3A+ C4AF Formation après hydratation de Ca(OH) ₂
Hydraulicité	Non	Oui	Oui	Oui

Réactivité et minéralogie

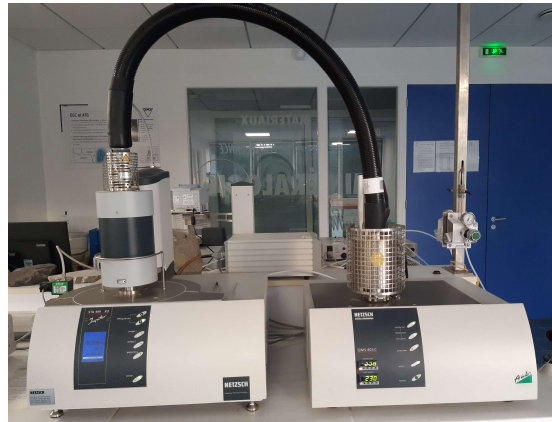
■ Composition minéralogique du Ciment Naturel Prompt

Catégorie	Phase minérale	Formule chimique	% massique
Silicates de calcium	C2S Belite	$(\text{CaO})_2 \text{SiO}_2$	45 à 60
	C3S Alite	$(\text{CaO})_3 \text{SiO}_2$	
Aluminium / fer	C3A	$(\text{CaO})_3 \text{Al}_2\text{O}_3$	15 à 25
	C4AF Ferrite	$(\text{CaO})_4 \text{Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$	
	C12A7 Mayenite	$(\text{CaO})_{12} (\text{Al}_2\text{O}_3)_7$	
Carbonates	calcite	CaCO_3	20 à 30
	Spurrite	$5\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{CO}_2$	
Sulfates	C4A3\$ (yélemite)	$(\text{CaO})_4 (\text{Al}_2\text{O}_3)_3 \text{SO}_3$	5 à 10
	Langbéinite	$2\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$	
	Anhydrite	CaSO_4	
Autres	Chaux	CaO libre + Portlandite	10 à 20
	Périclase	MgO	
	Quartz	SiO_2	
	C2AS Géhlénite	$(\text{CaO})_2 \text{Al}_2\text{O}_3 \text{SiO}_2$	
	Autres	Dont phases amorphes	

Réactivité et minéralogie

■ Etude du suivi d'hydratation par une combinaison de méthodes :

- Arrêts d'hydratation à différentes échéances
(5 min, 15 min, 30 min, 5h, 24h, 3 jours et 28 jours)
puis analyses par DRX et ATG
- Micro-calorimétrie

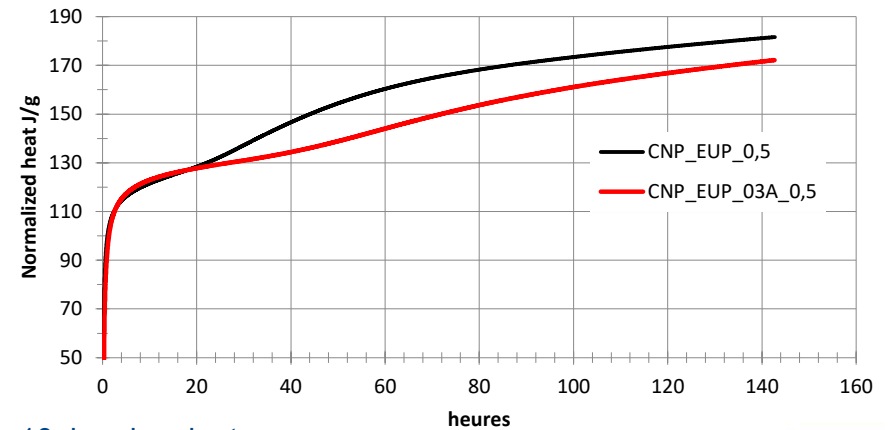
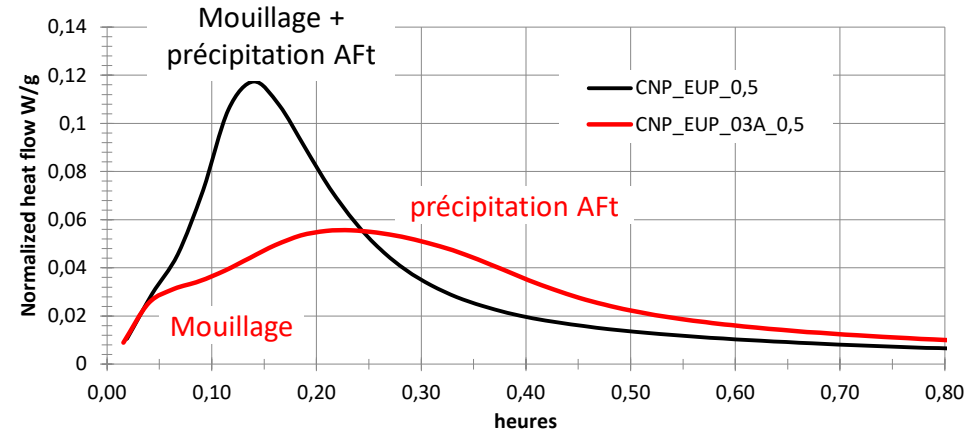
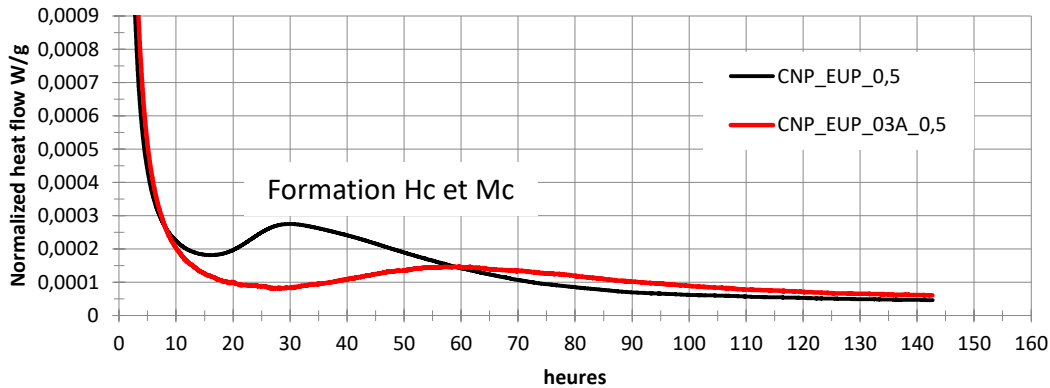


Réactivité et minéralogie

■ Suivi d'hydratation par une combinaison de méthodes :

- micro-calorimétrie (ampoule in situ) :

- pâte pure à E/C = 0,5 : — CNP_EUP_0,5
- Pâte pure à E/C = 0,5 avec 0,3 %m d'acide citrique — CNP_EUP_03A_0,5



- L'acide citrique permet de retarder la précipitation de l'ettringite d'une 10aine de minutes et le durcissement d'environ 30 minutes.

Réactivité et minéralogie

■ Phases formées :

- Formation d'ettringite dès les 1res minutes et AH3 / Disparition des aluminates (Brownmillérite, mayenite, yeelimite, C3A) et anhydrite
- Hémicarboaluminate de calcium hydraté $C_4A\hat{C}0,5H_{12}$ dès les 1res minutes puis apparition Monocarboaluminate $C_4A\hat{C}H_{11}$
- Apparition de C_4AH_{13} (famille AFm) à partir de quelques jours d'hydratation
- Portlandite
- Calcite
- CSH
- Hydrogrenat C_3AH_6

Le Ciment Naturel Prompt

- Applications
- Fabrication
- Réactivité et minéralogie
- **Propriétés**

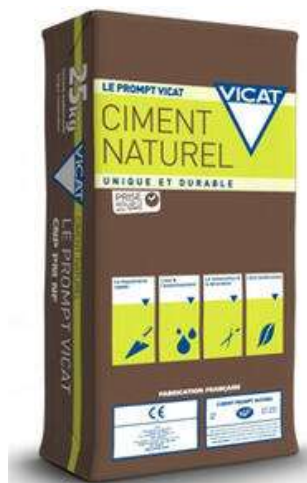
Un matériau unique



PROMPT VICAT 
CIMENT NATUREL


Bâtir
le vivre
ensemble

Générales

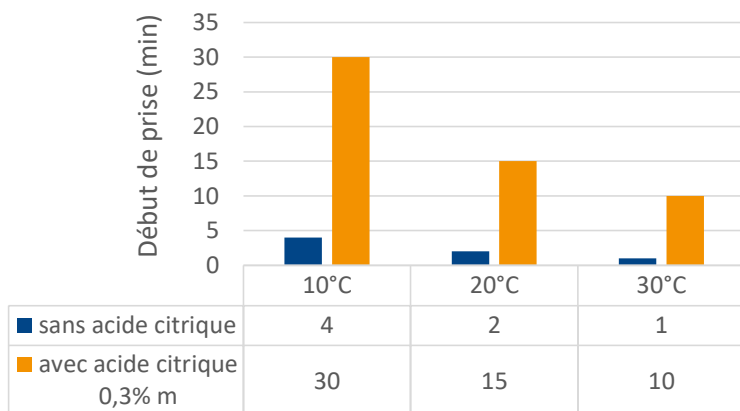


- Couleur : Chamois, Ocre, Effet pierre Naturelle
- Conforme à la norme NF P 15-314
- Agrément Technique Européen (ATE)
- Déclaration Environnement Produit (DEP)
- Conditionnement :
 - Sacs de 5 et 25 kg en carton ou palette

La prise

■ Une prise rapide mais réglable :

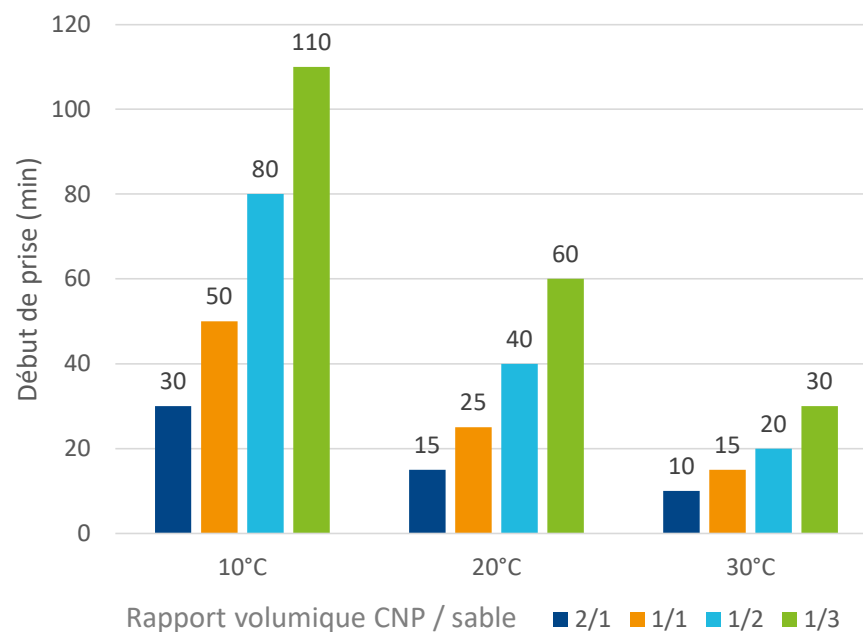
- À 20°C, début de prise à 2 min
- Réglable par ajout de retardateur : l'acide citrique (TEMPO)



■ Avantages :

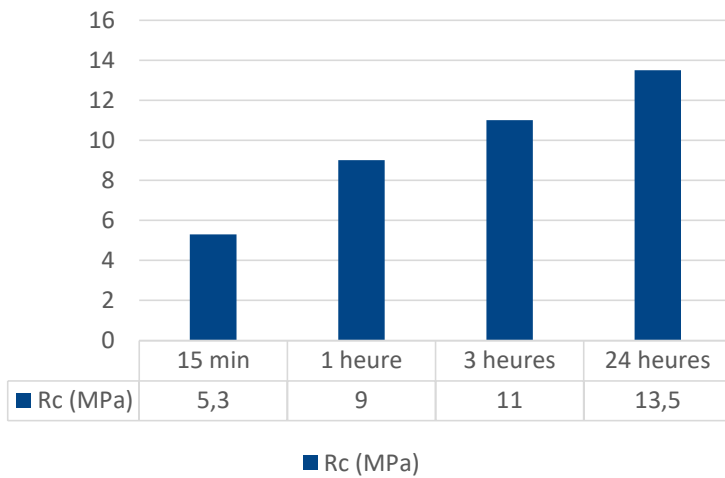
- Réduire les délais de mise en œuvre ou de démoulage
- Sécuriser rapidement les ouvrages par rapport aux intempéries, au froid,
- Pour une remise en service rapide

Ajustement de la prise en fonction de la proportion de sable

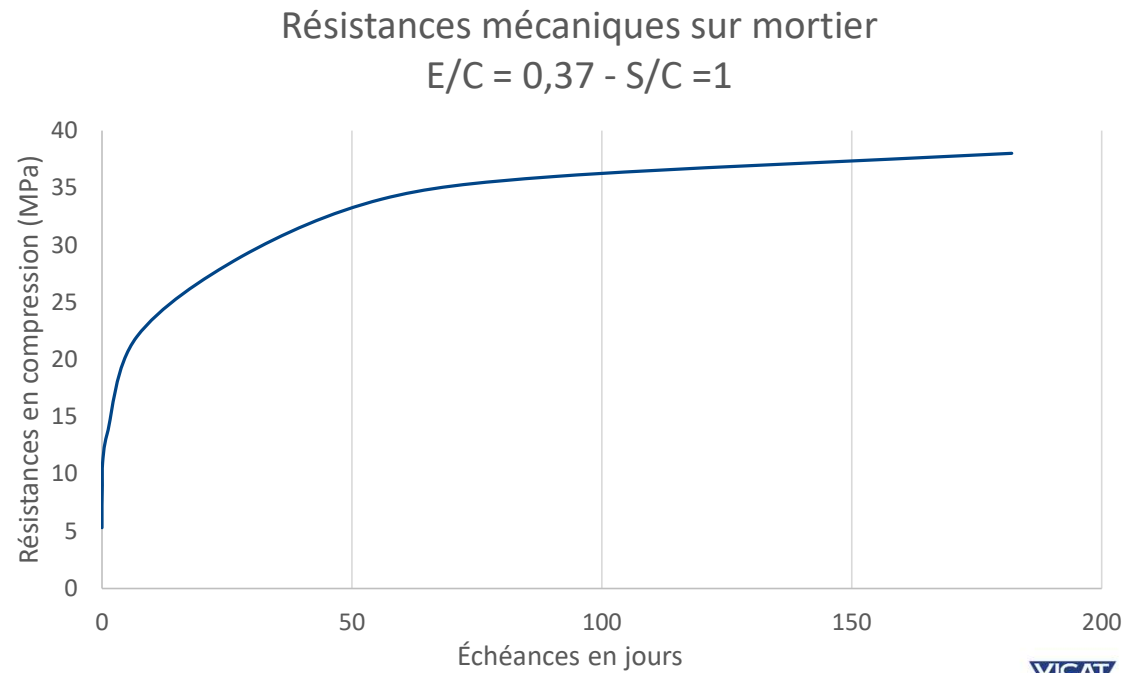


Les résistances

■ Des résistances initiales élevées

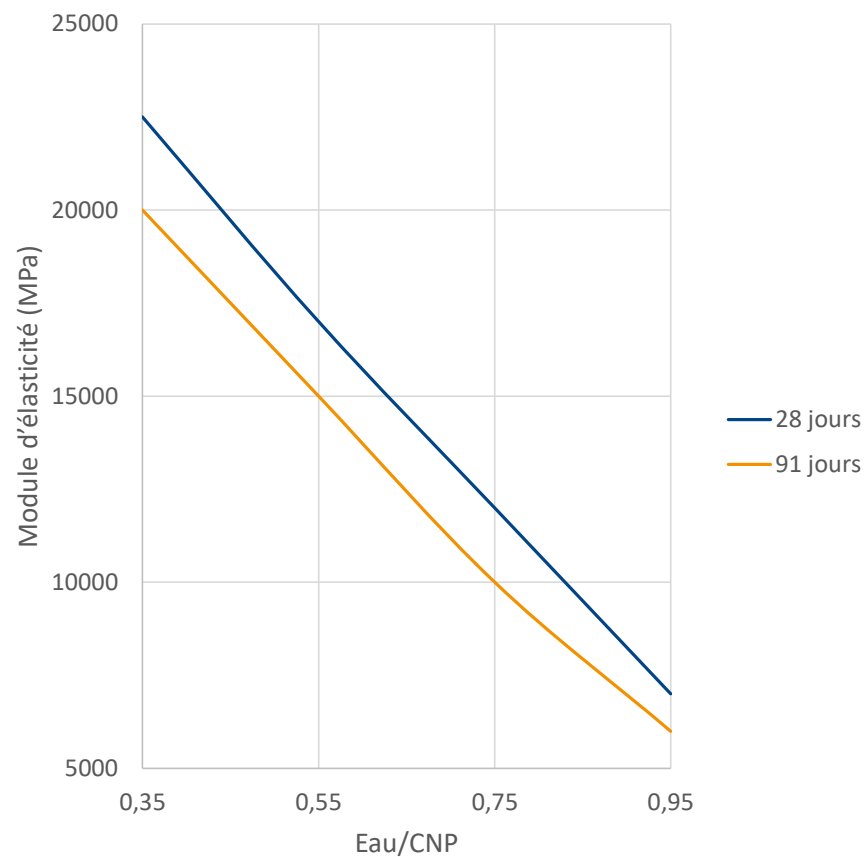


■ Une montée en résistance progressive sur plusieurs années grâce à l'hydratation de la Belite



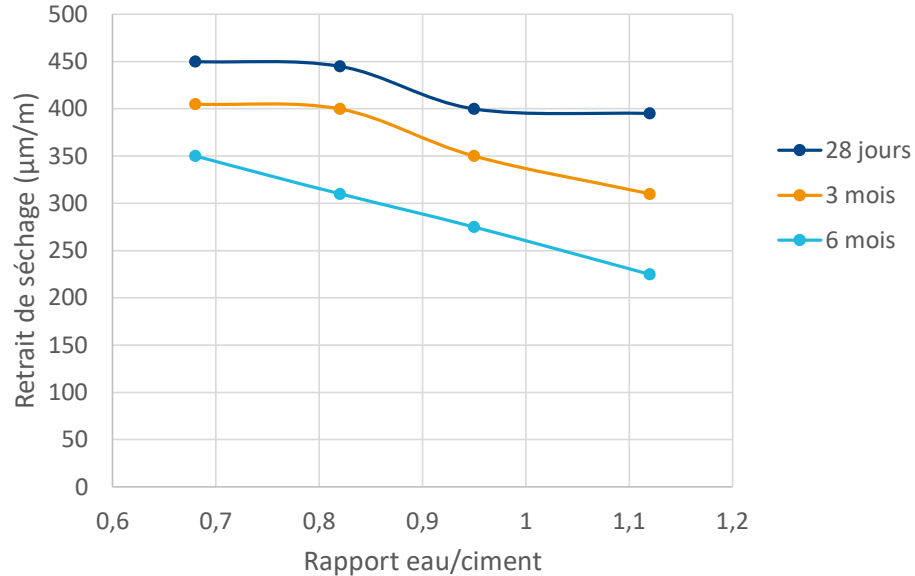
Module élastique

- Module élastique faible
- Adapté aux supports anciens
- Intérêt technique :
 - Réduire la concentration des contraintes aux interfaces support/réparation



Retrait

■ Faible retrait au séchage



■ Intérêt technique

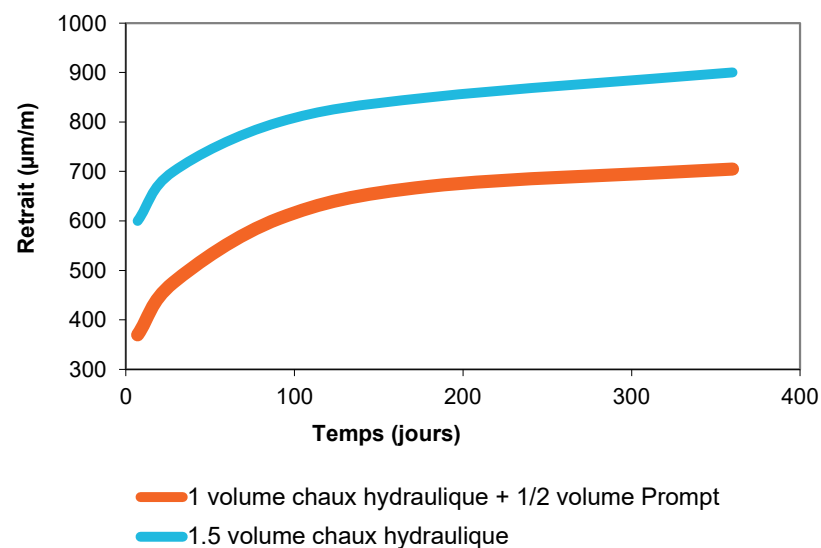
- Application en forte épaisseur avec une bonne résistance à la fissuration
- Facteur important pour l'adhérence sur tout type de support
- Accroître la durabilité de la réparation

Complémentarité avec la chaux

- Une complémentarité idéale avec la chaux
- La perméance du mortier NHL est conservée
- Un mortier de prompt a une perméance $> 0,4 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mm.Hg}$
- Perméabilité à la vapeur d'eau élevée
 - Assurer les échanges d'humidité entre support et l'air extérieur
 - Eviter une condensation au niveau de l'interface réparation/condensation → réduire les risques de décollement

Dosage en liant total kg/m^3	CNP kg/m^3	NHL 3.5 kg/m^3	Perméance à la vapeur d'eau CNP-NHL $(\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm.Hg})$	Perméance à la vapeur d'eau 100% NHL $(\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm.Hg})$
280	70	210	0,92	0,76
340	100	240	0,78	0,73
360	200	160	0,60	0,57

■ Réduction du retrait au séchage



Le Ciment Naturel Prompt dans les biosourcés

- Réactivité et minéralogie
- Exemples



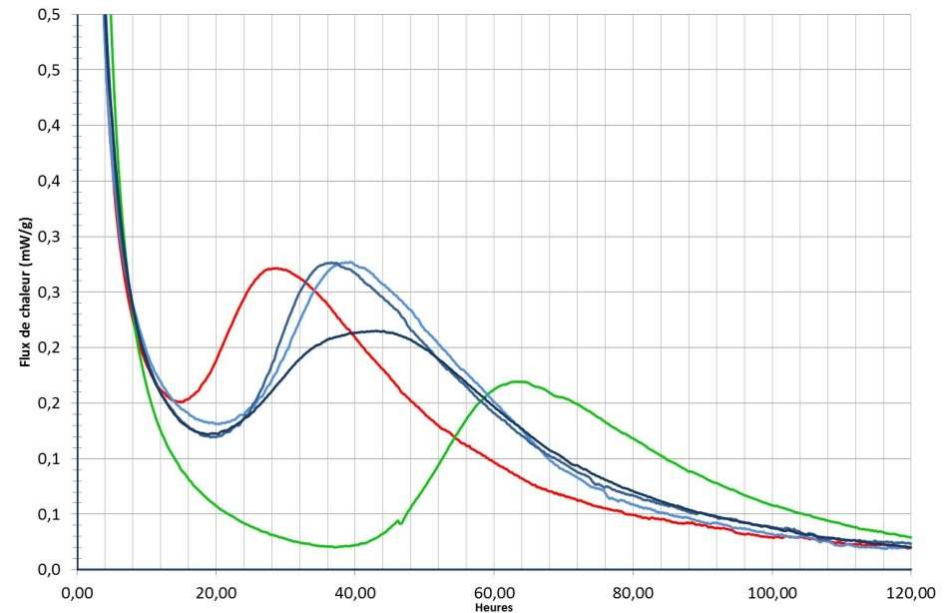
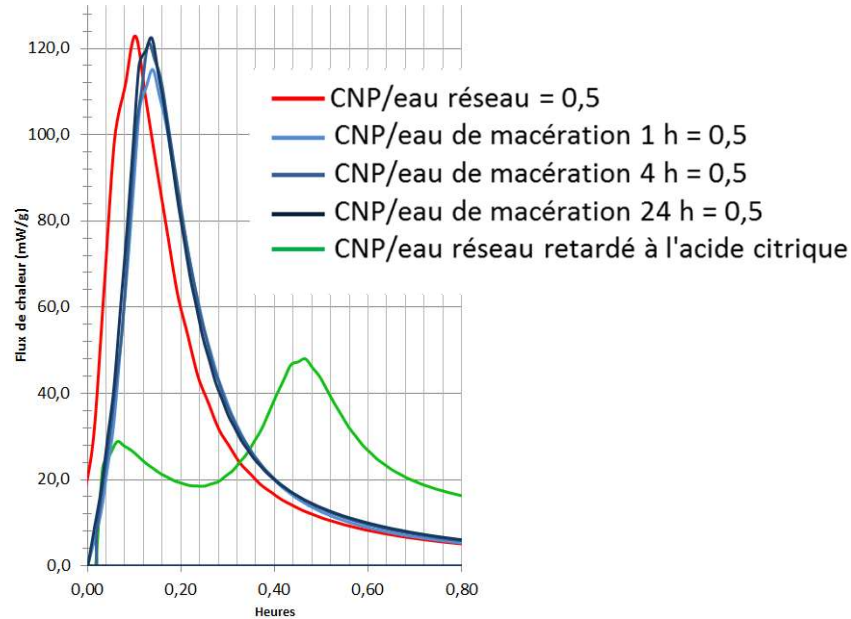
PROMPT VICAT 
CIMENT NATUREL


Bâtir
le vivre
ensemble

Réactivité avec des biomasses

■ Suivi d'hydratation par micro-calorimétrie :

- pâte pure à E/C = 0,5
- Pâte pure à E/C = 0,5 avec eau dans laquelle de la chènevotte a macéré 1h, 4h ou 24h (10g chènevotte dans 200g eau)
- Pâte pure à E/C = 0,5 avec 0,3 %m d'acide citrique



- L'eau de macération contenant des lixiviats de chènevotte (polysaccharides et polyphénols) retarde peu la prise et le durcissement du ciment prompt contrairement à l'acide citrique qui est le retardateur reconnu et usuel.

Réactivité avec des biomasses

■ Comparaison diffractogrammes :

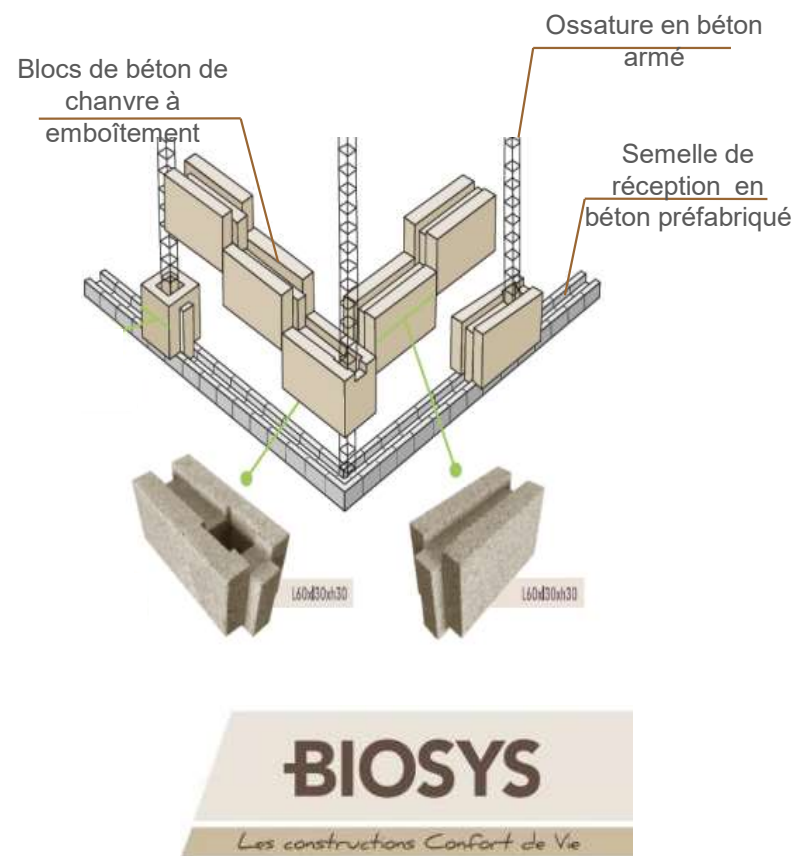
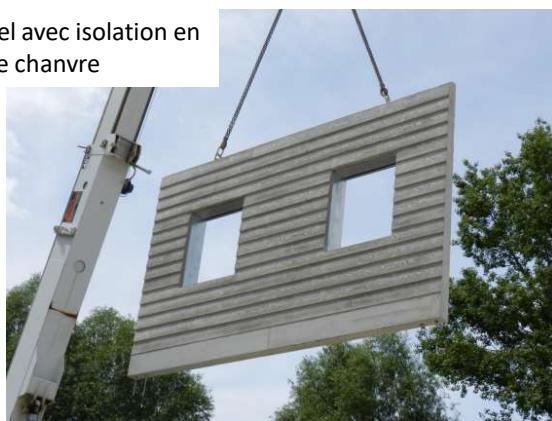
- Pâte pure à 7 jours d'hydratation avec l'eau de macération
 - Pâte pure à 7 jours d'hydratation avec de l'acide citrique
-
- Produits d'hydratation identiques lorsque le CNP est mélangé avec de l'eau, en présence ou non d'acide citrique ou avec de l'eau de macération

Exemples

- Retour d'expérience depuis plus de 15 ans
- Compatible avec tous les végétaux
- Plusieurs solutions en préfabrication
 - **Blocs en chanvre** pour isolation Int et Ext ou remplissage,
 - **Système constructif BIOSYS,**
 - **Panneaux** béton ou bois avec isolation en béton-chanvre,
- Des solutions **en béton biosourcé** projeté pour le neuf et la rénovation.



Panneau structurel avec isolation en béton de chanvre



Le futur



■ Identifier et évaluer les divers granulats biosourcés

- Développer et accompagner les filières biosourcées
- Favoriser le circuit court/local
- Développer des nouveaux produits/ solutions innovantes avec des partenaires industriels

Le futur



■ Démarche d'innovation

- Travailler sur des méthodes pertinentes pour l'évaluations des performances
- Créer des référentiels pour les matériaux biosourcés
- Accompagner la structuration de la filière agricole en amont
- Promouvoir des démarches biosourcées locales

Le futur



■ Démarche d'innovation

- Développement de nouvelles solutions bas carbone / biosourcés
 - AAPG ANR 2021 : BIO-UP
 - ADEME GRAINE : FIBRABETON
 - Projet BIOBATECH : tester différentes matières végétales présentes sur notre territoire afin de les valoriser en béton isolants.
- Mise au point d'un béton de bois structurel
- Développement du **premier liant carbo-négatif** permettant d'obtenir un béton ultra bas carbone.

Merci pour votre
attention



*La Bastille de Grenoble, Isère (France)
Restauration du mur de soutènement se trouvant à proximité de l'arrivée du téléphérique.*