

---

# Projet RECYMENT : Réactivité physico-chimique de graves recyclées utilisées en technique routière

P-Y. Mahieux<sup>1</sup>, Ph. Turcry<sup>1</sup>, H. Hamdoun<sup>1</sup>, O. Amiri<sup>2</sup>, V. Ferber<sup>3</sup>, L. Chateau<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE), UMR 7356 CNRS, Université de La Rochelle, Av. M. Crépeau, 17042 La Rochelle, France, mail : pierre-yves.mahieux@univ-lr.fr

<sup>2</sup> Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR-CNRS 6183, Université de Nantes, France

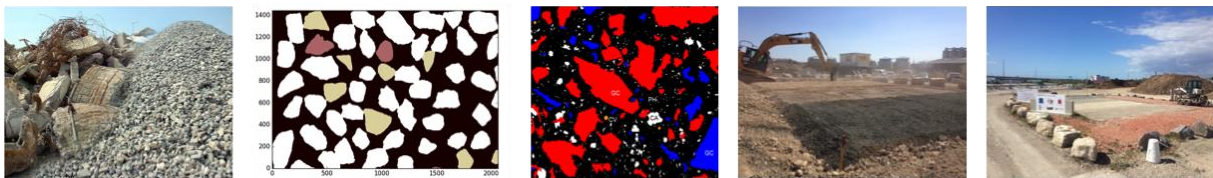
<sup>3</sup> Planète Recyclage, Entreprise Charier, Avenue de la Repentie, 17000 La Rochelle

<sup>4</sup> ADEME, 20 Avenue du Grésillé, 49000 Angers

---

**RÉSUMÉ.** La principale filière de valorisation des bétons de démolition consiste à les transformer en graves recyclées (GR) pour les travaux routiers en substitut des graves non traitées de carrière (GNT). Lauréat de l'appel à projets « Déchets du BTP 2013 », le projet Recyment avait entre autres pour objectif d'étudier la réactivité potentielle de graves recyclées d'une plateforme de recyclage rochelaise. Les GR présentent des performances au moins équivalentes à celles des graves de carrière. En laboratoire, comme sur des planches expérimentales, une évolution significative des propriétés mécaniques a été observée au court du temps. Cette évolution dépend du mode de concassage, de la composition de la GR et de l'environnement d'usage. La présence de ciment anhydre dans les GR offre une certaine hydraulité mais elle est jugée insuffisante pour expliquer l'évolution des propriétés mécaniques. La terre cuite présente en faible quantité dans les GR fournit une autre origine à leur réactivité, car cette matière est susceptible de provoquer des réactions pouzzolaniques.

**ABSTRACT.** Demolition concrete is mainly recycled as gravels for unbound road construction to substitute natural gravels. Winner of the call for projects "Déchets du BTP 2013" proposed by ADEME, the RECYMENT project had the main following objective to investigate of the potential reactivity of recycled aggregates (RA) produced by "PlanèteRecyclage" in La Rochelle. The RA provides better performances to natural aggregates. In laboratory and on experimental platform, a significant time-evolution of mechanical properties was observed on RA compacted. The evolution depends to the production process, nature and proportion of mineral compounds and the new environment. The presence of anhydrous cement phases highlighted and quantified in the RA alone cannot explain the time-evolution of RA mechanical behaviours. Terracotta presents in low proportion in RA provides another source of reactivity by pouzzolanic reactions. The results of the Recyment project will convince actor of the construction industry of the real performances of recycled aggregates.



**MOTS-CLÉS :** déchets inertes, granulats recyclés, transferts réactifs, milieux poreux, hydraulité, couche de forme.

**KEY WORDS :** inert wastes, recycled aggregates, reactive transfers, porous media, hydraulic reactivity, sub-base layer.

---

## 1. Introduction

En France, le secteur du BTP est le plus grand consommateur de matériaux naturels d'origine minérale puisque chaque année 400 millions de tonnes de granulats naturels sont extraits de l'écorce terrestre pour la construction (bâtiment, travaux publics et génie civil). En parallèle, ce sont 260 millions de tonnes de déchets qui sont produits par an (225Mt de déchets inertes, 30Mt de déchets non dangereux et 0,6Mt de déchets dangereux), soit près de 70% en masse de la production totale de déchets [ADE 2014]. Si aujourd'hui des filières de valorisation et de recyclage existent à travers le réemploi des matériaux routiers directement sur chantier (100Mt), le réaménagement des carrières en fin d'exploitation (50Mt) et le recyclage sous forme de granulats recyclés sur des plateformes spécialisées (20Mt), trop de matières sont encore déposées dans des installations de stockage spécialisées (ISDI, ISDND et déchetteries).

La démarche adoptée par le LaSIE à travers le projet RECYMENT, projet co-financé par l'ADEME et en partenariat avec l'entreprise Charier, trouve son application dans le domaine de la construction routière et non dans le domaine des bétons [TUR2016]. Il s'agit de proposer des alternatives techniques à la conception et à la fabrication des couches de forme pour les chaussées par l'emploi de matériaux issus de la valorisation de déchets du BTP. Par définition, une couche de forme constitue la plateforme d'une structure de chaussée. L'objet de cette couche, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, est d'homogénéiser l'arase de terrassement, d'assurer la traficabilité des engins en phase « chantier » et enfin de participer à la distribution des contraintes dans le sol support pendant la durée de vie de la chaussée. Aujourd'hui les matériaux couramment utilisés sont des graves naturelles non traitées (GNT) ou les sols directement traités en place avec des Liants Hydrauliques Routiers (LHR).

Même si l'usage de granulats recyclés s'est développé en technique routière depuis les années 2000 dans de nombreuses régions [HOR 2011] et que des guides techniques ont vu le jour pour encadrer leurs utilisations [CER 2014], on constate cependant que ces matériaux sont encore caractérisés comme des granulats naturels sans tenir compte de leurs spécificités et de leurs potentialités. Les granulats recyclés étudiés dans ce projet, issus d'une plateforme de recyclage de déchets de démolition (Planète Recyclage, filiale de l'entreprise Charier), sont des matériaux complexes (matière minérale multiphasique) mais réactifs, évolutifs et très performants à long terme, voire meilleurs que des granulats naturels. Dans ce contexte, nos travaux de recherche portent sur la méthodologie d'investigation des granulats recyclés : de la détermination de leur composition qualitative et quantitative à l'étude de leur comportement mécanique sur des échantillons de taille réduite d'abord puis de taille réelle sur des planches expérimentales et des sites pilotes. Il s'agit aussi de comprendre précisément l'origine de leur comportement réactif (hydraulicité, pouzzolanité et carbonatation) afin d'appréhender et contrôler l'influence de la matière première et de leur mise en œuvre dans un environnement donné pour proposer de nouvelles solutions constructives à hautes valeurs ajoutées et respectueuses de l'environnement.

## 2. Synthèse de nos principaux travaux

Le processus de fabrication est une succession d'étapes de préparation (réduction de volume par pinces mécaniques où BRH), de déferrage, de concassage et enfin de criblage (figure 1). Les granulats recyclés obtenus sont principalement sous la forme de graves de classe granulaire 0/31,5 mm destinées aux Travaux Publics pour les plateformes, remblais et couches de forme de chaussée.

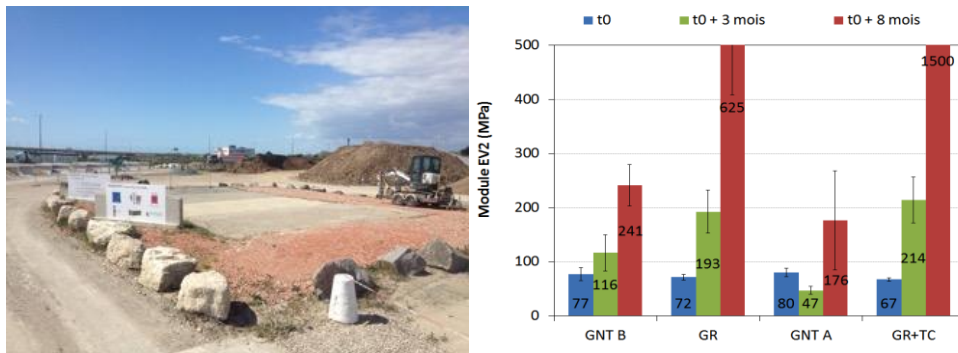


**Figure 1.** Process de fabrication de granulats recyclés à partir de déchets de démolition : Pince hydraulique, concasseur à mâchoire, cribleuse (illustration Planète Recyclage) ; Composition moyenne en % sur la fraction 4/31,5

Les graves recyclées élaborées sur la plateforme de recyclage sont composées, en moyenne, de plus de 92% d'éléments de la classe  $R_{cu}$ , c'est-à-dire matériaux cimentaires, granulats naturels ou verres (figure 1). Il existe aussi une fraction non négligeable de terre cuite (classe  $R_b$ ), de l'ordre de 4%. Dans une moindre mesure (<4%),

on trouve des matériaux bitumineux et autres bois et plastiques (classe R<sub>a</sub> et X). Avec ces résultats, les GR répondent aux critères des graves GR2, définis dans le guide de l'IDDRIM, concernant la composition mais aussi la résistance à la fragmentation (LA+MDE = 65%) et la teneur en sulfates solubles (0,27% < SS < 0,35%). Le seul paramètre à ne pas répondre aux critères de l'IDDRIM est la distribution granulométrique : les GR peuvent présenter un manque d'éléments inférieurs à 500 µm en fonction du type de concasseur utilisé.

Les performances mécaniques des GR, après compactage, ont été étudiées au cours du temps, d'une part, en laboratoire au moyen d'essais de poinçonnement sur des échantillons de type CBR, d'autre part, in situ au moyen de planches expérimentales sur une surface totale de 200m<sup>2</sup>. Les GR ont été comparées à des graves non traitées (GNT) prises comme références : une grave amphibolitique et une grave calcaire. Si les GR présentent des performances au moins équivalentes à celles des GNT juste après compactage, à une teneur en eau proche de l'optimum Proctor et à compacité équivalente, une augmentation de leurs propriétés mécaniques dans les mois suivant la mise en place a été observée, en laboratoire et in situ. Les GR voient leur résistance au poinçonnement « CBR » doubler après trois mois de conservation endogène ou après immersion sous eau. Sur la plateforme expérimentale, le module de portance EV2 déterminée par essais à la plaque (NF EN 94-117-1) augmente fortement au cours des huit mois (figure 2). Néanmoins, cette évolution est dépendante du mode de fabrication, de la composition des GR et de l'environnement d'usage.

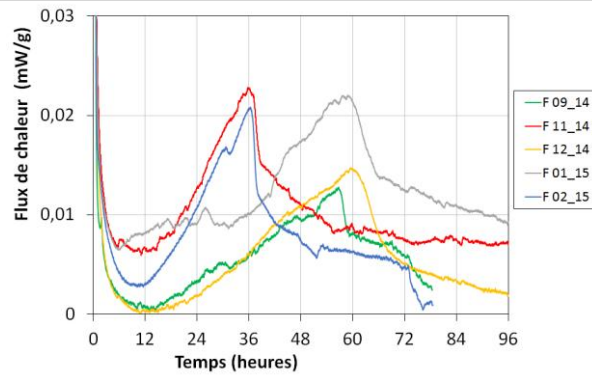


**Figure 2.** Plateforme expérimentale et évolution du module EV2 des graves d'études sur les 8 premiers mois après le compactage (t<sub>0</sub>)

Pour évaluer l'influence de la composition des GR sur leur réactivité, des GR ont été fabriquées sur le site de Planète Recyclage en sélectionnant la matière première avant les étapes de concassage/criblage. Les GR fabriquées à partir de béton seul, de béton à hautes performances (éléments préfabriqués) ou de béton maigre (parpaings, grave-ciment), présentaient des étendues granulométriques presque mono-dispersées, avec très peu d'éléments fins. Elles se sont révélées très peu réactives, avec une absence d'évolution de leur résistance au poinçonnement. La réactivité des GR est tributaire de leur arrangement granulaire et particulièrement de la présence d'éléments fins.

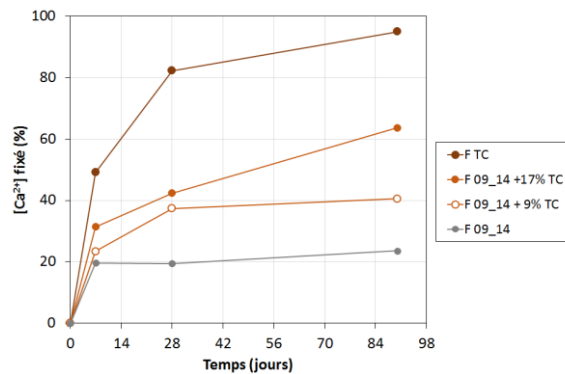
Le manque d'éléments fins des GR peut être compensé par l'addition de fines ou de sables. Sur les plateformes de recyclage, il est aisé de produire un sable de terre cuite à partir de tuiles ou de briques issues de la déconstruction. Ces dernières sont souvent triées du reste des déchets inertes sur le chantier. Sur cette idée, nous avons voulu connaître l'influence de la terre cuite sur les propriétés des GR. Cette étude se justifiait en outre par la présence systématique de terre cuite dans les GR. Une campagne expérimentale a donc été entreprise en laboratoire sur des mélanges de GR et de sable de terre cuite. Une planche composée d'un tel mélange a également été mise en œuvre sur la plateforme *in situ* (figure 2). Il ressort de ces études que l'ajout de terre cuite produit un mélange dont les performances mécaniques augmentent significativement au cours du temps.

Les augmentations de résistance des GR au cours du temps témoignent d'une réelle activité. Dans la littérature, les travaux montrant des évolutions mécaniques attribuent cette réactivité à une hydraulité et une pouzzolanité des GR. À notre connaissance, aucun n'a cependant clairement prouvé ces deux phénomènes. Pour tenter de les mettre en évidence, nous nous sommes concentrés sur la fraction la plus fine (< 100 µm) et sur la fraction sableuse des graves (< 4 mm). Des essais de microcalorimétrie isothermes nous ont montré que l'hydraulité des fines de GR est très faible (figure 3). Si hydraulité il y a, elle ne concerne en tout cas pas uniquement les éléments fins, qui sont d'ailleurs fortement carbonatés.



**Figure 3.** Flux de chaleur mesuré pendant les 4 premiers jours de l'essai de microcalorimétrie isotherme réalisé sur mélange de fines ( $<100\mu\text{m}$ ) et d'eau (rapport eau sur fines = 0,26)

Quant à la pouzzolanité des GR, elle reste, à l'issue de nos diverses expérimentations, suspectée. Mise en solution avec de la chaux, les fines de GR consomment effectivement les ions calcium (figure 4). Nos analyses thermogravimétriques montrent par ailleurs que la minéralogie des fines de GR ou des sables recyclés, mélangés avec de l'eau, se modifie au cours du temps. Nos analyses par DRX montrent aussi une évolution minéralogique sans que nous puissions identifier clairement les phases nouvellement formées. Ces modifications vont dans le sens de celles qu'on observerait sous l'effet d'une réaction pouzzolanique. Néanmoins en l'état actuel de nos analyses, il ne nous est pas possible d'affirmer avec certitude qu'il s'agit de pouzzolanité.



**Figure 4.** Evolution de la consommation des ions  $\text{Ca}^{2+}$

### 3. Conclusion

Les GR présentent des performances a minima équivalentes à celles des GNT. Ce sont des matériaux dont la capacité portante peut augmenter fortement dans les semaines suivant leur mise œuvre. Cette évolution mécanique est dépendante du mode de concassage, la composition et de l'environnement. Le processus de fabrication est un élément clé dans l'obtention de graves recyclées réactives. Initialement attribuée à une hydraulité, la réactivité des GR provient probablement plus d'une pouzzolanité due à la présence de terre cuite et à une carbonatation. Pour maîtriser les performances mécaniques des GR, et à moyen terme les prendre en compte dans le dimensionnement des chaussées, il reste à bien comprendre l'origine de leur réactivité et l'influence de leur composition

### 4. Bibliographie

- [ADE 2014] CHATEAU L., Fiche technique, Déchet du bâtiment, 2014. Disponible sur le site internet de l'ADEME, consultation janvier 2017.
- [CER 2014] CEREMA, Graves de valorisation, Graves de déconstruction, ISBN 978-2-11-129825-5, 2014.
- [HOR 2011] HORNYCH P., «Matériaux non traités, Synthèse des pratiques documentées.» Journées Techniques Routes. Nantes, 2011.
- [TUR 2016] TURCRY Ph., MAHIEUX P.Y., HAMDOUN H., CHATEAU L., FERBER V., Projet Recyment : « Etude de la réactivité des bétons concassés : application aux graves non traitées et au traitement des sols », Rapport final, 2016, ADEME.