



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

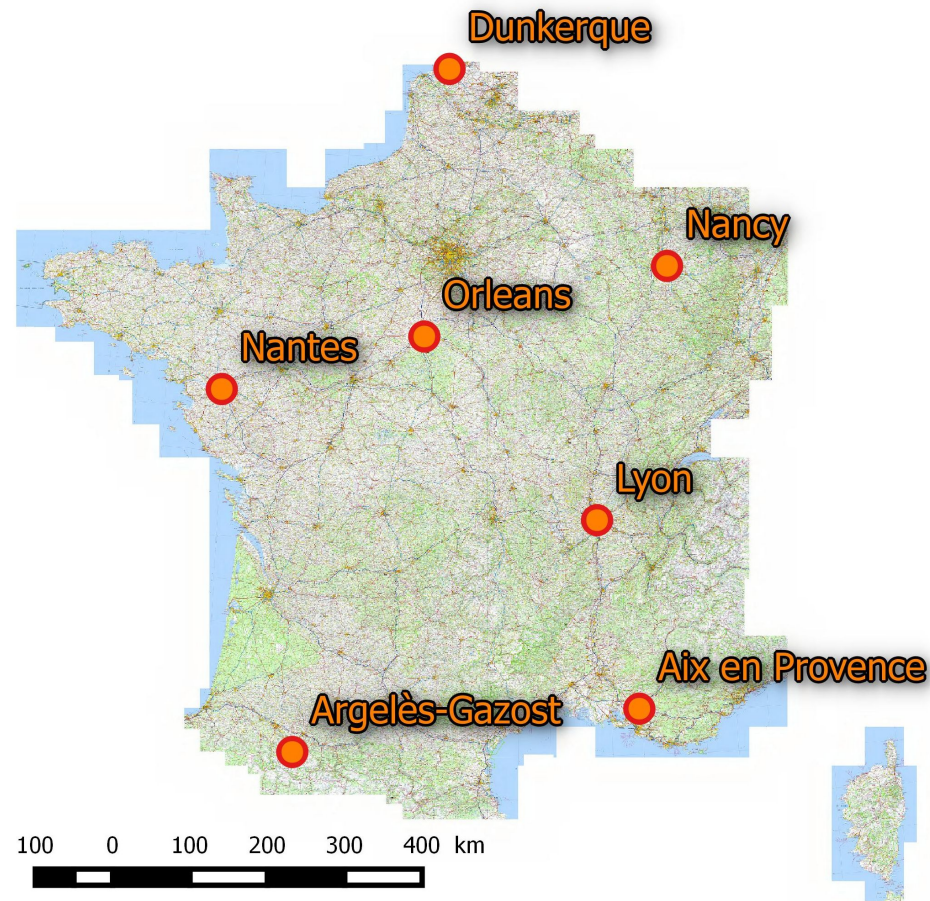
Tableau général de l'utilisation des enrochements en France

Auteur : Marc IGIGABEL, Cerema, Direction Technique Eau mer et fleuves

Introduction

- Importance stratégique des enrochements : projets globaux complexes, gestion de crise...
- Quelle est l'utilisation actuelle des enrochements en France ?
- Quelles conceptions préconiser pour mieux faire correspondre l'offre à la demande ?

Restitution du tour d'horizon des sept tables rondes



Plan de la Présentation

- Enjeux des opérations, coûts et provenance des matériaux
- La ressource en enrochements et son utilisation - provenance et destination, identification des cas de pénuries
- Conception limitant la spécification à des seuils inférieurs

Enjeux, coûts et provenance des matériaux

Dans les domaines
maritime, fluvial et torrentiel

Domaine maritime

Terminal méthanier de Dunkerque



Critères de dimensionnement inspirés de ceux d'une centrale nucléaire

- pour l'aléa submersion (niveau d'eau de période de retour 1 000 ans et houle de période de retour 100 ans)
- pour l'aléa sismique.

1 Mt d'enrochements nécessaires à cet aménagement (5 km de talus et digues).

Les enrochements représentent 31 % du coût de l'opération (46,5 M€ TTC sur un total de 150 M€ TTC).

Acheminement réalisé :

- par voie terrestre depuis les carrières du Boulonnais, les carrières Stinkal et les carrières de La Vallée Heureuse (à environ 70 km)
- par voie maritime depuis la Norvège.

Domaine maritime

Terminal vracs solides de la Rochelle



Le talus d'enclôture (1 420 m) est constitué d'enrochements (190 000 t).

Les enrochements représentent 4,3 M€ TTC sur une opération de 22,7 M€ TTC qui comprend également des déroctages et la construction d'un quai. (Enrochements : 19 % du total.)

L'acheminement s'est effectué par voie terrestre depuis la Vendée, sur une distance d'environ 120 km.

Domaine maritime

Marseille – Rénovation de la digue du large



Sur une longueur de 5,1 km, l'objectif est de conforter l'ouvrage de façon pérenne dans les dizaines d'années à venir.

Au total, plus de 300 000 t seront nécessaires pour un coût minimum de 16 M€ TTC. (enrochements : 100 % du coût total.)

Les matériaux ont été acheminés depuis la carrière de Martigues, située à environ 40 km.

Autres exemples maritimes hors ports : Les Boucholeurs et la Perrotine



Domaine maritime

- Protection d'enjeux importants :
 - Populations (protection contre les submersions marines),
 - Enjeux industriels dont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)
- Approvisionnement par voie terrestre (routière ou ferroviaire), fluviale ou maritime
- En cas de fortes exigences sur les caractéristiques, import par voie maritime

Domaine fluvial

Protection des levées de la Loire



Massif de protection contre les affouillements en pied de digue.

Très vastes surfaces protégées :

- les levées constituent un corset de 600 km
- 300 000 personnes habitent dans les vals protégés.

Sur la Loire moyenne et ses affluents, sur la période 2011-2014, emploi de 180 000 t d'enrochements pour un coût de 9 M€ TTC.

Acheminement par voie terrestre de carrières localisées dans un périmètre proche (en général moins de 100 km).

Domaine torrentiel

Travaux dans les Hautes-Pyrénées



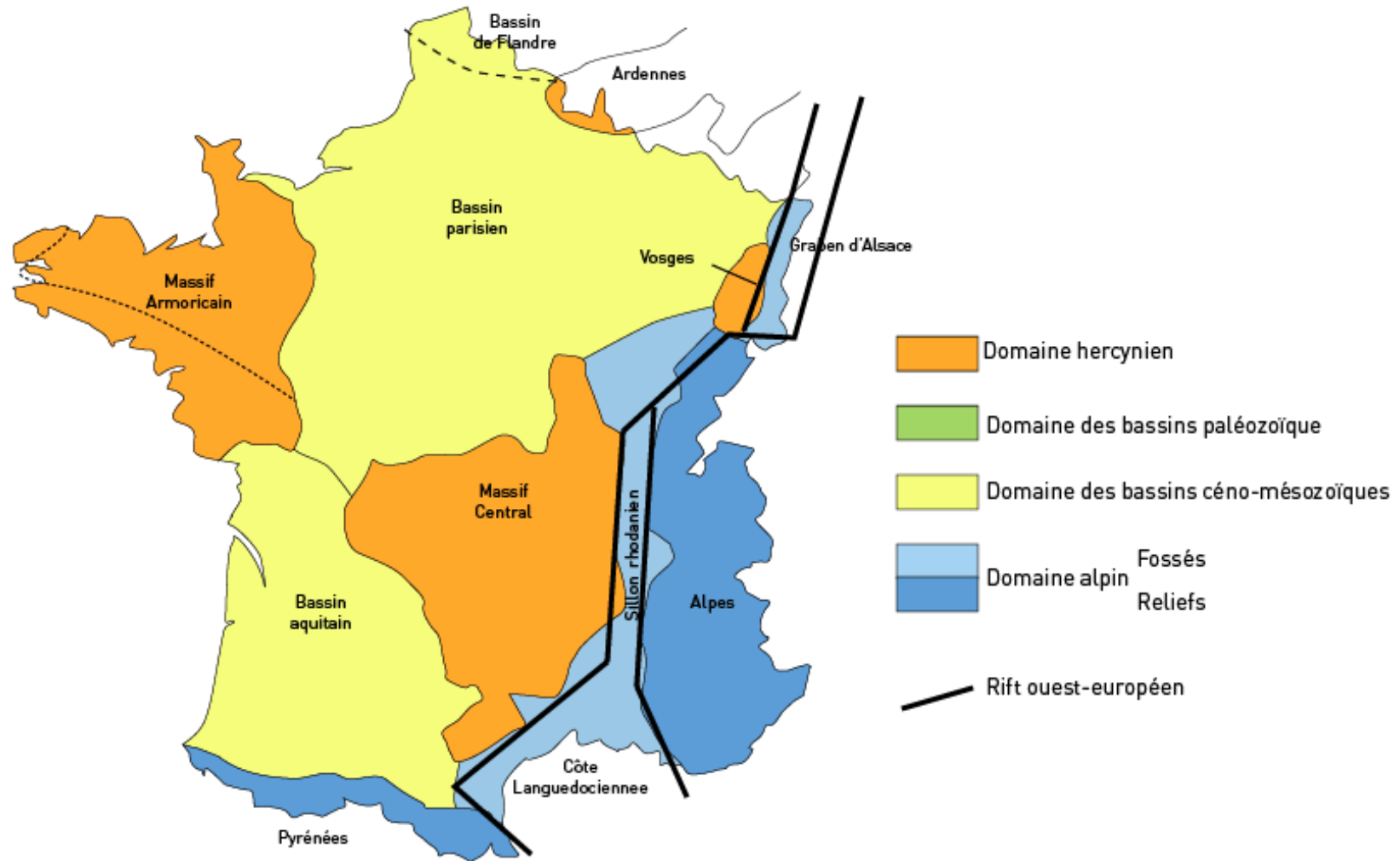
Suite aux crues torrentielles d'octobre 2012 et juin 2013, nombreux travaux d'enrochements au niveau des gaves de Pau, de Cauterets, de Gavarnie et de Bastan.

À la suite des crues d'octobre 2012 et de juin 2013, le montant total des travaux sur ouvrages publics s'est élevé à environ 120 M€ dont plus de 60 M€ (50%) de travaux d'enrochements.

Enrochements prélevés sur place ou acheminés par voie terrestre. Le relief contraint fortement les itinéraires, augmentant les distances de parcours.

La ressource en enrochements et son utilisation

Régions géologiques



Une ressource inégalement répartie

- Les massifs français (massif armoricain, massif ardennais, massif central...) ainsi que les chaînes de montagnes récentes (Alpes et Pyrénées...) composés de formations géologiques de type plutonique ou métamorphique peuvent présenter des caractéristiques intéressantes.
- Les bassins sédimentaires (parisien et aquitain) constitués de calcaires du Crétacé et du Jurassique ne disposent pas d'entités géologiques ayant des caractéristiques techniques permettant l'obtention d'enrochements.

Difficultés d'approvisionnement

Cas général

Approvisionnement en enrochement difficile à assurer sur des sites :

- exposés à de fortes contraintes hydrauliques (forte houle sur le front de mer ou fort courant dans les domaines fluviaux et torrentiels)
- dans les régions éloignées des zones de production et des ports maritimes ou fluviaux

Cas de pénurie ou de tension dans l'approvisionnement

- Les inondations affectant de vastes territoires :
 - Submersions marines
 - Crues fluviales
 - Crues torrentielles
- Les grands projets structurants

Exemples...

Difficultés d'approvisionnement

Cas des submersions marines



- Opérations de travaux menées suite à Xynthia
 - En Charente-Maritime, pas de carrière proche dans l'arrière-pays (Bassin Aquitain). L'accès par voie maritime n'a pas compensé ce déficit local d'enrochements.
 - En Vendée (arrière-pays constitué par la fin du massif armoricain), approvisionnement en enrochements plus aisé.

Difficultés d'approvisionnement

Cas des inondations fluviales

- Sur la Loire :
 - caractéristiques techniques des formations géologiques de la région Centre plus faibles que celles de la région Pays de la Loire.
 - Loire navigable jusqu'à Bouchemaine, près d'Angers, soit jusqu'à la limite du massif armoricain.
- La région offrant la ressource en enrochements la plus faible est donc aussi celle dont l'accès par voie fluviale est interdit.

Difficultés d'approvisionnement

Cas des crues torrentielles

- Dans les Pyrénées, après les crues d'octobre 2012 et de juin 2013,
 - Difficultés pour approvisionner dans l'urgence les chantiers en enrochements à l'automne et à l'hiver 2013.
 - Difficultés en partie appréhendées pour des chantiers nécessitant de mettre en sécurité des enjeux forts, dans un délai court (avant les crues automnales), et sur des linéaires d'ouvrages importants.

Travaux près d'Argeles-Gazost suite à la crue de 2013



Difficultés d'approvisionnement

Cas des projets structurants

- Terminal méthanier de Dunkerque (1 Mt)
- Calais 2015 (4.7 Mt d'enrochements)



Difficultés d'approvisionnement



- Route littorale de la Réunion
 - route en mer de 12 km
 - prévision de 8 Mt d'enrochements



Conséquences des difficultés d'approvisionnement

- Pénuries propres aux interventions d'urgence dans des situations de catastrophe majeure
 - Pénurie + délais de préparation insuffisants => Utilisation de matériaux inappropriés dans les opérations de travaux (constat notamment après Xynthia)
- Tensions d'approvisionnement propres au cas des projets structurants
 - Import par voie maritime envisageable dans les cas cités
 - Approvisionnement assuré avec des délais longs
 - Recherche d'optimisation des conditions économiques de la fourniture par des choix techniques pertinents

Conception limitant la spécification à des seuils inférieurs

Deux principes de conception

- Quelles que soient les actions hydrauliques (en côtier, fluvial ou torrentiel), deux options :
 - conception statique : les enrochements ne doivent se déplacer que de façon très limitée,
 - conception dynamique : autorise plus de liberté dans le mouvement des matériaux.
- Pour les ouvrages reprofilables,
 - privilégier les mouvements dans le profil,
 - éviter les mouvements latéraux.

Conception statique : déclinaison variable suivant le milieu

- En milieu côtier : enrochements libres pour augmenter la porosité et améliorer la dissipation de l'énergie des vagues.
- En milieu fluvial : résistance au courant. Actuellement utilisation dans la majorité des interventions d'enrochements libres.
- En milieu torrentiel : les courants supérieurs imposent des enrochements liaisonnés...

Particularité du milieu torrentiel

- Utilisation occasionnelle des matériaux présents dans les cônes de déjection
- Lorsque ces matériaux présentent un faible pourcentage de surfaces cassées, leur utilisation liaisonnée est moins problématique qu'une utilisation classique en talus



Conception dynamique en milieu côtier



- Blocs de masse réduite mais disposés sur une épaisseur supérieure qui permettent d'autoriser le déplacement des blocs.
- L'usure des blocs dans ces conditions est plus forte de par le frottement qui existe entre eux... S'assurer que cette usure est acceptable sur la durée de vie du projet.

Conception dynamique en milieu fluvial



- Mise en œuvre d'un matériau de granulométrie continue pour :
 - protéger contre l'érosion et les affouillements : un dimensionnement conséquent du massif et une masse moyenne minimum sont imposés,
 - protéger contre l'érosion sous-jacente. Un géotextile peut être utilisé en complément.
- En phase transitoire, les matériaux les plus fins sont arrachés de la couche extérieure. Veiller à l'homogénéité du mélange.

Conception dynamique en milieu torrentiel

- L'enchâssement de plusieurs rangées d'enrochements libres en avant de l'ouvrage (blocométrie comprise entre 900 mm et 1 500 mm) permet en cas d'abaissement du fond du lit :
 - de remobiliser ces enrochements,
 - d'empêcher, par écran amovible, l'affouillement de la fondation de l'ouvrage.



Conclusion

- Les enrochements représentent une ressource stratégique de par les enjeux protégés.
- Les situations sont très variables du fait :
 - Des actions hydrauliques variées,
 - De la grande hétérogénéité des gisements.
- Les ouvrages reprofilables (et ceux dont l'érosion est contrôlée) offrent des solutions technico-économiques qui méritent d'être explorées.



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Merci pour votre attention

Marc IGIGABEL

Ingénieur chargé d'études

Division Aménagement et Risques Naturels

+33 (0)2 98 05 76 51

marc.igigabel@cerema.fr