



Réparations durables du béton: principes et règles techniques pour mortiers projetés

L. Courard,
Urban and Environmental Engineering, Université de Liège

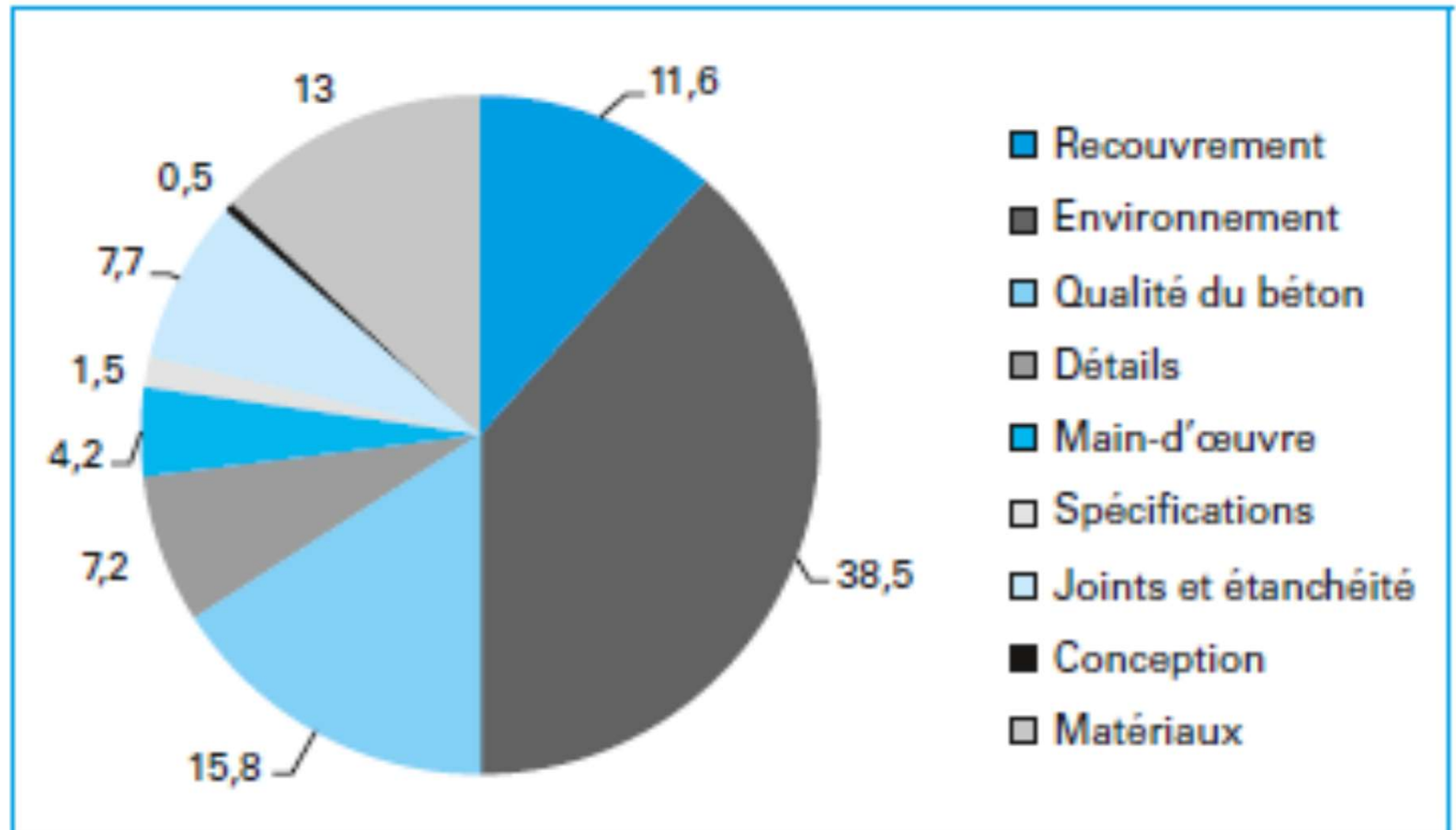
Mortiers projetés pour la réparation et la protection durable du béton
FEREB, ULiège
8 octobre 2019

Contexte global: mauvaise qualité





Principales causes des dégradations des bétons (armés) *(BCA, 1997)*



Contexte global: mauvaise qualité



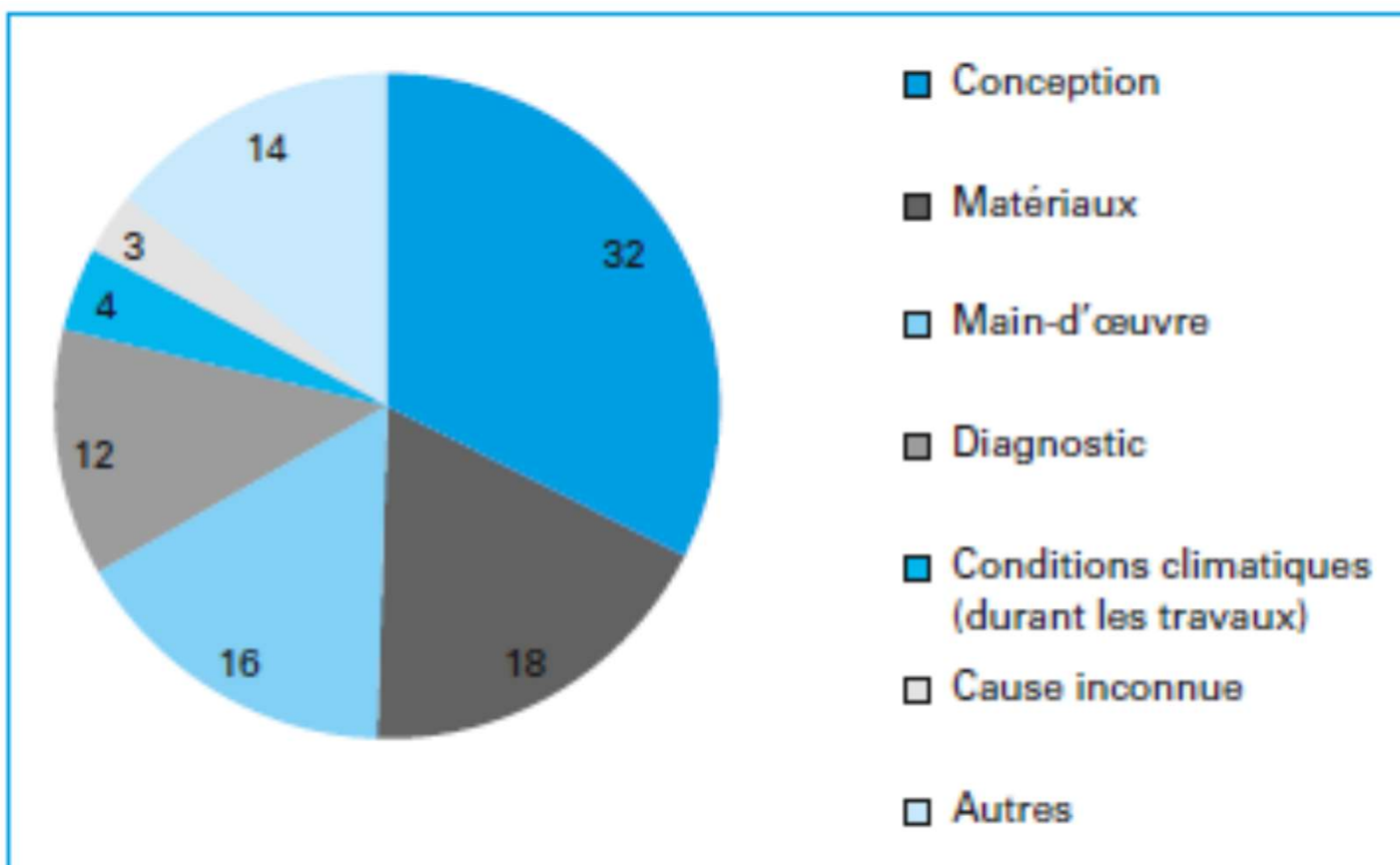
Skaryszewski Park, Warsaw



Esso, Sclessin, 2006



Principales causes des échecs des réparations *(Tilly, 2004)*





The reliability and durability of a repaired concrete substrate and its remaining service life depends on the behavior of the repair material, which is controlled by the **compatibility** between the two materials making up the repair system.

(Czarnecki, 2004)

... the heterogeneity of the components in a composite repaired structure requires an **understanding of the interaction** of the existing materials and the repair materials ...

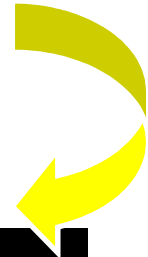
(Vaysburd et al., 2004)



Paramètres affectant la qualité de la réparation *(Silfwerbrand, 2004)*

- ▶ Concrete properties
- ▶ Removal deteriorated concrete
- ▶ Cleaning after removal
- ▶ Surface properties
- ▶ Surface preparation
- ▶ Bonding agents
- ▶ Mechanical devices across the interface
- ▶ Concrete placement
- ▶ Concrete curing
- ▶ Time dependance
- ▶ Traffic, ..

Facteurs
predominants



**Méthode de préparation
du béton support**

Absence de laitance

**Propreté avant placement
de la réparation**

**Compaction du produit de
réparation**

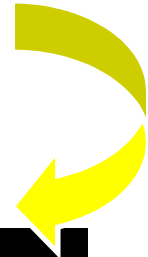
**Cure du produit de
réparation**



Paramètres affectant la qualité de la réparation *(Silfwerbrand, 2004)*

- ▶ Concrete properties
- ▶ Removal deteriorated concrete
- ▶ Cleaning after removal
- ▶ Surface properties
- ▶ Surface preparation
- ▶ Bonding agents
- ▶ Mechanical devices across the interface
- ▶ Concrete placement
- ▶ Concrete curing
- ▶ Time dependance
- ▶ Traffic, ..

Facteurs
predominants



**Méthode de préparation
du béton support**

Absence de laitance

**Propreté avant placement
de la réparation**

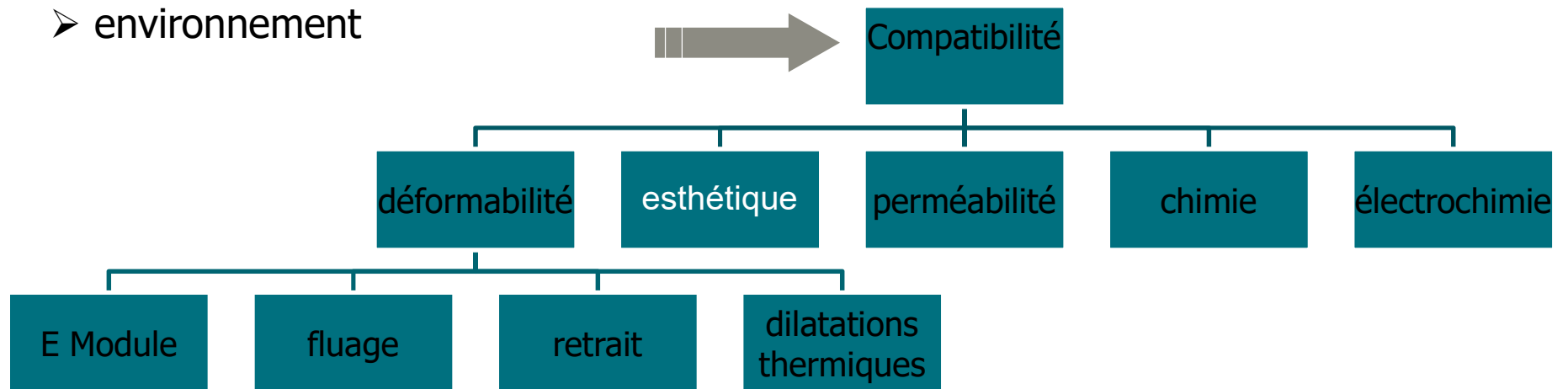
**Compaction du produit de
réparation**

**Cure du produit de
réparation**

Principes de compatibilité *(Bissonnette et al., 2004)*

... 3 éléments:

- substrat
- matériau de réparation
- environnement



Principes de compatibilité



- **Compatibilité chimique**
 - Contenu en alcali (RAG): réparation avec matériaux à faible teneur en alcali si béton support avec granulats potentiellement réactifs
 - Contenu en C_3A
 - Ciment HSR
 - Teneur en chlorures
 - Protection des armatures
 - Matériaux de réparation à pH élevé

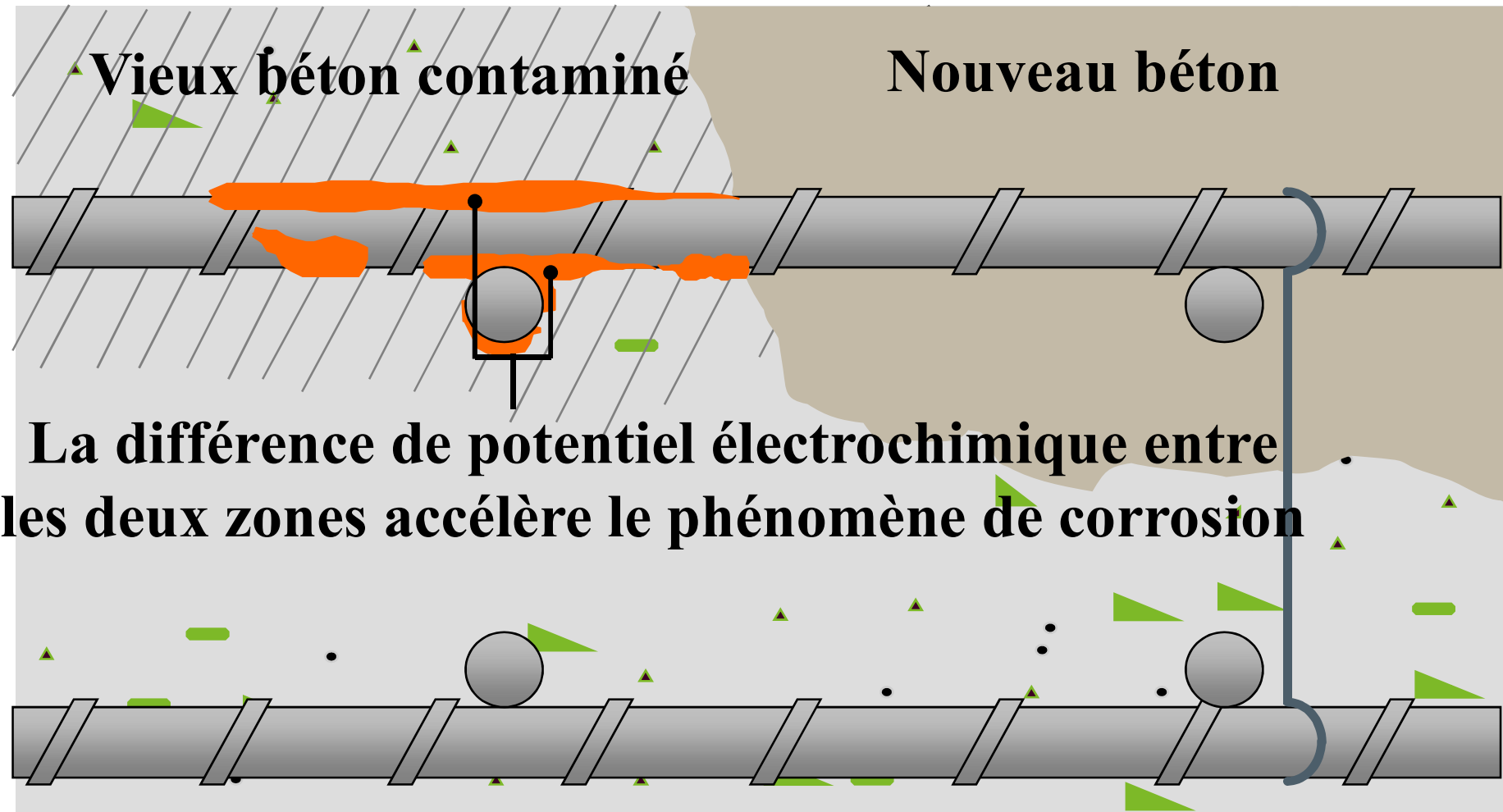
Principes de compatibilité



- Compatibilité électrochimique
 - Résistivité électrique
 - pH

La réparation d'une partie seulement d'une large zone anodique peut augmenter le rapport cathode/anode et accélérer considérablement le processus de corrosion à la périphérie de la zone réparée.

Réparations isolées (« rapiéçage »)



(ERS A06 B. Bissonnette, 2006)

Réparations isolées (« rapiécage »)



- ▶ La corrosion autour de la réparation a accéléré la corrosion dans la partie adjacente et causé le décollement



Compatibilité dimensionnelle

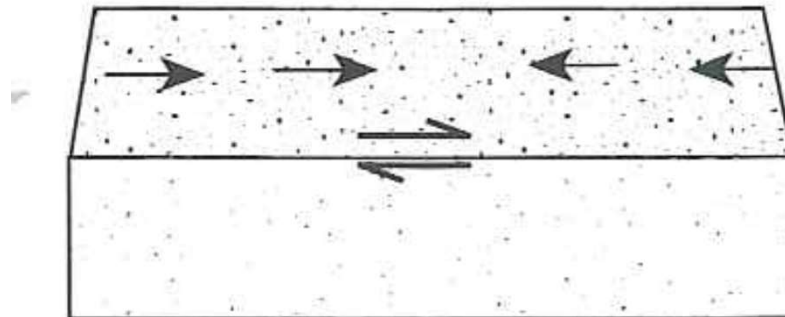


- Facteurs influençant la stabilité dimensionnelle
 - Retrait de séchage
 - Coefficient de dilatation thermique
 - Module d'élasticité
 - Fluage
- Changements volumétriques → cisaillement aux interfaces

Compatibilité dimensionnelle



- Retrait de séchage
 - Evaporation de l'eau
 - Contraintes de traction dans le revêtement
 - Fissures si contraintes de traction $>$ résistance en traction



Le retrait au séchage est un des principaux paramètres contrôlant la durabilité des réparations de surface



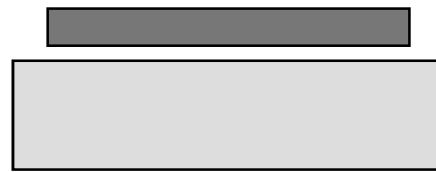
Réparations avec retrait empêché



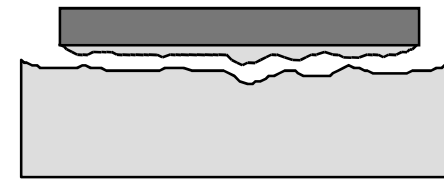
Compatibilité dimensionnelle



$$\Sigma(\varepsilon) = (\varepsilon_{\text{retrait}} - (\varepsilon_{\text{élastique}} + \varepsilon_{\text{fluage}} + \varepsilon_{\text{microfissuration}}))$$



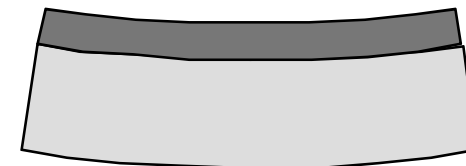
a) décollement



c) délamination



b) fissuration



d) « curling »

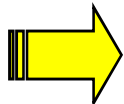


Développement de l'adhérence

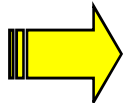


Compatibilité = ... adhésion (*Deryagin, 1973*)

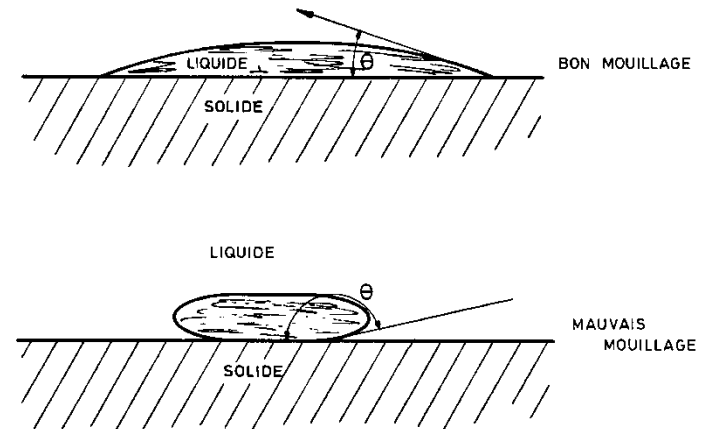
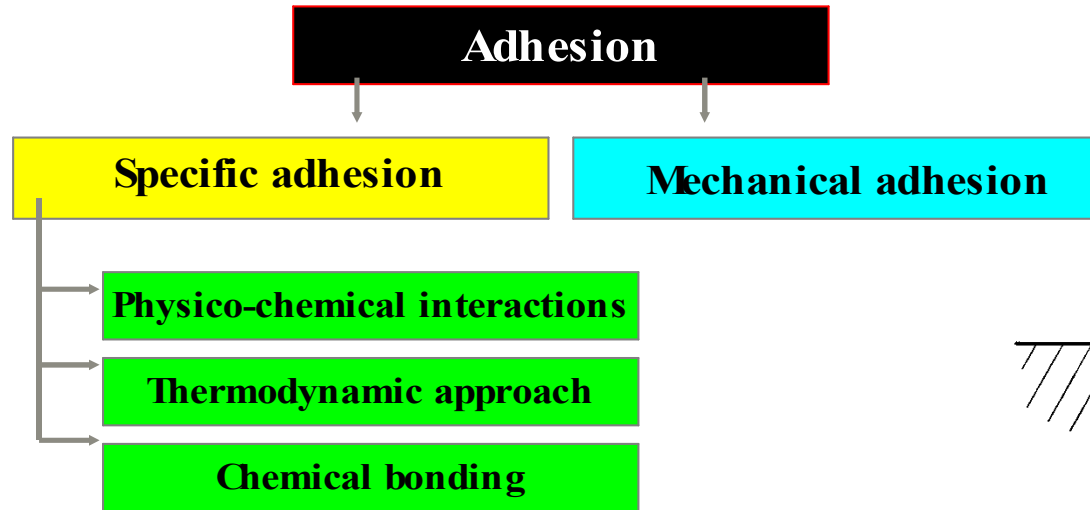
- processus par lequel deux corps sont mis en contact et attachés (liés) l'un à l'autre
- processus de séparation (rupture) d'un lien entre deux corps qui étaient en contact



conditions et cinétique de contact



processus de séparation



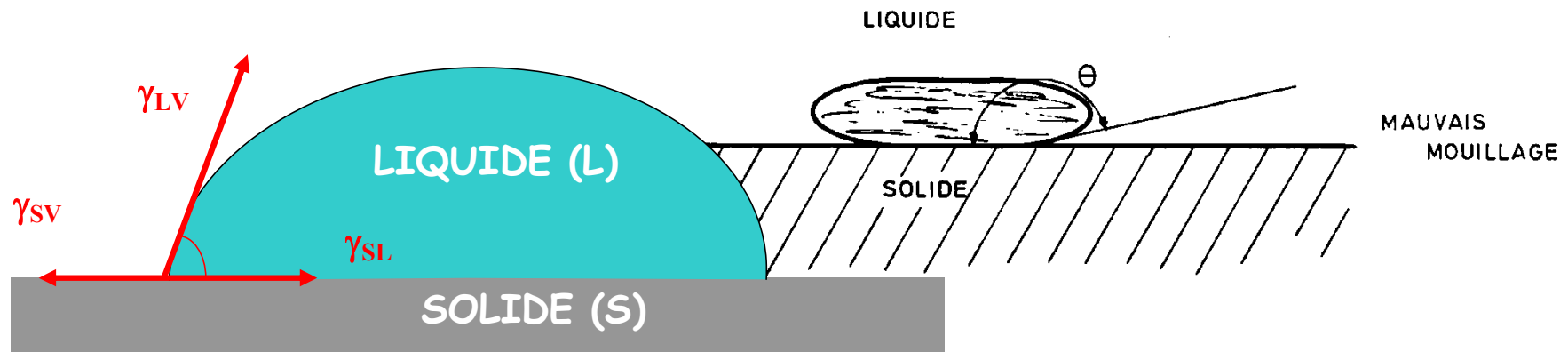
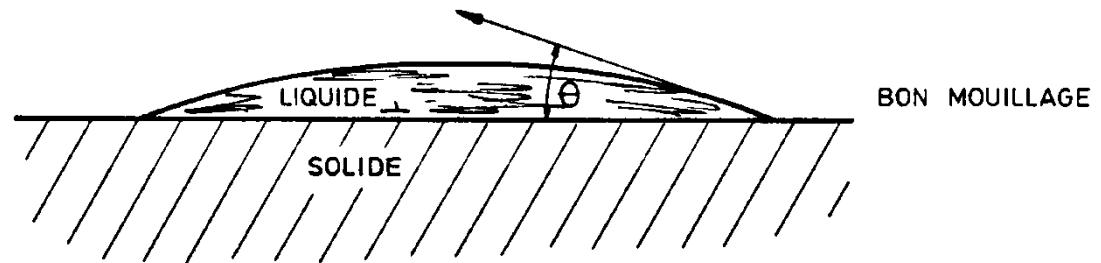
Condition 1 : étalement et mouillabilité

Condition 2 : interactions physico-chimiques

Condition 3 : interpénétration mécanique



Condition 1 : étalement



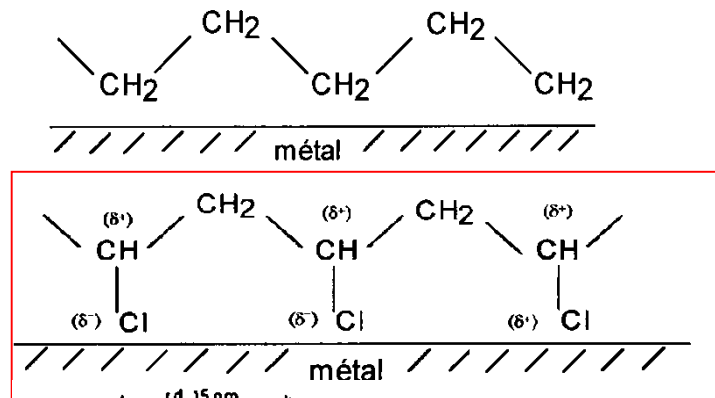
$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$$

Meilleure mouillabilité du solide par le liquide si l'angle de contact est PETIT

Condition 2 : interactions physico-chimiques

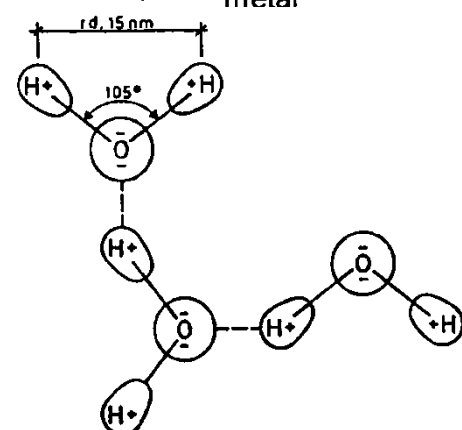


Van der Waals

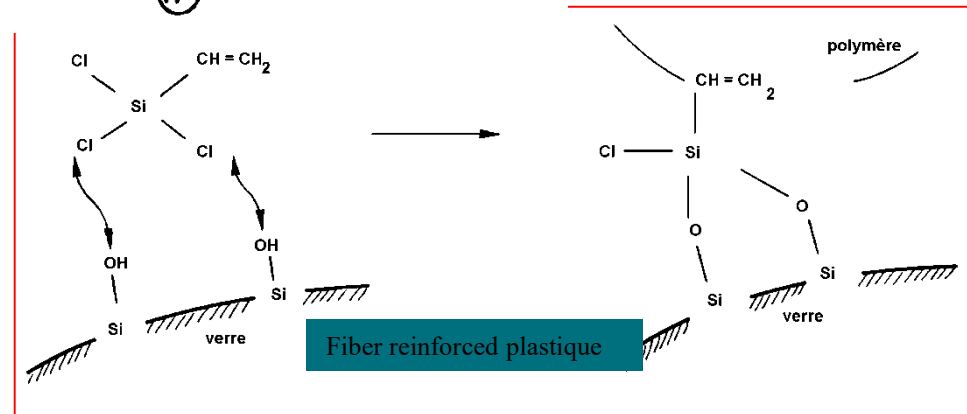


polarization

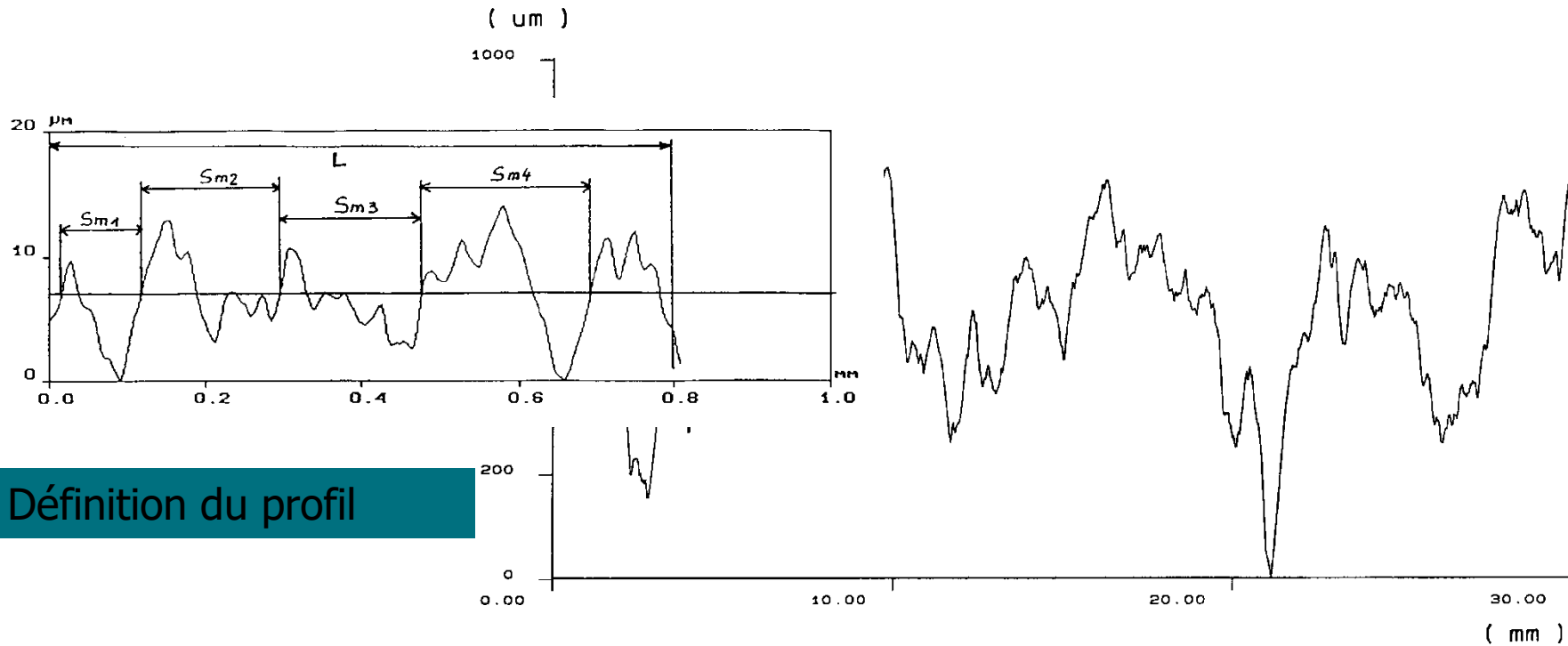
Pont hydrogène



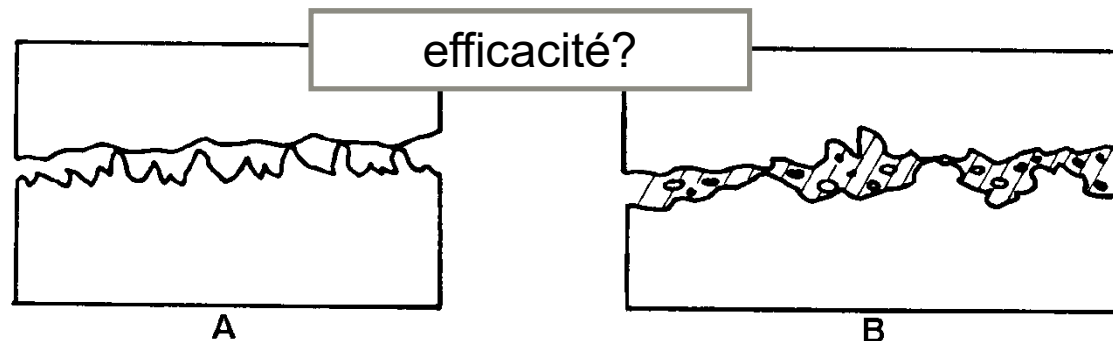
Liaisons chimiques



Condition 3 : interpénétration mécanique



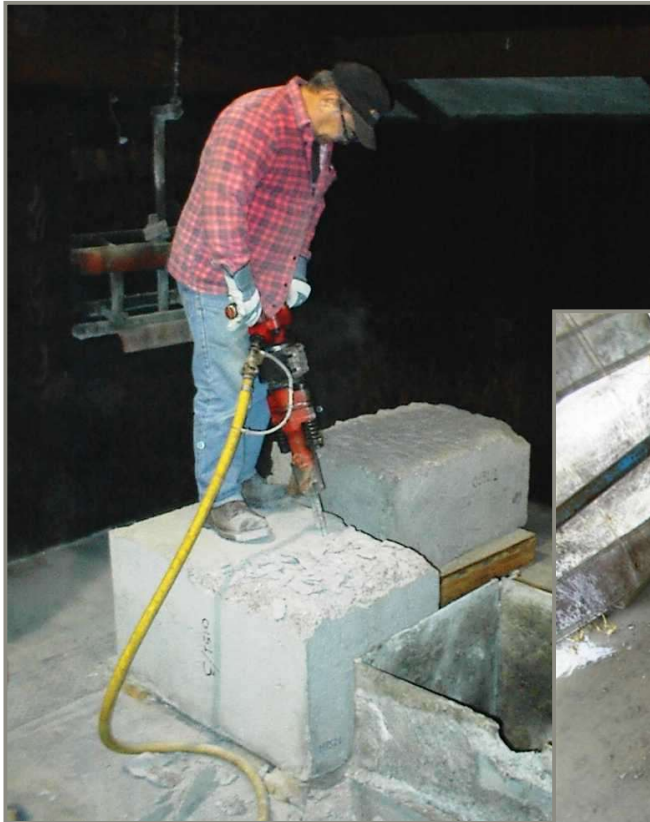
Définition du profil



Préparation des surfaces: techniques



marteau pneumatique



scarification



hydro-démolition



Projection des mortiers et bétons



Matériaux: béton projeté

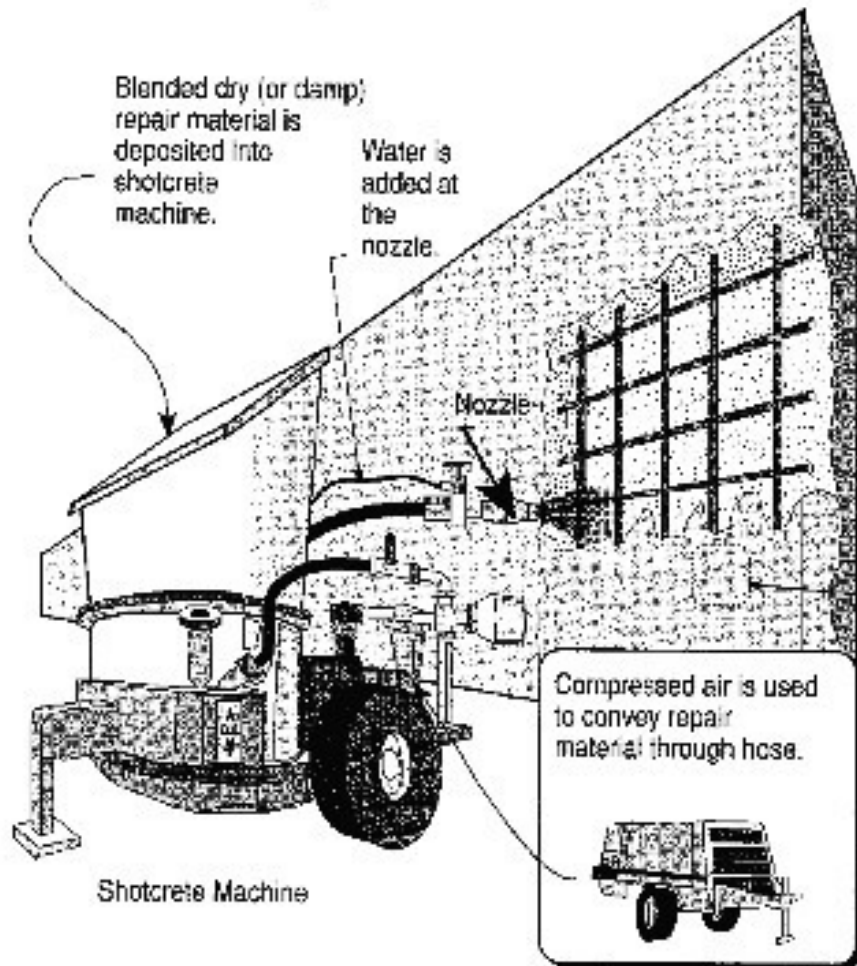
- ▶ Application rapide
- ▶ Grandes surfaces verticales ou horizontales
- ▶ Coffrage pas nécessaire
- ▶ Principale utilisation :
 - réparations de surface corrodées de béton
- ▶ Rc entre 30 et 40 MPa
- ▶ Bonne adhérence avec l'ancien béton
- ▶ Bonne protection contre la corrosion des aciers d'armature



Matériaux: béton projeté

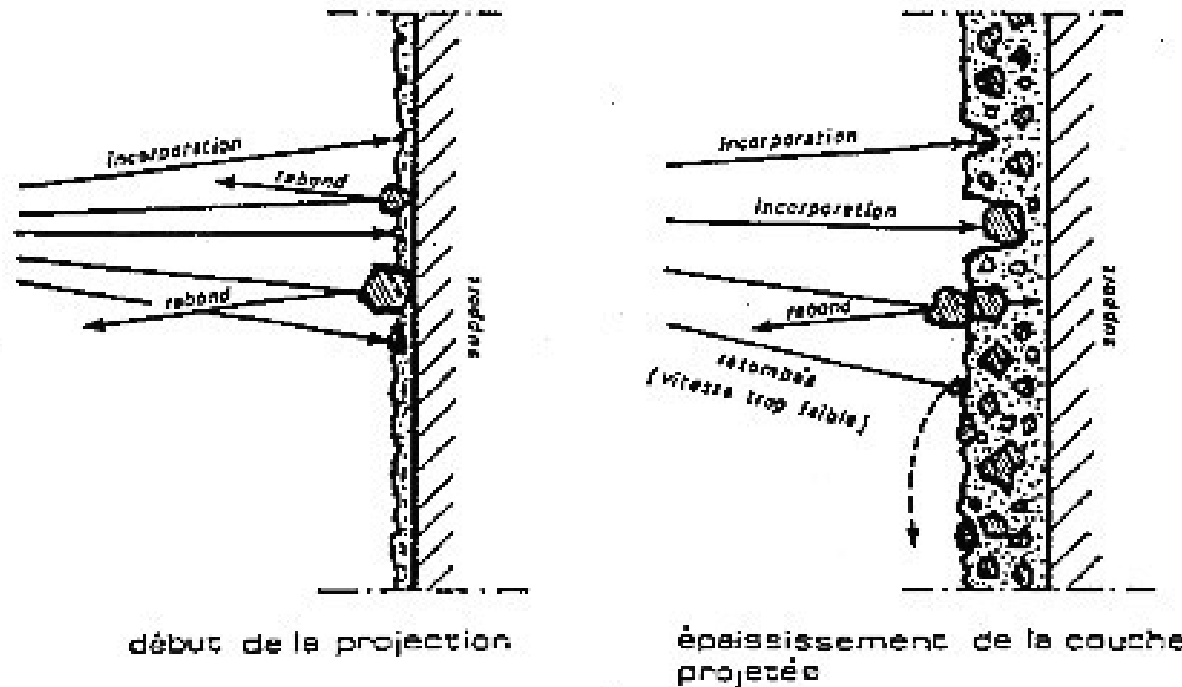
- ▶ Deux grandes techniques de projection :
 - la voie sèche, avec ou sans prémouillage
 - la voie mouillée.
- ▶ Distinction entre les deux procédés :
position de l'introduction de l'eau dans le circuit de mise en oeuvre du béton projeté

Béton projeté : projection par voie sèche



- ▶ Air comprimé introduit dans la machine
- ▶ Propulsion du mélange sec par la conduite d'amenée vers la lance
- ▶ Introduction Eau + (adjuvants)

Béton projeté : projection par voie sèche

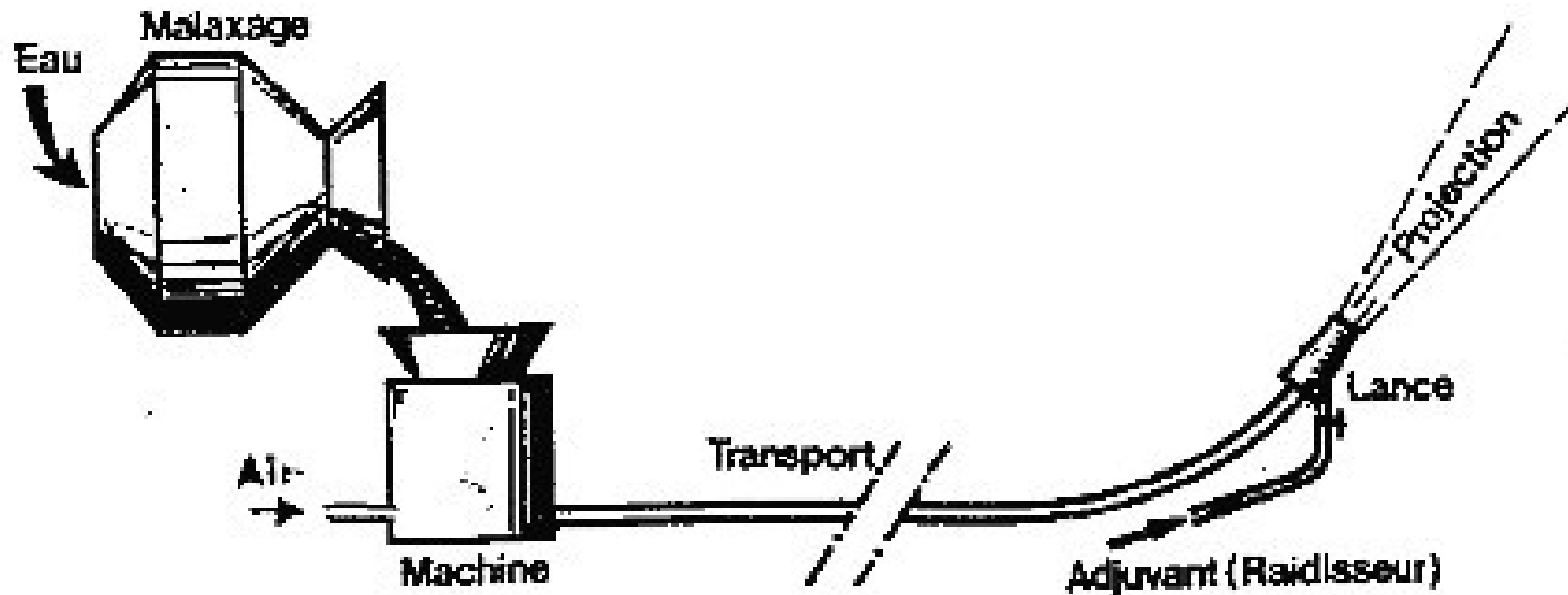


- ▶ Les premiers éléments arrivant sur le support rebondissent
- ▶ Seuls les grains de ciment et les gouttelettes d'eau, s'incruster sur la surface à réparer.
- ▶ Le sable puis les grains plus gros et graviers viennent ensuite se fixer
- ▶ Couche de plusieurs centimètres, le martèlement des agrégats favorise la pénétration des précédents et assure la compacité du béton mis en place

Béton projeté : projection par voie mouillée



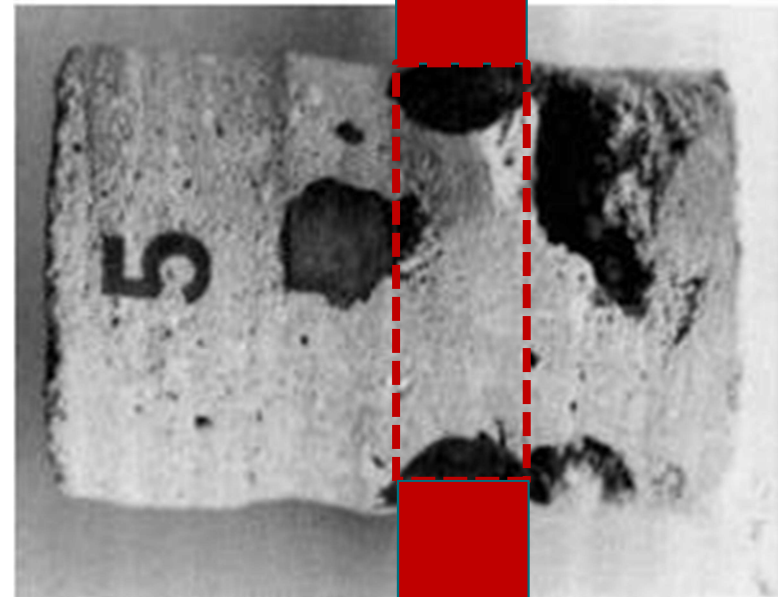
- ▶ le mélange préalablement gâché est propulsé :
 - par un jet d'air comprimé, on parle alors d'un **flux dilué**;
 - par l'action d'une pompe à béton, **flux dense**.





Matériaux: béton projeté

- ▶ Principaux problèmes:
 - mauvaise adhérence avec le substrat ;
 - délaminations aux joints de construction ou aux interfaces entre les couches ;
 - mauvais remplissage derrière les barres d'armature ;
 - ségrégation, poches de sable ou piégeage des rebonds.





Conclusions

- ▶ Compatibilité
- ▶ Adhérence
 - Ancrage mécanique
 - Énergie de projection
 - Adaptation du mélange
- ▶ Composition du mélange

