

# Les Ajouts Cimentaires



# Cement Additives



# Plan du Cours

- **Introduction**
- **Les ajouts cimentaires**
- **Effets des ajouts cimentaires**
- **Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe**
- **Hydratation des ciments aux ajouts**
- **Evaluation de l'Activité pouzzolanique**
- **Concept du coefficient d'efficacité**

# Course Outline

- **Introduction**

- **Cementitious additions**

- **Effects of cementitious additions**

- **Use of additives in Algeria and Europe**

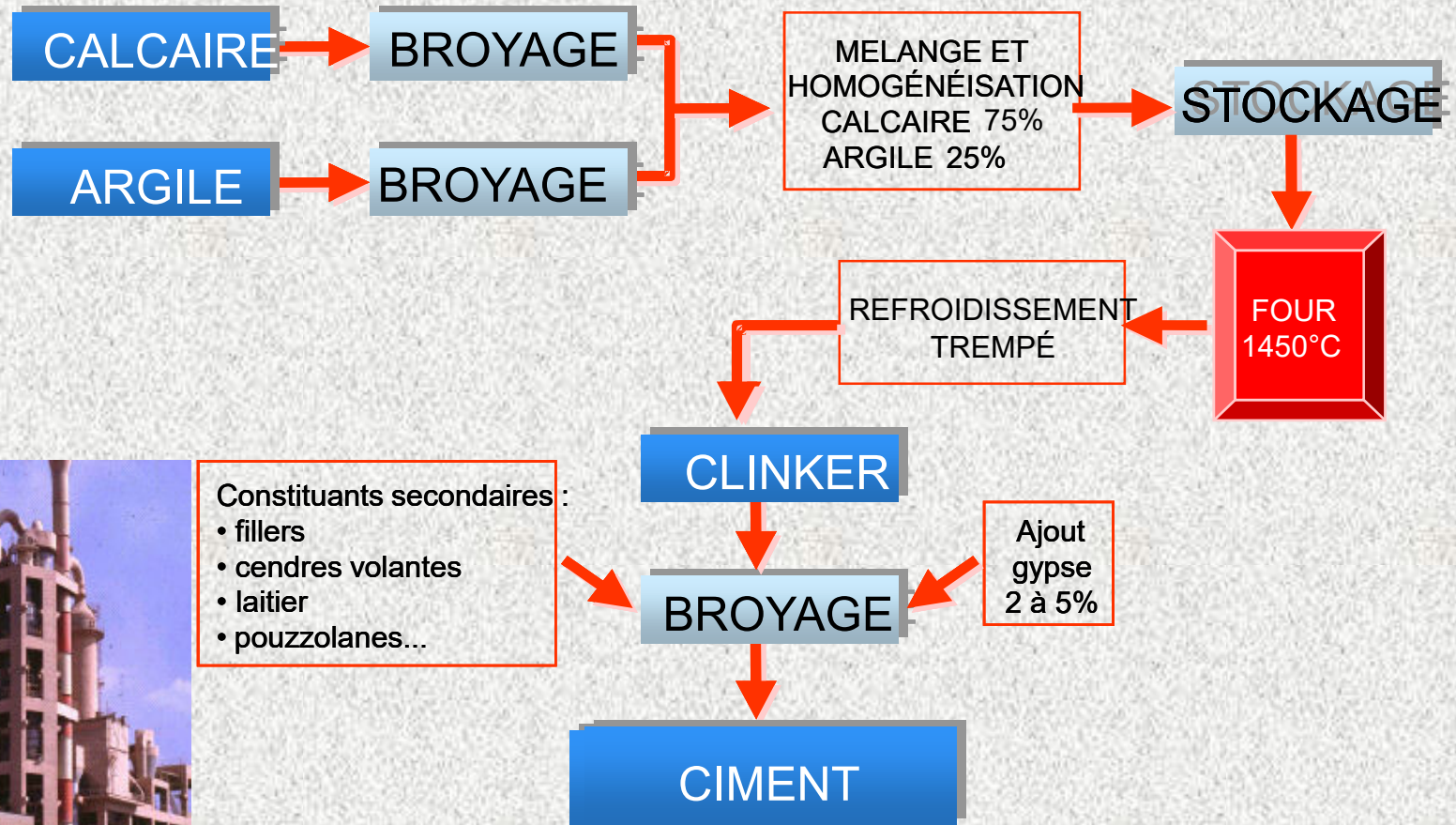
- **Hydration of cements with additives**

- **Evaluation of pozzolanic activity**

- **Concept of the efficiency coefficient**

# Introduction

## Fabrication du ciment



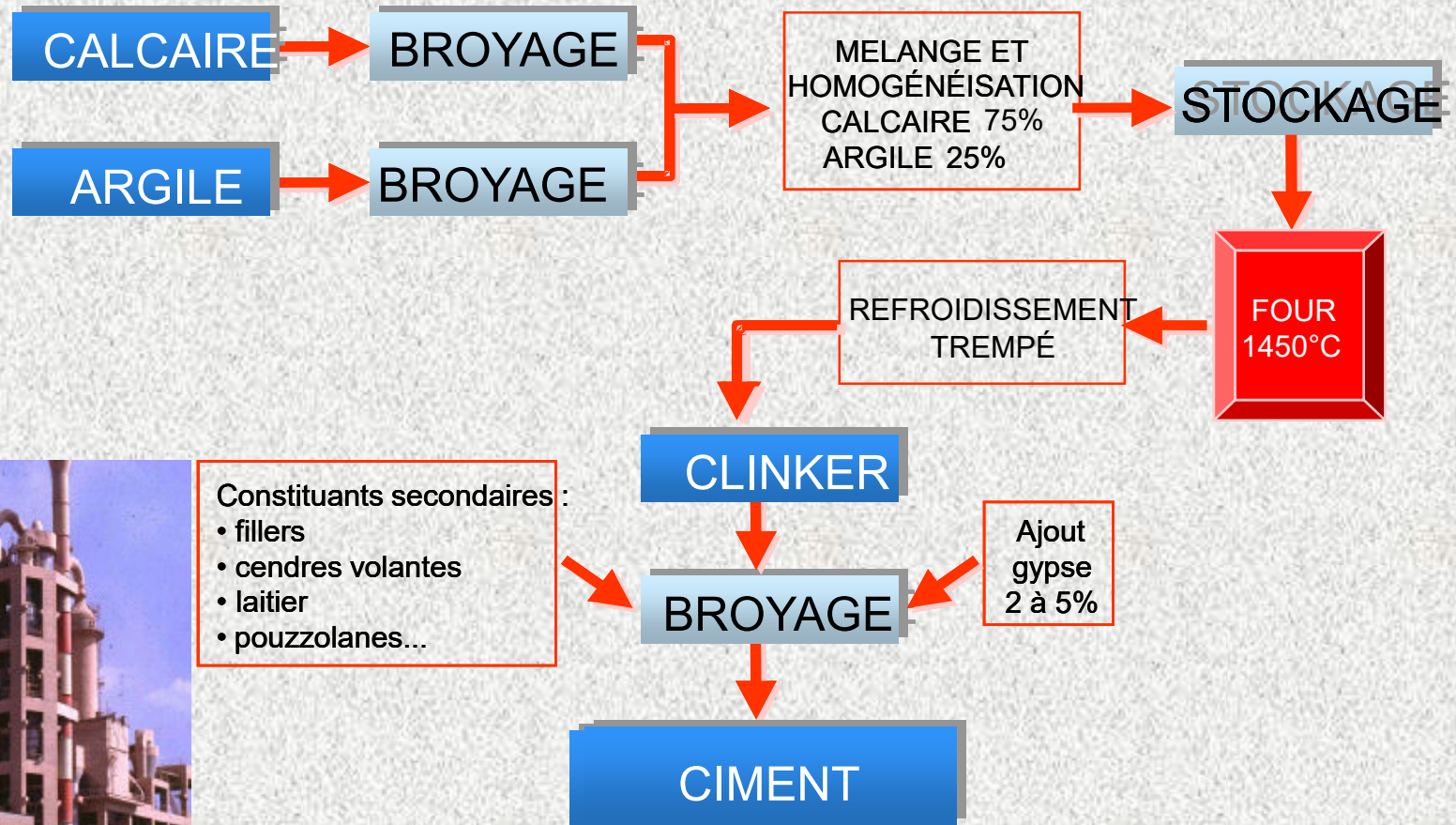
Constituants secondaires :

- fillers
- cendres volantes
- laitier
- pouzzolanes...

Ajout gypse  
2 à 5%

# Introduction

## Cement manufacturing



## Introduction

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelquefois également au béton. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé plus économique.

## Introduction

Cementitious additives are materials with a very fine particle size that are most often incorporated into cement, and sometimes also into concrete. Additives either improve the characteristics of concrete or give it specific properties. Additives are often cheaper than Portland cement and make it possible to obtain a more economical composite cement.

# Introduction

## Avantages des ajouts cimentaires

- **Avantages fonctionnels**

- amélioration de la maniabilité et réduction de la demande en eau;
- diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton;
- amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton

- **Avantages économiques**

- le coût des ajouts minéraux des sous produits industriels est souvent égal au coût du transport et de la manipulation;
- réduction de la consommation d'énergie, ce qui réduit le prix du ciment.

- **Avantages écologiques**

- diminution de l'émission du CO<sub>2</sub> par l'industrie cimentaire;
- élimination des sous produits de la nature.

# Introduction

## Benefits of cementitious additions

- **Functional benefits**

- improved workability and reduced water demand;
- decreased heat of hydration released from concrete;
- improved mechanical properties and durability of concrete

- **Economic benefits**

- The cost of mineral additives from industrial by-products is often equal to the cost of transportation and handling.
- Reduced energy consumption, which lowers the price of cement.

- **Environmental benefits**

- reduction in CO<sub>2</sub> emissions from the cement industry;
- elimination of natural by-products.

# Les ajouts cimentaires

Selon la norme **ENV 206**, paragraphe 3.1.5, il existe deux types d'addition:

❑ **les additions de type I:** Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturelles ou synthétiques spécialement sélectionnées qui, par **leur composition granulométrique**, améliorent **les propriétés physiques** du ciment portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau...). Parmi ces additifs on distingue le calcaire, la poussière et les fillers;

❑ **les additions de type II:** Ce sont des matériaux finement broyés à caractère inorganique, **pouzzolanique** ou **hydraulique latent**. Ils ont une **teneur élevée en dioxyde de silicium** seul ou, en dioxyde de silicium et oxyde d'aluminium combinés. Parmi ces additifs on distingue la fumée de silice, le laitier, les cendres volantes et les pouzzolanes naturelles.

# Cementitious additions

According to ENV 206, paragraph 3.1.5, there are two types of additions:

❑ **les additions de type I:** Type I additives: These are virtually inert, specially selected natural or synthetic organic materials which, due to their particle size distribution, improve the physical properties of Portland cement (workability, water retention, etc.). These additives include limestone, dust, and fillers.

❑ **Type II additives:** These are finely ground inorganic, pozzolanic, or latent hydraulic materials. They have a high content of silicon dioxide alone or silicon dioxide and aluminum oxide combined. These additives include silica fume, slag, fly ash, and natural pozzolans.

# Les ajouts cimentaires

## Les Fillers

Ce sont des produits obtenus par broyage de certaines roches, naturelles ou non (calcaires, Basaltes, laitiers, Bentonites, ...), agissant grâce à une **granulométrie appropriée** sur certaines qualités du ciment.

## Additions calcaires

Le calcaire appartient aux roches carbonatées riches en chaux ( $\text{CaCO}_3$ ) et il est contenu dans la calcite, l'argonite ou la marne. Le calcaire constitue une matière première pour la fabrication du ciment. Des études ont montré certains avantages de l'utilisation du calcaire comme ajout et le remplacement de gypse.

Les deux principales caractéristiques normalisées sont:

- une teneur minimale en carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ ;
- une valeur minimale de l'indice d'activité.

# Cementitious additions

## Fillers

These are products obtained by grinding certain rocks, natural or otherwise (limestone, basalt, slag, bentonite, etc.), which act on certain qualities of cement thanks to their appropriate particle size.

## Limestone additions

Limestone belongs to carbonate rocks rich in calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and is found in calcite, aragonite, and marl. Limestone is a raw material used in cement manufacturing. Studies have shown certain advantages to using limestone as an additive and substitute for gypsum.

The two main standardized characteristics are:

- a minimum calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) content;
- a minimum activity index value.

# Les ajouts cimentaires

L'indice d'activité, pour les cendres et les addition calcaires, par exemple est défini de la manière suivante:

Rapport des résistances à la compression d'éprouvette normalisées de mortier du même âge, les unes préparées avec **75%** de ciment d'essai et **25%** de l'addition considérée (en masse), les autres préparées avec le ciment d'essai uniquement.

Les additions calcaires doivent avoir un indice d'activité normalisé (**p = 25%**) supérieur ou égale à **0.71** pour satisfaire la norme P18-508

# Cementitious additions

The activity index for ash and limestone additions, for example, is defined as follows:

Ratio of compressive strengths of standardized mortar specimens of the same age, some prepared with 75% test cement and 25% of the additive in question (by mass), others prepared with test cement only.

Limestone additives must have a normalized activity index ( $p = 25\%$ ) greater than or equal to 0.71 to meet standard P18-508.

# Les ajouts cimentaires

## Les cendres volantes

Lors de sa combustion dans les centrales thermiques, le charbon pulvérisé passe à travers une zone de très haute température dans le four.

Les composants volatiles et le carbone sont brûlés, tandis que les impuretés minérales tel que l'argile, le quartz et les feldspath passent en fusion.

Les produits en fusion sont rapidement entraînés vers la zone froide où ils se solidifient en de petites sphères de verre.

La majorité de ces sphères sont emportées par le courant gazeux vers l'extérieur. Ces cendres sont récupérés dans un précipitateur électrostatique.

# Cementitious additions

## **Fly ash**

When burned in thermal power plants, pulverized coal passes through a very high-temperature zone in the furnace.

The volatile components and carbon are burned, while mineral impurities such as clay, quartz, and feldspar melt.

The molten products are quickly drawn into the cold zone where they solidify into small glass spheres.

Most of these spheres are carried away by the gas stream to the outside. This ash is recovered in an electrostatic precipitator.

# Les ajouts cimentaires

Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et physiques dépendant des impuretés contenues dans le charbon utilisé. En principe, les cendres volantes provenant de même source sont semblables..

Du point de vue minéralogique les cendres volantes se divisent en deux catégories, qui diffèrent l'une de l'autre par leur teneur en CaO (**ASTM C 618-94a**):

- 1- **classe F**: contenant moins de 10% de CaO produit de la combustion de l'antracite et du charbon bitumineux.
- 2- **classe C**: contenant entre 15 % et 35% de CaO produit de la combustion de la lignite.

La majorité des cendres volantes (classes F et C) contiennent approximativement 60% à 85% de verre, 10% à 30% de phases cristallines et 10% de carbone non calciné.

# Cementitious additions

Fly ash can have different chemical and phase compositions depending on the impurities contained in the coal used. In principle, fly ash from the same source is similar.

From a mineralogical point of view, fly ash is divided into two categories, which differ from each other in their CaO content (ASTM C 618-94a):

- 1- Class F: containing less than 10% CaO produced from the combustion of anthracite and bituminous coal.
- 2- Class C: containing between 15% and 35% CaO

Most fly ash (classes F and C) contains approximately 60% to 85% glass, 10% to 30% crystalline phases, and 10% unburned carbon.

# Les ajouts cimentaires

Les particules de cendres volantes se présentent sous forme de petites sphères de diamètre allant de  $1\mu\text{m}$  à  $100\mu\text{m}$  ( $50\% < 20\mu\text{m}$ ). La forme et la granulométrie des cendres volantes ont un effet important sur l'ouvrabilité et la demande en eau des bétons frais.

**Les cendres volantes de classe F:** Elles ont une grande proportion de silice et d'alumine. C'est un verre d'aluminosilicate. Sa vitrification est souvent partielle. La présence de cristaux de mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), de quartz, d'hématite et de magnétite diminue la réactivité de cette cendre volante.

**Les cendres volantes de classe C:** Elles sont plus réactives que celles de la classe F, car tout le Ca est sous forme de phases cristallines réactives ( $\text{C}_3\text{A}$ , CS et  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ ). Par ailleurs, la phase amorphe principale contient suffisamment de Ca pour accélérer la réactivité de l'aluminosilicate.

# Cementitious additions

Fly ash particles are small spheres with diameters ranging from  $1\mu\text{m}$  to  $100\mu\text{m}$  ( $50\% < 20\mu\text{m}$ ). The shape and particle size of fly ash have a significant effect on the workability and water demand of fresh concrete.

**Class F fly ash:** This type of fly ash has a high proportion of silica and alumina. It is an aluminosilicate glass. Its vitrification is often partial. The presence of mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) crystals, quartz, hematite, and magnetite reduces the reactivity of this fly ash.

**Class C fly ash:** This is more reactive than class F fly ash, as all the Ca is in the form of reactive crystalline phases (C3A, CS, and C4A3S). In addition, the main amorphous phase contains sufficient Ca to accelerate the reactivity of the aluminosilicate.

# Les ajouts cimentaires

## Les fumées de silice

Les fumées de silice sont un sous-produit de la fabrication du silicium ou de différents alliages de ferrosilicium. Les fumées de silice sont produites lors de la réduction d'un quartz très pur par du charbon dans un four à arc, à la température de 2000°C.

La  **finesse**  et la  **forme vitreuse**  des fumées de silice font d'elles un produit  **très réactif** . Leur teneur en silice vitreuse varie de 75 % à 95%.



Fig. 3-7. Silica fume powder. (69801)

# Cementitious additions

## Silica fumes

Silica fumes are a by-product of the manufacture of silicon or various ferrosilicon alloys. Silica fumes are produced during the reduction of high-purity quartz by coal in an electric arc furnace at a temperature of 2000°C.

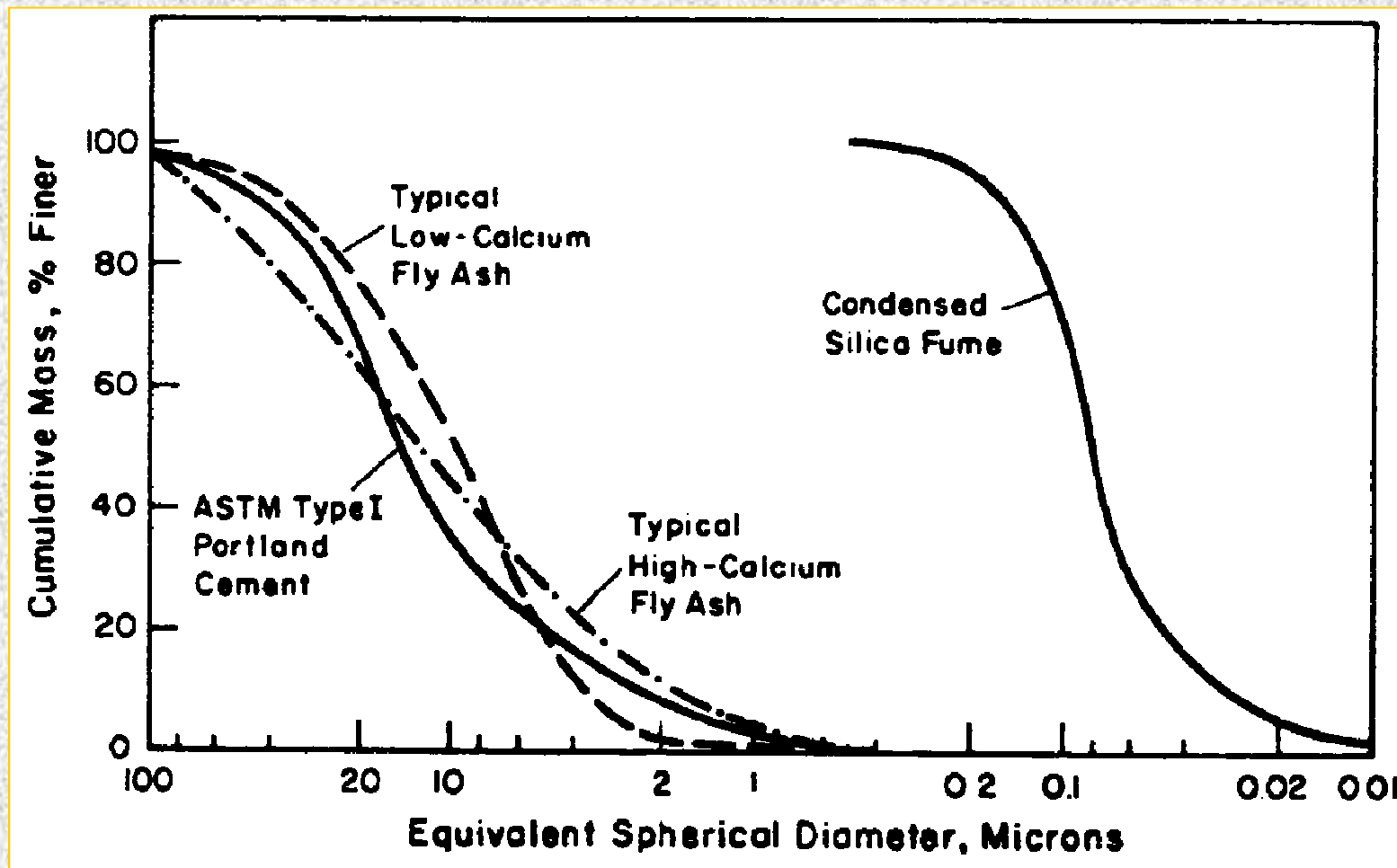
The fineness and glassy form of silica fumes make them a highly reactive product. Their glassy silica content varies from 75% to 95%.



Fig. 3-7. Silica fume powder. (69801)

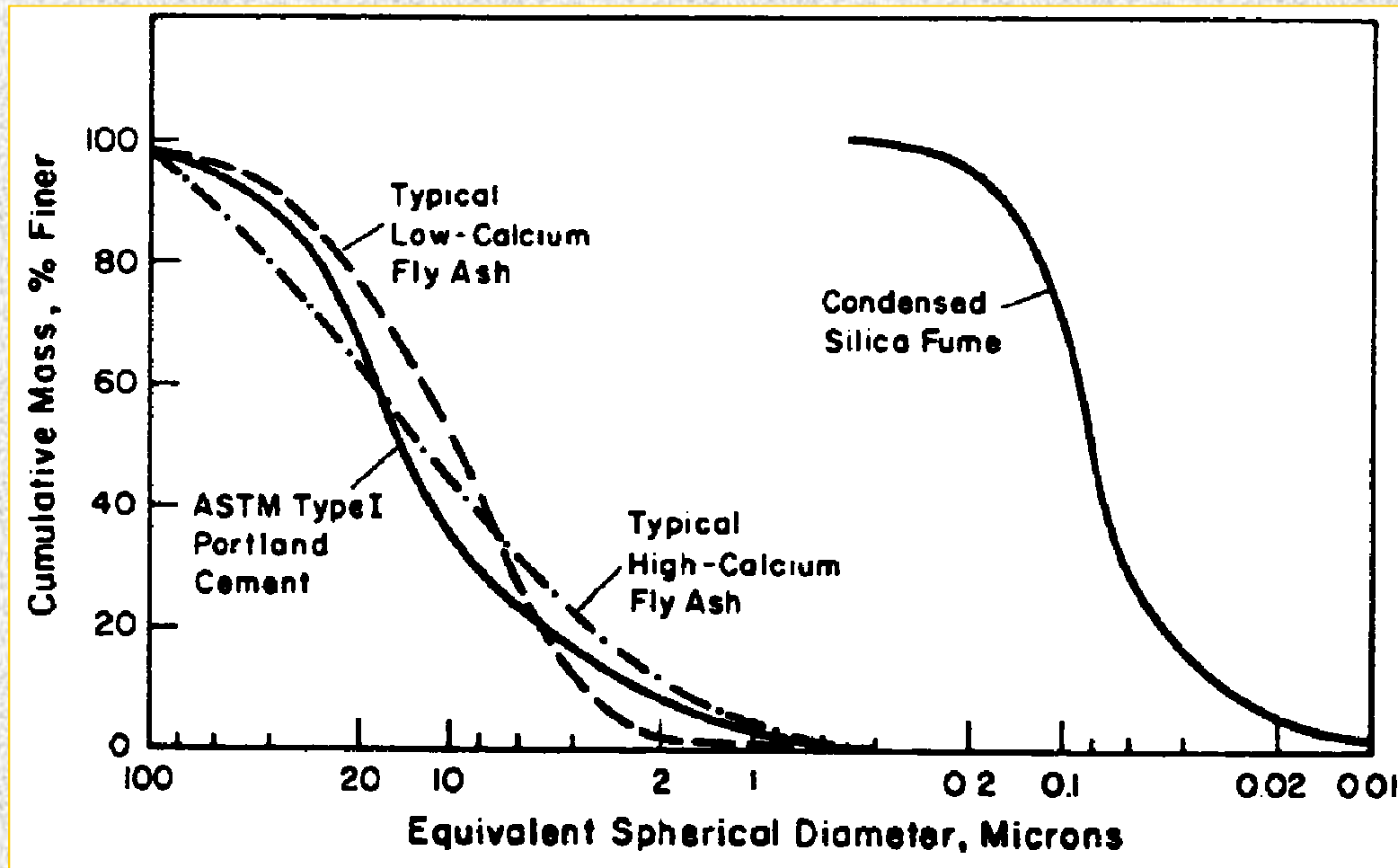
# Les ajouts cimentaires

Les fumées de silice se présentent sous forme de fines particules sphériques d'un diamètre moyen d'environ 0,1  $\mu\text{m}$ . Leur surface spécifique est de 20  $\text{m}^2/\text{g}$  à 25  $\text{m}^2/\text{g}$ .



# Cementitious additions

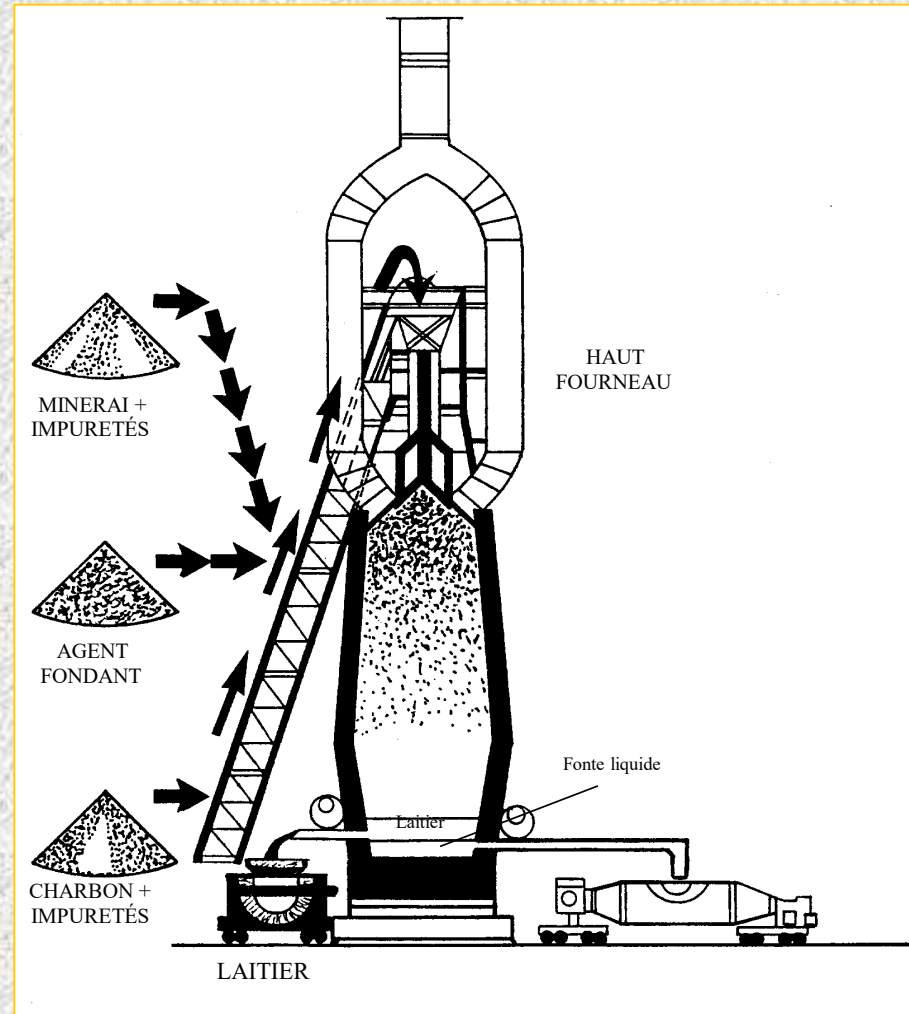
Silica fumes are fine spherical particles with an average diameter of approximately  $0.1\ \mu\text{m}$ . Their specific surface area is  $20\ \text{m}^2/\text{g}$  to  $25\ \text{m}^2/\text{g}$ .



# Les ajouts cimentaires

## Le laitier de haut fourneau

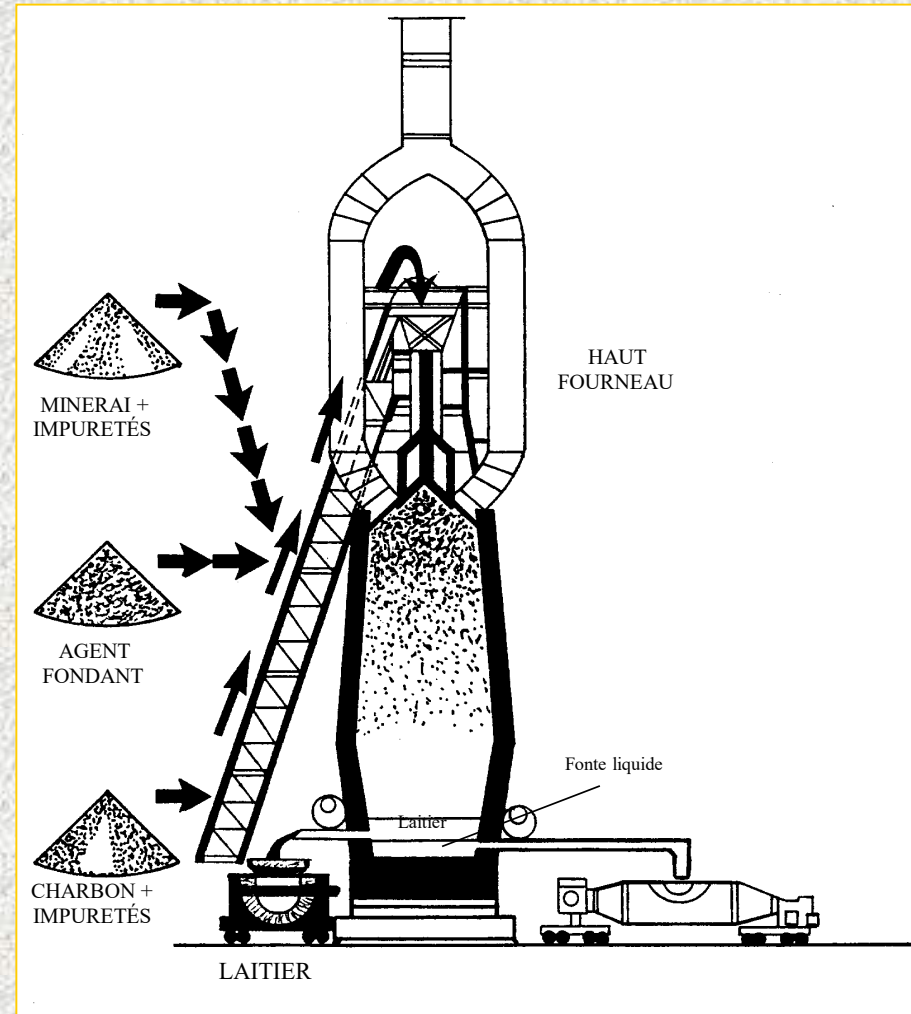
Représentation  
schématique d'un  
haut fourneau



# Cementitious additions

## The blast furnace slag

**Schematic representation of a blast furnace**



# Les ajouts cimentaires

Dans le procédé de production de fonte dans les hauts fourneaux, le laitier qui surnage au dessus de la fonte est tout de suite refroidi après la coulée et par conséquent rapidement vitrifié.

La majorité des éléments tels que Ca, Mg, Si, et Al sont sous forme de phase non cristalline. Une fois broyé à environ 400 m<sup>2</sup>/kg à 500 m<sup>2</sup>/kg, ce produit développe de bonnes propriétés cimentaires.



Fig. 3-5. Ground granulated blast-furnace slag. (69800)

# Cementitious additions

In the process of producing iron in blast furnaces, the slag that floats on top of the iron is cooled immediately after casting and therefore quickly vitrified.

Most elements such as Ca, Mg, Si, and Al are in non-crystalline phase. Once ground to approximately 400 m<sup>2</sup>/kg to 500 m<sup>2</sup>/kg, this product develops good cementitious properties.



Fig. 3-5. Ground granulated blast-furnace slag. (69800)

# Les ajouts cimentaires

La composition minéralogique d'un laitier dépend de son mode de refroidissement. Plus rapide est le refroidissement ( la trempe), plus vitreux est le laitier. Le laitier refroidi est en forme de granules ou boulettes et demande un broyage pour être utilisé comme ajout minéral.

En général, le laitier s'hydrate de la même manière que les cendres volantes de la classe C. Cependant, son effet sur la résistance commence à se faire sentir à partir de 7 jours, tandis que les cendres de la classe F ne développent des résistances qu'à partir de 4 semaines.

En général, les particules de laitier  $<10 \mu\text{m}$  contribuent à la résistance à jeune âge (jusqu'à 28 j), tandis que les particules entre 10 et 45  $\mu\text{m}$  contribuent au développement des résistances ultérieures. Les particules  $> 45 \mu\text{m}$  ont de la difficulté à s'hydrater.

# Cementitious additions

The mineral composition of slag depends on how it is cooled. The faster it is cooled (quenched), the more glassy the slag becomes. Cooled slag takes the form of granules or pellets and must be crushed before it can be used as a mineral additive.

In general, slag hydrates in the same way as Class C fly ash. However, its effect on strength begins to be felt after 7 days, whereas Class F ash only develops strength after 4 weeks.

In general, slag particles  $<10\ \mu\text{m}$  contribute to early strength (up to 28 days), while particles between 10 and  $45\ \mu\text{m}$  contribute to the development of later strengths. Particles  $> 45\ \mu\text{m}$  have difficulty hydrating.

# Les ajouts cimentaires

## Les Pouzzolanes naturelles

Le terme pouzzolane provient de Pouzzoles, nom d'une ville italienne de la région de Naples. Il y désigne un matériau volcanique cendreux de composition trachytique, de couleur claire et friable, utilisé pour la fabrication de mortier et de ciment. Cette application en tant que ciment naturel remonte aux constructions romaines de l'Antiquité.



# Cementitious additions

## Natural pozzolans

The term pozzolan comes from Pozzuoli, the name of an Italian town in the Naples region. It refers to an ash-like volcanic material with a trachytic composition, light in color and friable, used in the manufacture of mortar and cement. Its use as a natural cement dates back to Roman constructions in ancient times.



## Les ajouts cimentaires



The Pantheon, called the Temple of the Gods, is one of the greatest engineering wonders of the Roman Empire. Built in 128 A.D. by Emperor Hadrian, the Pantheon held the world record for the largest dome diameter (43.2m) for almost 1800 years.

# Cementitious additions



The Pantheon, called the Temple of the Gods, is one of the greatest engineering wonders of the Roman Empire. Built in 128 A.D. by Emperor Hadrian, the Pantheon held the world record for the largest dome diameter (43.2m) for almost 1800 years.

# Les ajouts cimentaires

Les pouzzolanes sont des roches pyroclastiques formées de fragments de magma (pyroclastites) projetés dans l'atmosphère lors d'éruption volcaniques et refroidis au cours de leur parcours aérien. La vitesse de refroidissement relativement importante, qui applique un **effet de trempe** au magma, explique que le verre volcanique (matière amorphe, non cristallisée) soit un des composants majeurs des matériaux pouzzolaniques, ainsi que d'autres minéraux magmatiques (feldspaths, pyroxène, olivine, oxydes de fer...) et les xénolites

Selon la norme Algérienne NA 442 et la norme Européenne ENV 197-1, les pouzzolanes naturelles sont:

- des substances d'origine volcanique (verre volcanique, ponce, rhyolite, tuf, zéolite) ou bien des roches sédimentaires (terre à diatomées, diatomites, gaize, spongolites) ayant une composition chimique et minéralogique appropriée ;
- des argiles et des schistes activés thermiquement.

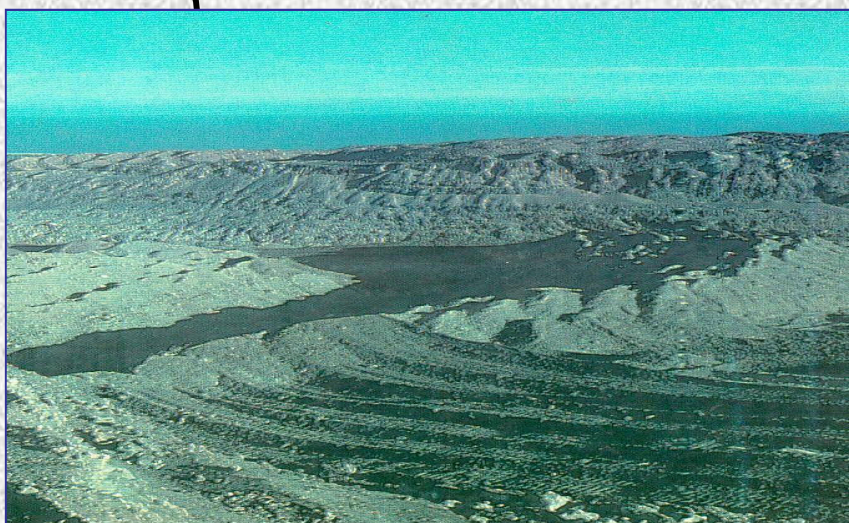
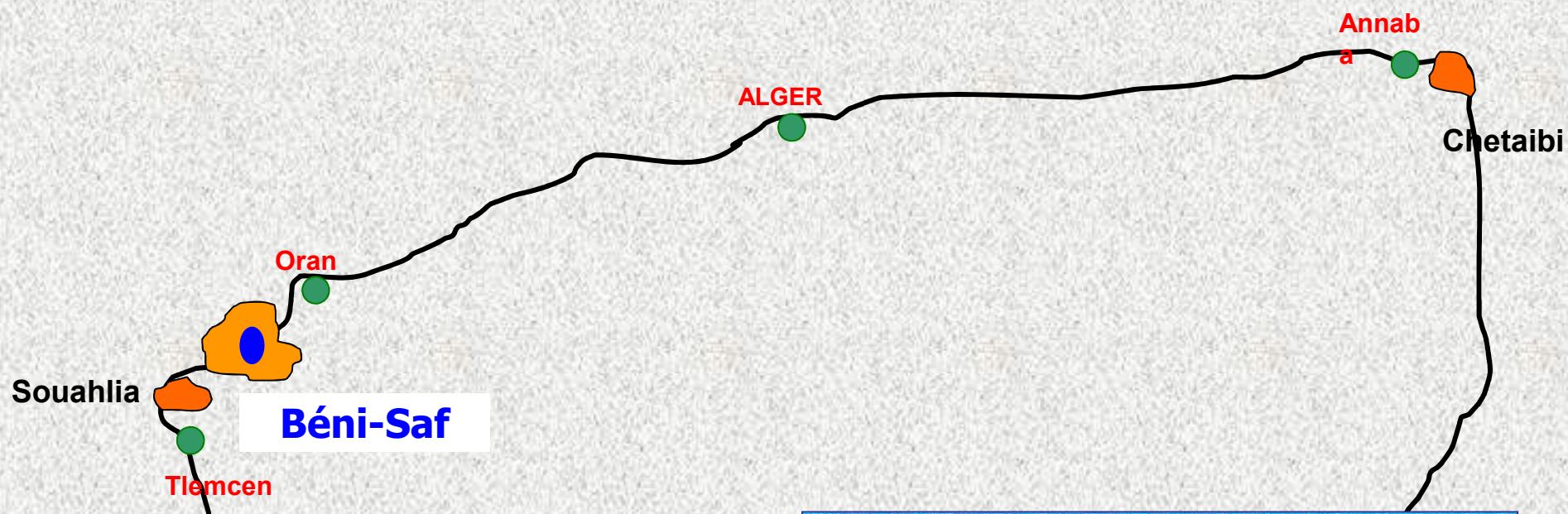
# Cementitious additions

Pumice is a pyroclastic rock formed from fragments of magma (pyroclasts) ejected into the atmosphere during volcanic eruptions and cooled during their flight through the air. The relatively high cooling rate, which has a quenching effect on the magma, explains why volcanic glass (an amorphous, non-crystallized material) is one of the major components of pozzolanic materials, along with other magmatic minerals (feldspars, pyroxene, olivine, iron oxides, etc.) and xenoliths.

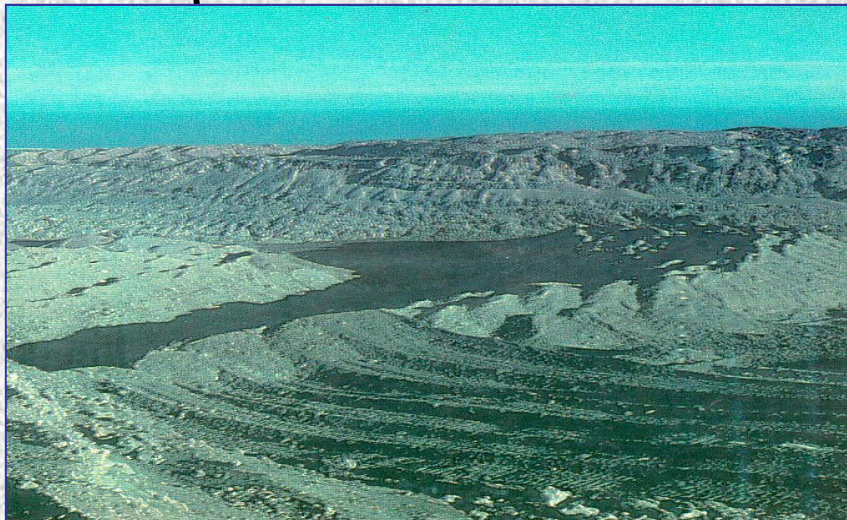
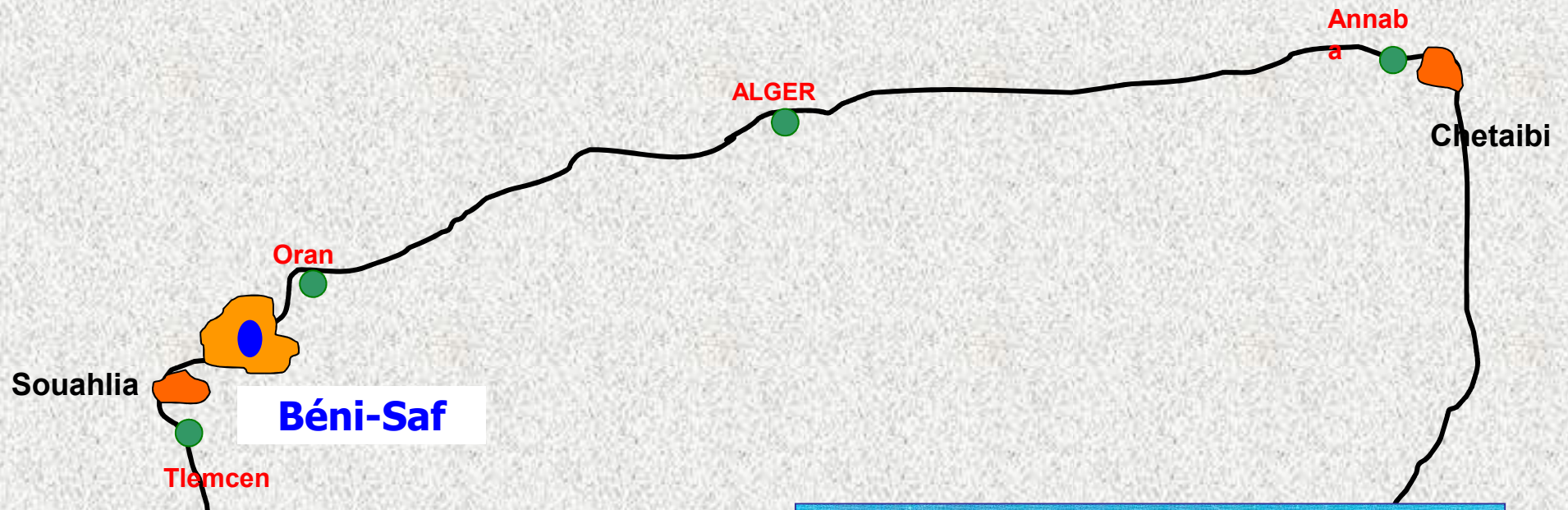
According to Algerian standard NA 442 and European standard ENV 197-1, natural pozzolans are:

- substances of volcanic origin (volcanic glass, pumice, rhyolite, tuff, zeolite) or sedimentary rocks (diatomaceous earth, diatomite, gaize, spongolite) with an appropriate chemical and mineralogical composition;
- thermally activated clays and shales.

# Les ajouts cimentaires



# Cementitious additions



# Les ajouts cimentaires

## Le métakaolin

Il est obtenu par calcination d'argile kaolinitique à une température comprise entre 650 et 850 °C, suivi d'un broyage permettant d'atteindre une finesse très élevée.

Les transformations thermiques du kaolin, et plus particulièrement la **formation du métakaolin** sont sensiblement influencées par la présence d'impuretés ou par l'état de cristallisation du minéral de départ.

**Le matériau obtenu présente une pouzzolinité élevée est considéré comme une addition très active**

# Cementitious additions

## Metakaolin

It is obtained by calcining kaolinitic clay at a temperature between 650 and 850 °C, followed by grinding to achieve a very high fineness.

The thermal transformations of kaolin, and more specifically the formation of metakaolin, are significantly influenced by the presence of impurities or by the crystallization state of the starting mineral.

**The material obtained has high pozzolanicity and is considered a highly active additive.**

# Les ajouts cimentaires



**Fig. 3-11. Metakaolin, a calcined clay. (69803)**

# Cementitious additions



**Fig. 3-11. Metakaolin, a calcined clay. (69803)**

# Les ajouts cimentaires

**Table 3-2. Chemical Analysis and Selected Properties of Typical Fly Ash, Slag, Silica Fume, Calcined Clay, Calcined Shale, and Metakaolin**

	Class F fly ash	Class C fly ash	Ground slag	Silica fume	Calcined clay	Calcined shale	Metakaolin
SiO <sub>2</sub> , %	52	35	35	<u>90</u>	58	50	<u>53</u>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	23	18	12	0.4	29	20	43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	11	6	1	0.4	4	8	0.5
CaO, %	5	21	40	1.6	1	8	0.1
SO <sub>3</sub> , %	0.8	4.1	9	0.4	0.5	0.4	0.1
Na <sub>2</sub> O, %	1.0	5.8	0.3	0.5	0.2	—	0.05
K <sub>2</sub> O, %	2.0	0.7	0.4	2.2	2	—	0.4
Total Na eq. alk, %	2.2	6.3	0.6	1.9	1.5	—	0.3
Loss on ignition, %	2.8	0.5	1.0	3.0	1.5	3.0	0.7
Blaine fineness, m <sup>2</sup> /kg	420	420	400	<u>20,000</u>	990	730	<u>19,000</u>
Relative density	2.38	2.65	2.94	2.40	2.50	2.63	2.50

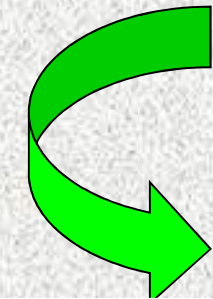
# Cementitious additions

**Table 3-2. Chemical Analysis and Selected Properties of Typical Fly Ash, Slag, Silica Fume, Calcined Clay, Calcined Shale, and Metakaolin**

	Class F fly ash	Class C fly ash	Ground slag	Silica fume	Calcined clay	Calcined shale	Metakaolin
SiO <sub>2</sub> , %	52	35	35	<u>90</u>	58	50	<u>53</u>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	23	18	12	0.4	29	20	43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	11	6	1	0.4	4	8	0.5
CaO, %	5	21	40	1.6	1	8	0.1
SO <sub>3</sub> , %	0.8	4.1	9	0.4	0.5	0.4	0.1
Na <sub>2</sub> O, %	1.0	5.8	0.3	0.5	0.2	—	0.05
K <sub>2</sub> O, %	2.0	0.7	0.4	2.2	2	—	0.4
Total Na eq. alk, %	2.2	6.3	0.6	1.9	1.5	—	0.3
Loss on ignition, %	2.8	0.5	1.0	3.0	1.5	3.0	0.7
Blaine fineness, m <sup>2</sup> /kg	420	420	400	<u>20,000</u>	990	730	<u>19,000</u>
Relative density	2.38	2.65	2.94	2.40	2.50	2.63	2.50

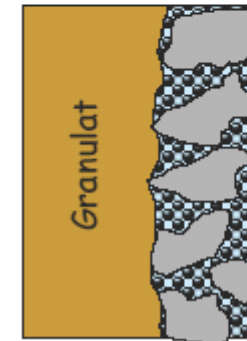
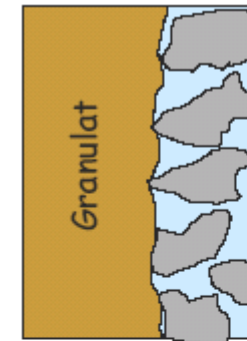
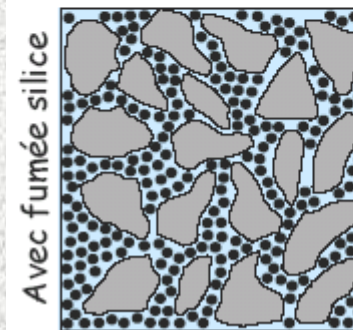
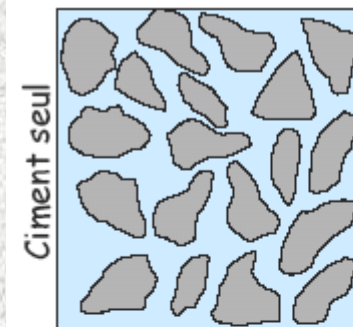
# Effets des ajouts cimentaires

## Effets des ajouts cimentaires



### Effets physiques

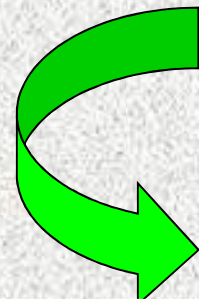
- Effets de dilution
- Effet filler
- Effet de nucléation



Amélioration  
de interface  
entre  
granulats  
et pâte  
de ciment

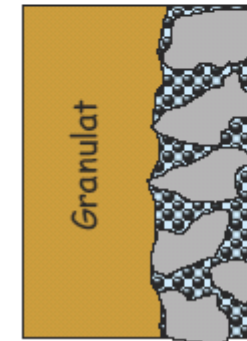
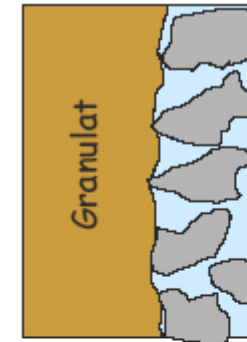
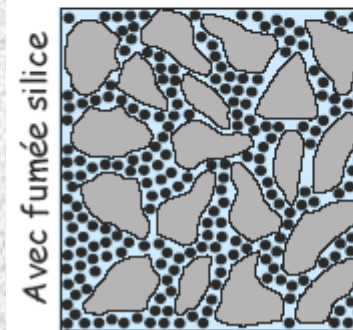
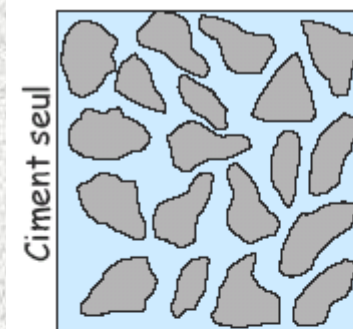
# Effects of cementitious additions

## Effects of cementitious additions



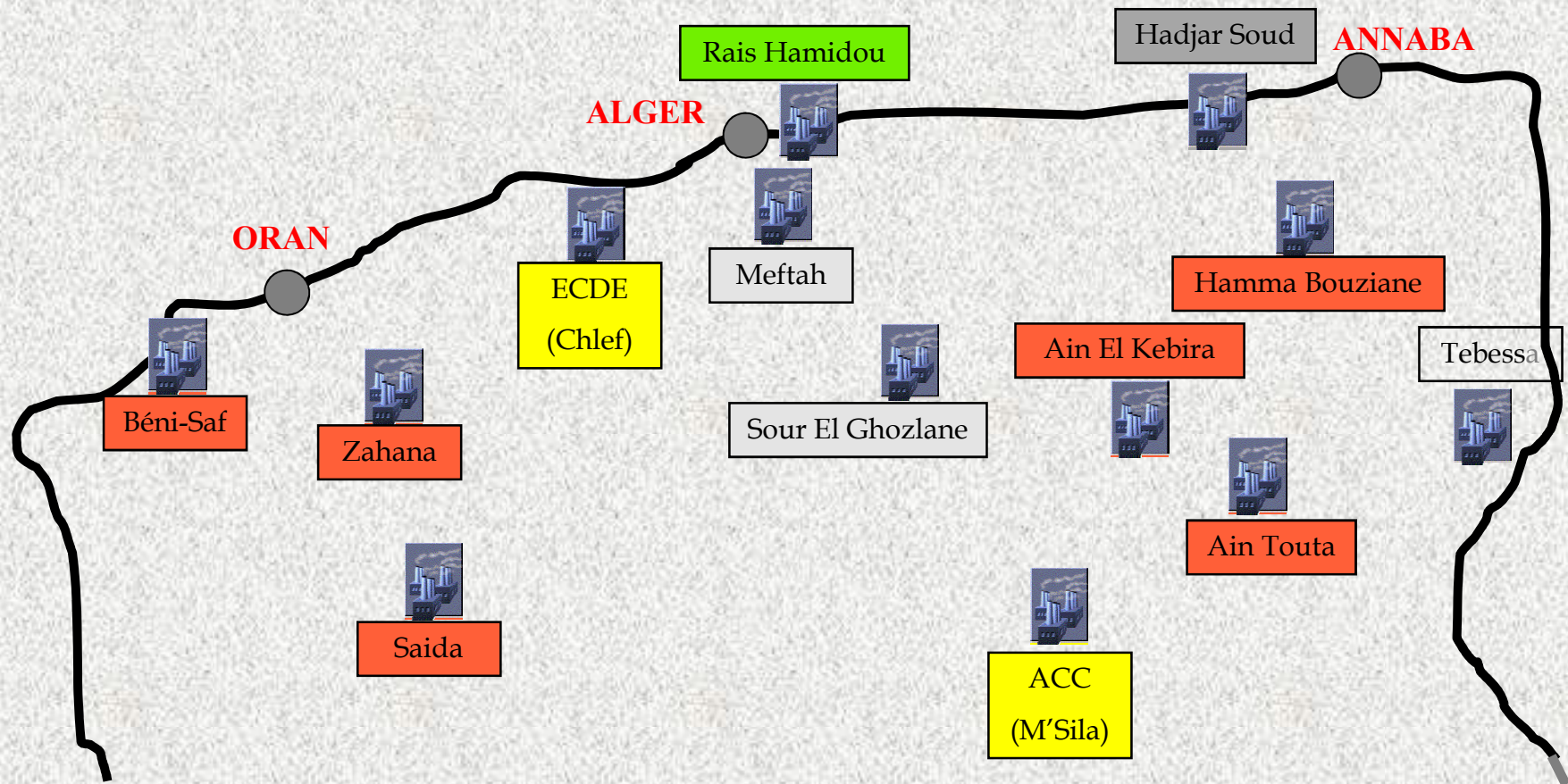
### Physical effects

- Dilution effects
- Filler effect
- Nucleation effect



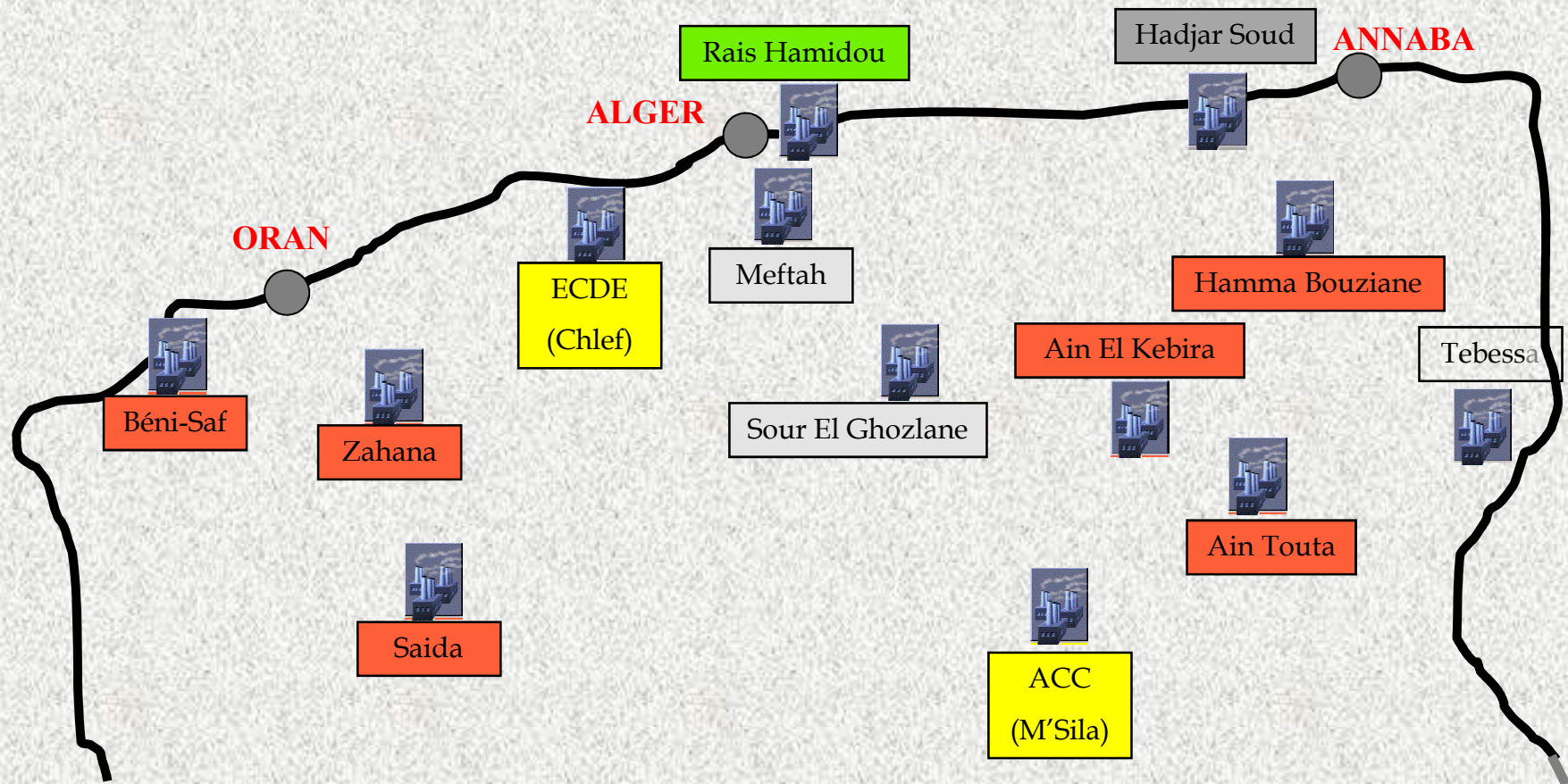
Amelioration  
de interface  
entre  
granulats  
et pate  
de ciment

# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



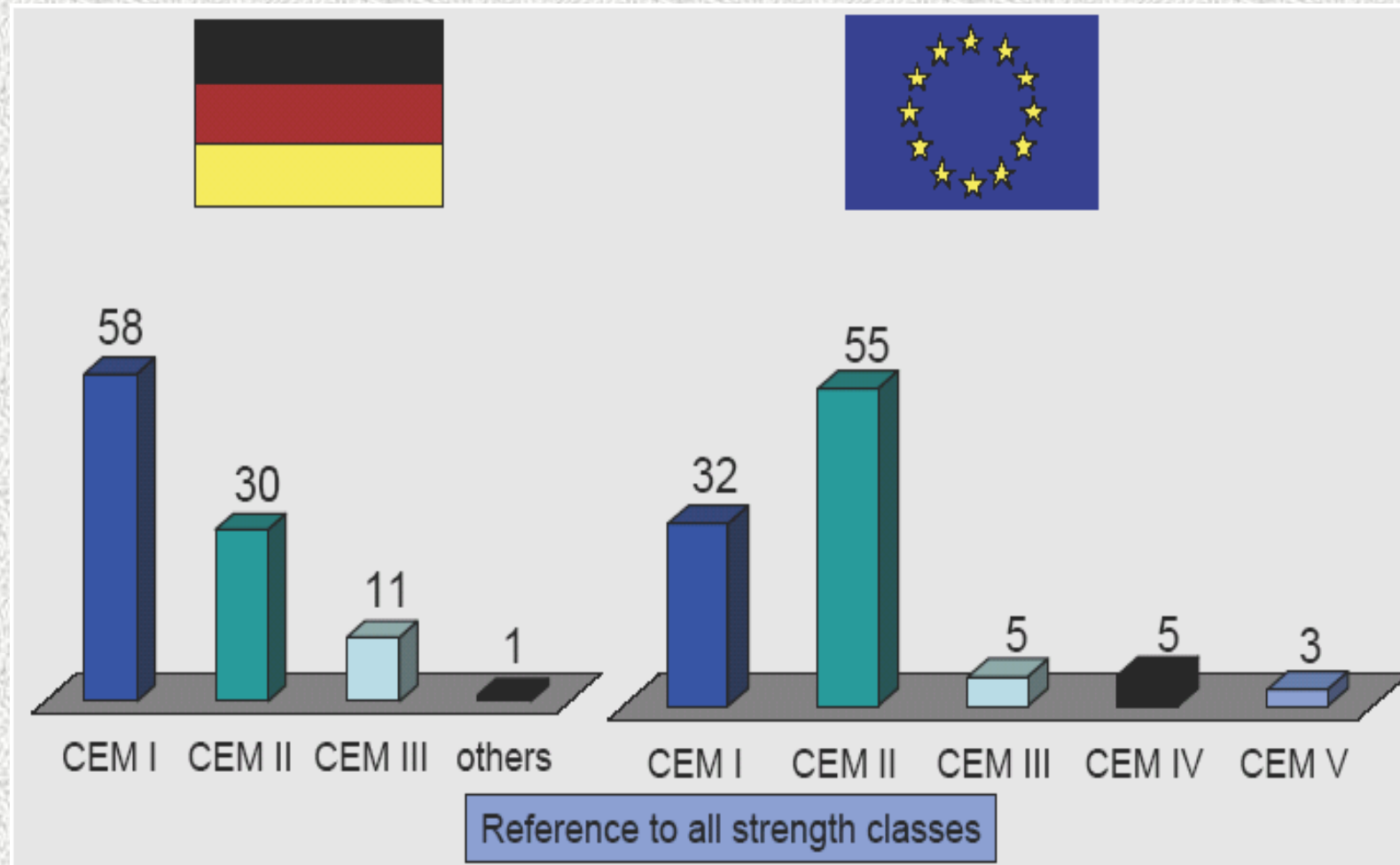
- Pouzzolane naturelle
- Calcaire
- Tuf
- Laitier
- Poussière

# Use of additives in Algeria and Europe

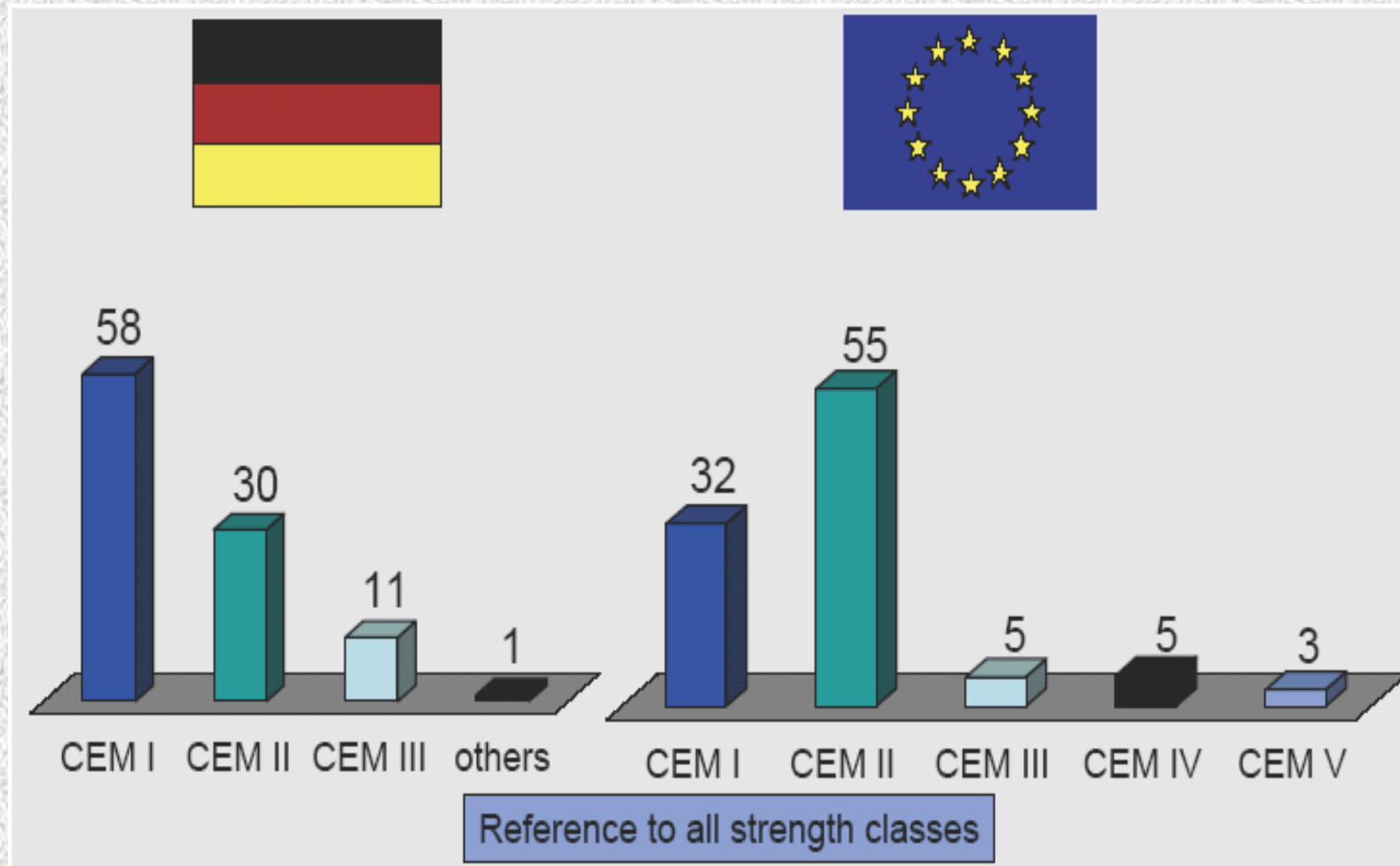


-  Natural pozzolan
-  Limestone
-  Tuff
-  Slag
-  Dust

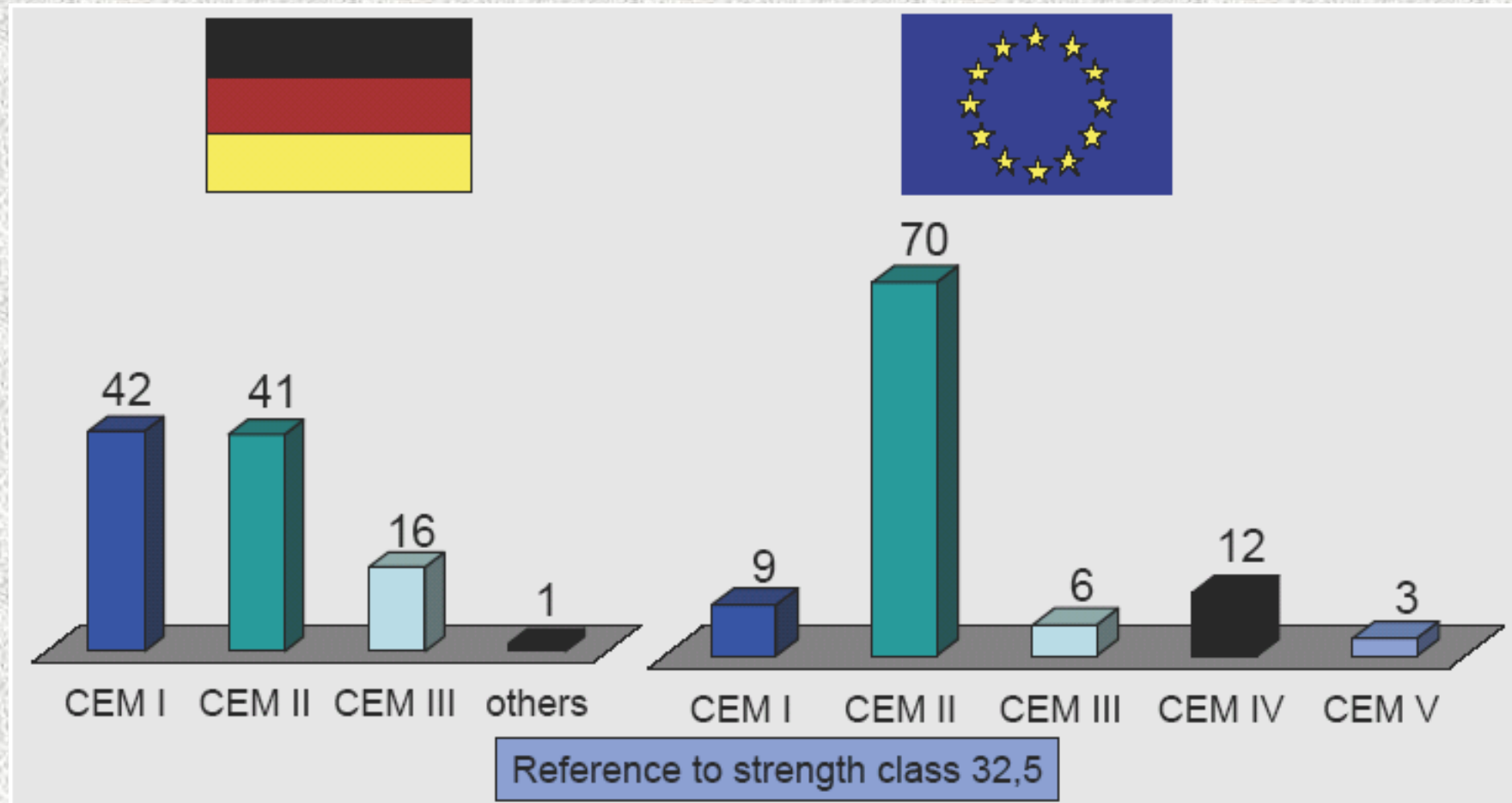
# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



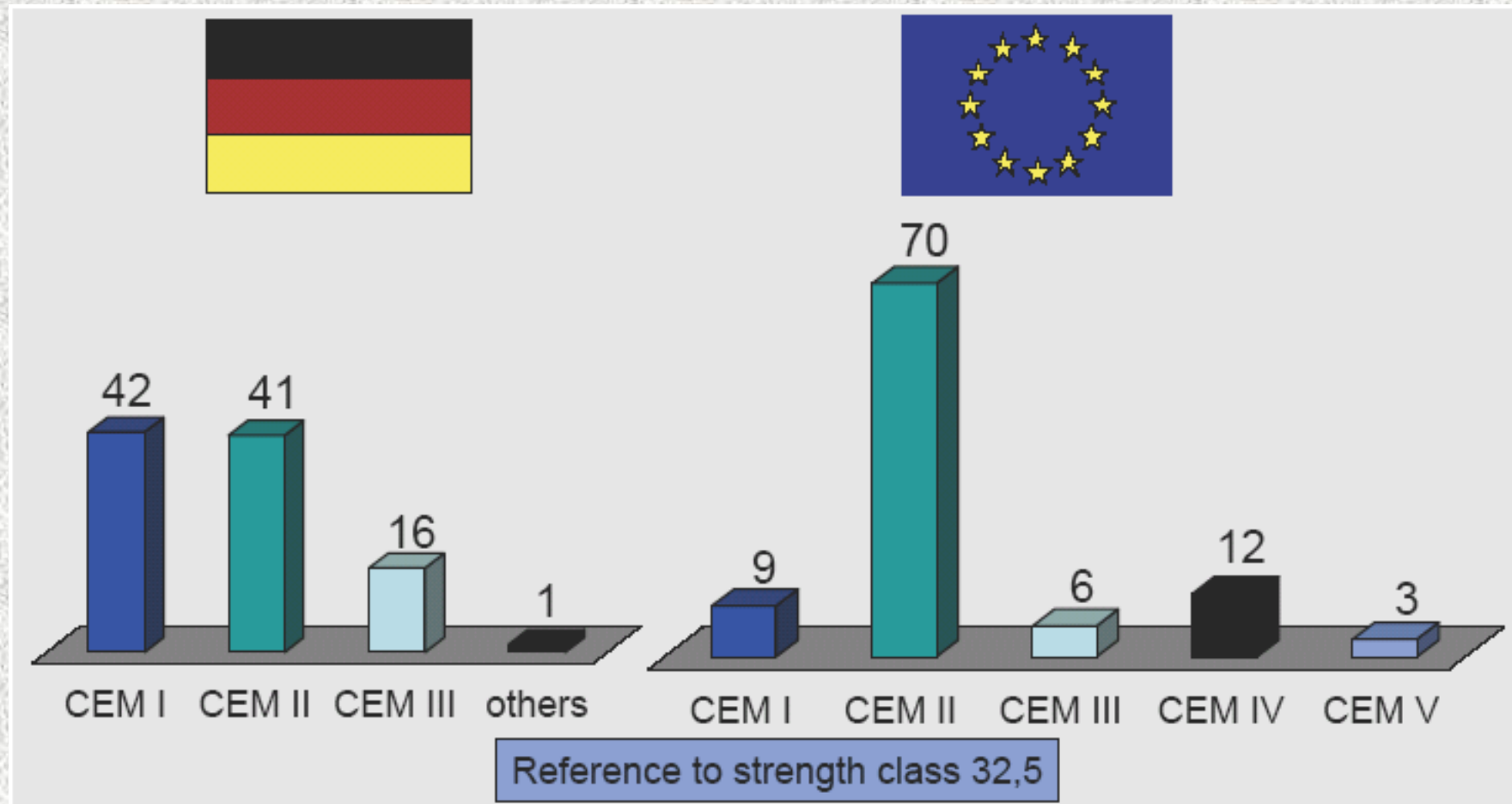
# Use of additives in Algeria and Europe



# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



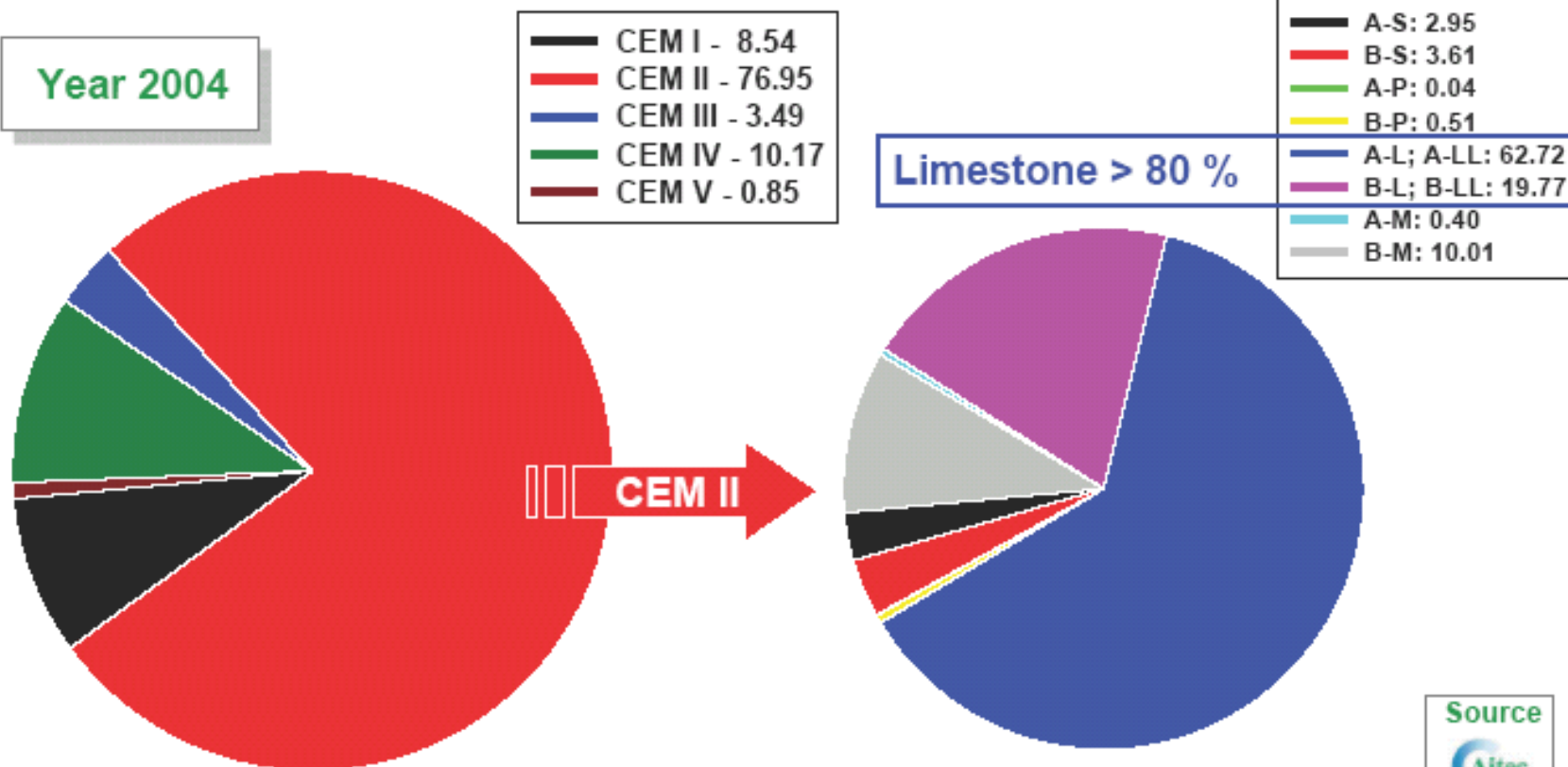
# Use of additives in Algeria and Europe



# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe

## COMMON CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION DISTRIBUTION OF CEMENTS BY TYPE AND CEM II BY CONSTITUENTS

Year 2004



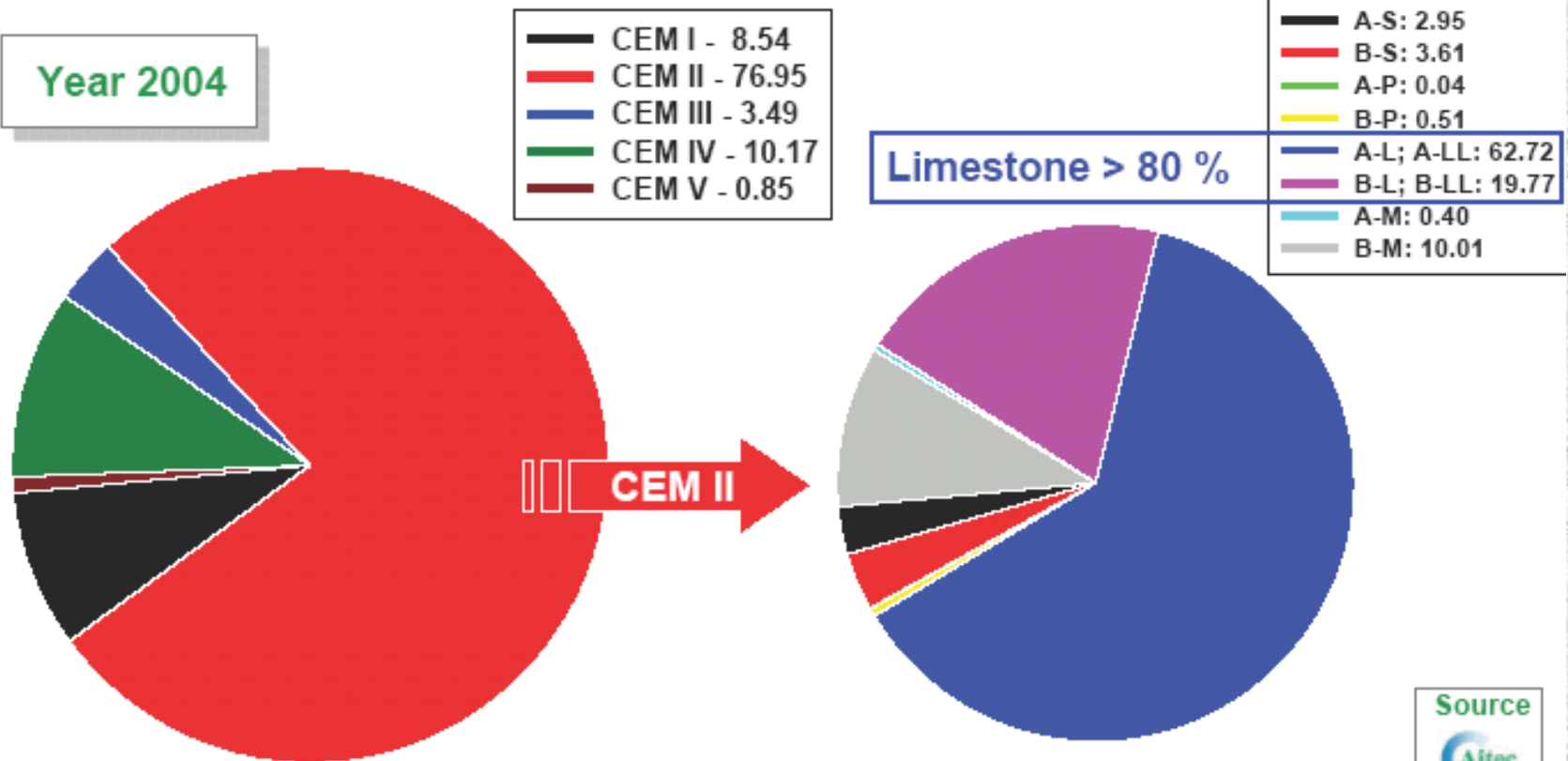
Data refers only to production, therefore import (~ 5%) is excluded.

Source  
Aitec

# Use of additives in Algeria and Europe

## COMMON CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION DISTRIBUTION OF CEMENTS BY TYPE AND CEM II BY CONSTITUENTS

Year 2004

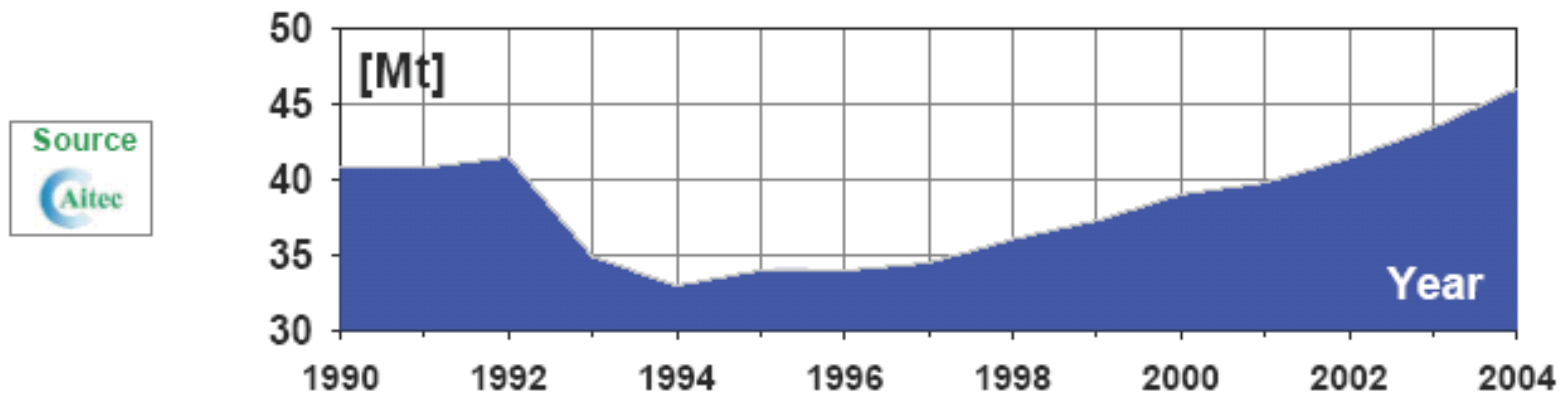


Data refers only to production, therefore import (~ 5%) is excluded.

Source  
Aitec

# Use of additives in Algeria and Europe

## LIMESTONE CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION



Year 2004

Cement

$46 \times 10^6$  t



CEM II

$35 \times 10^6$  t

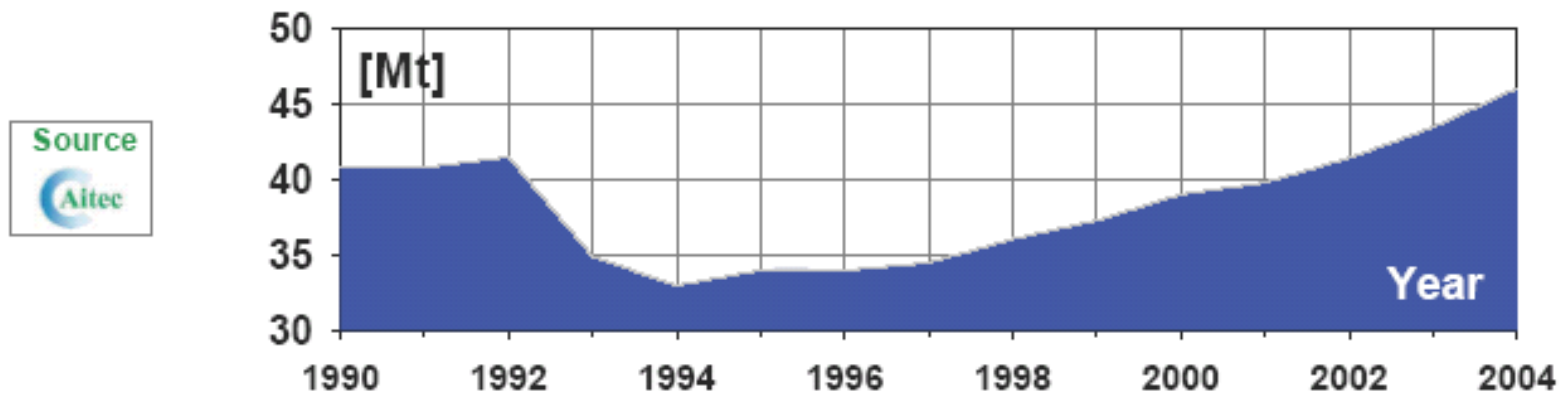


Limestone  
cements

$29 \times 10^6$  t

# Use of additives in Algeria and Europe

## LIMESTONE CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION



Year 2004

Cement

$46 \times 10^6$  t



CEM II

$35 \times 10^6$  t

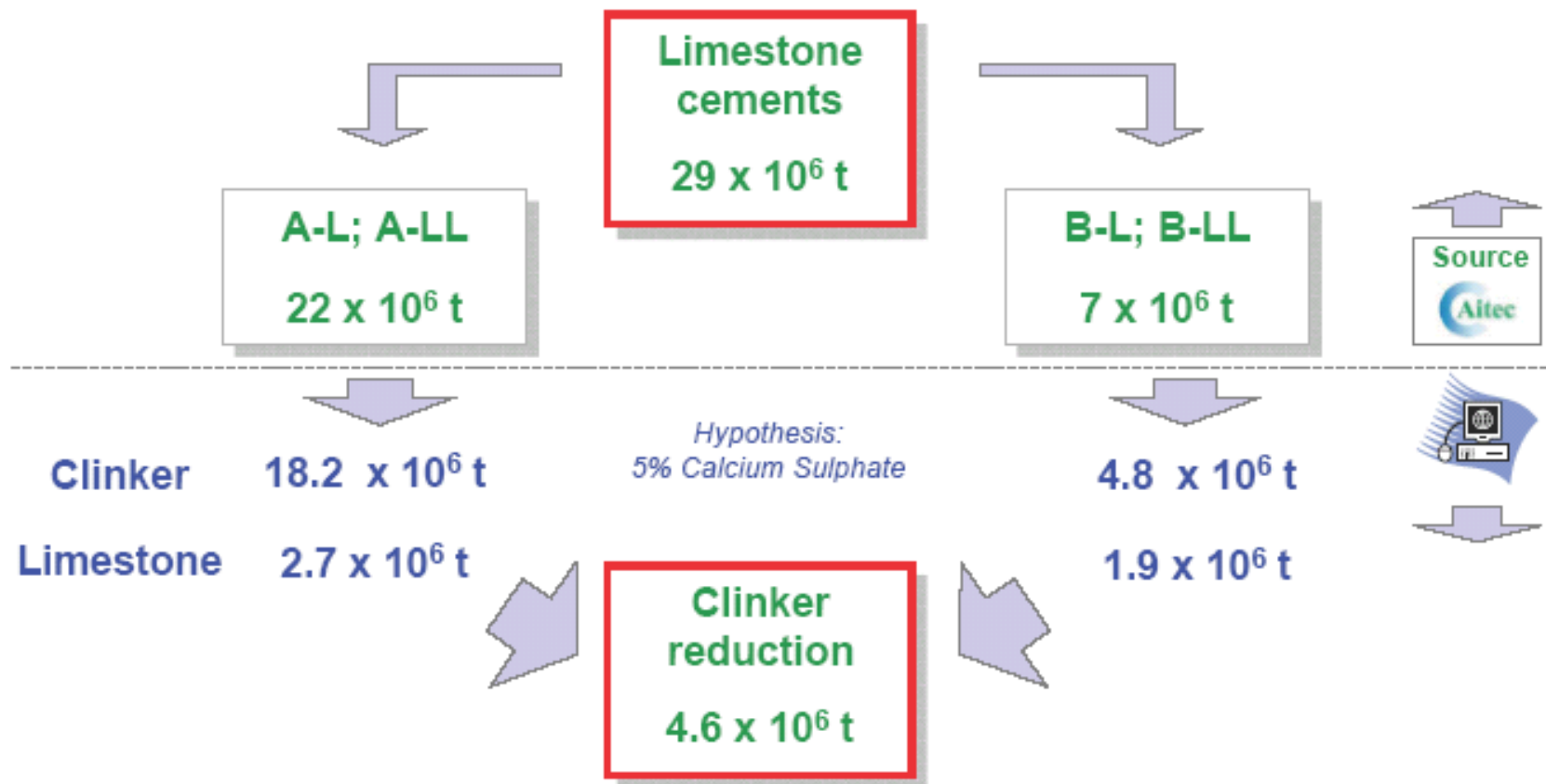


Limestone  
cements

$29 \times 10^6$  t

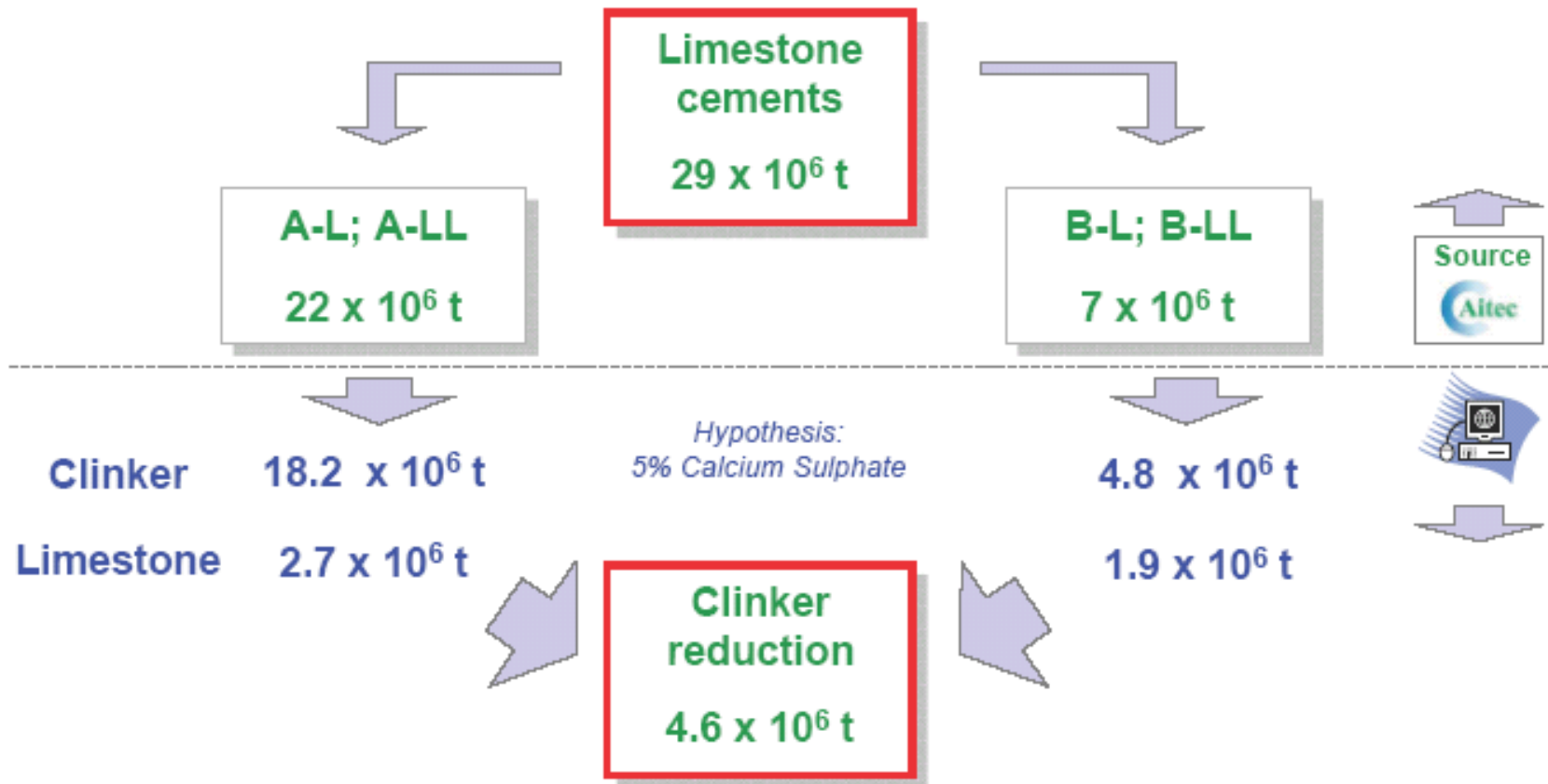
# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe

## LIMESTONE CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION



# Use of additives in Algeria and Europe

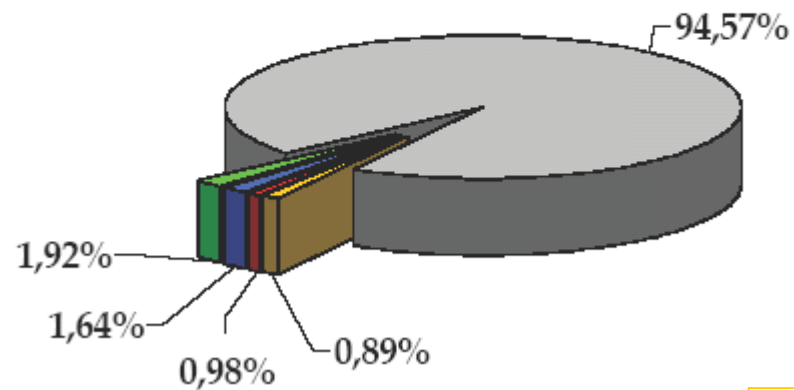
## LIMESTONE CEMENTS - ITALIAN NATIONAL PRODUCTION



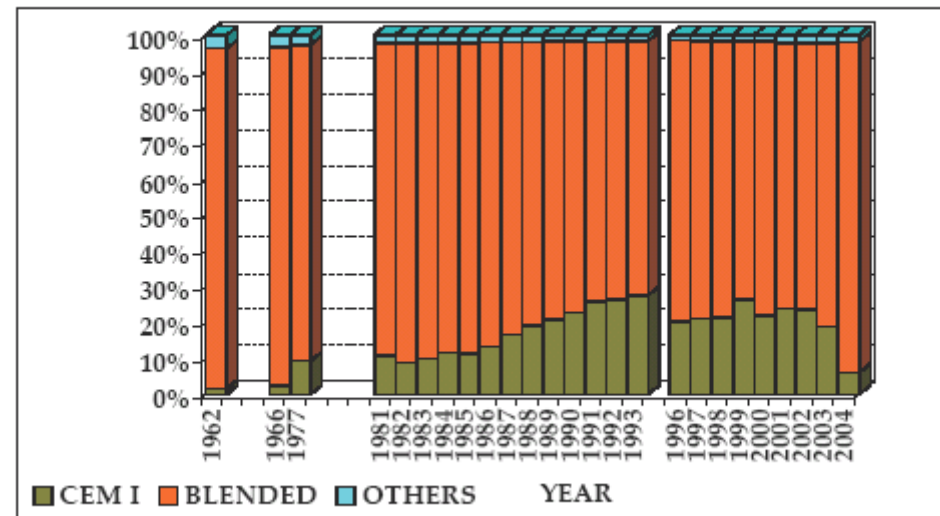
# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe

Greek cement production in 1962

10% Natural Pozzolan 
  White 
  Semi-white 
  OPC 
  Masonry



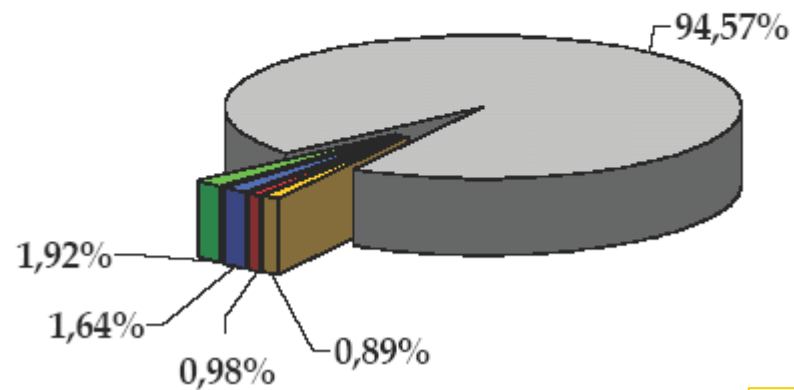
GREECE - DOMESTIC DELIVERIES



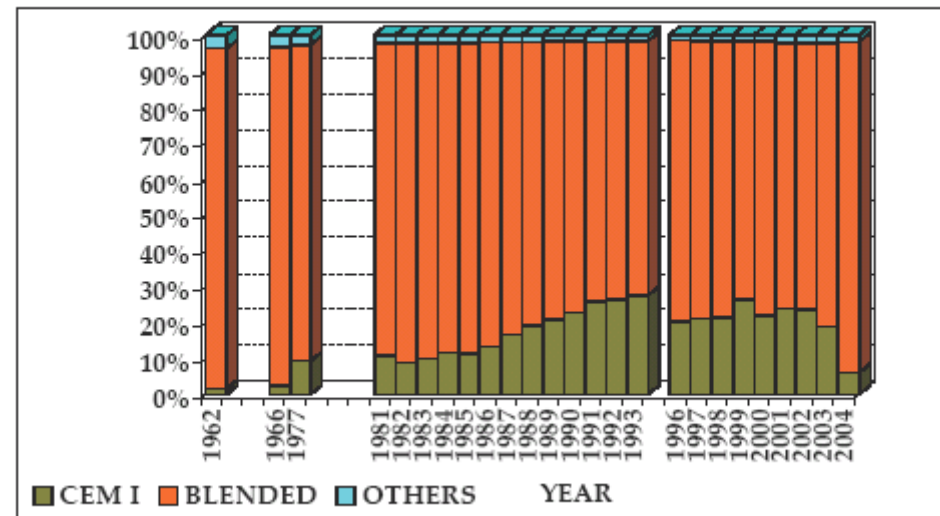
# Use of additives in Algeria and Europe

Greek cement production in 1962

10% Natural Pozzolan 
  White 
  Semi-white 
  OPC 
  Masonry



GREECE - DOMESTIC DELIVERIES



# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



**Rio-Antirio Bridge constructed with CEM III/A 42.5 cement (sea structure) and CEM II/B-M 32.5 (overland structure)**

# Use of additives in Algeria and Europe



**Rio-Antirio Bridge constructed with CEM III/A 42.5 cement (sea structure) and CEM II/B-M 32.5 (overland structure)**

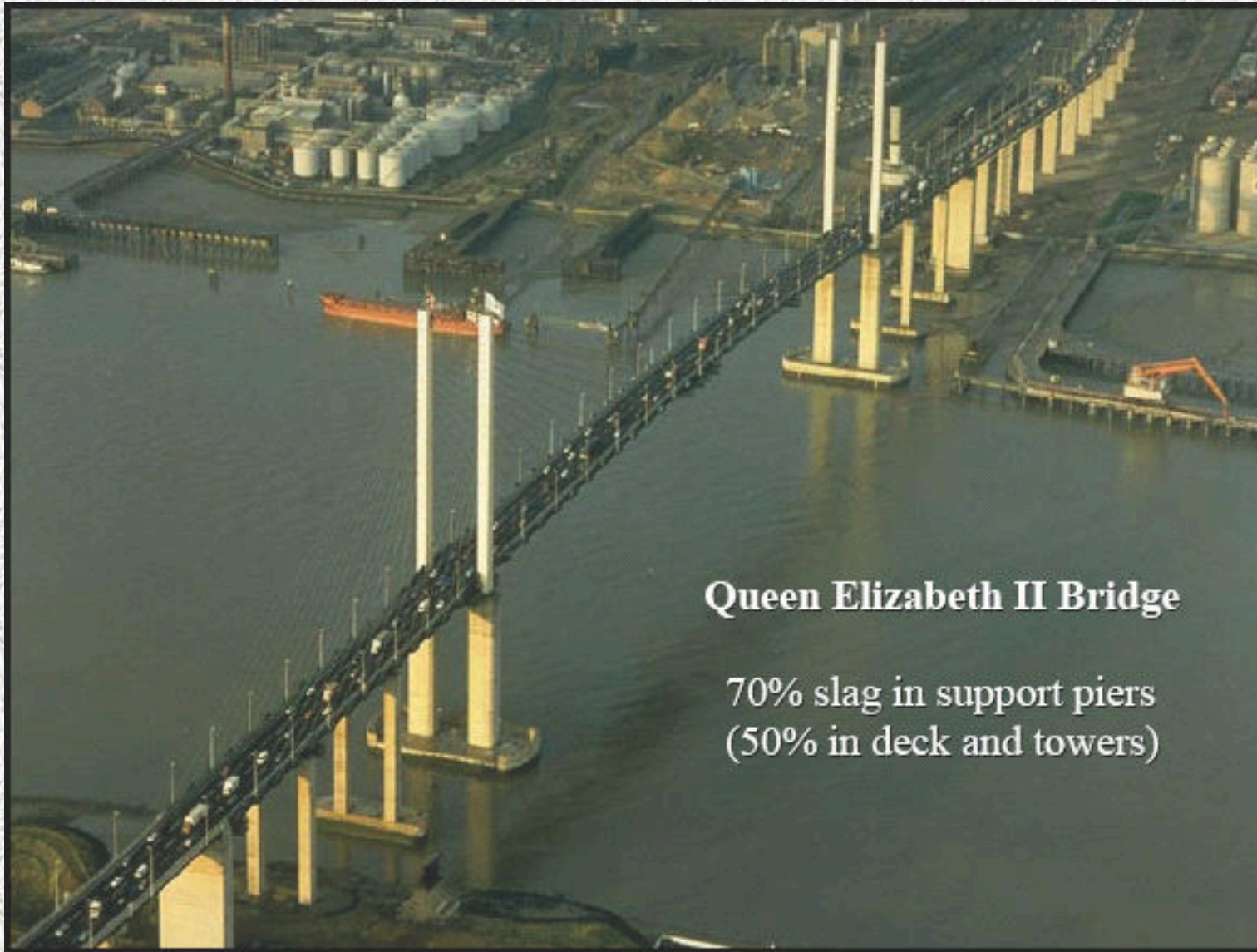
# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



**Queen Elizabeth II Bridge**

70% slag in support piers  
(50% in deck and towers)

# Use of additives in Algeria and Europe



**Queen Elizabeth II Bridge**

70% slag in support piers  
(50% in deck and towers)

# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



Causeway en Floride - Cendres volante utilisé pour augemente  
resistance à la penetration des ions chlore

# Use of additives in Algeria and Europe



Causeway en Floride - Cendres volante utilisé pour augemente  
resistance à la penetration des ions chlore

# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe



Viaduct en Cameroon utilisation de ciment avec fumée de silice importé du Canada - pour amélioration d'étanchéité

# Use of additives in Algeria and Europe



Viaduct en Cameroon utilisation de ciment avec fumée de silice importé du Canada - pour ameiloration d'etancheité

# Utilisation des ajouts en Algérie et en Europe

**Platanovrisi dam  
constructed with  
20/80 % I 42.5/F.A.  
cementitious mixture**

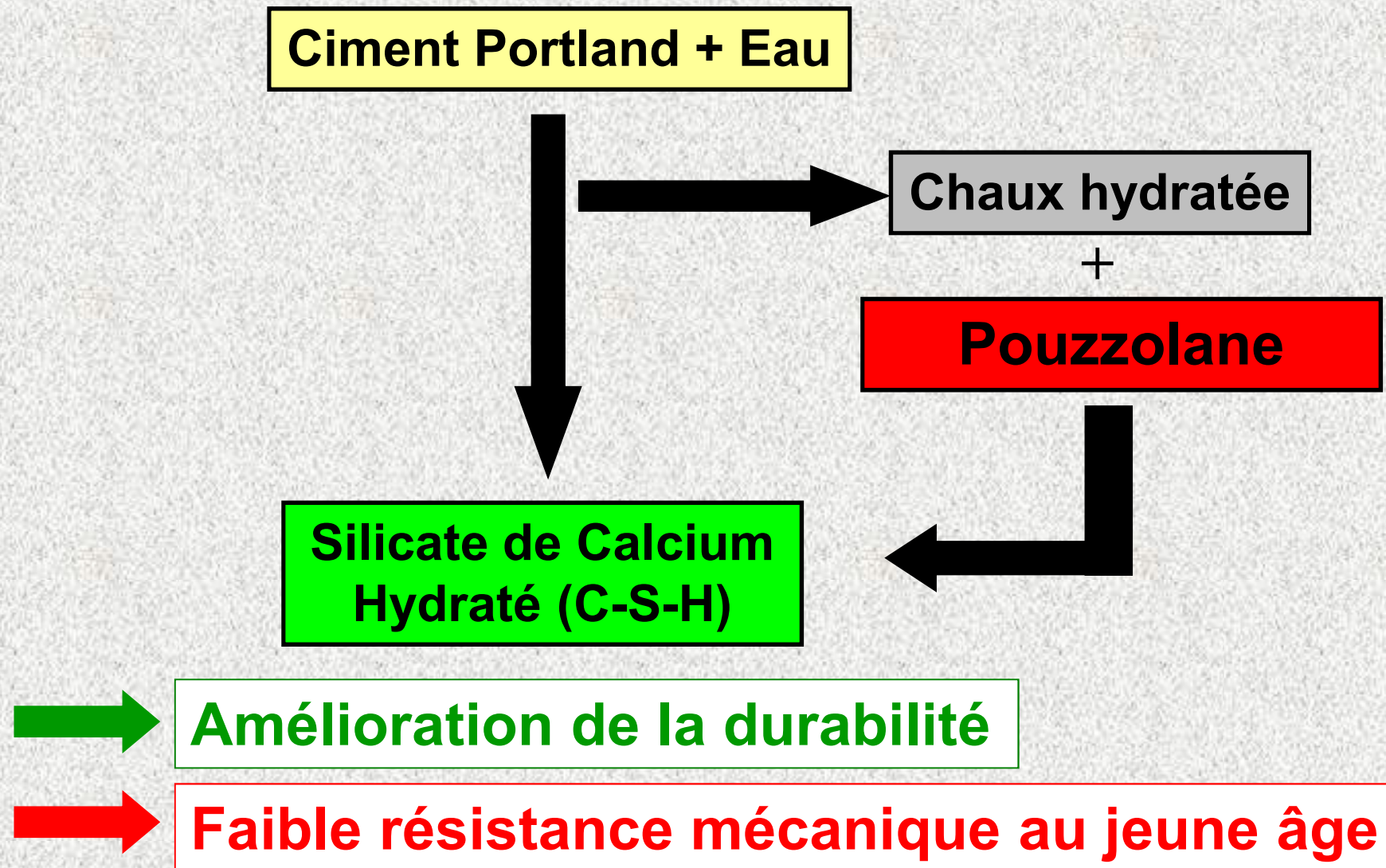


# Use of additives in Algeria and Europe

**Platanovrisi dam  
constructed with  
20/80 % I 42.5/F.A.  
cementitious mixture**



# Hydratation des Ciment Pouzzolaniques



# Hydration of Pozzolanic Cements

Portland cement + Water

Hydrated lime

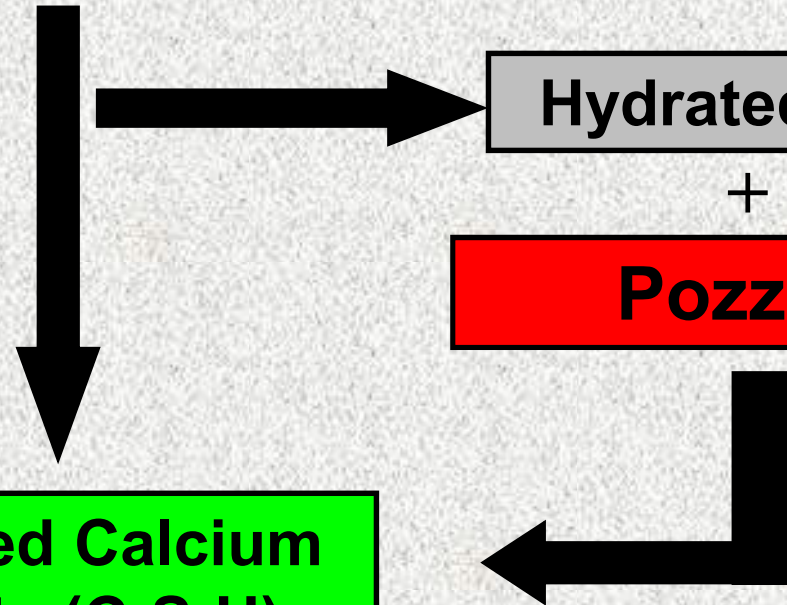
+

Pozzolan

Hydrated Calcium  
Silicate (C-S-H)

Improved durability

Low mechanical strength at a young age



# Hydratation des Ciment Pouzzolaniques

## Accélération de l'activité pouzzolanique au jeune age

### 1. Méthodes d'activation:

- ✓ mécanique,
- ✓ thermique,
- ✓ chimique.

### 2. Utilisation des ajouts minéraux:

- ✓ Très actifs (fumée de silice ou métakaolin)
- ✓ Inertes (calcaire)



**Ciments Ternaires  
ou Quaternaires**

**Effet  
Synergique**

# Hydration of Pozzolanic Cements

**Acceleration of pozzolanic activity at a young age**

## **1. Activation methods:**

- ✓ mechanical,
- ✓ thermal,
- ✓ chemical.

## **2. Use of mineral supplements:**

Highly active (silica fume or metakaolin)

- ✓ Inert (limestone)



**Ternary or  
Quaternary  
Cements**

**Synergistic  
Effect**

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

Plusieurs méthodes permettent d'apprécier la réactivité d'une **pouzzolane**. Elles sont basées sur des essais chimiques, physiques ou mécaniques.

## Déterminations chimiques

Un certain nombre de ces méthodes consiste, avec des procédés opératoire variés, à déterminer la quantité de chaux résiduelle après contact plus ou moins prolongé de la pouzzolane avec une solution de concentration en chaux; ce qui permette de suivre la quantité de chaux fixée par le matériau.

Ces méthodes ne donne en générale qu'un indice d'activité potentielle, elles sont toujours insuffisantes pour prévoir avec certitude les résistances mécaniques à espérer.

# Evaluation of pozzolanic activity

Several methods can be used to assess the reactivity of pozzolan. These are based on chemical, physical, or mechanical tests.

## **Chemical determinations**

A number of these methods involve various procedures to determine the amount of residual lime after the pozzolan has been in contact with a lime solution for a varying length of time, which makes it possible to monitor the amount of lime fixed by the material.

These methods generally only provide an indication of potential activity; they are always insufficient to predict with certainty the mechanical resistance that can be expected.

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

## Méthodes physiques

L'observation au microscope optique ou électronique, l'analyse thermique différentielle (A.T.D.) et les examens à la diffraction des rayons X (D.R.X.) peuvent apporter des informations sur l'activité pouzzolaniques.

Les séquences de l'hydratation présentent une étape de diffusion qui s'effectue par l'intermédiaire des ions ( $\text{SiO}_4\text{H}_3^-$ ,  $\text{AlO}_4\text{H}_4^-$ ) résultant de l'attaque alcaline des matériaux pouzzolaniques. Donc, l'étude **conductimétrique** pourrait par conséquent être une voie de mesure.

# Evaluation of pozzolanic activity

## Physical methods

Observation under an optical or electron microscope, differential thermal analysis (DTA), and X-ray diffraction (XRD) tests can provide information on pozzolanic activity.

The hydration sequences involve a diffusion stage that occurs via ions ( $\text{SiO}_4\text{H}_3^-$ ,  $\text{AlO}_4\text{H}_4^-$ ) resulting from the alkaline attack of pozzolanic materials. Therefore, conductometric analysis could be a possible method of measurement.

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

## **Essais mécaniques**

Face aux difficultés et aux incertitudes des autres méthodes, l'étude de l'évolution du durcissement apparaît comme étant la plus significative et la plus fiable car elle se rapproche des conditions réelles et mesure directement le résultat recherché.

Il est possible de connaître l'apport du matériau pouzzolanique aux résistances mécaniques

On peut ainsi réaliser des mortiers dont le liant est constitué d'un mélange de pouzzolane-chaux ou pouzzolane-ciment et comparer l'évolution les résistances de ces mortiers à celle du mortier sans pouzzolane

# Evaluation of pozzolanic activity

## **Mechanical testing**

Given the difficulties and uncertainties associated with other methods, studying the evolution of hardening appears to be the most meaningful and reliable approach, as it closely resembles real-world conditions and directly measures the desired result.

It is possible to determine the contribution of pozzolanic material to mechanical strength.

This makes it possible to produce mortars with a binder consisting of a mixture of pozzolan-lime or pozzolan-cement and compare the strength development of these mortars with that of mortar without pozzolan.

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

## Evaluation de l'Activité pouzzolanique

### Gain de Résistance (*Paya et al 1997*)

$$GR_p = R_p - R_0 \left( \frac{m_c}{m_c + m_p} \right)$$

$R_p$  : représente la résistance d'un mortier contenant un dosage  $p$  de la pouzzolane naturelle à un âge donné

$R_0$  : représente la résistance du mortier contrôle au même âge.

$m_c$  et  $m_p$  sont les poids du ciment et de la pouzzolane dans le liant, respectivement.

# Evaluation of pozzolanic activity

## Evaluation of pozzolanic activity

### Resistance Gain (Paya et al 1997)

$$GR_p = R_p - R_0 \left( \frac{m_c}{m_c + m_p} \right)$$

$R_p$  : represents the strength of mortar containing a proportion  $p$  of natural pozzolan at a given age.

$R_0$  : represents the strength of the control mortar at the same age.

$m_c$  and  $m_p$  are the weights of cement and pozzolan in the binder, respectively.

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

Résistance à la compression en fonction du pourcentage de la pouzzolane naturelle

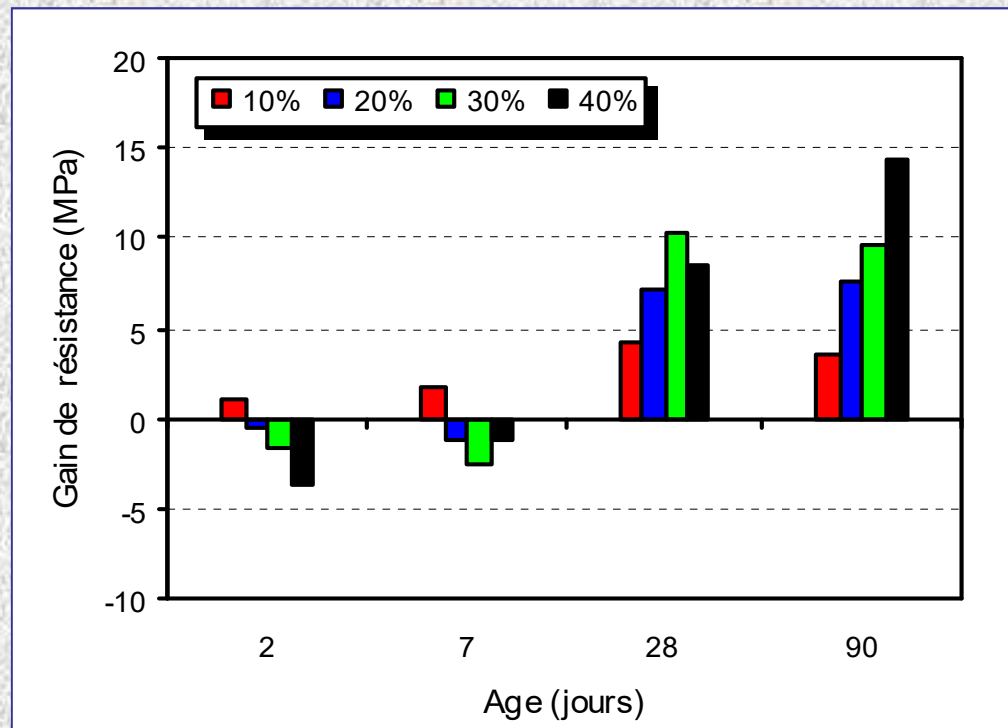
	<b>2j</b>	<b>7j</b>	<b>28j</b>	<b>90j</b>
<b>00%</b>	20.4	48.5	59.6	63.2
<b>10%</b>	19.5	45.4	57.8	60.2
<b>20%</b>	15.7	37.5	54.8	58.1
<b>30%</b>	12.6	31.3	52.1	53.9
<b>40%</b>	8.6	27.9	44.2	52.2

# Evaluation of pozzolanic activity

Compressive strength as a function of the percentage of natural pozzolan

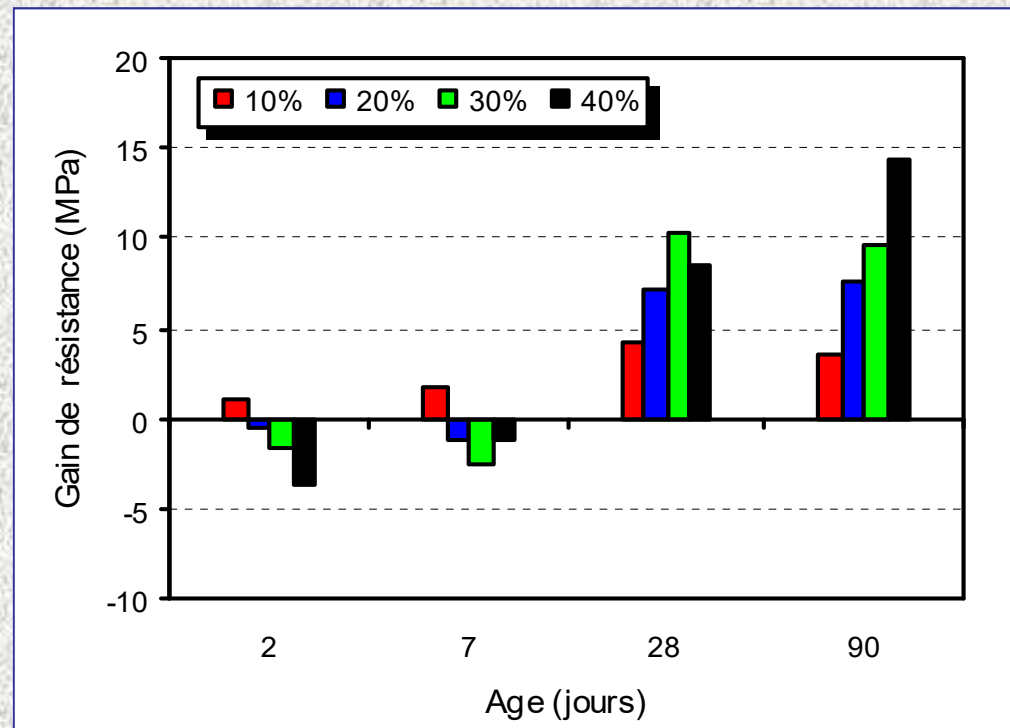
	<b>2d</b>	<b>7d</b>	<b>28d</b>	<b>90d</b>
<b>00%</b>	20.4	48.5	59.6	63.2
<b>10%</b>	19.5	45.4	57.8	60.2
<b>20%</b>	15.7	37.5	54.8	58.1
<b>30%</b>	12.6	31.3	52.1	53.9
<b>40%</b>	8.6	27.9	44.2	52.2

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique



Evolution du Gain de résistance en fonction de l'âge pour les différents dosage de la pouzzolane naturelle

# Evaluation of pozzolanic activity



Evolution of strength gain as a function of age for different dosages of natural pozzolan

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

## Rapport d'Efficacité Pouzzolanique (*Berri et al 1997*)

$$\text{REP} = \frac{S_f}{F} = \frac{R(p)}{R(0)} \times \frac{1}{F}$$

**F**: représente le rapport de *Feret* donné par l'équation suivante:

$$\mathbf{F} = \left( \frac{\mathbf{c}_0 + \mathbf{w}_0}{\mathbf{c}_p + \mathbf{w}_p} \cdot \frac{\mathbf{c}_p}{\mathbf{c}_0} \right)$$

avec **c** et **w** représentent les volumes absolues du ciment et de l'eau, respectivement, l'indice **0** indique le mortier sans ajout par contre l'indice **p** indique le mortier contenant un dosage p de la pouzzolane.

# Evaluation of pozzolanic activity

## Pouzzolanic Efficiency Report (Berri et al 1997)

$$\text{REP} = \frac{S_f}{F} = \frac{R(p)}{R(0)} \times \frac{1}{F}$$

**F**: represents Feret's ratio given by the following equation:

$$\mathbf{F} = \left( \frac{\mathbf{c}_0 + \mathbf{w}_0}{\mathbf{c}_p + \mathbf{w}_p} \cdot \frac{\mathbf{c}_p}{\mathbf{c}_0} \right)$$

where  $c$  and  $w$  represent the absolute volumes of cement and water, respectively, the index 0 indicates mortar without additives, while the index  $p$  indicates mortar containing a  $p$  dosage of pozzolan.

# Evaluation de l'Activité pouzzolanique

Résistance à la compression en fonction du pourcentage de la pouzzolane naturelle

	<b>2j</b>	<b>7j</b>	<b>28j</b>	<b>90j</b>
<b>00%</b>	20.4	48.5	59.6	63.2
<b>10%</b>	19.5	45.4	57.8	60.2
<b>20%</b>	15.7	37.5	54.8	58.1
<b>30%</b>	12.6	31.3	52.1	53.9
<b>40%</b>	8.6	27.9	44.2	52.2

# Evaluation of pozzolanic activity

Compressive strength as a function of the percentage of natural pozzolan

	<b>2d</b>	<b>7d</b>	<b>28d</b>	<b>90d</b>
<b>00%</b>	20.4	48.5	59.6	63.2
<b>10%</b>	19.5	45.4	57.8	60.2
<b>20%</b>	15.7	37.5	54.8	58.1
<b>30%</b>	12.6	31.3	52.1	53.9
<b>40%</b>	8.6	27.9	44.2	52.2

## Concept du coefficient d'efficacité

**Plusieurs approches ont été utilisées par différent chercheurs pour évaluer l'efficacité d'une addition minéral lorsqu'elle est introduite dans le béton. Ces approches ont été appliquées pour les **Cendres Volantes**, la **Fumée de Silice** et très récemment pour le **Laitier**.**

# Concept of the efficiency coefficient

**Several approaches have been used by different researchers to evaluate the effectiveness of a mineral additive when introduced into concrete. These approaches have been applied to fly ash, silica fume, and very recently to slag.**

# Concept du coefficient d'efficacité

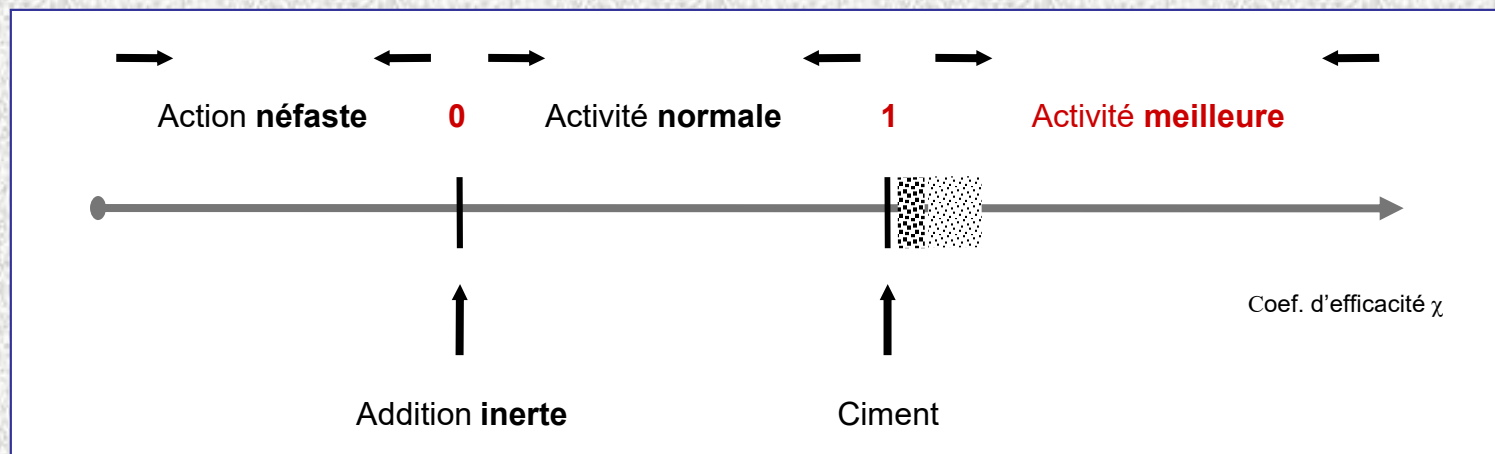
## Concepts et notions théorique

Indice d'activité

$$i_p(t) = \frac{R_p(t)}{R_0(t)}$$

Coefficient d'Activité (ou Efficacité)

$$L_{\text{éq}} = C + \chi A$$



*Différentes classes d'activité selon le coefficient d'activité.*

# Concept of the efficiency coefficient

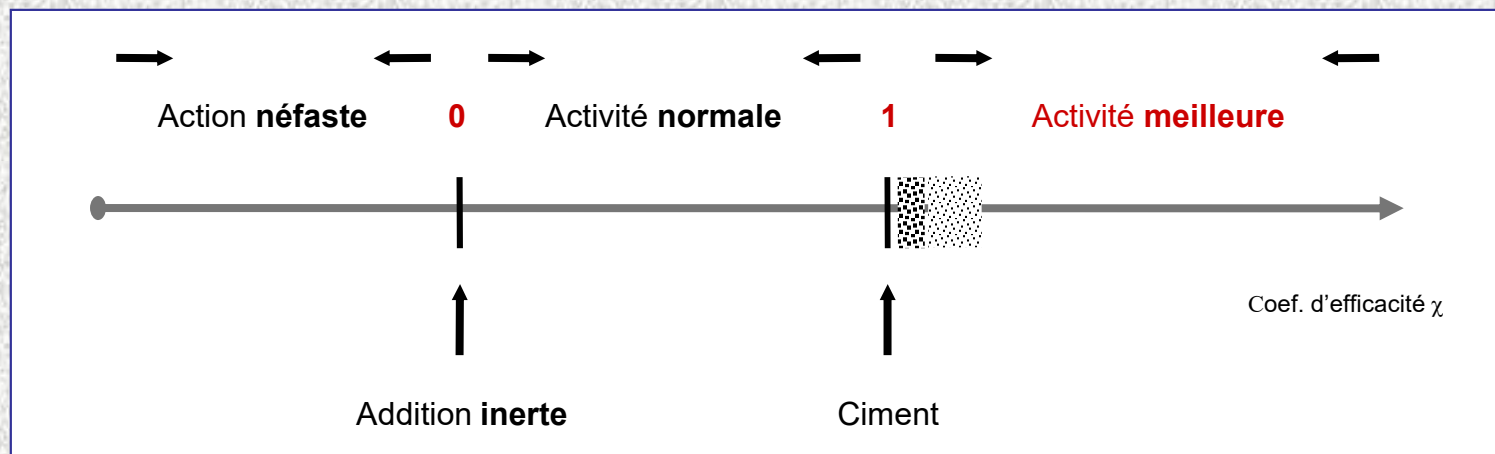
## Concepts and theoretical notions

Activity index

$$i_p(t) = \frac{R_p(t)}{R_0(t)}$$

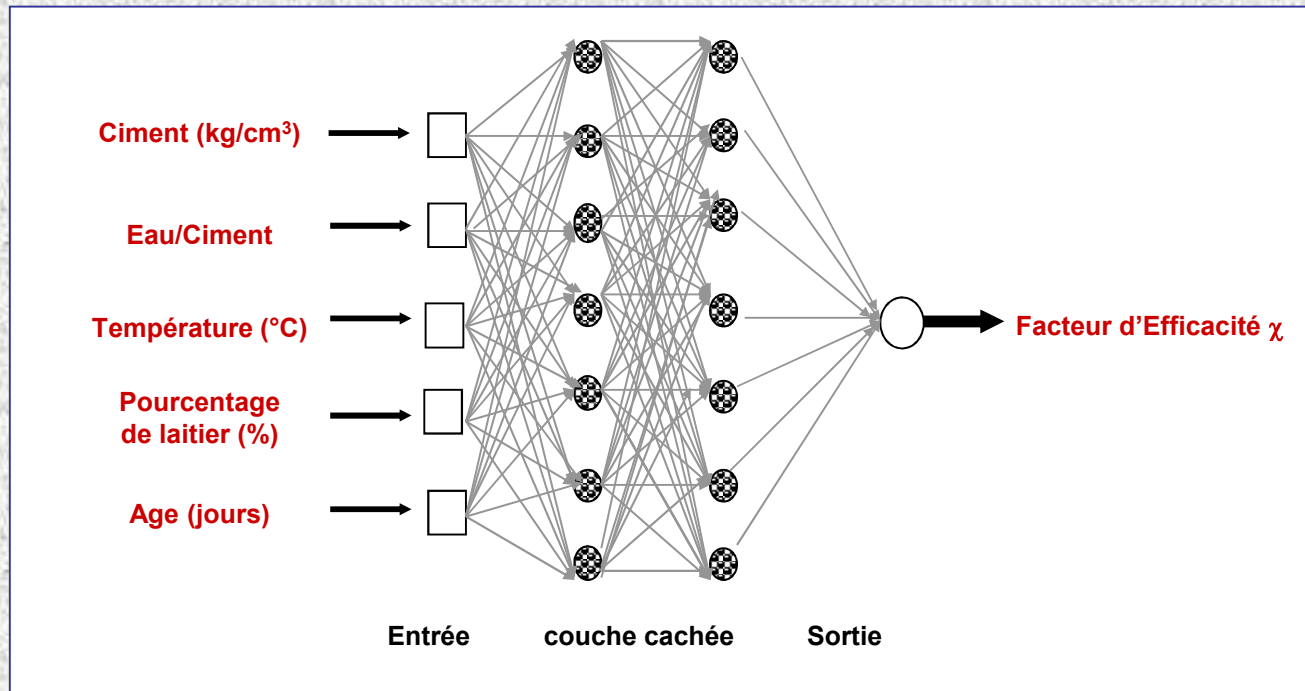
Activity (or Efficiency) Coefficient

$$Léq = C + \chi A$$

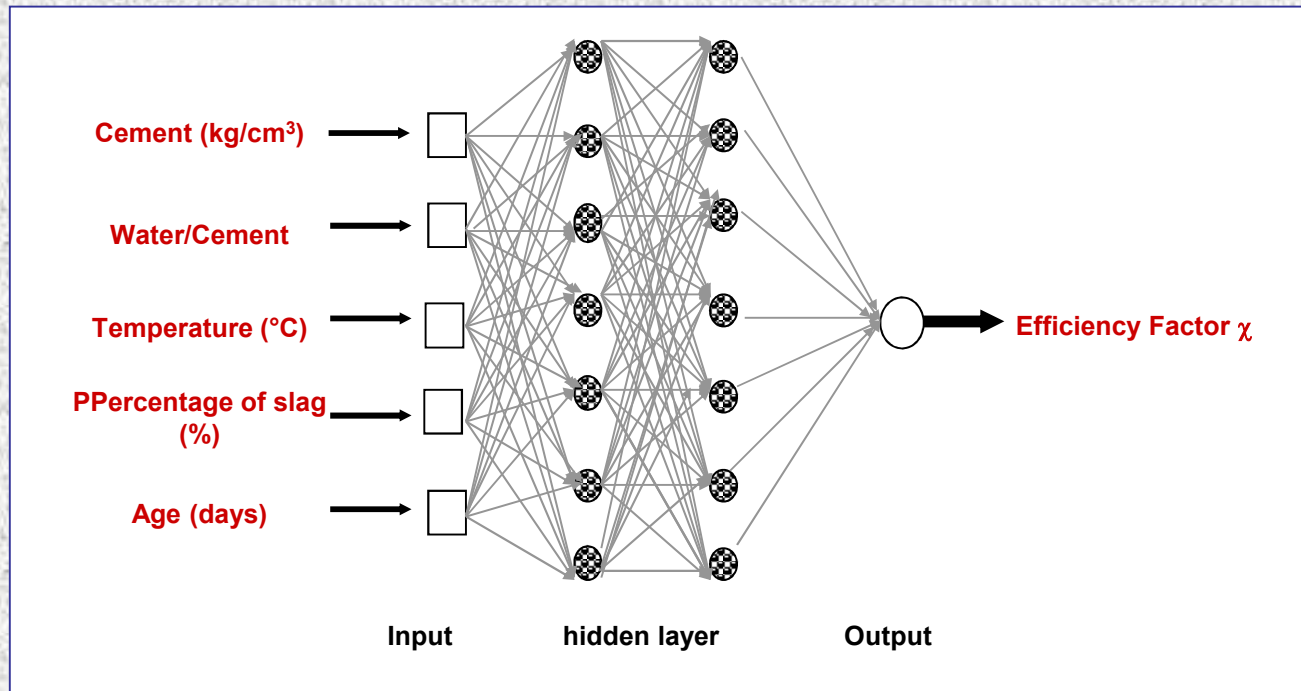


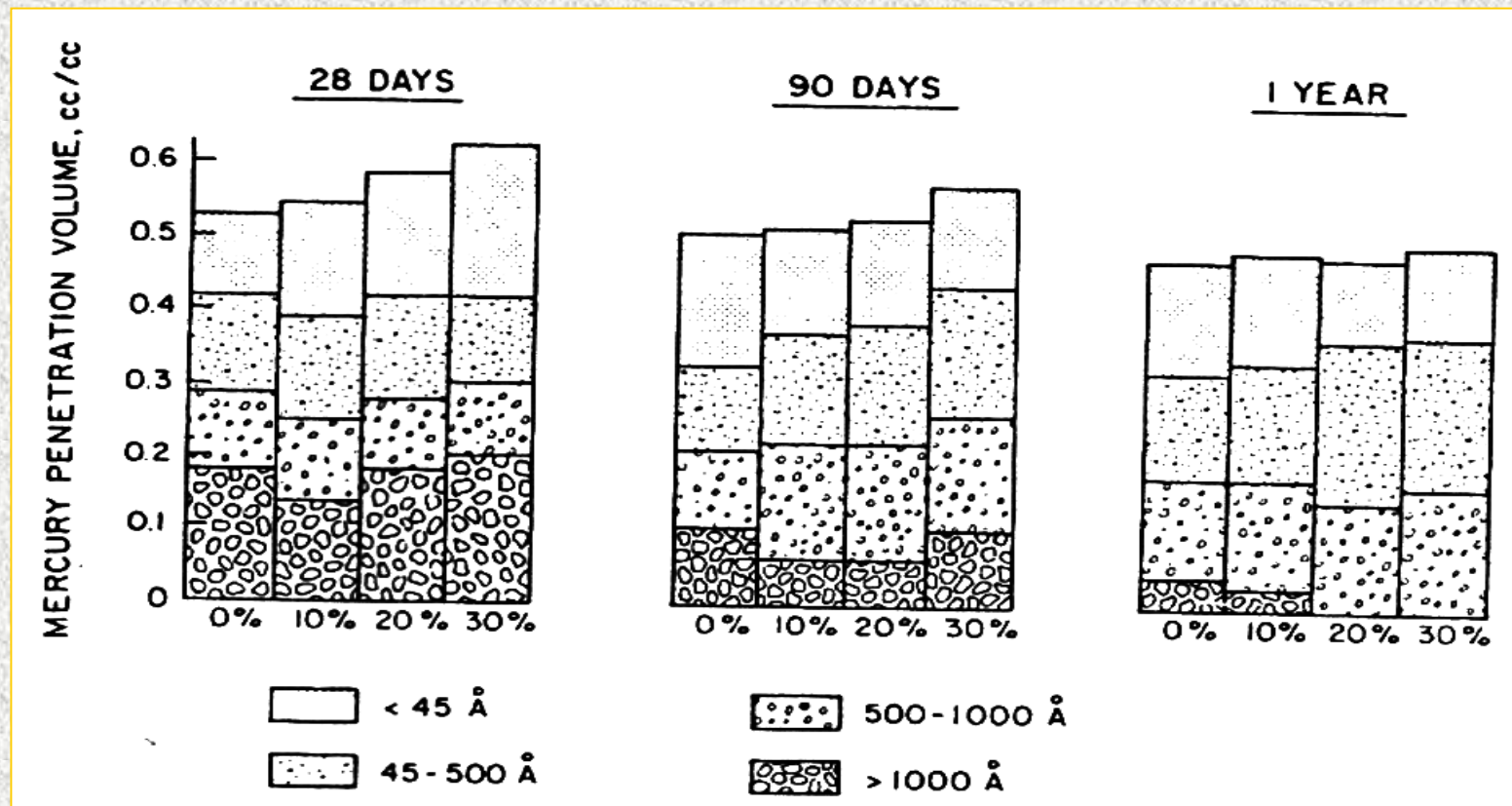
*Different activity classes according to the activity coefficient.*

# Concept du coefficient d'efficacité



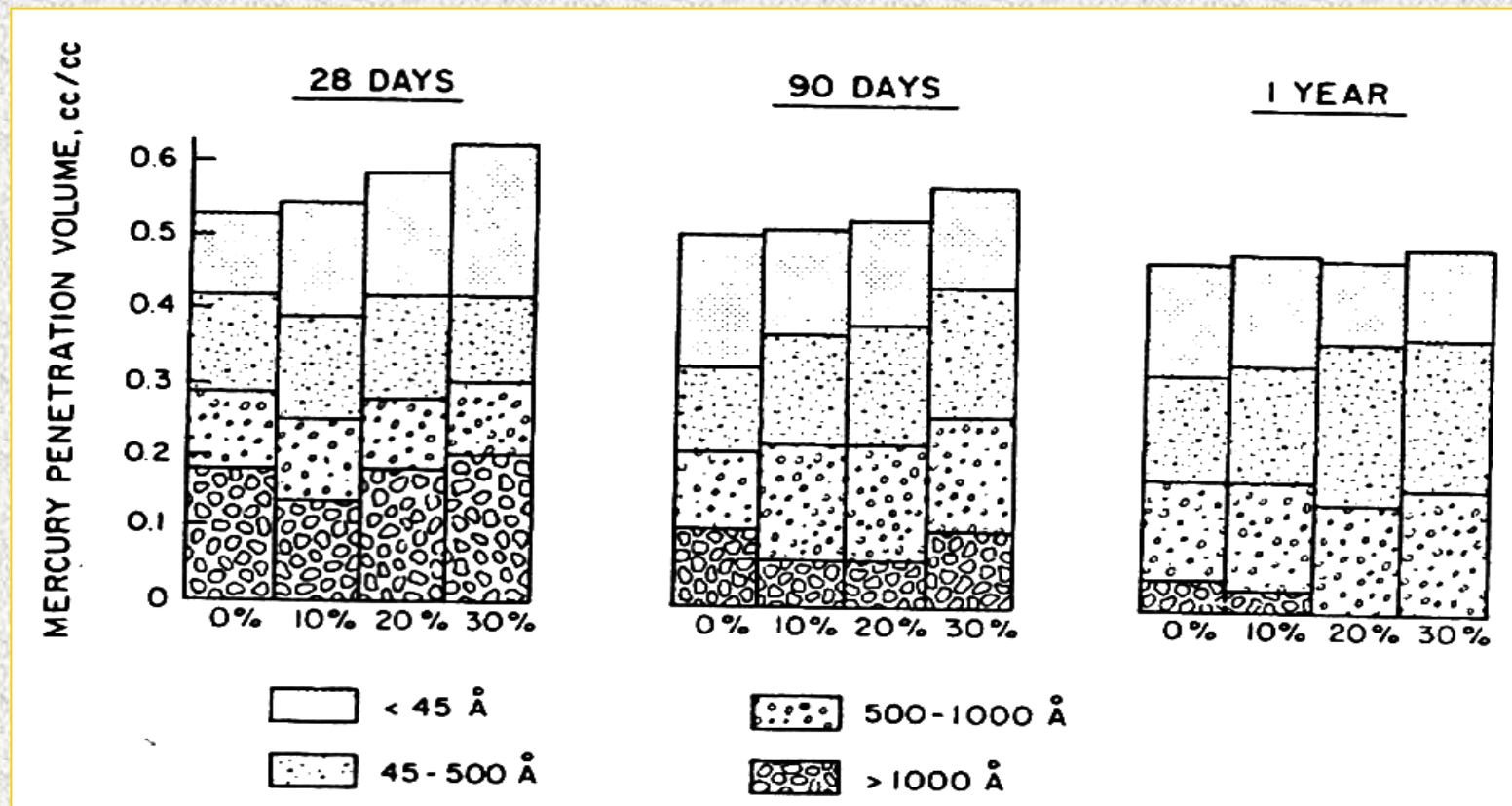
# Concept of the efficiency coefficient





Distribution des pores de pates de ciment hydratées Contenant différents dosage de la pouzzolane naturelle [ Mehta 1987]





Distribution of pores in hydrated cement pastes containing different proportions of natural pozzolan [Mehta 1987]

