

Pathologie de béton armé

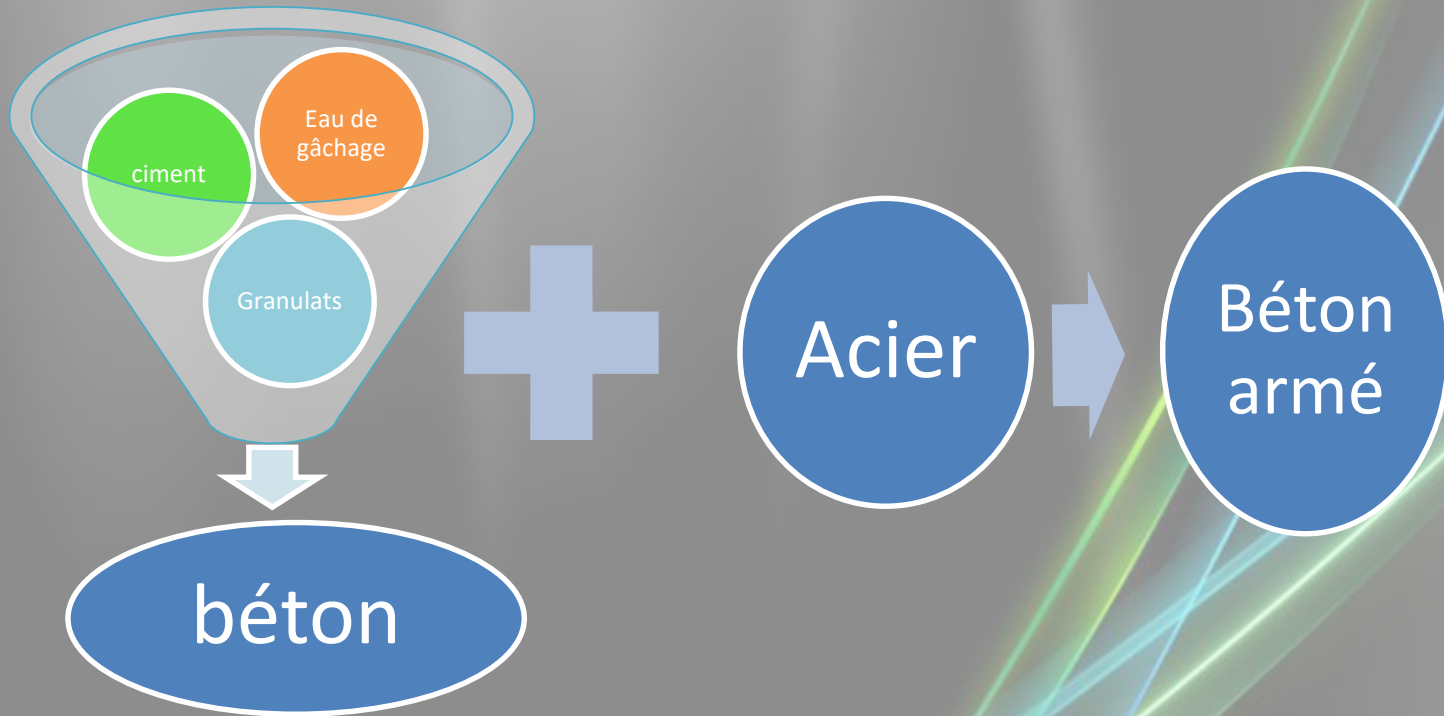


Plan

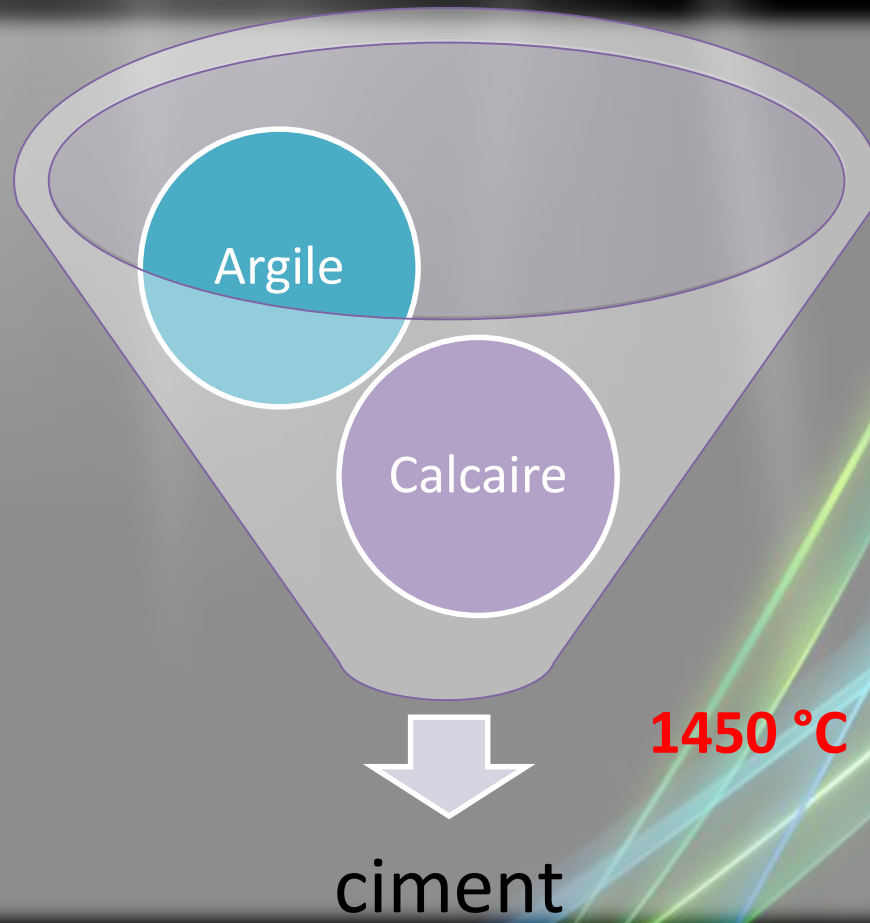
- I. Introduction
- II. Pathologies et causes
- III. prévention
- IV. Diagnostic
- V. Réhabilitation



introduction



CIMENT



Ciment

- Le ciment est une poudre fine obtenue par la cuisson à haute température (vers **1450 °C**) et le broyage d'un mélange minéral(calcaire+argile).ces poudres constituées de matériaux anhydres instables(en particulier silicates et aluminates de chaux)forment avec l'eau une pâte capable, par hydratation, de faire prise et de durcir progressivement.
- Le constituant principal du ciment est le **Clinker** auquel on rajoute au moment du broyage, une faible quantité de sulfate de Calcium(**gypse**) régulariser sa prise.

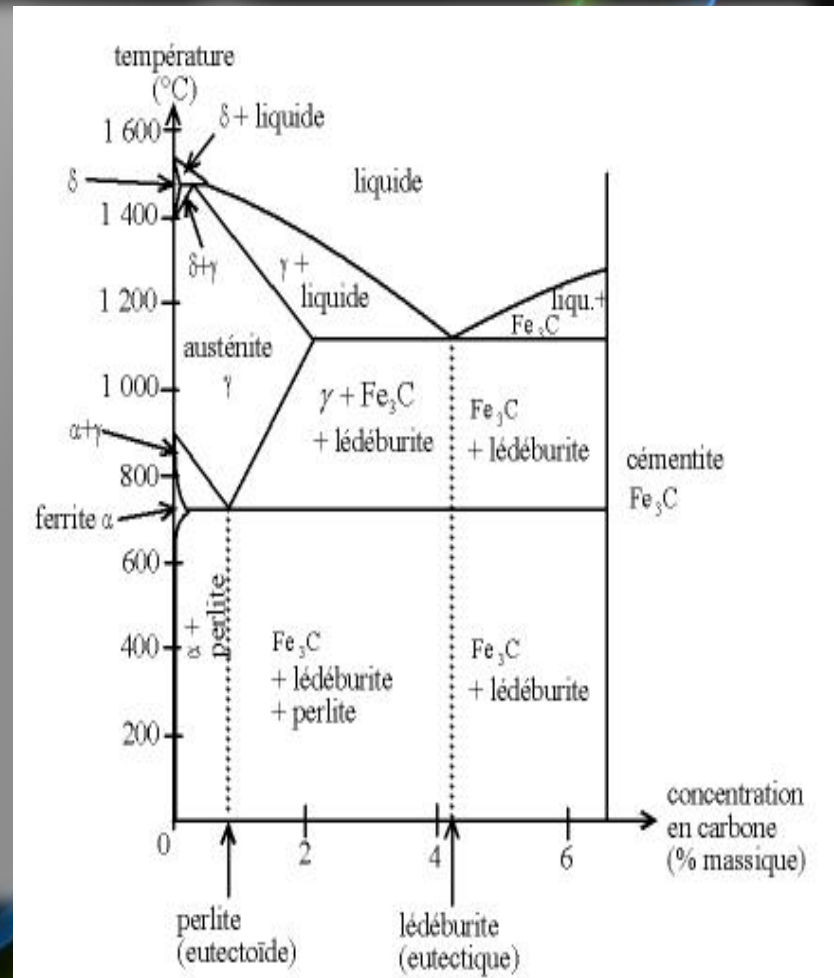


- Le principe consiste à chauffer dans un four le mélange intime de calcaire et d'argile pour décarbonater le calcaire et faire réagir la chaux ainsi libérée sur les éléments argileux pour obtenir les silicates tri- et bi-calciques (C_3S , C_2S), les aluminates et les aluminoferrites de chaux (C_3A , C_4AF). A $1450^{\circ}C$, le produit obtenu est le "clinker" ensuite refroidi. Ce sont les silicates qui, par réaction avec l'eau, donnent les $C-S-H$, responsables de la prise du ciment; Pour régulariser la prise du clinker, on y ajoute environ de 3% à 6% de gypse.



Acier

- L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone 2,14 % en masse. La teneur en carbone a une influence considérable sur les propriétés



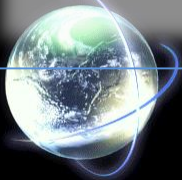
Pathologies et causes



Corrosion des armatures du béton armé en façades des bâtiments

- Constat:

Les désordres affectant les structures en béton armé commencent à la surface du béton par de **fines fissures** et des légères traces de **teinte ocre** . Puis l'élargissement des fissures permet à la rouille (hydroxyde de fer) de suinter. Des aciers presque totalement corrodés apparaissent après soulèvement et détachement des éclats de béton.



1)-Porosité

- Définition:

Caractère d'un corps dont la surface présente des pores et par extension, qui présente une structure interne discontinue, à interstices multiples excessive du béton.



Causes de la porosité

Elle peut-être due à la composition du béton

Des insuffisances de vibration du béton au sein du coffrage

les conditions climatiques lors de la mise en oeuvre du béton



2)-Mauvaise disposition des armatures

- L'enrobage des armatures n'est pas respecté, par suite d'une erreur de lecture de plan de ferrailage ou par suite d'une insuffisance de cales assurant le maintien des barres à l'intérieur des coffrages.
- La souplesse des cages d'armatures est alors défavorable sous la pression du béton et celles-ci peuvent se coller contre le coffrage.



3)-Fissures structurelles

- Ce type de fissures sont des chemins préférentiels pour l'attaque des aciers par l'oxygène et l'entretien du processus électrochimique engendrant la formation des sels de fer (sels gonflants) en couches superposées sur le métal.



4)-Corrosion

- La corrosion des armatures nécessite que soient réunies simultanément plusieurs conditions :
 - ❖ Présence d'oxygène
 - ❖ Présence d'humidité
 - ❖ Carbonatation du béton ou présence de chlorures dans le béton.



- PH=12 ou 13



l'acier est passivé



bénéficie d'une couche
contre la rouille



Phénomène de carbonatation



Le PH tombe



Dé passivation des aciers



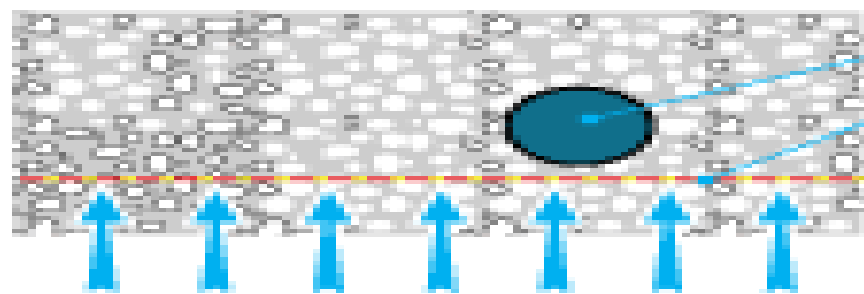
- La vitesse de pénétration du CO₂ à travers une structure en béton est très liée à la qualité du béton. Elle est plus grande si :

- Le dosage en ciment est faible.
- Le béton est peu compact.
- Le dosage en eau est très important.
- L'humidité relative de l'air est voisine de 70 %.

Toutefois, la vitesse de carbonatation décroît au fur et à mesure que l'épaisseur du béton carbonaté augmente (la formation du premier carbonate freine la diffusion du CO₂).



Les phases de dégradation du béton armé

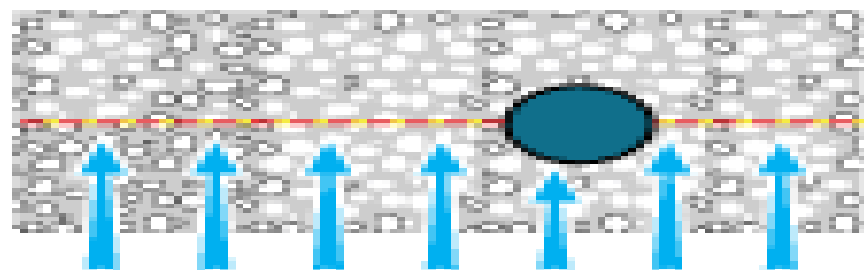


Milieu extérieur humide et agressif

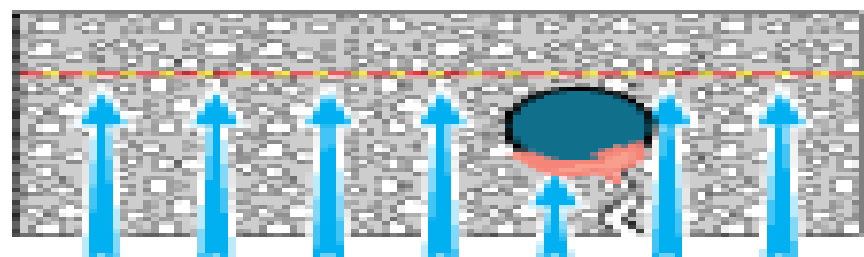
Acier

Front d'attaque

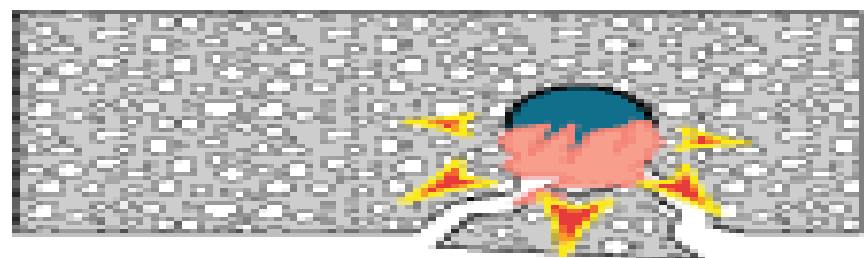
Le béton armé est jeune et stable, mais commence la pénétration du CO_2 et de l'oxygène



La carbonatation progresse en direction de l'acier qui se trouve bientôt dépassivé



La corrosion démarre (en présence d'humidité), c'est bientôt la 1^{re} fissuration



Chute

Phase finale

Oxydation importante de l'acier, avec formation de sels gonflants qui poussent sur la peau du béton. Éclats, coulures.

l'ettringite différée

Constat:

- On constate, depuis quelques années, des dégradations progressives de certains ouvrages en béton, attribuées à une réaction sulfatique interne et plus précisément à la **formation différée de l'ettringite.**



l'ettringite dite d'hydratation

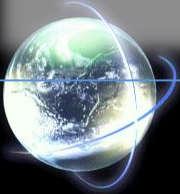
précoce

non nocive, indispensable pour réguler la prise du ciment et se formant au plus jeune âge de l'hydratation du ciment par action des sulfates du gypse sur l'aluminate tricalcique .

l'ettringite dite tardive ou

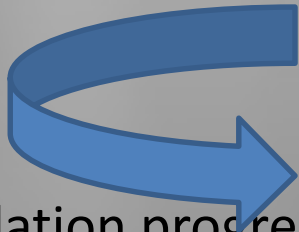
différée

nocive car provoquant un gonflement et à terme, une désagrégation du matériau durci, les sulfates ayant une origine interne ou externe.



Réactions sulfatiques

alcali-réactions



dégradation progressive du béton, de l'extérieur vers **le cœur de la pièce.**



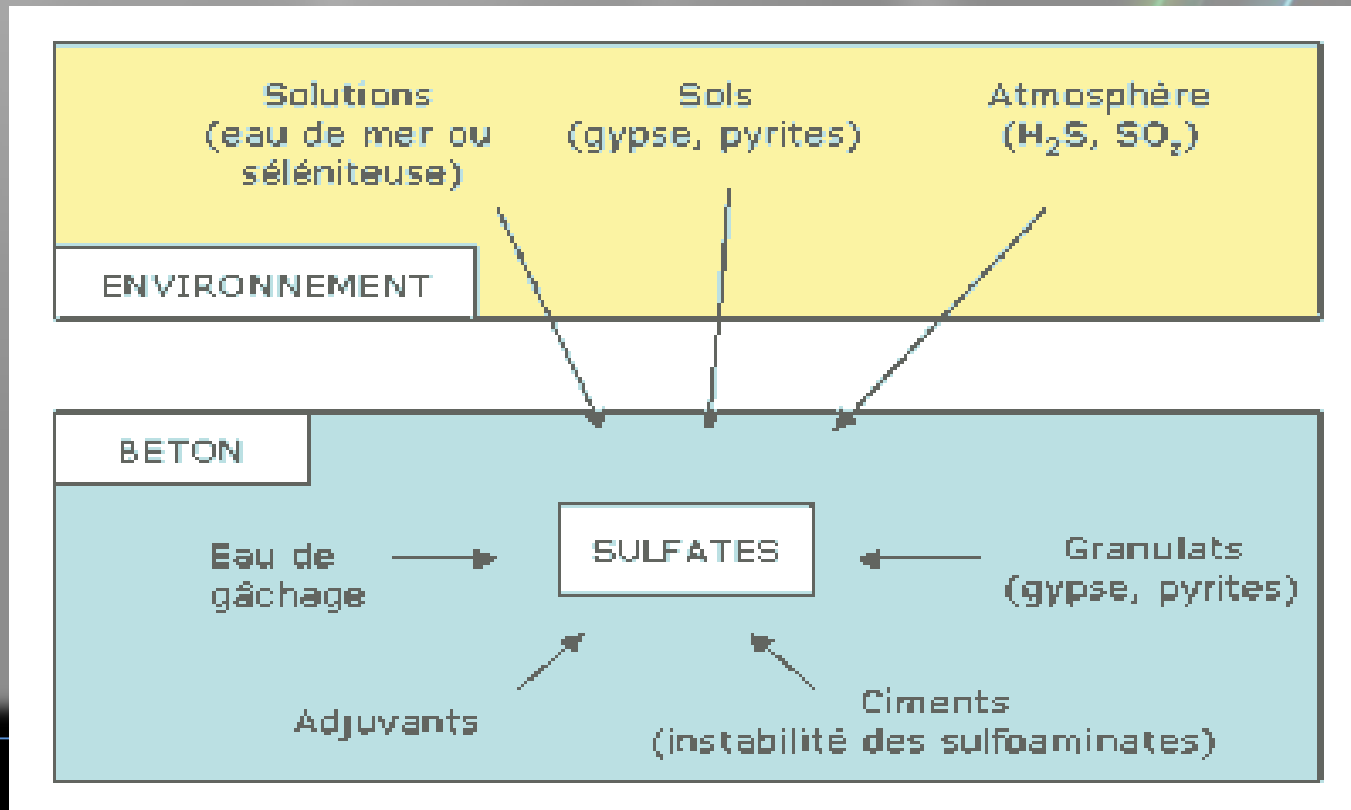
la réaction sulfatique interne affecte **l'ensemble du béton.**

ce phénomène provoque un gonflement interne du béton, entraînant une fissuration multidirectionnelle du matériau



Origine des sulfates

- L'origine des sulfates, interne ou externe, est diverse :



Facteurs déterminants de la formation différée de l'ettringite

La formation différée de l'ettringite n'est susceptible de se produire à long terme que dans certaines conditions spécifiques, que nous pouvons regrouper en 4 groupes à savoir :

- ❖ Paramètres liés à la température
- ❖ Paramètres liés au ciment
- ❖ Paramètres liés au béton
- ❖ Paramètres liés à l'environnement



prévention



Etude d'environnement



Etude d'environnement

La corrosivité d'un environnement est fonction de:

l'humidité,

la température de l'air,

la présence de produits chimiques et
leur concentration

la teneur en oxygène



Choix des constituants et composition



Les laboratoires spécialisés sont en mesure de réaliser les meilleurs mélanges en fonction des constituants présents, respectant les normes spécifiant:

Classe du béton

Rapport eau/ciment

Propreté des granulats

Granulats à courbe granulométrique continue.

Ciment conforme

Adjuvants



Etudes



Insuffisance ou absence d'indications claires :

plans trop schématiques

absence de plans



Position des armatures

Il convient enfin de prévoir l'enrobage minimal compte tenu de la ***dimension maximale des granulats*** et de la ***maniabilité du béton***.



Protection des armatures

L'enrobage de toute armature est au moins égal à :

5 cm pour les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins, ainsi que pour les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives

3 cm pour les parois coffrées ou non qui sont soumises (ou sont susceptibles de l'être) à des actions agressives, ou à des intempéries, ou des condensations, ou encore, eu égard à la destination des ouvrages, au contact d'un liquide

1 cm pour des parois qui seraient situées dans des locaux couverts et clos et qui ne seraient pas exposées aux condensations.



le béton

homogène

compact

exempt de vides.



Exécution



Malaxage transport et coulage

cette opération va du mélange à la pelle pour les petits travaux à la centrale automatisée pour le béton prêt à l'emploi

L'homogénéité implique, un malaxage suffisant et un transport qui n'aura pas provoqué de ségrégation avec un coulage lent avec une hauteur de chute minimale



Vibration :

doit vibrer toute la masse
du béton de manière
homogène sans excès à
aucun endroit

La vibration est arrêtée à
un endroit quand le
béton resseue,



Reprise de *bétonnage* :

⋮

L'adhérence peut être améliorée en mouillant l'ancien béton et en badigeonnant la surface d'une résine appropriée

On doit réduire l'effet de paroi

par repiquage de l'ancien béton

en étalant sur l'ancien béton, une couche de mortier d'épaisseur égale à 1 à 2 cm additionnée de résine pour agir l'adhérence.



Cure de béton

Il convient d'analyser chaque cas et de choisir une solution de cure adaptée :

en assurant une cure efficace, c'est-à-dire en **humidifiant la surface** du béton, ou en **projetant un produit de cure** conforme à la norme

en fermant les ouvertures si le béton est coulé en intérieur (afin d'éviter les courants d'air)

en érigeant temporairement des paravents et des pare-soleil pour réduire respectivement la vitesse du vent et la température à la surface du béton frais

en humidifiant les coffrages ou en utilisant des coffrages non absorbants ;

en évitant les trop forts écarts entre la température du béton et la température de l'air ambiant ou du coffrage ;



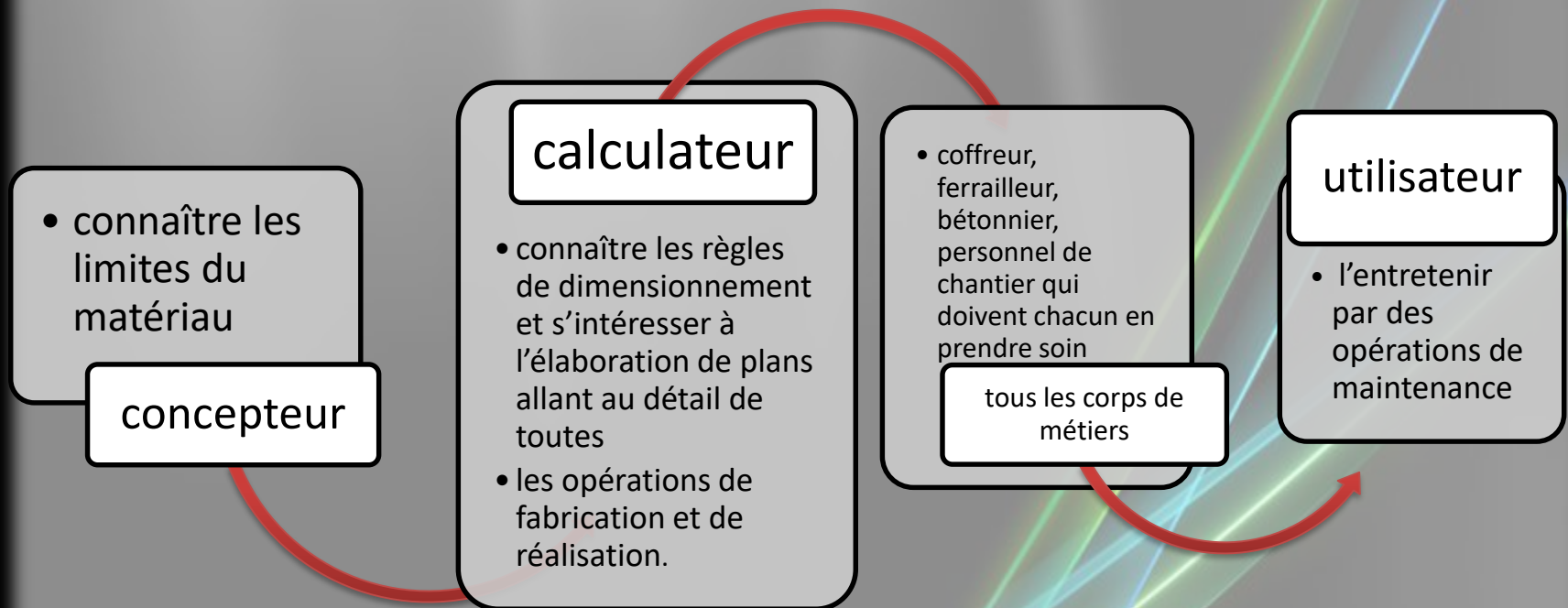
Délai de décoffrage

méthode de désétalement

méthode de décoffrage



Conclusion



Diagnostic de la pathologie au niveau du béton armé

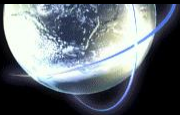


Objectifs du diagnostics

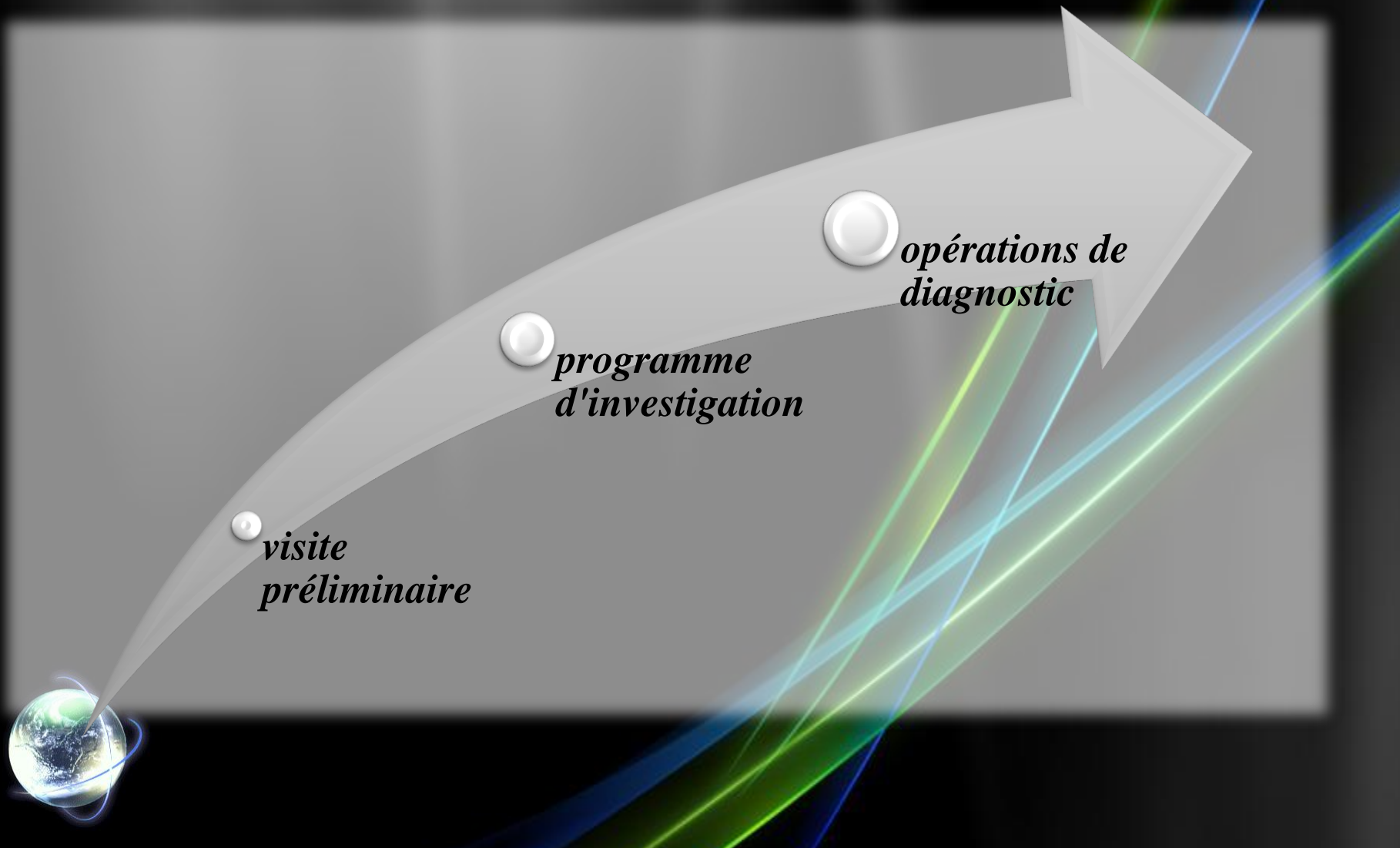
*l'identification
de l'origine*

*l'évaluation de
l'étendue*

*l'estimation
des
conséquences*



Procédure à suivre



Visite préliminaire

	<i>Historique(Documents ,Dossiers , rapports, environnement (nature chimique, vents dominants)</i>
	<i>Implantation Orientation</i>
	<i>environnement (nature chimique, vents dominants)</i>
	<i>matériaux (ciment , agrégats , dosage),Dossiers , rapports)</i>
	<i>plans de coffrage et de ferrailage</i>



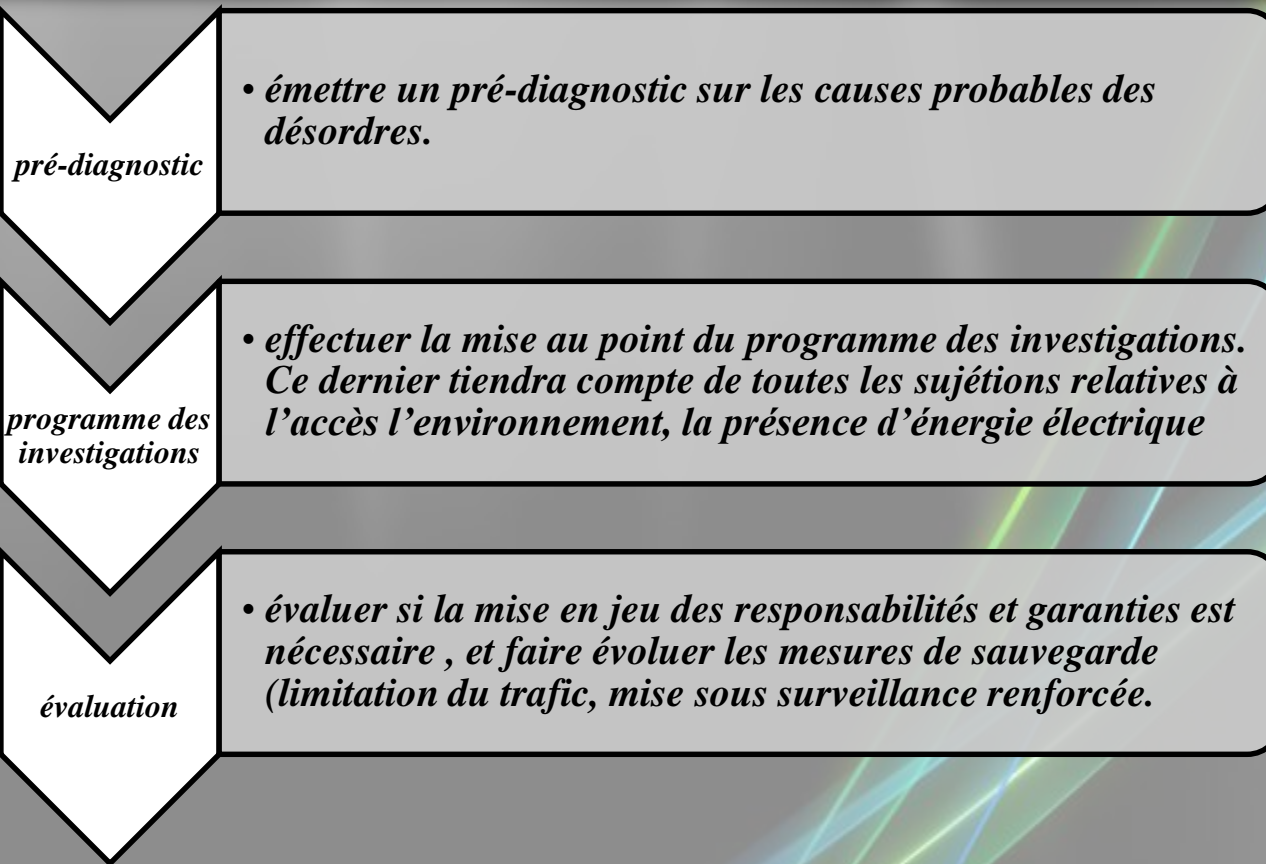
Visite préliminaire

un examen succinct de l'intégralité de la structure

Quelques tests simples



Visite préliminaire



Inspection détaillée

*d'anciens
revêtements*

déformation

*présence de
fissures*

*produits
d'imprégnation*

*traces
d'humidité*

stalactites

*surface du
béton*

*armatures
apparentes*

*traces de
rouille*

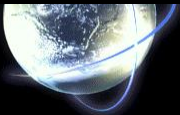
Méthodes utilisées

Méthodes sur prélèvements

*Mécaniques et
physique*

*Chimiques et
minéralogiques*

optiques



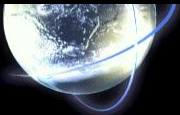
Méthodes utilisées

Essais non destructifs

*Electrique et
électrochimique*

électromagnétique

thermique



Diagnostic du béton vis-à-vis de la corrosion

Béton

- porosité
- Densité
- **enrobage**

- Profondeur de carbonatation
- Gradient des chlorures

- **Potentiel des armatures**
- **Vitesse de corrosion**



Enrobage et diamètre des aciers

principe

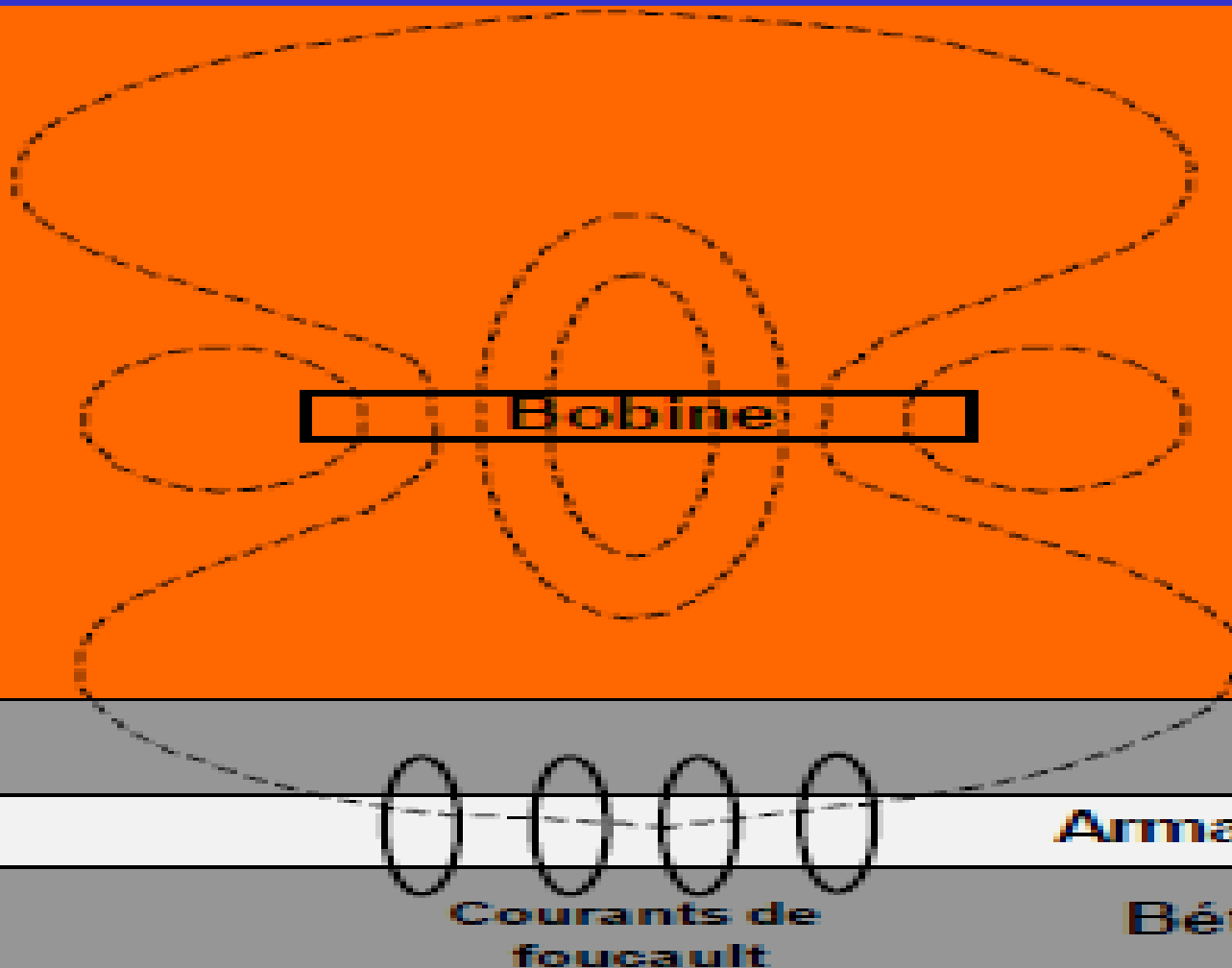
- *Mesure du champs électromagnétique induit en présence d'élément ferromagnétiques.*

interprétation

- *Le signal reçu augmente avec le diamètre de la barre et diminue avec la profondeur de l'enrobage*



Enrobage et diamètre des aciers



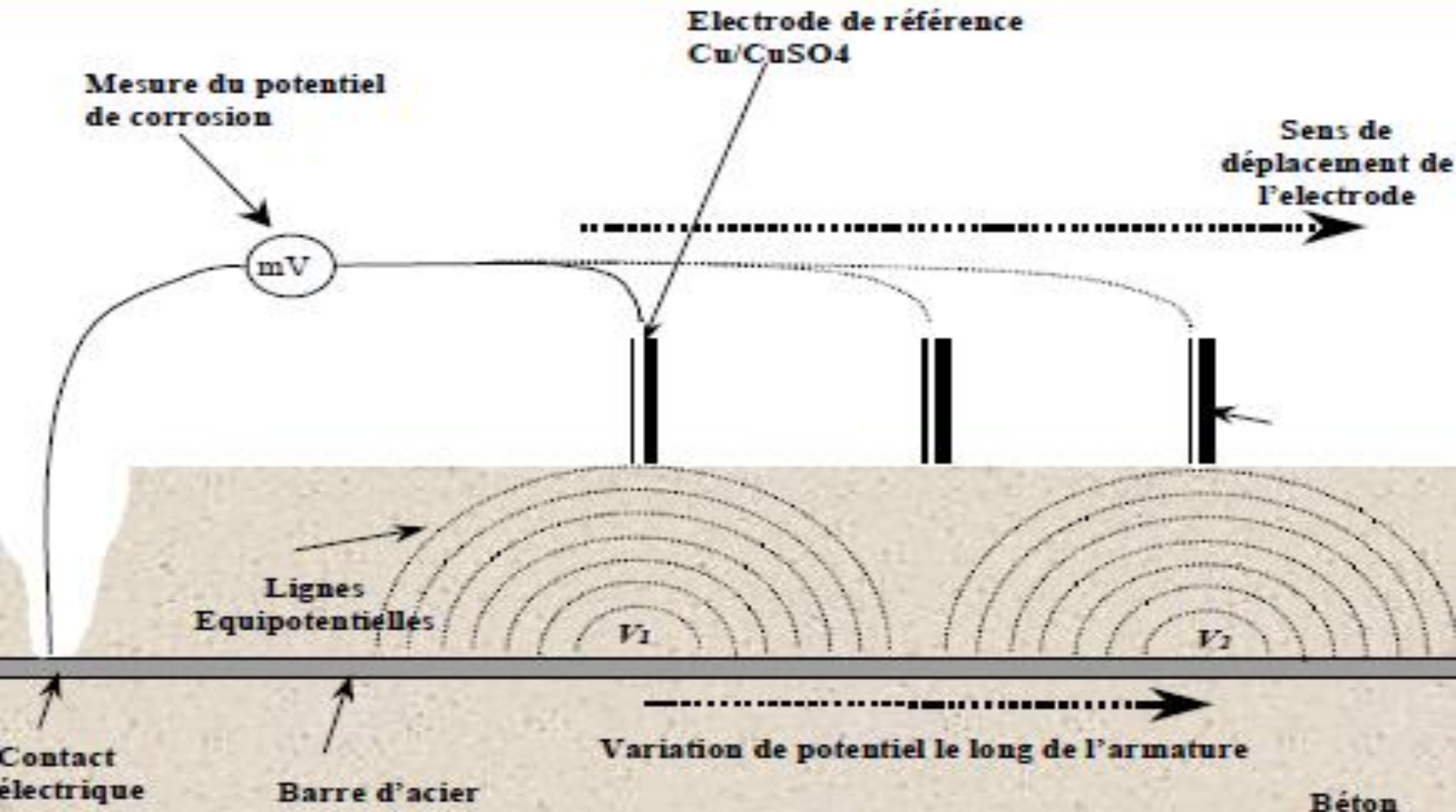
Mesure du potentiel de corrosion

principe

- *Le potentiel de corrosion de la demi pile armature béton est mesuré par rapport à une électrode de référence*



Mesure du potentiel de corrosion



Mesure du potentiel de corrosion



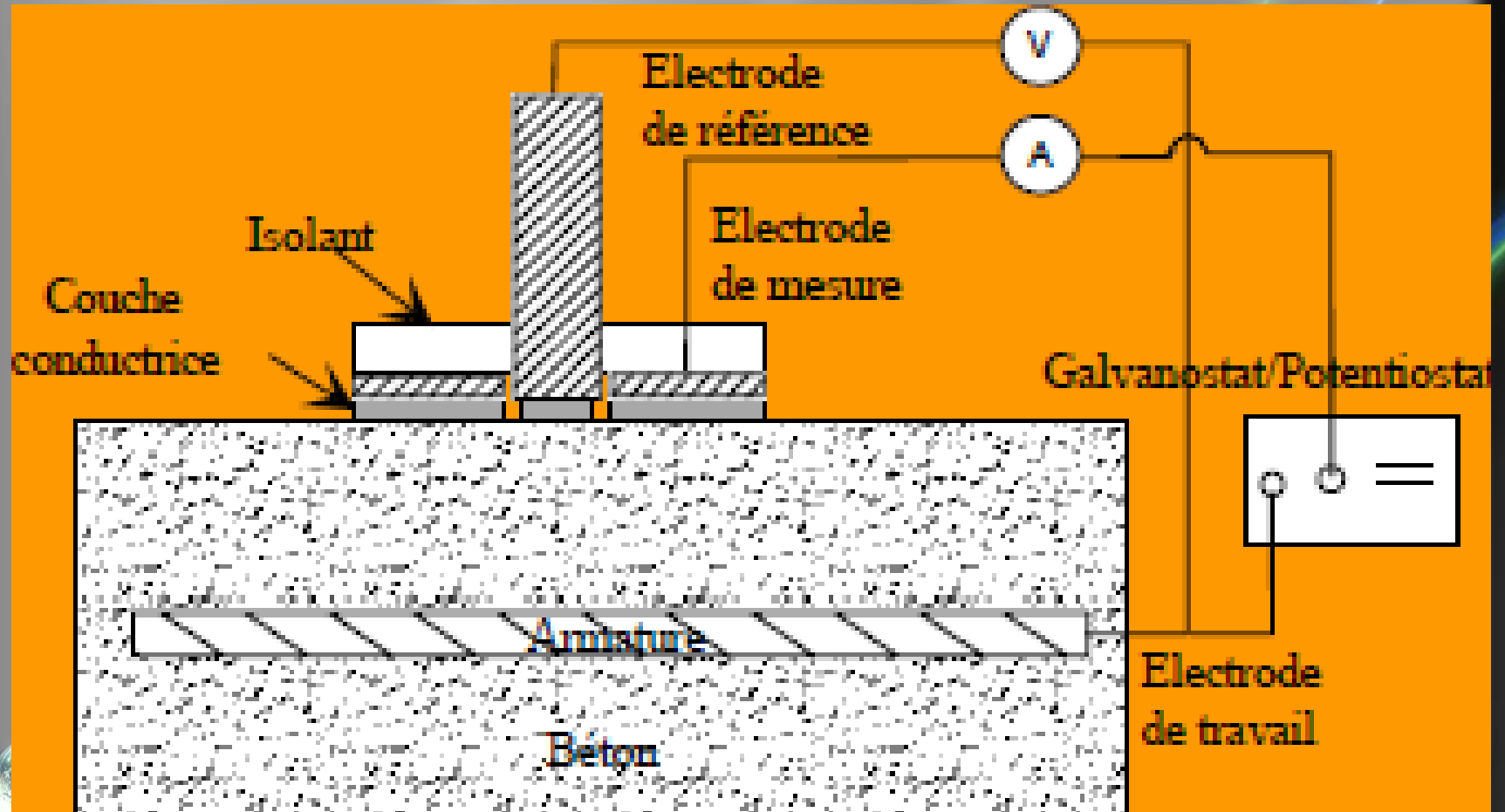
Mesure du potentiel de corrosion



Mesure de la vitesse de corrosion

- *Fournit une grandeur quantitative de l'état instantanée de la corrosion d'une armature*
- *Principe: mesure la réponse de l'électrode armature béton à une perturbation électrique et fait intervenir 3 électrodes*

Mesure de la vitesse de corrosion



Mesure de la vitesse de corrosion



Méthodes réhabilitation du béton armé



1.Reconstitution de l'enrobage

- La reconstitution du parement a pour objectif de restaurer l'apparence du béton, tout en arrêtant le processus de corrosion et en rendant à la structure son intégrité. Il s'agit de réparations à caractère discontinu, ponctuel et superficiel.



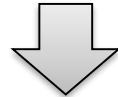
Attention particulière aux points suivants

l'apport de matériaux en surépaisseur peut modifier la section des éléments de la structure.



Charges supplémentaires

l'enlèvement du béton dégradé ou pollué risque d'affaiblir ou de déséquilibrer la structure.



Recours à un étaielement

les remplacements d'armatures seront à envisager



Rétablir la section d'origine

Étapes

1

- Élimination des zones dégradées



2

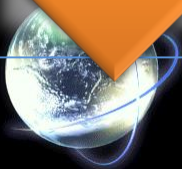
- Remplacement des armatures fortement corrodées

3

- Protection des armatures

4

- Réfection des bétons



Inhibiteurs de corrosion

- un inhibiteur de corrosion est un composé chimique qui, ajouté en faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou arrête le processus de corrosion d'un métal placé dans ce milieu.



fonctions

- pénétrer une couche de béton très hétérogène par nature
- abaisser la vitesse de corrosion du métal, sans en affecter ses propriétés
- être stable dans le milieu considéré
- ne pas être toxique.



Classes des inhibiteurs



Inhibiteurs minéraux
ou organiques



Inhibiteurs d'interface



Inhibiteurs
électrochimiques



Revêtement de surface

Un **revêtement de surface** est une opération qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données.



Fonctions du revêtement de surface

Fonction
technique

- Protection du support
- étanchéité

Correction
des défauts

- fissures
- porosité

esthétique

- Couleur
- Aspect de brillance

Le plus souvent un système type de peinture comporte 3 couches :

- la couche primaire qui assure l'adhérence du système sur le support,
- la couche intermédiaire qui assure la compatibilité entre la couche primaire et la couche de finition et donne au système une épaisseur suffisante,
- la couche de finition qui apporte la fonction esthétique et assure la résistance du système aux agressions extérieures.



Traitement électrochimique par ré-alcalinisation

- Le principe de ces traitements consiste à polariser l'armature la plus proche du parement, à l'aide d'une anode placée sur ce parement et enrobée d'une pâte saturée d'un liquide convenablement choisi (électrolyte). Le courant de polarisation circule de l'anode vers l'armature (cathode). Les armatures plus profondes doivent être reliées électriquement à celle qui est directement polarisée.



Travaux avant traitement

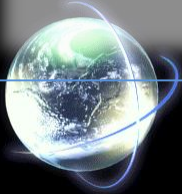
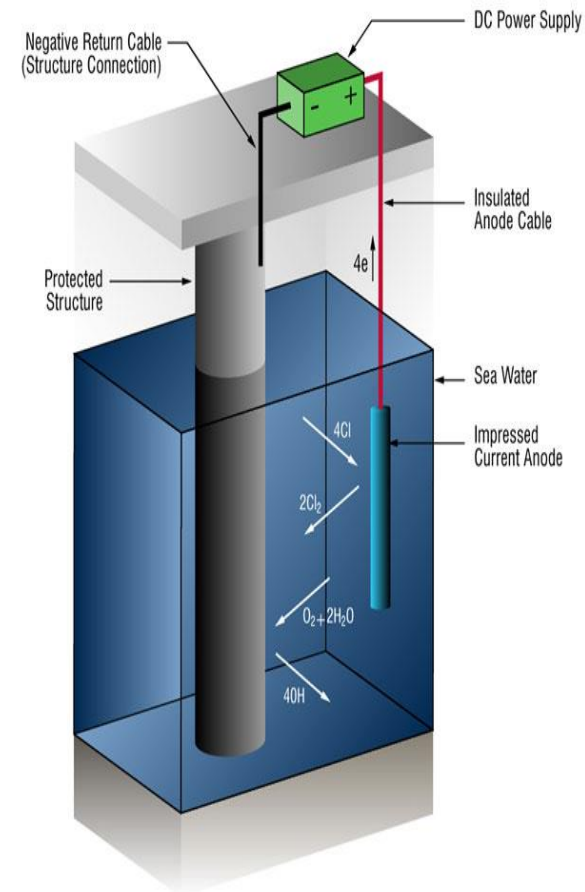
Il s'agit de :

- vérifier la continuité électrique des armatures. Au besoin, relier électriquement les armatures isolées.
- reconstruire éventuellement les parements, en utilisant un mortier à base de ciment aussi proche que possible du ciment d'origine.



Traitement de protection cathodique

- La protection cathodique est un traitement appliqué de façon permanente qui permet de ralentir, voire d'arrêter la corrosion des armatures.
- Elle consiste à abaisser le potentiel électrochimique de l'armature jusqu'à une valeur seuil appelée potentiel de protection qui est telle que la vitesse de corrosion de l'acier devient négligeable.



- Le principe de la protection cathodique consiste à polariser l'armature dans le béton, à l'aide d'une anode placée de façon permanente sur le parement ou parfois dans l'enrobage. Le courant de polarisation, qui circule de l'anode vers l'armature, se situe entre 2 et 50 mA par mètre-carré de surface d'armature.



conclusion

- Plusieurs méthodes sont disponibles pour réparer durablement un parement en béton, arrêter la progression des dégradations et éviter de nouveaux désordres. Elles supposent une mise en œuvre attentive, le contrôle des résultats et une surveillance adaptée.



Merci de votre attention

