

BÉTONS ARMÉ D'INOX, LE CHOIX DE LA DURÉE

Patrick GUIRAUD

CIMbéton

François MOULINIER

Institut de Développement de l'Inox (IDInox)

1. INTRODUCTION

La corrosion est source de nombreuses dégradations dans les bâtiments et les structures de génie civil.

Le coût total de la corrosion dans les pays occidentaux est estimé, selon certains experts, à 3% du PIB national. Chaque année elle provoque la destruction de 150 millions de tonnes d'acier et de fonte, soit 15% de la production mondiale.

La lutte contre la corrosion est donc une nécessité économique. Il existe déjà plusieurs solutions pour l'éviter ou la prévenir dans le cas du béton armé :

- L'augmentation des épaisseurs d'enrobage des armatures
- L'amélioration de la compacité des bétons
- La protection cathodique
- Les inhibiteurs de corrosion

Une nouvelle solution vient de faire son apparition sur le marché : les armatures inox

2. LES INOX

Les inox ou aciers inoxydables constituent une vaste famille d'alliages résistant à la corrosion. Ils contiennent au minimum 10,5% de chrome (selon la norme européenne EN 10088) et d'autres éléments d'alliages.

2.1. Les inox résistent à la corrosion

L'une des propriétés les plus importantes des inox est leur résistance à la corrosion. La résistance de ces alliages métalliques aux attaques chimiques des produits corrosifs, provient de leur faculté à s'auto-protéger par la formation spontanée à leur surface d'un film complexe d'oxydes et d'hydroxydes de chrome, appelé « couche passive », qui protège le substrat métallique de la corrosion généralisée et des attaques localisées. Cette couche extrêmement mince, d'une épaisseur de l'ordre de 1,0 à 2,0 nm, rend négligeables les vitesses de corrosion. L'élément le plus important dans les inox est le chrome, mais d'autres éléments tels que le molybdène, le nickel etc...ont aussi une influence sur sa résistance à la corrosion.

2.2. Les différentes familles d'inox

Un métal pur apparaît comme un assemblage d'atomes à l'intérieur d'une structure organisée.

Les atomes du fer pur sont assemblés selon 2 structures distinctes en fonction de la température :

- jusqu'à 910°C la structure cristalline est cubique centrée comme indiqué sur la figure 1, encore appelée ferritique ;
- entre 910°C et 1400°C, la structure est de type cubique faces centrées (figure 2) encore appelée austénitique
- au-delà de 1400°C, la structure redevient cubique centrée.

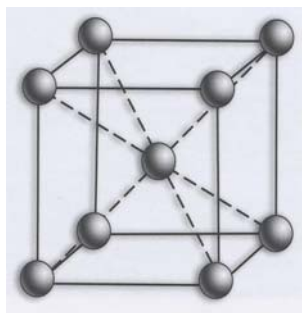


Figure 1 - Structure cubique centrée

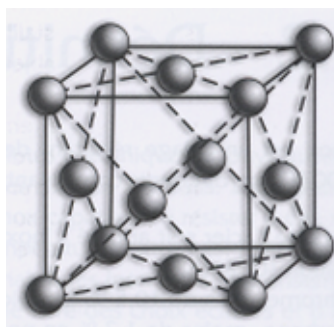


Figure 2 - Structure cubique à faces centrées

L'ajout d'éléments d'alliages modifie la structure de base du métal de la manière suivante :

- Les éléments tels que le chrome ou le molybdène favorisent une structure ferritique
- Les éléments tels que le nickel, le manganèse ou l'azote favorisent une structure austénitique
- Le carbone favorise un autre type de structure, la martensite

Par conséquent, selon leur composition, les inox pourront être classés en 4 grandes familles :

- Les inox ferritiques
- Les inox austénitiques
- Les inox martensitiques
- Les inox austéno-ferritiques, encore appelés duplex

Chaque famille possède ses caractéristiques propres. Pour la confection d'armatures de béton armé, les familles d'aciers inox les plus utilisées sont les austénitiques et les austéno-ferritiques (duplex).

2.3. Les différentes nuances d'inox.

Au sein de chaque famille d'inox, il existe de nombreuses nuances présentant de légères différences de teneurs en éléments d'alliages, lesquelles peuvent être à l'origine de très grandes diversités de propriétés et d'emploi.

En pratique, on dénombre plus de 100 nuances d'inox parmi lesquelles il est possible de choisir, pour une application donnée la nuance la mieux appropriée. Les choix possibles pour des armatures inox pour bétons sont nombreux. Pour simplifier, il est recommandé de se limiter à seulement 2 nuances à choisir en fonction des conditions environnementales (cf 6.4).

2.4. Les propriétés comparées des inox et des aciers au carbone

Outre leur résistance à la corrosion, les aciers inoxydables présentent également des propriétés physiques différentes et des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des aciers au carbone grâce à la présence d'alliages.

2.4.1. Propriétés physiques

	Aciers carbone	Inox austénitiques	Inox austéno-ferritiques
Coefficient de dilatation thermique entre 20 et 100°C ($10^{-6}K^{-1}$)	10	16	13
Conductivité thermique à 20°C ($W.m^{-1}K^{-1}$)	40	15	15
Module d'élasticité à 20°C (GPa)	206	196	200
Magnétisme	oui	non	oui

2.4.2. Propriétés mécaniques

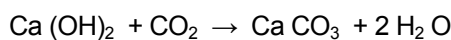
Les caractéristiques mécaniques des aciers inoxydables sont généralement très supérieures à celles des aciers au carbone; par exemple la limite élastique des inox se situe entre 500 MPa et 650 MPa, avec un allongement supérieur à 50% dans le cas des inox austénitiques.

3. LES PRINCIPALES CAUSES DE LA CORROSION DANS LES BÉTONS

Au sein du béton, les armatures en acier au carbone peuvent se corroder dans certaines conditions, sous l'effet du phénomène de carbonatation et sous l'action des chlorures.

3.1. La carbonatation du béton.

Très sommairement la carbonatation du béton résulte de l'adsorption du CO_2 par les bases alcalines notamment $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dissoutes dans la solution interstitielle du béton. Elle conduit à la formation de CaCO_3 selon la réaction :



La concentration en ions $(\text{OH})^-$ diminue, donc le pH qui à l'origine était de 12 ou 13, diminue lui aussi pour atteindre une valeur de l'ordre de 9 à 10. Dans ces conditions les armatures en acier au carbone qui sont passives lorsque le pH est élevé, perdent leur passivité et commencent à se corroder.

La vitesse de carbonatation dépend de plusieurs paramètres, en particulier de l'humidité du milieu, de la porosité du béton.

3.2. L'action des chlorures

Dans certains environnements spécifiques, par exemple à proximité d'un littoral maritime ou au voisinage d'une chaussée régulièrement soumise aux sels de déverglaçage, les ouvrages peuvent être sujets à l'action des chlorures.

Les ions chlorures traversent l'enrobage de béton et atteignent les armatures en acier au carbone qui se corrodent.

3.3. Les effets de la corrosion sur le béton armé

Lorsqu'elles perdent leur passivité les armatures en acier se corrodent et comme le volume de la rouille est environ 6 fois supérieur au volume de l'acier, celle-ci exerce une pression sur le béton. Le développement de la corrosion peut provoquer par gonflement une poussée au vide sur le béton d'enrobage et donc une altération de l'aspect extérieur de l'ouvrage (éclatement localisé, formation de fissures...).

4. LES INOX, UNE SOLUTION CONTRE LA CORROSION

Il existe déjà de nombreuses solutions qui permettent de protéger les constructions contre la corrosion telles que la protection cathodique, l'augmentation des épaisseurs d'enrobage, l'amélioration de la compacité des bétons...L'utilisation de l'inox en armatures, en tant que matériau qui dans le milieu considéré ne se corrode pas en constitue une nouvelle.

4.1. Propriétés de la couche passive des inox

Les inox résistent à la corrosion grâce à la formation d'un film passif très mince qui présente plusieurs propriétés spécifiques :

- Il est inerte, ce qui signifie qu'il ne réagit pas avec le milieu extérieur et donc protège l'armature ;
- Il est neutre, ce qui signifie que les ions métalliques ne migrent pas de l'intérieur du métal vers l'environnement extérieur ; cette propriété est essentielle en termes de protection de l'environnement ;
- Il est auto-reconstituant en cas de dommage superficiel ; ce point est très important à souligner car il signifie que, quoiqu'il arrive, les inox seront toujours protégés ;
- Enfin ce film passif est très stable : son épaisseur demeure constante.

Néanmoins, dans certaines conditions, certains éléments tels que les chlorures peuvent conduire à une rupture du film passif en fonction de leur concentration, de la température et bien sûr selon la nuance d'inox utilisée. Il est donc essentiel de bien connaître les agressions auxquelles les inox vont être soumis pour sélectionner la nuance la mieux adaptée.

4.2. Le comportement des inox dans le béton

Le type de corrosion le plus fréquent dans les armatures est la corrosion par piqûres. Comme les inox présentent une très bonne résistance à ce type de corrosion, ils conviennent très bien pour la confection du béton armé. Plusieurs années sont nécessaires pour évaluer les performances des armatures en conditions réelles. C'est pourquoi les producteurs (Ugitech par exemple) ont mis au point dans leurs laboratoires des tests de corrosion accélérés.

Le milieu choisi pour l'essai est considéré comme particulièrement sévère :

- béton carbonaté
- pH 10
- teneur en chlorures élevée (35g/l) ce qui équivaut à la teneur moyenne en chlorures de l'eau de mer

Les matériaux testés sont : l'acier au carbone et les nuances d'inox 1.4597, 1.4301, 1.4404, 1.4462.

Composition du milieu : solution aqueuse de NaHCO_3 0,025M + Na_2CO_3 0,025M + Na Cl 35g/l ; pH 10.

L'essai consiste à mesurer le potentiel de piqûre des différentes nuances d'acier, c'est-à-dire l'énergie qui doit être appliquée au matériau pour qu'il se corrode. Plus le potentiel de piqûre est élevé, meilleure est sa résistance à la corrosion. La figure 3 permet de comparer les différentes nuances d'inox avec un acier au carbone.

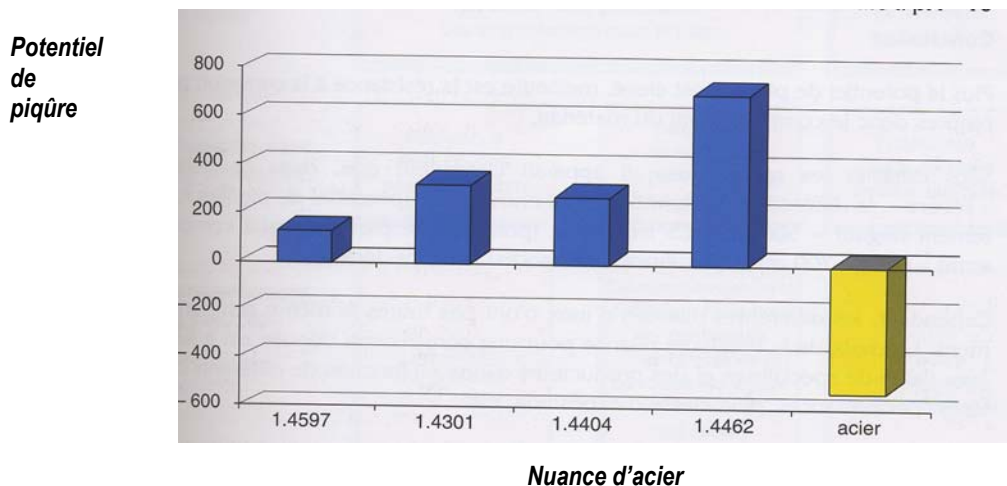


Figure 3 - Comparaison du potentiel de piqûre (mV/ECS) de différentes nuances d'inox avec un acier au carbone

Dans un milieu donné, les performances de différentes nuances ne sont pas identiques ; il convient donc toujours de choisir la nuance adaptée en fonction de l'environnement. Théoriquement, il existe un vaste choix de nuances possibles mais en pratique, pour les armatures, deux nuances suffisent à couvrir tous les cas d'agressions potentielles. Il est donc indispensable de bien estimer les conditions environnementales auxquelles seront soumises les armatures pendant la durée de service de l'ouvrage.

5. LES MILIEUX ET STRUCTURES CONCERNÉS PAR LES ARMATURES INOX

5.1. Les classes d'exposition des bétons

La norme NF EN 206-1 relative aux bétons est applicable depuis le 1^{er} janvier 2005. Elle définit 6 classes d'exposition :

- X 0 aucun risque de corrosion ou d'attaque
- X C corrosion induite par carbonatation (XC1 à XC 4 selon le taux d'humidité)
- X D corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine (XD 1 à XD 3 en fonction du degré d'humidité)
- X S corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer (XS 1 à XS 3 en fonction du type d'exposition à l'eau de mer)
- X F attaque gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage (XF 1 à XF 4 en fonction du niveau de saturation et de la présence de sels de déverglaçage)
- X A attaques chimiques (XA 1 faible agressivité à XA 3 forte agressivité)

A partir de cette classification on sélectionne les différentes nuances à utiliser dans la classe d'exposition concernée.

5.2. Les domaines d'utilisation des armatures inox

Parmi les classes d'exposition mentionnées ci-dessus, 5 correspondent à des environnements qui présentent des risques potentiels de corrosion : XA (attaques chimiques), XC (carbonatation), XD et XS (chlorures), XF (gel degel avec sels de déverglaçage).

Les inox sont bien adaptés pour tous les types de bétons destinés à la réalisation de structures coulées en place ou constituées d'éléments préfabriqués en béton ainsi que tous les ouvrages endommagés par des phénomènes de corrosion.

Les ouvrages ou parties d'ouvrage qui peuvent être fabriqués en béton armé avec des armatures inox sont les suivantes :

Structures de génie civil

- Ponts routiers autoroutiers ou ferroviaires, passerelles, tranchées couvertes...
- Stations de traitement et d'épuration, bassins, réservoirs de stockage, réseaux d'évacuation des eaux usées, piscines, réseaux de distribution d'eau...
- Ouvrages de sécurité, ouvrage d'assainissement pluvial, écrans acoustiques...
- Fondations spéciales : pieux, barrettes, parois moulées...
- Travaux souterrains : tunnels, galeries d'adduction et d'évacuation d'eaux...
- Travaux en site maritime ou fluvial : bassins, jetées, digues, écluses...

Bâtiments

- Bâtiments industriels
- Bâtiments agricoles
- Bâtiments en bord de mer
- Ainsi que tous les éléments de fixation, pièces de liaison

6. LES CARACTÉRISTIQUES DES ARMATURES INOX

6.1. Le contexte normatif et réglementaire

6.1.1. Normes et recommandations en vigueur

Les normes et recommandations existantes en Europe sont les suivantes :

- Royaume Uni : BS 6744, recommandations de la Concrete Society [technical report n°51], recommandations de la UK Highways Agency [Design Manual for roads and bridges]
- Norvège : la norme pour les inox est l'ISO/TC 17/SC 16 N 486 et 487
- France : norme spécifique XP A 35-014 (dec 2003) ;
- USA : norme de référence ASTM 955M

Nota : en France le DTU 21 et le fascicule 65 font référence à la norme XP A 35-014

6.1.2. Normes en cours de mise au point

Un groupe a été lancé en novembre 2004 afin d'élaborer une norme européenne pour les armatures inox

6.2. Les caractéristiques de forme

Les armatures inox se présentent selon trois formes :

- lisses
- à verrous
- à empreintes

En France les formes doivent être conformes à la norme EN 10080 : 2004 applicable aussi aux aciers au carbone

6.3. Les limites conventionnelles d'élasticité

La gamme de limite élastique des armatures inox va de 500 MPa à 650 MPa avec une possibilité d'aller jusqu'à 800 MPa pour une nuance et certains diamètres.

6.4. La sélection des nuances en fonction des classes d'exposition des bétons

Les normes existantes offrent un choix étendu de nuances correspondant aux diverses classes d'exposition. En pratique, pour simplifier le choix des armatures inox à utiliser en fonction des classes d'expositions, deux nuances suffisent :

- la nuance EN 1.4462 dans les cas où les risques de corrosion sont sévères (environnements marins ou attaques chimiques), soit les classes XS2, XS3, XF4 voire XA3
- la nuance EN 1.4301 – AISI 304 pour toutes les autres classes XC2, XC3, XC4 ; XD1, XD2, XD3 ; XF1, XF2, XF3 ; XA1, voire XA2.

7. LES SPÉCIFICATIONS ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Les méthodes et les règles de dimensionnement et de conception des ferrailages utilisant des armatures inox sont les mêmes que celles utilisées avec les aciers au carbone. Par conséquent, c'est l'Eurocode 2 qui sert aussi de base au dimensionnement du béton armé d'inox.

7.1. L'adhérence des armatures inox

Comme le mentionne la norme EN 10080 , les armatures crantées ou à verrous sont caractérisées par la géométrie de leur surface, qui garantit la bonne adhérence au béton.

Dès lors que la géométrie des armatures inox est conforme à cette norme, leur adhérence est satisfaisante.

7.2. Les épaisseurs d'enrobage

Les recommandations de l'Eurocode 2 (EN 1992-1-1) relatives aux épaisseurs d'enrobage prennent en compte la notion de durabilité et les contraintes environnementales.

L'épaisseur d'enrobage se définit comme la distance entre la surface extérieure et l'armature la plus proche. L'enrobage minimal est l'épaisseur la plus faible capable de satisfaire aux critères de durabilité des structures exposées à la classe X0 c'est-à-dire ne présentant aucun risque de corrosion.

S'il est souhaité une durée de service plus longue ou bien si l'ouvrage est exposé à un environnement agressif, l'Eurocode 2 prescrit d'augmenter cet enrobage minimal, selon les classes d'exposition. Mais en cas d'utilisation d'armatures en inox la valeur prescrite de cette augmentation d'enrobage peut être diminuée d'une valeur « $\Delta C_{dur,st}$ ». L'Eurocode 2 recommande pour ce coefficient une valeur égale à zéro, mais laisse le soin à chaque pays de fixer une autre valeur non nulle dans son Annexe Nationale.

La commission française de l'annexe nationale a proposé que la valeur de $\Delta C_{dur,st}$ pouvait, dans certaines conditions compenser l'augmentation d'épaisseur d'enrobage en cas d'utilisation d'armatures inox.

Le but de l'augmentation de l'épaisseur d'enrobage est de protéger un ouvrage contre la corrosion ; dès lors que l'on utilise des armatures en inox qui ne se corrodent pas, il n'y a plus nécessité d'augmenter l'épaisseur d'enrobage : cette approche a été entérinée par la commission de l'Annexe Nationale française.

7.3. Le contrôle des fissures

Des ouvertures de fissures excessives peuvent favoriser la pénétration des agents agressifs et générer des risques de corrosion. Dans le cas d'utilisation d'armatures inox, des seuils d'ouvertures de fissures supérieurs peuvent être admis compte tenu de l'inertie de ce type d'armatures face aux diverses agressions.

7.4. Les principales dispositions constructives

Toutes les dispositions constructives relatives aux armatures en acier au carbone – espacement entre barres, diamètre de cintrage, longueurs de recouvrement et d'ancrage - sont applicables aux armatures inox.

8. ÉLÉMENTS DE COÛT DES OUVRAGES EN BÉTON RENFORCÉS D'INOX

Il existe une idée tenace selon laquelle les armatures inox sont si chères que ce n'est pas la peine de calculer le prix d'une structure en béton armé d'inox. En fait cette approche n'est valable que si l'on s'en tient à la seule comparaison de prix matière entre l'inox et l'acier au carbone.

Cependant, de nos jours et de plus en plus au cours des prochaines années, toute approche économique doit suivre une logique de coût global, en intégrant de multiples paramètres tels que la durabilité, la notion de retour sur investissement, le coût du cycle de vie, les coûts d'utilisation et de possession, les économies réalisables sur sites, etc.... C'est selon cette approche que de nombreux ouvrages en béton armé d'inox ont été justifiés et réalisés ces dernières années dans de nombreux pays (USA, Canada, Suisse, Allemagne, Royaume Uni...).

Il ne faut pas perdre de vue qu'une partie de l'ouvrage seulement peut être renforcée avec des armatures en inox, de préférence à proximité de la surface là où les risques de corrosion sont les plus élevés.

La vitesse de corrosion galvanique dépend de la différence de potentiel des matériaux en contact. Les potentiels de l'acier et de l'inox étant proches, la vitesse de corrosion galvanique est très faible voire négligeable.

8.1. Exemple d'analyse économique sur un tablier de passage supérieur d'autoroute ; utilisation partielle ou totale d'armatures inox

L'exemple qui suit est tiré de l'ouvrage « béton armé d'inox » (collection CIMBéton n° T81 – CIMBéton / I.D.Inox 2004).

La structure est un pont dalle en béton précontraint possédant une travée de portée 25m et de largeur 10,8m (figures 4 et 5)

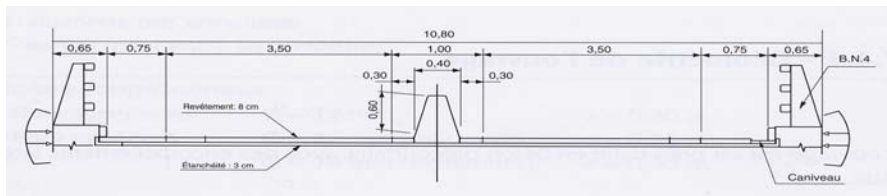


Figure 4 - Dispositions transversales de l'ouvrage

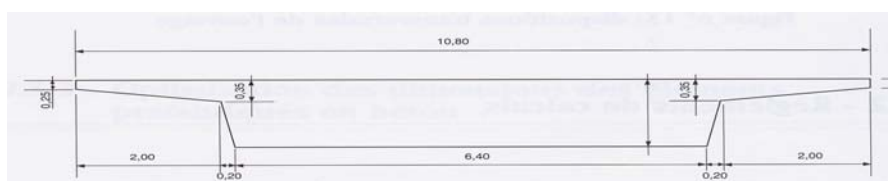


Figure 5 - Section type du tablier

L'estimation économique a été réalisée à partir de coûts unitaires des matériaux représentatifs d'un chantier classique (valeur fin 2003)

Hypothèses de prix des matériaux (HT) :

- ciment 150€/ m³ ; coffrage 50 €/m³
- câbles de précontrainte : 3 €/ kg ; ancrages de précontrainte : 750 € l'unité
- armatures acier : 1,2 €/ kg (prix fourniture 0,4 €/ kg + prix transport, façonnage et mise en œuvre 0,8 €/ kg)
- armatures inox : 3,3 €/ kg (prix fourniture 2,5 €/ kg + transport, façonnage et mise en œuvre 0,8 €/ kg)

Nota : Ces prix correspondent aux conditions économiques les plus défavorables à l'inox.

Le coût de la superstructure a été calculé en retenant plusieurs hypothèses de substitution des armatures :

100% acier carbone, 90% acier – 10% inox, 75% acier – 25% inox, 50% acier- 50% inox, 100% inox.

La comparaison des prix des différentes solutions est résumée dans le tableau suivant :

Comparaison des prix de la structure selon les choix d'armatures					
% acier carbone	100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
% inox	0%	10%	25%	50%	100%
Coût total €	102 980	106 130	110 750	118 520	134 060
Difference %		3 %	7.5 %	15 %	30 %

Dans de nombreux cas il suffit de substituer 10% d'armatures aciers au carbone par des armatures inox pour assurer durablement la protection de l'ouvrage, **ce qui engendre un surcoût total de 3% seulement.**

8.2. Optimisation des quantités de matériaux utilisés

Tout d'abord (voir § 6.3), comme les limites d'élasticité des inox se situent couramment à 500, 650 MPa voire 800 MPa, il est possible de diminuer significativement les quantités d'armatures en utilisant de l'inox, ce qui permet d'optimiser le ferrailage et d'en réduire le coût.

La prise en compte de ce module plus élevé doit tenir compte des seuils de déformation et de fissuration autorisés pour le dimensionnement ; compte tenu des performances de l'inox face aux risques de corrosion, son emploi doit permettre d'admettre des seuils d'ouverture de fissuration plus importants.

Ensuite, si l'on applique les recommandations de l'Annexe Nationale de l'Eurocode 2, en cas d'utilisation d'armatures inox il n'est plus nécessaire, pour protéger l'ouvrage de la corrosion, d'augmenter les épaisseurs d'enrobage. Ceci permet d'optimiser considérablement les quantités de béton et de diminuer ainsi le coût total de l'ouvrage. Et par la même occasion cela permet de concevoir des ouvrages plus légers, avec des structures plus élancées donc plus esthétiques.

Bien sûr, il est possible également de diminuer dans les mêmes proportions les épaisseurs d'enrobage dans le cas des bétons préfabriqués.

En **conclusion**, si l'on prend bien en compte les économies à réaliser sur les quantités de béton et de ferrailage, sans oublier de prendre en compte des économies annexes sur les coûts de transports ou d'énergie, le coût de la solution inox peut être très proche de celui de la solution acier .

8.3. Les autres avantages économiques des armatures inox

Les armatures inox offrent également d'autres avantages économiques substantiels :

- diminution des coûts de maintenance (coûts directs = coûts de réparation et coûts indirects = pertes d'exploitation) résultants d'un moindre risque de dégradation
- amélioration de la pérennité des constructions, ce qui signifie qu'un même investissement durera plus longtemps

9. LES AUTRES AVANTAGES DES ARMATURES EN INOX

Il convient enfin de souligner quelques autres avantages des armatures inox :

- elles peuvent être amagnétiques, ce qui peut présenter un intérêt par exemple pour construire des enveloppes d'IRM dans les hôpitaux
- elles présentent de bonnes propriétés anti-sismiques résultant de leur excellente capacité d'absorption de l'énergie
- elles ont une faible conductivité, ce qui est d'un grand intérêt pour leur utilisation en rupteurs de ponts thermiques
- enfin elles contribuent grandement à une amélioration de l'esthétique des ouvrages car elles permettent d'alléger les structures et d'assurer leur pérennité esthétique.

10. CONCLUSION

L'utilisation d'armatures inox constitue une nouvelle solution très efficace pour protéger les ouvrages contre les risques de corrosion.

Si à l'achat le coût de l'inox est très supérieur à celui des aciers carbone, il apparaît qu'en final dans le cas d'une utilisation partielle d'armatures inox en substitution aux aciers au carbone, l'incidence sur le surcoût de l'ouvrage est faible, de l'ordre de 3% et peut être ramené à une valeur encore plus faible en intégrant l'optimisation des quantités de béton et de ferrailage.

De surcroît, les armatures inox offrent d'autres avantages tels qu'une forte diminution des coûts de maintenance, un allongement notable des durées de service, un coût de cycle de vie très compétitif et une amélioration de l'esthétique des ouvrages.

L'estimation économique de l'ouvrage selon une approche en coût global doit permettre de démontrer un avantage économique à la solution inox.

11. RÉFÉRENCES

Durupthy, A., Casalot, A., & Jaubert, A., *Chimie des matériaux inorganiques*, H Prépa 2è année PC-PC*

Guidance of the use of stainless steel reinforcement. Report of Concrete Society Steering Committee, Technical report n°51, 1998

Design manual for roads and bridges. The highways Agency-Scottish Executive Development Department, BA 84102

Standards: Pr EN 10080:2005 ; pr EN 1992-1-1 (Eurocode 2)

Béton armé d'inox, Collection Technique CIMBéton T.81 2004, auteurs CIMBéton / I.D.Inox

OVE ARUP & PARTNERS – Research & development, Stainless Steel Reinforcement for Concrete, *The use of stainless steel reinforcement in bridges*, British stainless steel association, April 2003

D.B.McDonald, M.R. Sherman, D.W. Pfeifer, Y.P Virmani, *Stainless steel reinforcing as corrosion protection*,. NiDI Nikel Development Institute May 1995

Lacombe (P.), Barroux (B.) et Berranger (G.), avec le concours d'Ugine, *Les Aciers Inoxydables*. Editeurs scientifiques, Les Editions de la Physique, 1990