

III-1 Introduction :

L'acier est l'un des principaux matériaux structurels au monde. Il est employé dans pratiquement tous les secteurs: l'automobile, la construction, l'ingénierie mécanique, la construction navale, les appareils domestiques, les ordinateurs et les produits électroniques grand public. Les projets d'infrastructure comme les routes, les ponts ou les voies ferrées seraient sans acier. Lorsqu'un objet ne se compose pas principalement d'acier - c'est le cas des Smartphones, des avions - il se compose cependant d'éléments fabriqués à l'aide de machines en acier. En d'autres termes, l'acier est la base-même du niveau de vie élevé dont bénéficient aujourd'hui les pays industrialisés et de la croissance des marchés émergents.

A l'époque actuel, l'emploi extensive des moyens mécaniques et le niveaux de vie le plus élevé apte à améliorer les conditions de vie, ont pour conséquence une consommation croissante d'énergie ce qui rend l'utilisation très vaste des aciers dans la production énergétique (les échangeurs thermiques et les chaudières) mais à cause des conditions de la production énergétique (chaleur, humidité) ces acier ont exposé à un problème d'usure à cause d'attaque chimique

A cause de l'importance de la continuité de la production énergétique qui joue un rôle très stratégique dans l'industrie ; les ingénieurs doivent trouver des solutions alternatives l'une de ces solution est l'utilisation des matériaux non corrosifs .[16]

III -2 Définition de l'acier :

L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2,14 % en masse). La teneur en carbone a une influence considérable (et assez complexe) sur les propriétés de l'acier : en deçà de 0,008 %, l'alliage est plutôt malléable et on parle de " fer " ; au-delà de 2,14 %, les inclusions de carbone sous forme graphite fragilisent la microstructure et on parle de fonte. Entre ces deux valeurs, l'augmentation de la teneur en carbone a tendance à améliorer la résistance mécanique et la dureté de l'alliage ; on parle d'aciers " doux, mi-doux, mi-durs, durs ou extra-durs " (classification traditionnelle).[16]

III- 3Historique des aciers :

Depuis l'Âge du fer, on utilisait les bas fourneaux pour produire des massifs composés de fer et d'acier, qui devait ensuite être travaillé à la main par les forgerons.

On considère souvent Réaumur comme le fondateur de la sidérurgie scientifique moderne. Il réalise de très nombreuses expériences afin d'améliorer la fabrication de l'acier et publie le résultat de ses observations en 1712.

L'acier est apparu par l'évolution de la métallurgie, vers 1786. Cette année-là, trois savants français, Berthollet, Gaspard Monge et Vandermonde, caractérisèrent trois types de produits obtenus à partir de la coulée des hauts-fourneaux : le fer, la fonte et l'acier. L'acier était alors obtenu à partir du fer, lui-même produit par affinage de la fonte issue du haut-fourneau. L'acier était plus dur que le fer et moins fragile que la fonte.

Au XIX^e siècle sont apparues des méthodes de fabrication directe de conversion de la fonte, avec les convertisseurs Bessemer en 1856 (Henry Bessemer) le procédé Thomas-Gilchrist en 1877 (Sidney Gilchrist Thomas et Percy Carlyle Gilchrist de déphosphoration de la fonte et Siemens-Martin. Ces découvertes, permettant la fabrication en masse d'un acier de " qualité " (pour l'époque), participent à la Révolution industrielle. Enfin, vers la seconde moitié du XIX^e siècle, DmitryChernov découvre les transformations polymorphes de l'acier et établit le diagramme binaire fer/carbone, faisant passer la métallurgie de l'état d'artisanat à celui de science.

III – 4 La classification des aciers :

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation.

L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers :

- Les aciers au carbone d'usage général
- Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non
- Les aciers à outils
- Les aciers inoxydables

III- 4-1 Les aciers ordinaires ou aciers au carbone :

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général qui sont parfois improprement appelés aciers au carbone. Ils sont utilisés tels quels, sans traitement ultérieur, constituent environ 80% de la production des aciers (tableau1). Outre le carbone, ces aciers contiennent des éléments d'addition et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration : manganèse(1.2%), silicium(0.6%), soufre(0.06%), phosphore(0.06%). Ces pourcentages présentent les teneurs limites de ces éléments dans ces aciers.

Nuance	Pourcentage de carbone (C)	Résistance R_m (MPa) Etat recuit	Emplois
Extra-doux	$c < 0,15$	330-420	Tôles pour carrosserie pièces de forge, feuillards, quincaillerie.
Doux	$0.15 < C < 0.20$	370-460	Charpente métallique, profilés, construction mécanique courante, boulons, fils ordinaires
Demi-doux	$0.20 < C < 0.30$	480-550	Pièces de machines pour application mécanique, pièces ou bâtis moulés, pièces forgées
Demi dur	$0.30 < C < 0.40$	550-650	Petit outillage, élément de machines agricoles, organes de transmission
Dur	$0.40 < C < 0.60$	650-750	Pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et traitées
Extra dur	$0.60 < C$	> 750	Outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts

Tableau 1 : aciers ordinaires ou aciers au carbone non alliés

Bien qu'on puisse les obtenir avec des propriétés mécaniques variées, les aciers ordinaires ne répondent pas à toutes les exigences d'utilisation. Les principales propriétés des aciers au carbone susceptibles d'être améliorées sont les suivantes :

- La résistance mécanique à l'état normalisé ou à l'état recuit
- La trempabilité
- La soudabilité
- La tenue à chaud
- La résistance à l'usure et à la corrosion.

III-4-2 Les aciers de traitement thermique :

On définit les aciers de traitement thermique par rapport à leur composition chimique, car elle permet de déterminer les traitements qu'on peut leur appliquer en fonction des propriétés désirées. Les aciers de traitements thermiques sont soit des aciers au carbone sans autres éléments d'addition que des éléments standard Mn et Si, soit des aciers alliés contenant en proportions variables d'un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, V, etc.)

III-4-3 Les aciers à outils :

Les aciers à outils ont une importance technologique primordiale, aucune étape de la fabrication et quel que soit le procédé employé ne peut se passer d'outil. La production mondiale de ce genre d'acier ne représente qu'un faible pourcentage ~ 0.1%, mais compte par exemple en Amérique de 75 nuances. Chacune de ses nuances est destinée à une fonction bien spécifique.

III-4-4 Les aciers inoxydables :

Aujourd'hui, nous vivons un extraordinaire développement des aciers inoxydables, cela est dû en grande partie à la disponibilité des éléments métalliques entrant dans leur composition

C'est-à-dire le chrome, le nickel, le molybdène et le manganèse, ce dernier pouvant être utilisé comme substitut au nickel. Dans de nombreuses applications devenues de plus en plus sévères en termes de corrosion, on a dû substituer des aciers spéciaux et alliés à l'acier ordinaire. Les aciers réfractaires sont destinés à travailler à chaud (températures supérieures à 550°C), dans des milieux agressifs tels que les milieux oxydants de toute nature (présence d'oxygène, soufre...), réducteurs (hydrogène), les métaux sels fondus etc. La température de fonctionnement élevée nécessite, de plus, une bonne tenue mécanique à chaud, en particulier une bonne résistance au fluage. La plupart de ces aciers réfractaires sont des aciers inoxydables dont les propriétés sont améliorées par des additions de molybdène, titane, niobium, etc. Les aciers inoxydables

comprennent un ensemble de familles d'alliages métalliques qui contiennent tous du fer et du chrome : c'est essentiellement le chrome qui confère aux aciers une bonne résistance à la corrosion par formation en extrême surface d'une très fine couche d'oxyde de chrome non poreuse. Suivant leur teneur en chrome dont le seuil minimale est de 13% et les traitements métallurgiques qu'ils ont subis, ils présentent un large éventail de propriétés. Entre autres, on distingue :

a) Aciers martensitiques : Leur teneur en chrome ne dépasse pas 17% et leur teneur en carbone, qui est fonction de la teneur en chrome peut atteindre 1.1%.

b) Aciers ferritiques : Leur teneur en carbone est faible (inférieur à 0.08%). Un acier qui contient plus de 12% de chrome demeure ferritique à toutes les températures ; il ne peut plus prendre la trempe martensitique. Ils peuvent contenir entre 12 et 30% de chrome. Ils sont au chauffage sensible au grossissement des grains, ce qui entraîne une dégradation de leur ductilité et de leur ténacité.

c) Aciers austénitiques : Malgré les progrès incontestables réalisés, en matière de ductilité et de ténacité, par les aciers inoxydables ferritiques, les aciers inoxydables austénitiques du type Fe-Cr-Ni représentent encore 80% du marché mondial. Comme le nickel est un élément gammagène, il a tendance à stabiliser l'austénite. Selon leur teneurs en chrome, en nickel et en carbone, certains aciers peuvent conserver une structure austénitique (C.F.C).

L'addition de nickel élément gammagène, en quantité suffisante permet à l'acier de conserver sa structure austénitique à la température ambiante. Dans nombreux milieux, leur résistance à la corrosion est remarquable, ainsi d'ailleurs que les propriétés mécanique et leur formabilité. De par leur structure (C.F.C), ils ne présentent aucune transition ductile –fragile ; on peut donc les utiliser à très basse température (transport et stockage de gaz liquéfier, par exemple). Finalement, leur résistance à la corrosion et à l'oxydation permet leur emploi à haute température (jusqu'à 900 ou 1000°C, selon les nuances).A ces propriétés, il faut ajouter une excellente soudabilité opératoire et métallurgique, ce qui facilite la mise en œuvre. La nuance de base X5CrNi18-10 contient 18% de chrome, 9.5% de nickel et 0.05% de carbone. Grace à ses remarquables propriétés d'emploi, elle couvre environ 80% des applications des nuances austénitiques. Les aciers inoxydables austénitiques ne peuvent subir aucun durcissement par traitement thermique. On peut toutefois les durcir par écrouissage. Comme les aciers ferritiques(C.C), ils sont sensibles au grossissement des grains au chauffage. Restant ductiles, la croissance des grains n'entraîne aucune fragilisation

Outre ces trois familles inoxydables, il existe également des aciers qui contiennent, en proportion variable de l'austénite et de la ferrite ce sont des aciers inoxydables austéno-ferritiques.

III-5 Propriétés des aciers :

Les propriétés d'un acier varient énormément en fonction de sa composition chimique et du traitement thermomécanique appliqué pendant le processus de fabrication

III-5-1 Propriétés physiques

III-5-1.1 Densité

La masse volumique de l'acier est peu variable (de 7850 à 8000 kg/m³). Cette variations 'explique par la composition même de l'acier, allié ou non. On peut comparer avec les alliages d'aluminium plus légers qui ont une masse volumique de 2700 kg/m³. L'affaiblissement de la densité du métal permet de diminuer le poids des matériaux utilisés. Ainsi la manutention des produits est plus aisée et le poids propre des matériaux sur la structure et les fondations est réduit. Les propriétés mécaniques de l'acier sont cependant différentes selon sa densité.

III-5-1.2 Dilatation

La dilatation de l'acier à la chaleur est importante. Il a fallu mettre le métal en fusion pour le fabriquer, par conséquent plus la chaleur sera élevée et plus le métal se rapprochera de l'état liquide. Soumis à des variations de température, les dimensions de l'acier peuvent changer.

Cela entraîne une dilatation du matériau, c'est-à-dire une augmentation relative de la longueur. Lorsque la température augmente, les dimensions, donc les volumes, croissent mais d'une manière réversible.

La température de montage devient alors le point de référence. Pour une variation de température en France de $\pm 27^{\circ}\text{C}$, la variation de longueur est de $\pm 0,3$ mm par mètre si la dilatation est libre. Si la dilatation est empêchée elle produira une contrainte de traction ou de compression dans l'élément en ce sens si la pièce se rétracte ou s'allonge.

Cette dilatation doit être prise en compte pour les bâtiments de grande longueur. On est souvent amené à mettre des joints de dilatation tous les 50 m. Par ailleurs, la dilatation modifie les caractéristiques mécaniques de l'acier.

Les propriétés de résistance à la traction, le module d'élasticité et la limite d'élasticité diminuent alors que la plasticité augmente. Il est donc nécessaire de maintenir les variations de température dans des limites tolérables. Cela peut se traduire par une augmentation de l'épaisseur des produits.

III-5-1.3 Conductivité

a-Conductivité électrique

Ainsi cette propriété qu'a l'acier de transmettre l'électricité se trouve utilisé dans les domaines du génie électrique comme les moteurs ou les résistances.

Cette conductivité électrique est surtout importante quand il s'agit de souder des métaux avec des procédés électriques (soudages par résistance)

En dehors de ces approches, les structures métalliques d'un bâtiments doivent être raccordés à la terre n'ont pas de champs électriques propres

b-Conductivité thermique

La conductivité thermique de l'acier est très bonne. L'acier est une matière homogène sans présence d'air avec faible inertie thermique.

L'acier absorbe et transmet rapidement la chaleur .Il permet les échanges froid/chaud. Utilisé en structure, bardage, plancher et couverture il pose les problèmes de condensation qui peuvent être provoqués par le phénomène d'alternance froid/chaud.

Dans un autre domaine que celui de la construction, l'acier, par cette propriété, est largement présent dans les appareils de chauffage avec les radiateurs.

c-Conductivité phonique

La conductivité phonique de l'acier est bonne. La transmission du son dans l'acier est rapide. Il est nécessaire de prévoir des dispositifs d'isolation phonique adaptés.

III-5-1.4 Soudabilité

La soudabilité est la propriété des métaux à s'unir entre eux lorsqu'ils sont portés à leur température de fusion assurant ainsi la continuité de la matière. Toutefois ce n'est pas une propriété intrinsèque de l'acier. La soudabilité dépend notamment des types d'assemblages, des procédés, des conditions de soudage, des produits d'apport et de la conception de la construction.

Cette union se fait par un apport de matière fondue et déposée liant intimement les deux bords des pièces à assembler.

Le soudage des aciers alliés ou revêtus nécessite des moyens adaptés.

III-5-2 Propriétés mécaniques :

L'acier est un matériau homogène et isotrope. Il peut être sollicité de manière identique dans toutes les directions en compression et en traction. Les réseaux qui le composent sont de même nature et répartis de façon uniforme (homogène). Les caractéristiques physiques et mécaniques de l'acier sont les mêmes dans toutes les directions, de sorte qu'il se déforme élastiquement ou plastiquement, et à la limite se rompt, toujours dans les mêmes conditions quelle que soit l'orientation de la microstructure (isotropie).

III-5-2.1 Traction

La propriété mécanique la plus souvent mise en avant pour l'acier est sa résistance à la traction, elle est liée à la propriété de ductilité du matériau, qui peut subir une grande déformation avant de se rompre.

Lorsque l'acier est soumis à un effort de traction, il passe par trois états successifs : le domaine élastique, le domaine plastique et enfin la rupture. Ces trois états sont déterminés à travers une courbe dite de traction.

Domaine réversible : domaine élastique

L'acier s'allonge quand on tire dessus. La longueur de l'allongement est proportionnelle à la sollicitation, c'est-à-dire à l'effort de traction.

L'acier reprend sa longueur initiale lorsque la force n'agit plus. On peut déterminer ces déformations avec la loi de Hooke.

Lorsque la limite d'élasticité (R_e) est atteinte, l'acier passe dans le domaine plastique. Cette limite est une caractéristique fondamentale des aciers.

La limite d'élasticité (R_e) est importante à connaître pour le constructeur qui désire garder une géométrie intacte des pièces après chargement. On pourra remarquer que pour une même charge, plus le module d'élasticité est grand, plus la déformation élastique est petite.

Domaine irréversible : domaine plastique

Lorsqu'on augmente l'effort, on constate que le morceau d'acier ne retrouve plus sa longueur initiale après déchargement. On entre alors dans la déformation plastique de l'acier. Toute déformation est conservée. C'est cette propriété qui est par exemple utilisée pour le profilage des tôles.

L'acier se déforme jusqu'à la limite de rupture. La propriété associée à cette limite est la limite de résistance à la traction (R_m).

Un élément de structure en service ne doit jamais atteindre la limite de résistance à la traction.

Rupture : domaine de la striction

Au-delà de la limite de résistance à la traction, il y a rupture après une déformation locale dans la zone de "striction". L'essai de traction permet à ce niveau de déterminer la propriété de déformation plastique pour mesurer la capacité du matériau à subir des mises en forme.

C'est l'allongement à rupture A : allongement maximal admissible avant rupture qui exprime également la ductilité de l'acier, c'est-à-dire la capacité à être déformé, courbé, étiré, etc. sans se rompre.

III-5-2.2 Compression

L'acier se raccourcit quand il est comprimé sous l'effet d'une charge. La plasticité apparaît dans les mêmes conditions que pour la traction. ($R=520\text{KN/mm}^2$)

Néanmoins, on parvient rarement dans une structure à une rupture par compression parce qu'entre temps ont lieu des phénomènes de flambement et de voilement qui provoquent la ruine de la structure avant qu'une sollicitation égale à la résistance à la compression ne soit atteinte.

III-5-2.3 Cisaillement

L'acier est résistant au cisaillement autant qu'en traction et en compression. Le cisaillement est l'effort de deux forces parallèles, de sens opposés, et très rapprochées, tendant à provoquer le glissement relatif des deux sections de la pièce.

La contrainte de cisaillement est nulle sur les faces et maximale à l'axe neutre. Contrainte de cisaillement $\tau = T/S$

S : section de la pièce; T : effort tranchant.

Dans la construction métallique, la résistance au cisaillement est particulièrement importante au niveau des assemblages. Les boulons participant à l'assemblage d'un poteau et d'une poutre par exemple subissent une forte contrainte de cisaillement et doivent être calculés en conséquence.

III-5-2.4 Résistance à la fatigue

Lorsqu'on soumet un matériau à des efforts répétés, alternés et variables, il peut se fissurer et se rompre alors que le niveau de sollicitations est inférieur à la limite de rupture à la traction.

Cette perte de résistance qui se produit au cours du temps est appelée « fatigue ». Pour l'acier, on teste une éprouvette sous efforts alternés cycliques, jusqu'à la rupture.

Les résultats obtenus sont représentés par une courbe qui définit la limite d'endurance de l'acier, en dessous de laquelle l'acier ne se fissure pas, quel que soit le nombre cycles imposés.

En règle générale, la limite d'endurance des aciers se situe entre 0,45 et 0,5 fois la résistance à la rupture (R_m).

III-5-2.5 Dureté

La dureté est l'aptitude d'un métal à résister aux contraintes d'écrasement et de poinçonnement. Elle est d'ailleurs liée à la résilience. On distingue les duretés Brinell et Vickers, suivant l'appareil d'essai.

III-5-2.6 Résistance au choc

Pour apprécier la résilience d'un acier, c'est-à-dire la résistance au choc, on réalise un essai sur éprouvette. C'est ce qui permet de caractériser la fragilité d'un métal au choc

Aciers courants : 28 J

Aciers à haute limite d'élasticité : 50 J

Le résultat s'exprime sous forme d'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette (en J ou en J/cm^2). Plus l'énergie nécessaire est grande, plus la résistance est considérée comme grande.

III-5-2.7 Fluage

Le fluage est une déformation irréversible due au comportement élastique de l'acier. C'est un mode de déformation plastique intervenant dans le temps sous une sollicitation mécanique qui peut être constante (charges permanentes) ou à haute température. Cette déformation se manifeste par l'augmentation de la flèche à la flexion.

Le fluage peut conduire à la ruine de la structure dans le temps

III-5-2.8 Malléabilité et ductilité

L'acier a la caractéristique d'être malléable et ductile comme d'autres métaux. Ces propriétés permettent de transformer le métal, à chaud ou à froid, en feuilles par choc ou pression pour la malléabilité et en fils pour la ductilité.

La malléabilité et la ductilité du métal exprime donc une aptitude à subir une déformation plastique (allongement) sans rupture. On considère qu'un matériau est malléable quand son allongement est supérieur à 35 %.

Ces comportements sont étudiés en laboratoire sur des éprouvettes dont les caractéristiques métallurgiques et dimensionnelles sont bien déterminées.

Ce sont principalement ces caractéristiques qui sont utilisées dans les opérations de formage : pliage, cintrage, forgeage, etc.

III-5-3propriétés environnementales :

Au cours de l'élaboration de l'acier on peut noter un certain nombre d'impacts sur l'environnement.

III-5-3.1 Recyclage de l'acier :

La caractéristique principale de l'acier est qu'il est recyclable. On peut en effet transformer l'acier déjà utilisé pour en faire de nouveaux produits. Il est réutilisable à l'infini sans perdre de ses qualités.

La filière "ferraille" est plus économique en matière d'équipements lourds et la refonte de l'acier nécessite une quantité d'énergie plus faible que la production à partir de minerai.

III-5-3.2Co-produits :

Les matières produites ou libérées pendant l'élaboration de l'acier sont filtrées et réutilisées. Tous les gaz sidérurgiques résiduels sont récupérés comme sources d'énergie et recyclés. Par exemple le gaz de cokerie contenant des oxydes de soufre est désulfuré pour être recyclé. Le soufre, lui, est récupéré pour être commercialisé.

III-5-3.3Ferrailles de récupération

Les ferrailles proviennent de collectes de récupérations de la sidérurgie, des industries de transformation et de recyclage des déchets ferreux issus de la fabrication, des biens d'équipement et de consommation (boîtes de conserve, voitures, appareils électroménager, etc.)La ferraille constitue

alors une matière première qui nécessite moins de transformation dans la mesure où c'est déjà de l'acier. Les dégagements et l'élimination de co-produits venant d'éléments indésirables s'en trouvent diminués.

Collecte sélective

Les vertus magnétiques du matériau font qu'il se trie très facilement dans les déchets. Mais en fonction de l'acier à fabriquer, c'est un choix rigoureux des ferrailles qu'il faut entreprendre avant la fonte.

Démolition sélective

Lors de la conception de projets, des solutions peuvent être mises en œuvre pour faciliter le recyclage de l'acier en fin de vie du bâtiment. La démolition sélective d'une structure acier permet la réduction des nuisances sonores par des méthodes de découpage. Certains éléments peuvent être réutilisés, par exemples, les palplanches font l'objet d'un marché de location

III-5-3.3 la chaudière aux niveaux de laitier GIPLAIT

L'obtention de la vapeur nécessaire à la production est donnée par un générateur vapeur se trouve au sein de l'unité GIPLAIT, dans l'unité productrice des énergies, la centrale thermique est composée de deux générateurs de vapeur qui travaillent et fonctionnent par mi-temps, ayant chacune une puissance équivalente de 9t/h ,à une pression d'exercice de 12 bar équipées de brûleurs mixtes mazoute lourd et gaz méthane .

Dans notre cas le générateur de vapeur étudié utilise comme combustible le gaz naturel et laisse le mazout lourd comme combustible de secours en cas de défauts du gaz naturel.

Type de chaudière utilisé dans GIPLAIT Son marque est de TECNOTERMICA elle est de type monobloc à combustion pressurisé en acier à tube des fumée.

III-5-3.4 Longévité

La longévité est la propriété de résistance à l'humidité et pollution de l'air, aux sollicitations thermiques, chimiques et mécaniques. [16]

III-3.5 Agents de dégradation

L'acier est un matériau à longue durée de vie à condition de prendre les protections nécessaires contre la corrosion, agression la plus significative. La corrosion est la dégradation lente des pièces métalliques dans l'atmosphère en présence de l'humidité et de l'oxygène. En effet, comme la plupart des métaux, le fer a tendance à revenir à son état naturel, à l'état d'hydroxydes (rouille) en se combinant avec l'oxygène et l'humidité présents dans l'air.

III-6 Les matériaux galvaniques :

La galvanisation est l'action de recouvrir une pièce d'une couche de zinc dans le but de la protéger contre la corrosion. Le traitement est dit anticorrosif. Le vocable vient du nom de l'inventeur Luigi Galvani (1737-1798), physicien italien ayant découvert le galvanisme.

Dans l'industrie, on utilise surtout ce terme pour le procédé de « galvanisation à chaud au trempé ».

III-7 Le principe de galvanisation :

-Le principe est celui de la protection cathodique par anode sacrificielle :-Le zinc a une tendance anodique plus forte que l'acier et va donc s'oxyder à la place de l'acier qu'il protège. Le zinc ayant une cinétique d'oxydation environ 25 fois plus lente que celle de l'acier, l'oxydation est retardé

III-8 La galvanisation à chaud au trempé :

La galvanisation à chaud, ou plus exactement la « galvanisation à chaud au trempé », est une technique de l'industrie de la métallurgie qui est utilisée pour protéger contre la corrosion une pièce d'acier à l'aide de zinc. Ce procédé donne au revêtement protecteur de l'adhérence, de l'imperméabilité, et de la résistance mécanique. Une pièce traitée par la galvanisation est dite galvanisée.

III-9 Principes de galvanisation à chaud au trempé :

La galvanisation à chaud au trempé consiste à revêtir et à lier de l'acier avec du zinc en immergeant l'acier dans un bain de zinc en fusion à 450 °C environ.

Ce procédé ne consiste pas uniquement à déposer du zinc sur quelques micromètres à la surface de l'acier. Le revêtement de zinc est chimiquement lié à l'acier de base, car il se produit une réaction chimique métallurgique de diffusion entre le zinc et le fer ou l'acier à 450 °C. Quand on retire l'acier du bain de zinc, il s'est formé à sa surface plusieurs couches d'alliages zinc-fer sur lesquelles le zinc entraîné se solidifie. Ces différentes couches d'alliages, plus dures que l'acier de base pour certaines, ont une teneur en zinc de plus en plus élevée au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface du revêtement. Le traitement doit être conforme à la norme ISO 1461 (« Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier »). Il existe en 2014 environ 55 sites industriels de galvanisation à chaud en France. Ils galvanisent environ 600 000 tonnes d'acier par an, dont 45 % pour le bâtiment (charpentes, métallerie, éléments de garde-corps, etc.). Les autres usages concernent le mobilier urbain (éclairage public, signalisation, barrières et glissières de sécurité), l'énergie, les transports (dont les porte-caténaires) et divers supports dont dans les piscines ou en mer (environnement humide particulièrement agressif et/ou contenant du chlore), dans les usines de traitement des eaux ou stations d'épuration ou bâtiments d'élevage (atmosphère acide).

III-10 La protection galvanique des aciers :

La corrosion est la résultante de réactions électrochimiques dues à la formation de piles locales.

Il faut 4 éléments pour les former :

- un électrolyte (eau, sol...),
- deux électrodes à potentiels différents,
- une connexion électrique.

L'électrode ayant le potentiel le plus électronégatif est appelée anode. C'est elle qui subit les phénomènes d'oxydation (perte d'électrons) donc de corrosion. L'électrode ayant le potentiel le moins électronégatif est la cathode, où se passe des phénomènes de réduction (gain d'électrons) donc de protection.

Dans le cas d'une pièce en acier galvanisée, les matériaux acier – zinc forment une pile électrochimique où l'acier est la cathode et le zinc l'anode. (Potentiel du fer = $-0,44\text{V}$ et potentiel du zinc = $-0,76\text{V}$).

L'acier sera protégé par le zinc qui se dissoudra dans une réaction cathodique lente. L'attaque du zinc (perte d'électrons, ou oxydation $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$) se fera avec la formation d'oxydes, d'hydroxydes, d'hydrocarbonate, etc., sels à caractère protecteur conduisant à une cicatrisation locale de la détérioration de l'acier qui n'est pas recouvert.

A cette protection électrochimique s'ajoute bien évidemment la protection physico-chimique (ou protection barrière) que confère une couche sur une surface (comme une peinture, métal...).

Une seule couche de peinture ne permet pas une protection électrochimique : il y aura, si la surface de revêtement n'est pas continue (ou si elle est blessée), une formation de rouille, donc soulèvement – dégradation du revêtement par la rouille

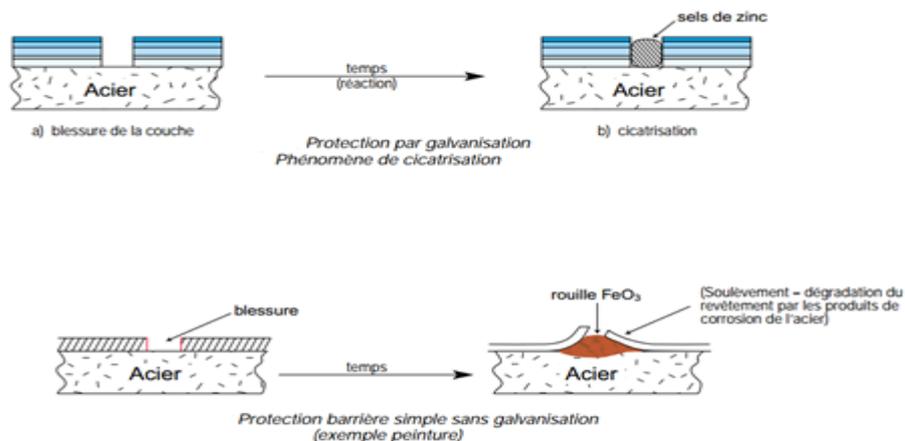


Figure III.1 : protection galvanique des aciers

III-11 La corrosion galvanique des aciers :

III-11.1 Cas des canalisations industrielles :

III-11.1.1 Généralité :

Des canalisations métalliques sont encore régulièrement mises en œuvre dans les installations industrielles. Il n'est pas rare que ces canalisations soient le siège d'une corrosion à la suite de décisions erronées en matière de conception, de choix des matériaux et d'utilisation ou d'entretien de l'installation. [10]

III-11.1.2 Introduction :

Des canalisations en acier courant ne peuvent être utilisées dans des installations industrielles qu'à condition qu'elles soient dotées d'une couche de zinc. En effet, l'acier non protégé qui entre en contact avec de l'eau riche en oxygène est rapidement sujet à la rouille. Étant donné que le zinc constitue le partenaire idéal dans la lutte contre la corrosion de l'acier, la norme belge NBN EN 10240 mentionne, dans cette optique, une épaisseur de galvanisation minimale. En vue de la formation de la couche complexe de patine protectrice, composée d'oxydes et d'hydroxydes de zinc (penta-hydroxy-carbonate de zinc), sur la paroi interne du tube, la composition de l'eau distribuée revêt une importance capitale. Si la mise en service de l'installation industrielle se déroule dans des conditions défavorables, la couche de zinc qui recouvre l'acier assurera la protection cathodique de ce dernier. Cette protection sacrificielle est possible parce que le zinc (métal moins noble) s'oxyde plus rapidement que l'acier (métal plus noble).

Étant donné que ce mécanisme implique que le zinc soit partiellement dissout, il est essentiel de limiter cette fonction de protection cathodique dans le temps. Dans le cas contraire, après disparition du zinc, l'acier va commencer à se corroder et conférer une teinte rouge à l'eau. Publiée en 2004, la série de normes européennes EN 12502 relatives à la protection des métaux contre la corrosion dispose depuis janvier 2005 du statut de norme belge. Les divers facteurs de corrosion (les caractéristiques des matériaux, la qualité de l'eau, la conception, la mise en service, l'entretien et le fonctionnement de l'installation, p. ex.) ainsi que les différentes formes de corrosion y sont explicités.

III-11.1.3 Les formes les plus courantes de corrosion :

A) Corrosion liée à la composition de l'eau

La composition de l'eau distribuée doit être conforme à la directive européenne 98/83/CEE (L330) concernant l'eau potable.

Lorsque l'eau distribuée arrive dans l'installation intérieure du bâtiment, elle subit un certain nombre de modifications physiques (pression, température, ...) qui peuvent avoir un impact sur la composition chimique de l'eau. D'autres traitements (adoucissements, p. ex.) peuvent également modifier la qualité de l'eau.[17]

B) Corrosion engendrée par les dépôts de particules solides :

La pénétration de particules solides (sable, argile, limon, ...) entraînées par l'eau distribuée peut exercer une grande influence sur l'apparition d'un type de corrosion déterminé. La quantité de particules solides qui pénètrent dans l'installation peut par exemple augmenter en raison de travaux sur la conduite principale. L'assemblage et le stockage de tuyaux dans un environnement poussiéreux ou encore la pénétration de limaille de fer lors de leur usinage peuvent aussi faire en sorte que des particules solides se retrouvent dans l'installation. Ces particules solides peuvent se déposer sur la paroi interne du tuyau (et plus particulièrement dans les tronçons horizontaux), entraînant une corrosion par aération différentielle, aussi appelée corrosion sous dépôts.

Le cas échéant, la partie inférieure du tuyau présente des nodules de corrosion localisés, qui peuvent donner lieu au percement de la paroi du tube. Il ne s'agit en d'autres termes pas d'une diminution générale de l'épaisseur de la paroi, mais bien d'une perforation rapide et localisée (corrosion par piqûres)

Un phénomène de corrosion peut également faire son apparition du fait de la présence d'éléments en cuivre dans une installation comportant des canalisations galvanisées. C'est la raison pour laquelle il y a toujours lieu de veiller à ce que le cuivre soit mis en œuvre en aval de l'acier galvanisé. En effet, le risque de corrosion par formation d'une 'pile galvanique' n'existe que lorsque l'eau s'écoule d'une canalisation en métal noble (cuivre) vers un tuyau constitué par un métal moins noble (acier galvanisé). Cela signifie que, dans un circuit fermé avec un retour, l'utilisation de tubes en cuivre est exclue.[17]

Soulignons par ailleurs qu'il est erroné de penser que l'interposition d'un manchon isolant entre l'acier galvanisé et le cuivre permet d'éviter la corrosion galvanique susmentionnée.

La mise en œuvre d'un tel tronçon intermédiaire isolant n'est recommandée que dans le but d'éviter la corrosion de contact à l'endroit où les deux métaux se rencontrent. Par contre, dans des installations sanitaires présentant des éléments cuivreux en amont des canalisations galvanisées, ce manchon isolant n'exerce aucune influence sur la corrosion galvanique de l'acier.

C) Corrosion par courants vagabonds

Les sources de courant (telles que les installations électriques ou les courants vagabonds provenant des lignes de tram, de train ou de métro mal isolées, ...) peuvent aussi être à l'origine de la corrosion des éléments métalliques avoisinants. Ce phénomène est appelé 'corrosion par courants

vagabonds'. Il s'agit d'une forme de corrosion externe moins courante qui donne lieu à une corrosion locale par piqûres.

D) Corrosion par différences de potentiel :

Les parois externes d'un élément métallique peuvent être attaquées par des cellules corrosives locales si des différences de potentiel sont générées par une variation de la concentration en oxygène (aération différentielle).

Les bandes adhésives apposées autour des tuyaux encastrés (dans les murs ou les chapes, p. ex.) peuvent offrir une protection contre la corrosion durant la période de séchage. Ces matériaux d'enrobage ne présentent cependant qu'une résistance mécanique limitée et sont très vulnérables durant et après la pose des canalisations.

Si de l'humidité est toujours présente autour de la canalisation à un stade plus avancé, une corrosion par aération différentielle peut faire son apparition aux endroits où l'adhésif est endommagé. C'est la raison pour laquelle, même protégés, ces tuyaux doivent être conservés dans une ambiance sèche.

E) Corrosion liée à des facteurs métallurgiques

Lors de la fabrication de canalisations métalliques, diverses techniques de traitement peuvent engendrer certaines irrégularités du métal susceptibles d'influencer le processus de corrosion.

F) Corrosion par micro-organismes

Les parois externes d'un élément métallique peuvent être attaquées par des cellules corrosives locales si des différences de potentiel sont générées par une variation de la concentration en oxygène (aération différentielle).

Les bandes adhésives apposées autour des tuyaux encastrés (dans les murs ou les chapes, p. ex.) peuvent offrir une protection contre la corrosion durant la période de séchage. Ces matériaux d'enrobage ne présentent cependant qu'une résistance mécanique limitée et sont très vulnérables durant et après la pose des canalisations.

Si de l'humidité est toujours présente autour de la canalisation à un stade plus avancé, une corrosion par aération différentielle peut faire son apparition aux endroits où l'adhésif est endommagé. C'est la raison pour laquelle, même protégés, ces tuyaux doivent être conservés dans une ambiance sèche

III.11.2 Cas des chaudières industrielles :

Le problème majeur que rencontrent les installations de chaudière au cours de leur fonctionnement dans le secteur industriel, est principalement la perforation des tubes de fumée due à la corrosion qui affaiblit les parois de tubes

Des chercheurs assistés par des ingénieurs et des techniciens se sont penchés sur ce sujet afin de lui trouver une solution adéquate et définitive, mais en vrais, aucune solution définitive n'a vu le jour. Tout même ces spécialistes ont annoncé des dispositions à prendre afin de réduire au maximum les inconvénients occasionnés par les corrosions.[16]

Une dispositions à prendre, est de connaître la nature de l'eau d'alimentation de la chaudière et de lui faire un traitement adéquat afin de la rendre aussi dépourvue que possible de certains matières agressives et corrosives.

Comme toutes les chaudières existant dans le secteur industriel, la chaudière TECNOTERMICA du complexe laitier de la commune de ARIB subit malheureusement le phénomène de corrosion au niveau de tube de fumée et précisément sur leurs surfaces externe ce qui provoque aux cours du temps des trous qui permettent l'infiltration de l'eau, et cela impose le changement des tubes de fumée et donc l'arrêt de la chaudière momentanément

III.12 Conclusion :

Etant donné la complexité de la problématique de la corrosion des tuyauteries sanitaires en acier galvanisé et les multiples paramètres qui doivent être pris en compte dans ce contexte, il n'est pas étonnant que chaque cas de corrosion particulier nécessite une enquête judicieuse en vue de rassembler les informations nécessaires à la conception, au bon fonctionnement et à l'entretien de l'installation.

Malgré le traitement adéquat de l'eau d'alimentation de la chaudière, la corrosion sur la surface externe des tubes de fumées existe toujours.

Après plusieurs vérifications et contrôles des installations nous avons remarqué que la cause qui permet l'apparition de la corrosion, est la non élimination totale de l'oxygène (O_2) et le gaz carbonique (CO_2) au niveau du dégazeur. A cet effet, nous pouvons proposer des additions d'inhibiteurs de corrosion dans les réservoirs d'eau; ces substances permettent de stopper le moteur de la corrosion et sont finalement d'aucune influence sur les propriétés de l'acier; on peut citer à titre d'exemple les (benzoates et les citrates) [24]

