



«Gestion des risques industriels »

Novembre 2020

## CONDITIONS EXTREMES / RISQUES INDUSTRIELS

### 1<sup>ère</sup> partie : Conditions extrêmes naturelles et industrielles, des défis au quotidien.

Si on effectue un exercice de mémoire sur ce que l'on appelle maintenant "la vie d'avant la pandémie", il est important de se souvenir des problèmes climatiques répétés que nous avons vécu et qui sont à l'origine de nombreuses mesures d'urgence (pluies torrentielles, canicules, sécheresses dans le sud et l'est de la France, les incendies gigantesques en Australie, invasion de criquets pèlerins (peste acridienne) en Somalie, ...). Ces conditions climatiques extrêmes en plus d'avoir des effets désastreux sur l'Homme peuvent avoir un impact sur nos infrastructures du quotidien si l'on ne renforce pas les contrôles et la maintenance préventive des installations (un exemple : effondrement du pont de Gênes en 2018). Face à ce constat, nous vous proposons avec cette 49<sup>ème</sup> newsletter une nouvelle thématique qui concernera la métallurgie et les environnements extrêmes, qu'ils soient naturels ou industriels. Une série d'articles suivront celui-ci pour introduire les problèmes associés aux basses puis aux hautes températures dans différents milieux plus ou moins agressifs.

Il y a environ 35 millions d'année avant notre ère, une météorite s'écrasait sur terre en produisant ce que l'on pense être l'événement le plus chaud jamais apparu naturellement sur notre planète. Les scientifiques estiment qu'une température de plus de 2 000°C a été atteinte. À l'extrême opposé, la température naturelle la plus basse jamais enregistrée sur terre au niveau du sol est de - 89,2 °C à la station soviétique de Vostok, en Antarctique, en 1983, [1] condition idéale pour finir de transformer une austénite résiduelle récalcitrante...



Figure 1 : La tour Eiffel vue de l'intérieur.

Plus contemporain, la Tour Eiffel a débuté, depuis octobre 2018, sa 20<sup>ème</sup> campagne de protection face à la corrosion (une toutes les 7 ans environ). La peinture est l'élément essentiel à la conservation de l'ouvrage métallique. Sans elle, la Dame de Fer n'existerait plus depuis longtemps. Mais cette fois, l'opération de traitement de surface sera précédée par une opération de décapage sur 10% de la surface de la tour car la superposition des strates de peinture ne permet plus d'assurer une adhérence de l'ensemble.

Tous les édifices historiques ne connaissent pas le même traitement, un en

particulier reste exceptionnel, il s'agit du pilier de fer de Mehrauli, vestige archéologique (du V<sup>ème</sup> siècle après JC).



«Gestion des risques industriels »

Novembre 2020

Cet ouvrage métallurgique de la banlieue sud de Delhi a la particularité de « ne pas rouiller ». Sa résistance à la corrosion serait due à la formation d'une couche d'hydrogénophosphate de fer cristallin qui protège l'édifice des effets du climat de Delhi. La nature est bien faite...



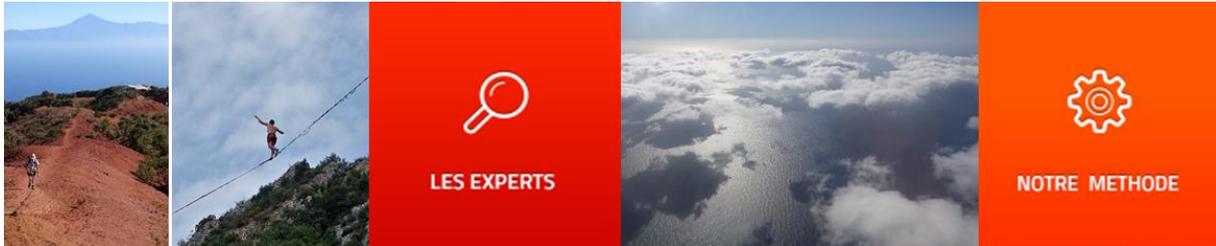
Figure 2 : Pilier de fer de Mehrauli. [2]

On peut également ajouter que les périodes de canicule, les épisodes de pluies diluviennes, les phases de gel / dégel, qui sont de plus en plus marqués sur une année, vont avoir un impact sur nos infrastructures : dilatation exceptionnelle, fragilisation des matériaux métalliques lors des périodes de grand froid, endommagement des canalisations, corrosion accélérée par les opérations de salage et les inondations répétées,... Ces phénomènes naturels sont en train d'induire un renforcement des politiques de maintenance et de surveillance des infrastructures comme le soulignent les conclusions d'une mission d'informations sénatoriales de juin 2018 sur la sécurité des ponts en France qui révélait que plus de 25 000 ponts étaient jugés en mauvais état structurel.

Le cas de l'activité ferroviaire en est un parfait exemple puisque la température des rails peut dépasser les 55°C durant nos trop belles journées d'été. A cette occasion, la SNCF met en place « des tournées chaleurs » dès que les températures augmentent de façon importante pour surveiller l'état des infrastructures et prévenir tout incident. Par mesure de précaution, au-dessus d'une température de rail de 45°C, la vitesse des trains est réduite et le nombre de trains est donc, de ce fait, limité.

Ces variations dimensionnelles d'ordre thermique peuvent occasionner d'autres problèmes que les aspects géométriques si les joints de dilatation ne sont pas correctement dimensionnés, il s'agit des endommagements par micro-frottement pour les pièces en contact, phénomène également appelé fretting en tribologie, sujet très sensible actuellement dans le cas de notre Dame de Fer puddlé au niveau des éléments assemblés.

On s'aperçoit, avec ces quelques exemples, que la nature soumet à rudes épreuves nos infrastructures métalliques et qu'il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des données environnementales, aussi extrêmes soient-elles, lors de la phase de conception des édifices mais également au niveau des phases de surveillance et de maintenance.



XXX 2020

Dans l'industrie, nous n'avons pas attendu le réchauffement climatique et les désordres associés pour appréhender les environnements extrêmes. On retrouve globalement des problématiques tout aussi compliquées à gérer :

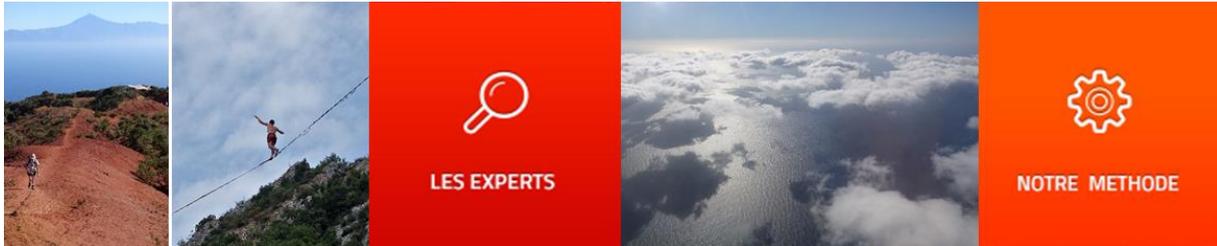
- Milieux soumis à de **hautes températures**,
  - Moteurs et échappements (jusqu'à 300°C),
  - Fours de traitements thermiques (de 200°C jusqu'à 1 200°C).
- Moyens évoluant à des **températures cryogéniques**,
  - Stockage des gaz liquéfiés (-77°C à -196°C),
  - Le cryostat ITER (-269°C, circuit d'hélium liquide pour assurer la supraconductivité des matériaux),
- Dispositif sujet à de **fortes variations de températures**.
  - Panneaux solaires de satellites (-190°C ; 120°C),
- Ambiances **corrosives**,
  - L'agrochimie (les engrais, ...),
  - Les chaudières d'incinérateurs d'ordures ménagères (700°C ; 900°C),
  - Les verreries (800°C ; 1 500°C), les cimenteries (~ 1 450°C).

Mais aussi :

- Les applications soumises à de **fortes contraintes mécaniques**
  - Les turboréacteurs d'avions ( $T^{\circ}\text{gaz} \sim 1\ 600^{\circ}\text{C}$ ).
  - Les turbines à gaz / vapeur ( $T^{\circ}\text{gaz} : 300 \text{ à } 1\ 200^{\circ}\text{C}$ ).
- Les systèmes mettant en jeu de très **hautes vitesses de déformation** (jusqu'à  $\sim 10^7 \text{ s}^{-1}$ ).
  - Les crashes des véhicules.
- Les atmosphères où des **combustions** sont mises en œuvre,
  - La pétrochimie ( $< 1\ 000^{\circ}\text{C}$ , dans certains cas on peut être au-dessus),
  - Les fours de traitements thermochimiques ( $< 1000^{\circ}\text{C}$ ),
- Les environnements radioactifs (soumis à des **irradiations neutroniques**),
  - Réacteurs de centrale nucléaire ( $< 600^{\circ}\text{C}$ ).

Bien entendu, dans ces nombreux exemples, on multiplie les difficultés. Prenons comme exemple les chaudières d'incinérateurs, on retrouve les hautes températures, des atmosphères oxydantes et carburantes issues de réaction de combustion et de la corrosion à chaud par des sels (chlorures, nitrates, sulfates, ...) en fusion qui dissolvent les oxydes protecteurs.

Il serait une erreur de penser, pour le dernier cas évoqué associé au travail en milieu radioactif, que ces conditions de travail soient tout sauf naturelles. En effet, il y a environ 2 milliards d'années, des réacteurs nucléaires naturels auraient fonctionné sur notre planète. On a retrouvé dans la mine d'uranium d'Oklo, dans une province du Gabon, les résidus fossiles de réacteurs nucléaires naturels, où des réactions de fission nucléaire en chaîne auto-entretenues auraient eu lieu. La présence de néodyme 143 dans la mine, produit de fission de l'uranium 235, est à l'origine de cette découverte.



XXX 2020

Mais quelles approches doit avoir le spécialiste des sciences des matériaux métalliques lorsque le produit ou le procédé, sur lequel il travaille, évolue dans des conditions extrêmes qu'elles soient naturelles ou issues d'une activité industrielle ?

Pour répondre à cette question, la prochaine Newsletter s'intéressera aux environnements sub-zéro en abordant les problématiques de fragilisation, avec quelques cas emblématiques et historiques pour illustrer les risques industriels associés à ces conditions de travail.

Une chose est sûre lorsque la température s'emballe tout se complique. C'est ce que nous allons voir...

#### **REFERENCES**

- [1] H. O'Brian, "Impact of Extreme Temperatures on Metallic Materials", Revue Nordlock - Bolted N°2, 2019.
- [2] <http://philippelopes.free.fr/PilierFerInoxydable.htm>