

Quand la fatigue des matériaux faisait encore débat. Part 4

Rappel des épisodes précédents

Dans les précédentes parties ([partie 1](#), [partie 2](#) et [partie 3](#)), je traitais des ouvrages de Jean Résal et Paul Planat datant de la fin du XIXe, où ces derniers réfutent la possibilité d'une fatigue des matériaux pour des contraintes inférieures à la limite d'élasticité.

Rappelons qu'au XIXe, la notion de fatigue des matériaux émerge tout doucement. En 1837, Albert publie le premier essai de fatigue (voir [ici](#)). En 1842 ou 1843, Rankine publie des essais de fatigue dans le ferroviaire (voir [ici](#)). En 1847, une commission royale anglaise s'intéresse au problème (voir [ici](#)).

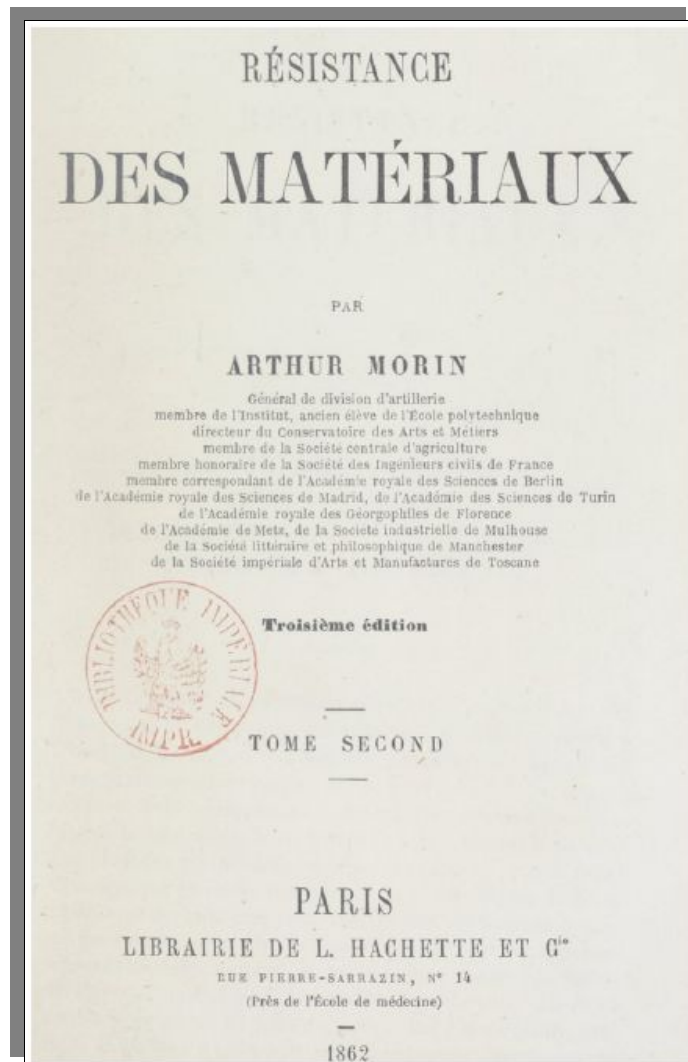
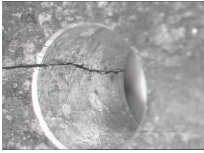
Puis dans les années 1850-1860, August Wöhler publie ses travaux et énonce plusieurs lois. L'influence de ces lois sera considérable. Wöhler conclut en effet que pour des contraintes inférieures à la limite d'élasticité, la dégradation du matériau est possible si ces contraintes sont appliquées de façon cyclique. Les résultats expérimentaux sont indéniables mais l'explication ne passe pas chez certains français (Jean Résal, Paul Planat), pour qui tant que la limite d'élasticité n'est pas atteinte, aucune dégradation du matériau n'est possible. Ces derniers proposent une autre théorie pour expliquer les résultats expérimentaux de Wöhler, mais on a vu qu'elle ne tenait pas. Nous nous quitions sur ce statut quo.

Pour un rappel théorique, voir [limite d'élasticité](#) et [fatigue des matériaux](#).

Quand la fatigue des matériaux était observée en service

Dans cette partie 4, je continue mon voyage dans le temps pour comprendre l'acceptation de la fatigue des matériaux en France.

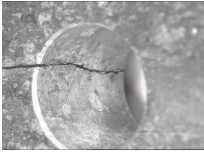
Je traiterai ici l'ouvrage d'Arthur Morin, [Résistance des matériaux](#), 3e édition, 1862.



Dans cet ouvrage, Arthur Morin consacre un chapitre sur « *l'altération des essieux par la prolongation de leur service* » p114.

Devant la gravité des accidents dus à des ruptures en service (par exemple le [Train Paris-Versailles](#) en 1842), l'auteur se demande « *s'il ne serait pas prudent de prescrire une limite de chemin parcouru au delà de laquelle tous les essieux du matériel des chemins de fer devraient être réparés ou visités soigneusement.* »

L'auteur pose cette question à deux ingénieurs, Mr Marcoux, directeur du matériel du service des malles-postes, et Mr Arnoux, administrateur des messageries générales.



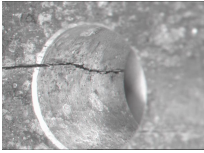
Mr Marcoux, sur des essieux utilisés en service prolongé, ne reconnaît « *aucun changement appréciable dans la texture du grain avec ce qu'il était au moment de la fabrication des essieux.* ».

Mr Marcoux nie-t-il la fatigue des essieux ? Non !

Ce dernier « *pense, au contraire, que les vibrations que les essieux éprouvent dans les marches à grande vitesse détériorent le fer, sans pour cela que la texture du grain éprouve de changement appréciable* », et que « *les essieux sont moins résistants après un long service* ». En conséquence, ce dernier « *prescrit, dans le cahier des charges de l'entretien des malles postes, que les essieux de ces voitures seront renouvelés après avoir fourni un parcours de 60 mille kilomètres* ».

Mr Marcoux remarque ensuite que « *des essieux bien fabriqués, avec des fers de bonne qualité, cassaient après avoir fourni un parcours de 60 à 80 mille kilomètres, parce qu'il se forme, au-dessous du collet des fusées, de petites fissures qu'il est difficile de reconnaître sans chauffer le fer des fusées: si ces fissures, qui ont peu de profondeur lorsqu'elles se forment, restent inaperçues, les essieux cassent à cet endroit quand elles pénètrent de 10 à 15 millimètres dans la section de la fusée.* ».

Il apporte ensuite son explication du phénomène : « *je pense que ces fissures se forment après un long travail, qu'elles sont occasionnées par les vibrations des essieux, et que cet effet se produit d'une manière analogue à ce qui se passe lorsqu'on casse un fil de fer en le courbant plusieurs fois en différents sens. Si l'on ne fait subir à un fil de fer que de très faibles inflexions sur une grande longueur, on ne parvient pas à le rompre: c'est l'effet que doivent produire les vibrations sur le corps de l'essieu. Mais, si l'on serre le fil de fer dans un étau et qu'on lui fasse subir plusieurs inflexions en sens contraires, le fer s'allonge d'un côté, se refoule de l'autre, et le fil se casse près de l'étau, comme les essieux cassent au collet des fusées.* »



En lisant ces lignes, difficile de dire si Mr Marcoux accepte la fatigue pour des contraintes sous la limite d'élasticité, ou s'il prétend qu'au collet des fusées, le métal subit des contraintes au-delà de la limite d'élasticité et donc des déformations plastiques qui l'amènent à rompre rapidement. Pour rappel, Jean Résal en [1892](#) accepte parfaitement la possibilité de fatigue pour des contraintes supérieures à la limite d'élasticité « *le métal, soumis d'une façon intermittente à des efforts dépassant un peu la limite d'élasticité, finit par perdre sa cohésion, par se désagréger ou se rompre. [...] Si l'on plie un certain nombre de fois une tôle mince, celle-ci finit par se fissurer et se casser, quoi qu'ayant résisté sans dommage apparent aux premières épreuves* ». On voit tout de même que Mr Marcoux a bien identifié l'influence du caractère cyclique des contraintes dans les ruptures qu'il observe.

De son côté, Mr Arnoux commence par décrire les ruptures observées en service. Il donne une description précise d'un faciès de rupture : « *dans tous les cas, la cassure affectait généralement le même aspect; une petite crique se déterminait à l'arête antérieure et inférieure de l'essieu, là en effet où se trouve la plus grande fatigue, due à la double action de la charge et de la traction; puis cette rupture s'étendait par zone dont cette crique était le centre, d'un grain aussi net et aussi fin que celui de l'acier fondu, et quand elle était parvenue aux deux tiers de la section, le reste rompait avec un aspect plus ou moins nerveux* »

Attention : le terme « *fatigue* » est ici utilisé pour parler de l'effort mécanique.

Mr Arnoux résume finalement ses observations et conclusions :

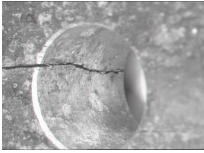
« *De l'ensemble de nos observations nous avons conclu:*

1° Que le service altérait la nature de l'essieu et le rendait cassant ; [...]

4° Qu'il faut éviter dans la forme des changements brusques de dimensions ; [...]

5° Qu'il faut éviter les angles vifs rentrants, surtout à la naissance des fusées, dont ils déterminent la cassure; »

Il est difficile de connaître l'opinion de Mr Arnoux sur ce qui provoque ces ruptures : il parle de « *service* », d'« *usage* », et ne propose pas d'origine à cette altération (charge constante appliquée pendant longtemps, effet des vibrations sur le travail élastique vu par la pièce comme proposé dans l'ouvrage de Jean Résal, caractère cyclique des efforts caractérisant la fatigue, effet d'environnement type [fragilisation par l'hydrogène](#).....etc.).



Conclusion

Lors de la seconde moitié du XIXe siècle, la notion de fatigue des matériaux se développe sans faire encore l'unanimité. Les idées sont un peu floues mais certains ingénieurs sont sur la bonne piste, comme Mr Marcoux.

Mais dans le domaine des transports (voitures, diligences), l'altération des matériaux en service était bien actée, l'apparition de fissures était identifiée et des procédures de maintenance étaient définies pour réparer ou changer les pièces avant la rupture.

Dans les prochaines parties, je traiterai l'ouvrage de Claude Navier « De la résistance des corps solides », de 1864, et le chapitre de Mr Considère consacré à « l'emploi du fer et de l'acier dans les constructions » dans les Annales des Ponts et Chaussées, 1885.