

MAINTENANCE PRÉDICTIVE

Sébastien RAZAKARIVONY ; Morgane BARBET-MASSIN

Le cours

- **5 séances**

- > Les horaires : 13h30 / 17h15

- > Les dates :

- 11 janvier 2023

- 18 janvier 2023

- 25 janvier 2023

- 01 Février 2023

- 08 février 2023

- **+1 examen le 15 février 2023**

- > Examen sur table pour la partie cours, sans documents

- > Un TP, documents autorisés

- **Les TP seront sur Gitlab + google colab**

Plan du cours

- Introduction
- Modélisation statistique des lois de vie
- Construction d'indicateurs de santé
- Sélection de variables, types de variables et prédiction
- Capteurs, analyse de risques, réseaux bayésiens
- Examen

Qui sommes nous ?

- **Sébastien Razakarivony (Coordinateur du cours)**

- > Ingénieur expert à Safran en algorithmie & machine learning
- > ENSTA Paris puis doctorat, 10 ans chez Safran
- > Email: sebastien.razakarivony@safrangroup.com

- **Morgane Barbet-Massin**

- > Ingénieur de recherche à Safran
- > ENS puis doctorat, post-doc, 1 an chez la BNP, 5 ans chez Safran
- > Email : morgane.barbet-massin@safrangroup.com

- **L'email du cours : enstaia313@gmail.com**



MAINTENANCE

ENJEUX
MOTIVATIONS

Maintenance

▪ Concerne de nombreux domaines

➤ Les plus évidents :

- Industrie lourde (chaîne de production, stockage, ...)
- Transport (aérien, ferroviaire, maritime,...)
- Agriculture (machines agricoles, ...)
- Construction (outils de chantier, ...)

Maintenance

▪ Concerne de nombreux domaines

> Les plus évidents :

- Industrie lourde (chaîne de production, stockage, ...)
- Transport (aérien, ferroviaire, maritime,...)
- Agriculture (machines agricoles, ...)
- Construction (outils de chantier, ...)

> Mais aussi :

- Immobilier
- Santé
- Informatique

▪ Économiques

- > Des milliards d'euros dépensés dans la maintenance chaque année en France,
- > Des centaines de milliers d'emplois

- > Évolution des tendances économiques
 - Automatisation des équipements (ex : robots en usine)
 - Complexification des équipements (ex : voiture)
 - Usage intensif des équipements (ex : machine outil en usine)
 - Processus en ligne de production, ou en cascade (ex: ligne de montage)

▪ Sécuritaires

- Dans certains secteurs, comme l'aérien, la maintenance a également des objectifs de sécurité
- Eviter les accidents dus à une **panne** de l'équipement en lui-même
 - Avions (ex: Air Asia 162 décès pour non maintenance sur A320 après fissure dans une soudure d'une gouverne)
 - Voitures
 - Eolienne
- Eviter les accidents dus à un **comportement inapproprié** de l'équipement
 - Machines de production de pièces critiques
 - Equipements de contrôle de qualité
 - Système de contrôle commande dans une usine
 - Réacteur nucléaire

➤ Source Air Asia: <https://www.usinenouvelle.com>

▪ Environnementaux

- Maintenir au mieux les équipements, c'est :
 - Eviter de les jeter alors qu'ils pourraient fonctionner
 - Eviter des rendements qui baissent, et donc une consommation d'énergie accrue
 - Eviter des défaillances entraînant des fuites / rejets de produits toxiques

▪ Environnementaux

- Maintenir au mieux les équipements, c'est :
 - Eviter de les jeter alors qu'ils pourraient fonctionner
 - Eviter des rendements qui baissent, et donc une consommation d'énergie accrue
 - Eviter des défaillances entraînant des fuites / rejets de produits toxiques
- On peut combiner les enjeux, bien sûr : un réacteur nucléaire mal entretenu est à la fois polluant & dangereux !

▪ Environnementaux, exemple détaillé

- Une centrale thermoélectrique (charbon, pétrole, ou gaz) renvoie à l'atmosphère de l'ordre de 500 à 1 000 grammes de CO₂ par kWh produit, selon le combustible et la technologie utilisée.
- Cas 1: une centrale au gaz de 600 MW fonctionnant à son rendement optimal émettra donc de l'ordre de 7 000 tonnes de CO₂ pour 24 heures.
 - Avec un rendement nominal de 40 %; quelle est l'impact d'une diminution de 1 % de ce rendement ?
 - L'émission de CO₂ passe à 7 180 tonnes/jour, soit +180 tonnes de CO₂ par jour, ou 66 000 tonnes/an
- Cas 2: une centrale au charbon, dont la production de CO₂ par kWh produit est de l'ordre de 900 grammes, on arrive à une émission de 13 000 tonnes/jour
 - Une perte de rendement de 1 % entraînera un accroissement de 300 tonnes/jour soit 100 000 tonnes/an.

Note technique : l'exemple choisi est celui d'un rendement considéré élevé par les experts du domaine. Dans le cas d'un rendement de 30 %, l'accroissement est le double du cas précédent.

➤ Source : <https://techniques-ingenieur.fr>

Motivations d'une maintenance bien maîtrisée

▪ Pour le client :

➤ Enjeux économiques:

- Éviter les délais dus aux imprévus (ex: avion)
- Réduire le coût des opérations de maintenance, que ce soit en temps ou en capital (si maintenance non prise en charge, ex: voiture)
- Conserver son patrimoine (si achat, ex: ordinateur)

Motivations d'une maintenance bien maîtrisée

▪ Pour le client :

➤ Enjeux économiques:

- Éviter les délais dus aux imprévus (ex: avion)
- Réduire le coût des opérations de maintenance, que ce soit en temps ou en capital (si maintenance non prise en charge, ex: voiture)
- Conserver son patrimoine (si achat, ex: ordinateur)

➤ Enjeux sécuritaires:

- Améliorer son suivi de ses équipements (ex: avion)
- Respect des normes (ex: avion)

Motivations d'une maintenance bien maîtrisée

▪ Pour le client :

> Enjeux économiques:

- Éviter les délais dus aux imprévus (ex: avion)
- Réduire le coût des opérations de maintenance, que ce soit en temps ou en capital (si maintenance non prise en charge, ex: voiture)
- Conserver son patrimoine (si achat, ex: ordinateur)

> Enjeux sécuritaires:

- Améliorer son suivi de ses équipements (ex: avion)
- Respect des normes (ex: avion)

> Enjeux environnementaux

- Respect des normes (ex: centrale)

> Mixte:

- Limiter le facteur humain (robustesse)
- Personnaliser sa maintenance (au juste coût mais aussi au juste besoin)
- Améliorer les conditions d'utilisation des équipements (comprendre comment bien utiliser les équipements achetés)
- Bonne image (si tous les enjeux ci-dessus sont remplis)

Motivations d'une maintenance bien maîtrisée

▪ Pour le fournisseur :

> Enjeux économiques:

- Ajouter une dimension service à son produit
- Réduire le coût des opérations de maintenance, que ce soit en temps ou en capital (si maintenance incluse)
- Conserver son patrimoine (si location)

> Enjeux sécuritaires:

- Améliorer son suivi de ses équipements (ex: avion)
- Respect des normes (ex: avion)

> Enjeux environnementaux

- Respect des normes (ex: centrale)

> Mixte:

- Mieux comprendre ses propres produits
- Mieux comprendre les usages de ses clients
- Proposer des produits en adéquation avec les besoins du client

Les problématiques & enjeux de la maintenance chez Safran

▪ Le changement de modèle économique :

- Passage d'un modèle vente + réparation à un modèle location
- Une différence fondamentale : la prise en charge des coûts associés à la maintenance change de mains
- Vidéo Helicopter Engines: https://youtu.be/HhEVQ5h-Ndw?si=ZJiZh_hjp-wUEM-w

▪ L'explosion de l'analyse de données :

- Nouvelles données disponibles (<https://www.cassiopee.aero/>)
- Vidéo cassiopée : https://youtu.be/XI_zqElkf6U?si=ZxbZA0IKg613k6KQ_
- Nouveaux services et opportunités associés à la maintenance
 - Services après-vente (meilleur suivi des équipements, ...)
 - Conseil (consommation carburant, ...)
 - Retour d'expérience pour la conception

▪ Les fortes contraintes environnementales

- Enjeux forts car grandes attentes du grand public





LA MAINTENANCE, UN DOMAINE STRUCTURÉ

▪ AFNOR

- Association française de normalisation
- Représente la France auprès de l'organisation internationale de normalisation (ISO)

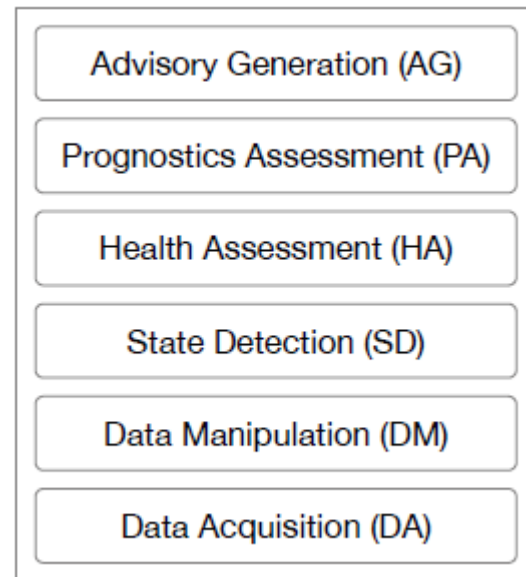
▪ Beaucoup de définitions...

- Maintenance (norme AFNOR X 60-010)
 - Ensemble des **actions** permettant de **maintenir** ou de **rétablir** un **bien** dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un **service** déterminé
- Fiabilité (norme AFNOR X 60-500)
 - Aptitude d'un équipement à accomplir une **fonction** requise dans des conditions données, **pendant un intervalle de temps donné**
- Maintenabilité (norme AFNOR X 60-500)
 - Aptitude d'un équipement à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits
- Défaillance vs Panne (Norme AFNOR X 60-010)

Les normes autour de la maintenance

▪ Une autre norme : OSA-CBM

- > Open System Architecture for Condition Based Monitoring (ISO 13374)
- > Norme pour organiser les architectures de maintenance
- > Les 1ères étapes sont classiques
- > Particularisation pour la maintenance :
 - Détection
 - Qualification
 - Prédiction
 - Conseil
- > Cette norme est un exemple, il en existe beaucoup d'autres



- > Source: A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches

Les normes autour de la maintenance

Organizations or Countries	Standards No.	Year	Subject
IEEE	IEEE P1856	2017	IEEE Draft standard framework for prognostics and health management of electronic systems
	IEEE 3007.2	2010	IEEE recommended practice for the maintenance of industrial and commercial power systems
	IEEE 1232	2010	Artificial intelligence exchange and service tie to all test environment (AI-ESTATE)
	IEEE 1636	2009	Software interface for maintenance information collection and analysis (SIMICA)
ISO	ISO 13373-2	2016	Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring – Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data
	ISO 13381-1	2015	Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines
	ISO 13372	2012	Condition monitoring and diagnostics of machines – Vocabulary
	ISO 2041	2009	Mechanical vibration, shock and condition monitoring – Vocabulary
	ISO 13374-1	2003	Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 1: General guidelines
	ISO 13373-1	2002	Condition monitoring and diagnostics of machines – Vibration condition monitoring – Part 1: General procedures
IEC	IEC 62890	2016	Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation
	IEC 60706-2	2006	Maintainability of equipment – Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase
	IEC 60812	2006	Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
	IEC 60300-3-14	2004	Dependability management – Part 3-14: Application guide – Maintenance and maintenance support
German	NE 107	2017	NAMUR-recommendation self-monitoring and diagnosis of field devices
	VDI/VDE 2651	2017	Part 1: Plant asset management (PAM) in the process industry – Definition, model, task, benefit
	VDI 2896	2013	Controlling of maintenance within plant management
	VDI 2895	2012	Organization of maintenance – Maintenance as a task of management
	VDI 2893	2006	Selection and formation of indicators for maintenance
	VDI 2885	2003	Standardized data for maintenance planning and determination of maintenance costs – Data and data determination
China	GB/T 22393	2015	Condition monitoring and diagnostics of machines General guidelines
	GB/T 25742.2	2014	Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 2: Data processing
	GB/T 25742.1	2010	Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 1: General guidelines
	GB/T 26221	2010	Condition - based maintenance system architecture
	GB/T 23713.1	2009	Condition monitoring and diagnostics of machines – Prognostics – Part 1: General guidelines

Les grands types de maintenance

- **Maintenance curative/corrective**

- Exemple : ma voiture a un pneu crevé. Je le change.

- **Maintenance préventive**

- Exemple : je change les pneus de ma voiture régulièrement, en estimant qu'ils s'usent au bout d'un certain nombre de kilomètres / je regarde l'usure des pneus et à une certaine valeur je les change

- **Maintenance prédictive**

- Exemple : je regarde l'usure des pneus, je prédis leur usure et je les change quand ils sont bientôt trop usés

- **Maintenance « améliorative » → le rebouclage avec la conception**

- Exemple : ma voiture a des pneus dans un matériau révolutionnaire qui s'use tellement lentement que je n'ai plus besoin de les changer

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance curative/corrective

> Exemple : ma voiture a un pneu crevé. Je le change.

> Quatre étapes :

- Détecter la panne → Cette étape est l'élément déclencheur de la maintenance
- Localiser et diagnostiquer la panne
- Réparer
- Vérifier le bon fonctionnement

> Les difficultés

- Quand planifier la réparation ?
 - ♦ Même une maintenance corrective peut nécessiter des modèles prédictifs
 - ♦ On voit que la maintenance n'est pas un simple problème de détection/réparation, mais une optimisation d'une palette de facteurs
- Comment vérifier le retour à la normal ?
 - ♦ Il est peu probable qu'un équipement réparé soit comme neuf
 - ♦ Il est essentiel de définir les marges d'acceptabilité de l'équipement

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance curative/corrective

> En pratique :

- Procédures toutes prêtes (nous en verrons plus tard dans le cours)
- Réparation à un état acceptable souvent inférieur à l'état neuf

> Sous-catégorie : la maintenance palliative

- On ne trouve pas la cause mais seulement les symptômes
 - ♦ Ex: mon voyant d'huile s'allume régulièrement. Je remets de l'huile tous les jours, sans chercher la fuite.
- Cette catégorie de maintenance est à proscrire dans un cadre professionnel !

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance préventive

- Systématique ou calendaire : je change quand un compteur d'usage atteint une certaine valeur, indépendamment de l'état de l'équipement
- Conditionnelle (CBM condition-based maintenance en anglais) : je change lors d'un événement particulier survient dans l'état de l'équipement
- En termes de sécurité, la maintenance systématique est plus forte : en effet, je n'attends pas d'être capable de détecter un problème pour réparer / changer mon équipement.
- On voit qu'en terme d'impact économique & écologique, elle est bien moins efficace : on répare / jette des équipements qui n'en n'ont pas besoin.

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance préventive

- La maintenance systématique induit des contraintes :
 - Que doit-on changer ? Pour quel coût ?
 - À quelle périodicité ?

- La maintenance conditionnelle :
 - A une meilleure flexibilité sur le planning (on a détecté un problème, donc on a a priori une notion de sa gravité)
 - Les réparations sont moins coûteuses (ex: parebrise)
- La maintenance conditionnelle induit d'autres contraintes :
 - Quels éléments doivent être inspectés ? À quelle fréquence ? Combien coûte l'inspection ?
 - Quels sont les défauts à surveiller ?
 - Est-il possible de regrouper les opérations de maintenance et/ou d'inspection ?

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance préventive

- Remplacement périodique : A chaque maintenance planifiée, le composant est changé.
- Remplacement par âge : le composant est remplacé/réparé lorsqu'il atteint le temps T .
- Remplacement par condition : le composant est remplacé lorsqu'il atteint un indicateur de vie spécifique (ex usure des pneus)
- Les mêmes en adaptatif → on prend en compte la date de dernière maintenance par exemple.

Les grands types de maintenance

▪ Maintenance prédictive (PHM prognostics and health management en anglais)

- Je peux prévenir avant que le défaut ne survienne
- On quitte le binaire « présence / absence » de défaut de la maintenance conditionnelle
- On doit avoir un modèle fiable de l'évolution du défaut
 - Modélisation physique
 - Modélisation statistique
- Elle est utile dans le cas où on peut détecter sans démonter
 - En effet si on doit déjà tout démonter pour inspecter et qu'on voit un problème, le coût sera certainement plus faible de réparer immédiatement plutôt que de tout remonter pour démonter à nouveau plus tard.
- Des exemples :
 - Évolutions de fissures
 - Fluage
 - Analyse d'usure par tribologie (étude de l'huile)

Les grands types de maintenance

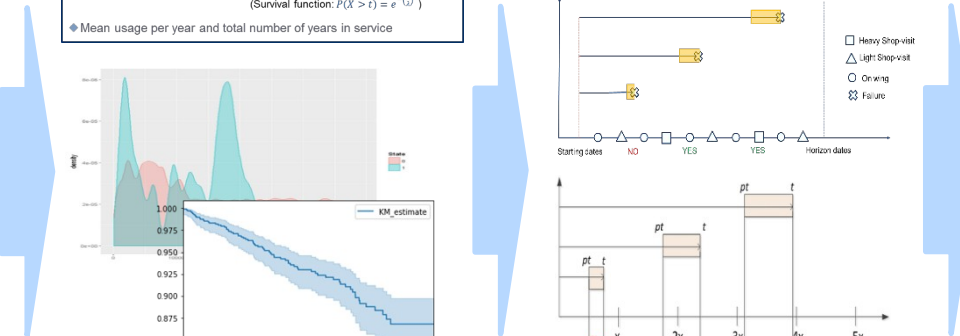
▪ Les niveaux de maintenance

- Dans de nombreux domaines, la maintenance est organisée en « niveaux »
- La seule chose à retenir est que ces niveaux correspondent au degré d'importance de la maintenance, qui coïncide avec l'autonomie du client
- Par exemple:
 - Niveau 1: réparation chez le client, qui se débrouille (vous gonflez vos pneus)
 - Niveau 2: réparation chez le client, mais avec l'aide de quelqu'un (vous appelez le service après-vente de votre lave-linge)
 - Niveau 3 : réparation chez le vendeur
 - Niveau 4 : renvoie chez le constructeur



OPTIMISATION DES STRATÉGIES DE MAINTENANCE

Op



Optimiser sa stratégie de maintenance

▪ Pour quels objectifs ?

- > Les coûts globaux
- > La sécurité des équipements
- > La disponibilité des équipements
- > ...

▪ Et quelles contraintes ?

- > Maîtriser les chaînes d'approvisionnement
- > Minimiser les stocks inutiles
- > Occuper ni trop ni pas assez les ressources disponibles

▪ Il n'existe pas une stratégie meilleure qu'une autre !

- > Ce qui compte pour l'entreprise sera au cœur du choix de la stratégie à adopter

Optimiser sa stratégie de maintenance

▪ De quoi a-t-on besoin pour optimiser sa maintenance ?

- > L'estimation du ou des objectifs
 - Les coûts : a priori le plus facile...
 - La disponibilité
 - La sécurité ? -> calculs interdits !
- > La modélisation des contraintes
 - Délais d'approvisionnement
 - Conditions de travail en atelier
 - Temps de réparations
- > Modélisation des processus
 - Fiabilité des inspections
 - Fiabilité des réparations
- > L'estimation/prédiction de la durée de vie restante
 - Estimation à la maille de toute l'entreprise
 - Estimation à la maille de l'équipement

Optimiser sa stratégie de maintenance : quelques mots sur les coûts

▪ Coûts de la maintenance

- > Inspection (temps + coût de fonctionnement des machines d'inspection)
- > Prévention (logiciel + temps)
- > Prévision (logiciel + temps)
- > Réparation (coût des pièces + temps + coût de fonctionnement des outils)
- > Temps d'immobilisation de la machine

▪ Coûts de la non-maintenance:

- > Surcoût pour suivre les normes de sécurité
- > Surcoût pour suivre les normes d'environnement
- > Perte de productivité (matière et ou temps)
- > Perte d'image (interne & externe)
- > Dommages & intérêts

Optimiser sa stratégie de maintenance : quelques mots sur les coûts

▪ Trois notions :

- > Coût de global de possession ou coût moyen de fonctionnement
- > Coût de maintenance → correspond aux coûts directs
- > Coût de défaillance → correspond aux coûts de non-maintenance

▪ Un outil simple, le Coût Moyen (annuel) de Fonctionnement (CMF)

- > Objectif : minimiser dépenses de maintenance / (qualité & quantité de service rendu)
- > Le CMF permet d'étudier quand et dans quelles conditions on veut réparer ou renouveler un équipement.
- > Ainsi, on peut décomposer ce coût ainsi :

$$CMF(t=n) = (C_0 + C_f + C_M - C_t) / Q$$

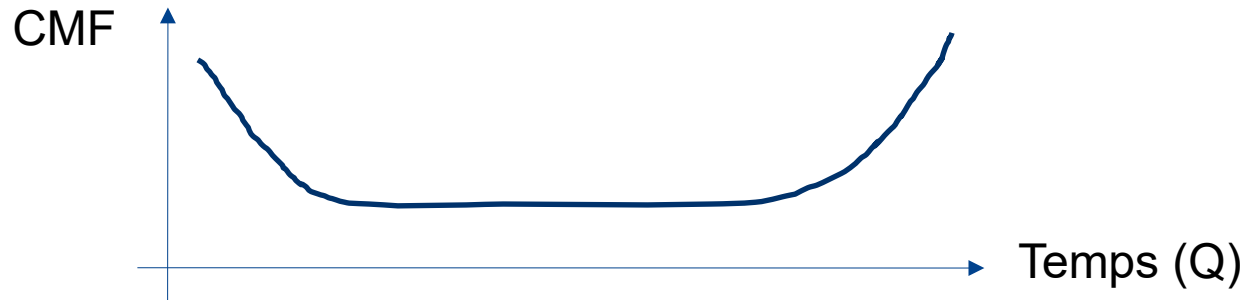
- > Avec C₀ le coût d'achat, C_f le cumul des dépenses de fonctionnement, C_M le cumul des coûts de maintenance, C_t le coût de revente et Q la qualité de service ou quantité de service (par exemple, le nombre de clients satisfait ou bien le nombre d'heures de vol)

Optimiser sa stratégie de maintenance : quelques mots sur les coûts

▪ Quelques calculs simples

▪ Réparer ou remplacer, si j'en ai besoin pour une quantité de service Q ?

- Réparer : $CMF(t) = (C_0^1 + C_f^1 + C_M^1 - C_t^1 + C_R) / Q$ Remplacer : $CMF(t) = (C_0^1 + C_f^1 + C_M^1 - C_t^1 + C_0^2 + C_f^2 + C_M^2) / Q$
- Généralement, le quotient obtenu décroît dans les premières années, puis se stabilise, et enfin, augmente.
 - Début de vie, un équipement a des étapes de rodage / réglages
 - En milieu de vie est maîtrisé, tout comme .
 - Ces 2 coûts augmentent en fin de vie.



Optimiser sa stratégie de maintenance : quelques mots sur la réparation

▪ Peut-on modéliser la réparation ?

> Deux bornes :

- As good as new : on considère que l'équipement est neuf après réparation
- As bas as old : on considère que l'équipement est identique à ce qu'il était avant de tomber en panne

> La réalité est bien entendu entre les deux

- Des maintenances consistent à remplacer un sous-système : plus on remplace, plus on s'approche du 1^{er} cas (ex: batterie)
- D'autres maintenances consistent à réparer un sous-système et le réinsérer (ex: usinage de pale)

> Généralement, des études spécifiques sont menées pour comprendre à quel point un processus de réparation se rapproche du premier cas. On va donc étudier les durées de vie jusqu'à première maintenance, puis les durées de vie post-maintenance.

Stratégie de maintenance : quelques mots sur l'optimisation en elle-même

- **Hors périmètre de ce cours, les méthodes d'optimisation**

- Brute-force / greedy (grid search / hypercubes latin / successive halving / etc...)
- Méta-heuristiques (algo-génétiques / méthodes de Recherche Opérationnelles / ...)
- On-line learning (bandits algorithms / reinforcement learning...)

- **L'optimisation peut essayer d'entrer dans les solutions des phénomènes tels que :**

- La co-réparation de certains systèmes
- L'incertitude des différentes modélisations
- Il est à noter que même une fois le critère choisi, si le modèle est probabiliste, on peut chercher à regarder les quantiles / le pire cas / ... plutôt que la moyenne (notion de risque)
- Le plus souvent il s'agit de formaliser le problème pour tenter d'utiliser des solveurs existants

Stratégie de maintenance : pour aller plus loin

- Et la maintenance « améliorative » alors ?

- On entre sur le terrain de l'analyse causale



NYT Health @NYTHealth · 1d

Want to live longer? Try going to the opera. Researchers in Britain have found that people who reported going to a museum or concert even once a year lived longer than those who didn't. nyt...

Stratégie de maintenance : pour aller plus loin

- Et la maintenance « améliorative » alors ?

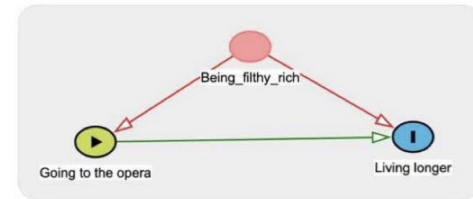
- On entre sur le terrain de l'**analyse causale**
- On doit quitter la corrélation et trouver de réels liens causaux



Andrew Heiss, PhD
@andrewheiss



ooh ooh i can draw the dag for this one!



NYT Health @NYTHealth · 1d

Want to live longer? Try going to the opera. Researchers in Britain have found that people who reported going to a museum or concert even once a year lived longer than those who didn't. nyt...

Stratégie de maintenance : pour aller plus loin

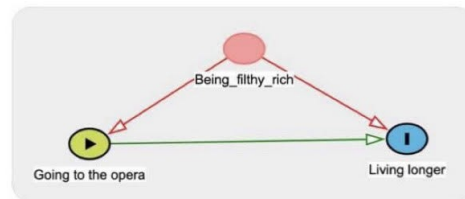
▪ Et la maintenance « améliorative » alors ?

- On entre sur le terrain de l'**analyse causale**
- On doit quitter la corrélation et trouver de réels liens causaux
- Ceci aussi est hors périmètre du cours, mais voici quelques mots:
 - Granger Causality : lié aux séries temporelles :
 - ♦ La série A permet-elle d'améliorer la prédiction de la Série B ?
 - ♦ Causalité au sens de Granger — Wikipédia (wikipedia.org)
 - Causalité selon Pearl
 - ♦ « Do » operator
 - ♦ Pearl, J. (2009) Causal Analysis in Theory and Practice



Andrew Heiss, PhD
@andrewheiss

ooh ooh i can draw the dag for this one!



NYT Health @NYTHealth · 1d

Want to live longer? Try going to the opera. Researchers in Britain have found that people who reported going to a museum or concert even once a year lived longer than those who didn't. nyt...



CONCLUSIONS

Conclusions

▪ La maintenance

- > Des enjeux forts pour des secteurs variés
- > Un domaine structuré
- > Des coûts à équilibrer, des stratégies à optimiser

▪ La semaine prochaine

- > Analyse statistique & lois de vieillissement : comment modéliser la probabilité de survie ?
- > Attention soyez à l'heure les premières minutes sont importantes et le cours est plus mathématique

▪ Le TP

- > Modéliser des systèmes & leurs processus associés
- > Optimiser la maintenance de ces systèmes