




## Impact de l'évolution technique de la maintenance intelligente

Prof. Pierre Dehombreux  
Service de génie mécanique  
[pierre.dehombreux@umons.ac.be](mailto:pierre.dehombreux@umons.ac.be)








## Impact de l'évolution technique de la maintenance intelligente

- Pourquoi s'intéresser à l'évolution de la maintenance dans un contexte "contracting"?
  - « Externaliser ce qui est non compétitif et non stratégique »
  - Actions à haute technicité :
    - Compétences et qualifications des opérateurs
    - Outillage spécialisé
    - Disponibilité de pièces de rechange non standardisées
- Évolution technique de la maintenance
  - Environnement de l'activité industrielle : compétition et stratégie globales
  - Domaines technologiques de plus en plus spécialisés
    - Formations et certifications
    - Intégration des technologies dans les équipements, produits et services

Université de Mons    Faculté Polytechnique de Mons – Prof. Pierre Dehombreux    2

## Vision prospective de la maintenance

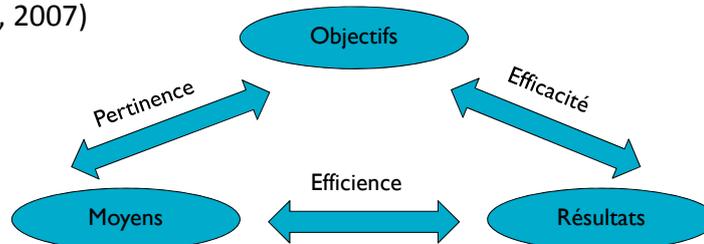
- Évolution de la maintenance
- Définition de la maintenance intelligente
- Quelques évolutions significatives
- Conclusions: évaluation des conséquences

## Une définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. (AFNOR, 2001)

La performance devient l'obsession du XXI<sup>e</sup> siècle.

La maintenance a pour objectif d'assurer la performance d'un système de production, en respectant le coût et le délai prévus. (Mechin, 2007)



Source: O. Sénéchal, Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, Thèse d'habilitation, 2004

## Performance et maintenance intelligente: mode ou (r)évolution?



Voiture intelligente  
(Nissan)



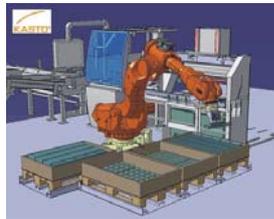
Maison intelligente  
(Tron)



Implants médicaux  
intelligents  
(Intmedimplants)



Tickets de caisse  
intelligents  
(TicketMarketing)



Systèmes de production  
intelligents

Perception  
Analyse  
Adaptation

## Une brève histoire de la maintenance

### Avant 1950

Manufacture  
Correctif

Mal nécessaire  
Intervention

### 1950 - 1975

Mécanisation  
Préventif  
systématique  
Longévité,  
disponibilité,  
coûts

GMAO  
Service technique  
Opération

### 1975 - 2000

Automatisation  
Préventif  
conditionnel  
Sûreté de  
fonctionnement

Surveillance et  
diagnostic  
Optimisation  
maintenance

RCM, TPM,  $6\sigma$ ,  
**humain**  
ERP, TIC  
Valeur ajoutée  
Tactique et  
stratégie

### Après 2000 -

Globalisation  
Prévisionnelle

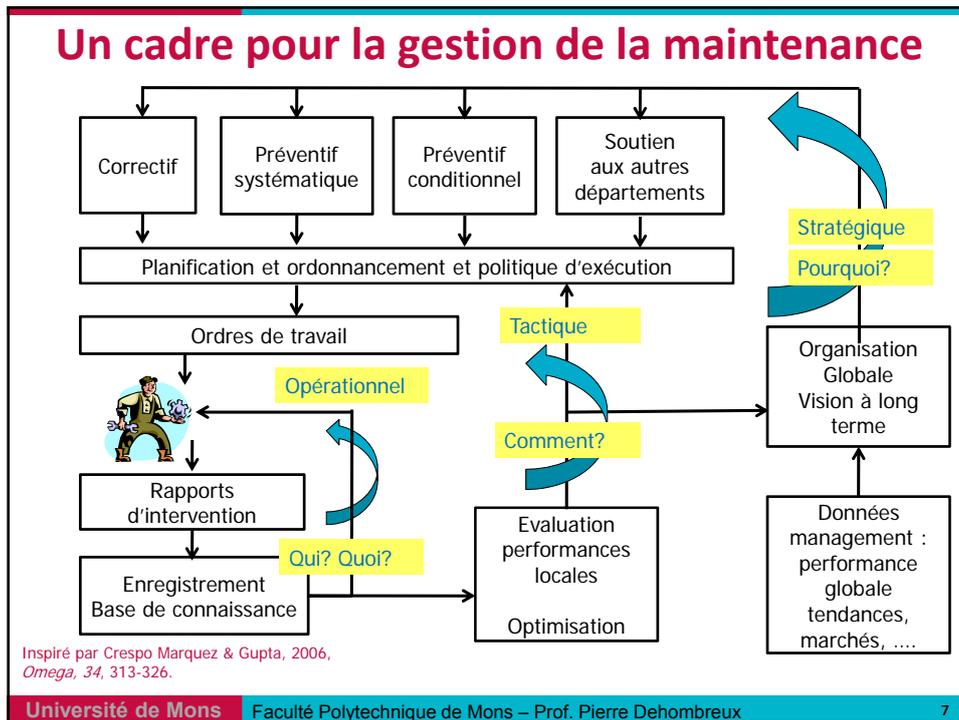
Pronostic

Performance  
globale

e-business

MMIS  
Partenariat  
Stratégie globale

Adapté de G. Wayenbergh, L. Pintelon, 2002, *International Journal of Production Economics*, 77, 299-313.



## Une définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente : l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Première spécificité: globalisation
- Le champ d'investigation ne se limite plus à l'objet technique
  - Contexte socio-économique
  - Intégration des clients et partenaires:
    - coordination
    - coopération
    - négociation

8

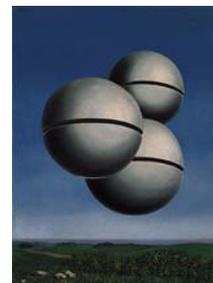
## Une définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente : l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Deuxième spécificité: exploitation de toutes les données (*big data*)
- relatives au bien à maintenir
  - collation données exploitation / maintenance
  - surveillance / diagnostic / pronostic
- relatives à son environnement
  - découplage maintenance / production
  - aspects économiques



## Une définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente : l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Troisième spécificité: transformation des données en informations utiles à la prise de décision
  - Intelligent Data Analysis – Data Mining
  - Gestion des incertitudes et erreurs
  - Outils d'aide à la décision multicritère



## Une définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente : l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Quatrième spécificité: information : « tout » « partout » « tout de suite »
  - communication entre sites, partenaires, clients distants
  - partage d'informations et de ressources
  - intégration de capteurs aux systèmes techniques
  - assistance multimédia aux opérateurs
  - transformation des données en informations utiles à la prise de décision



## Une définition de la maintenance intelligente

- La maintenance intelligente : l'ensemble des technologies, compétences et méthodes permettant de décider de la meilleure stratégie de maintenance à partir de l'analyse de l'ensemble des données relatives au bien et à son environnement.
- Cinquième spécificité: apport méthodologique progressif et continu
  - pas de remise en cause des apports précédents, plutôt comme une consolidation technologique (phase de maturité)
  - La maintenance reste une affaire d'hommes et de femmes!



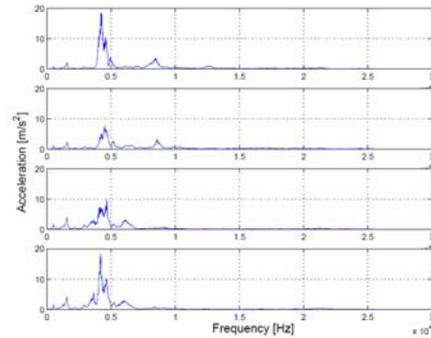
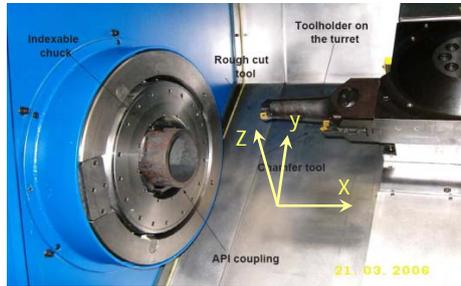
## Un cadre technologique

- Évolution de la maintenance
- Définition de la maintenance intelligente
- Quelques évolutions significatives
- Conclusions: évaluation des conséquences

## Un cadre technologique

- Maintenance prévisionnelle d'outils de coupe basée sur l'analyse vibratoire
- Maintenance prévisionnelle basée sur un modèle de dégradation adaptatif
- Globalisation qualité / fiabilité

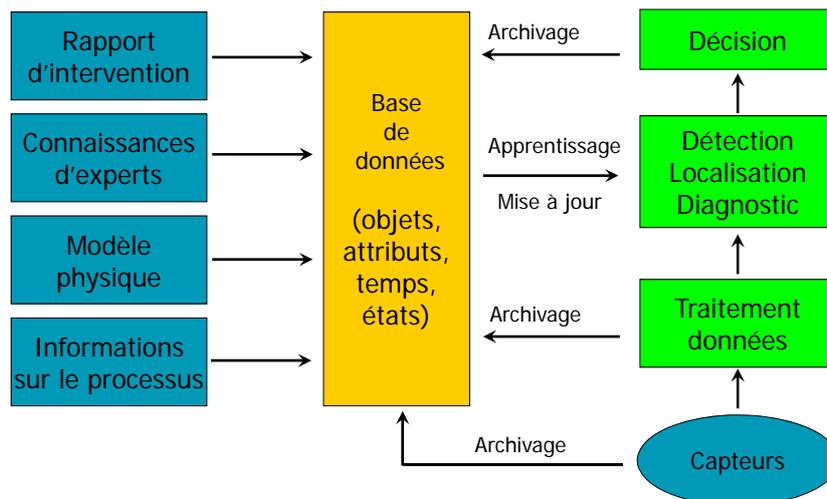
## Estimation de l'usure d'outils de coupe



- Filtrage
- Sous-échantillonnage
- Analyse spectrale singulière pseudo-locale + reconstruction
- Filtrage passe bande

15

## Méthodes de diagnostic



## Estimation de l'usure d'outils de coupe

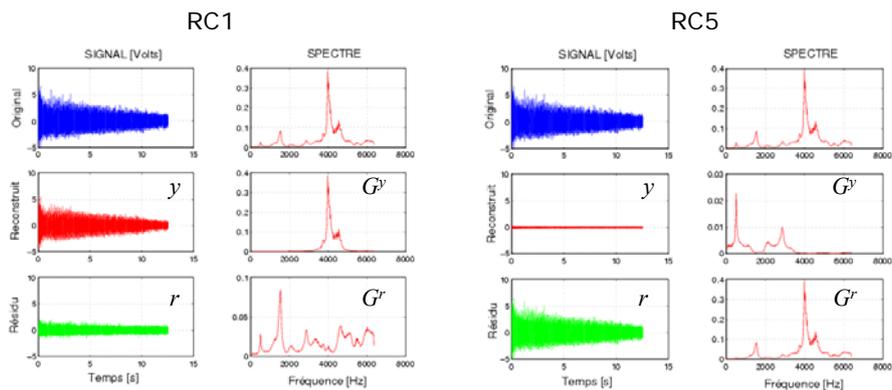
Etat particulier	Symbole	Effectif
Plaquette neuve	N	22
Faible usure	U1	7
Usure modérée ou avancée	U2	6
Bourrage copeau	BC	4
Passage à vide	V	4

□ Base de données de faible taille

- Sélection des caractéristiques
- RC1 4000-6000 Hz;
  - RC3 2000-4000 Hz;
  - RC5 4000-6000 Hz;
  - Avance  $A$

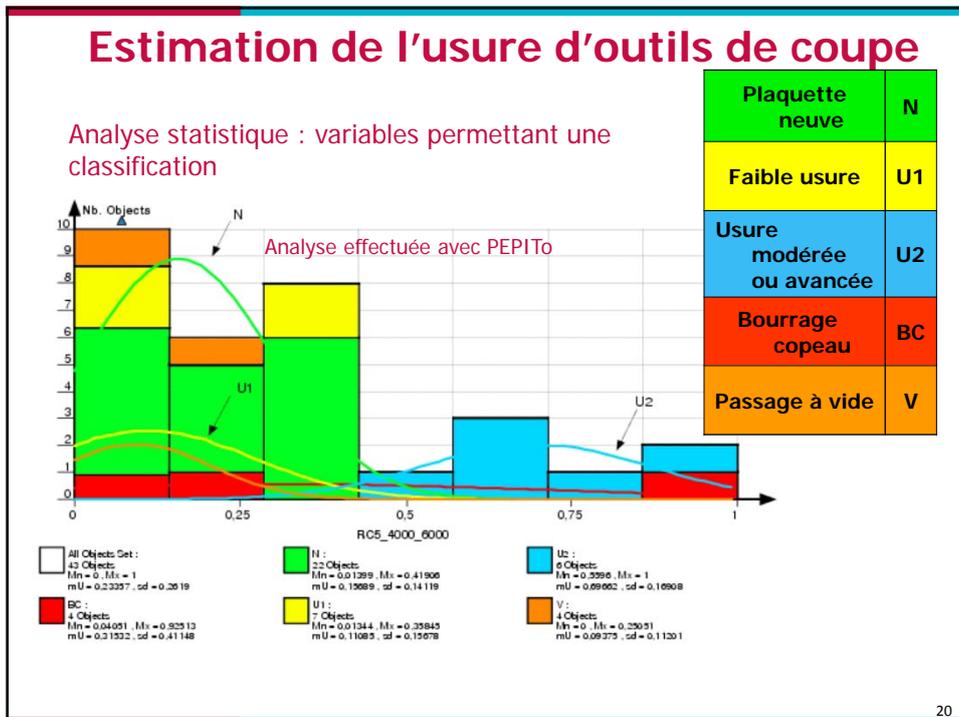
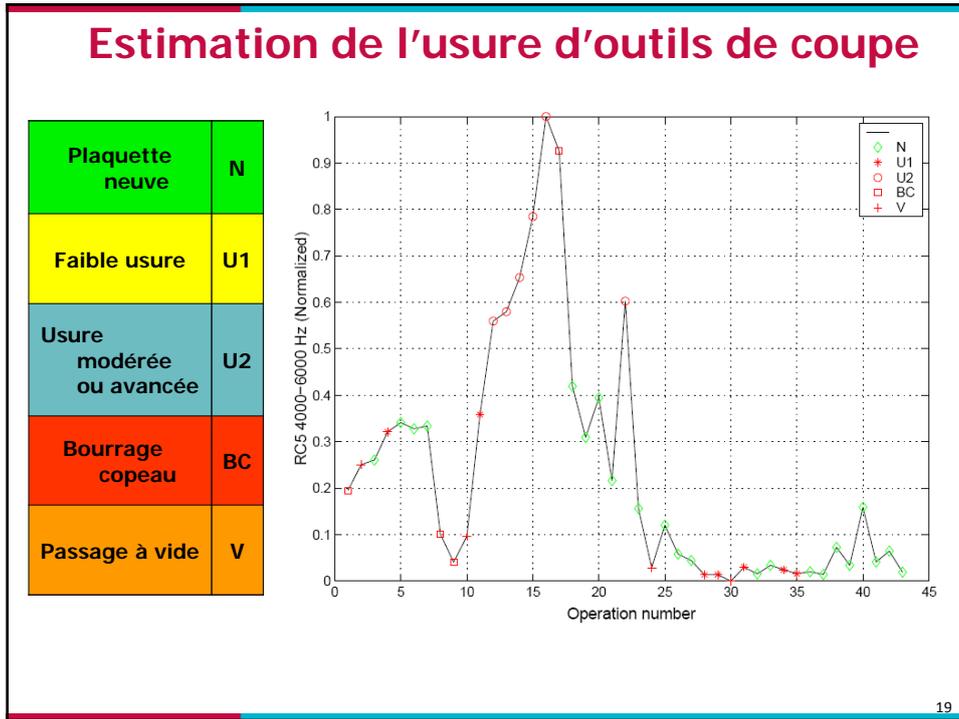
17

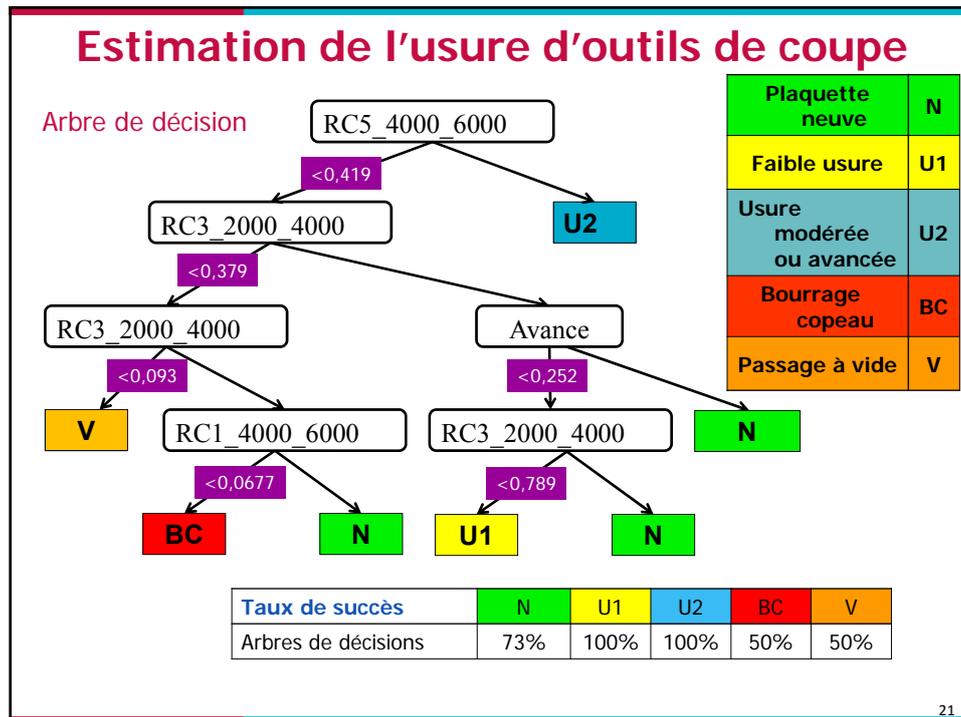
## Estimation de l'usure d'outils de coupe



$$v = B \frac{\sum_k G_k^r}{\sum_k G_k^y} \quad B = \frac{1}{A.V} \quad \begin{array}{l} A = \text{avance} \\ V = \text{vitesse coupe} \end{array}$$

18

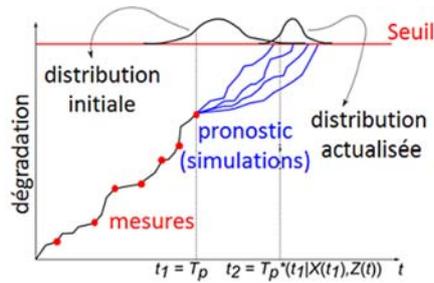
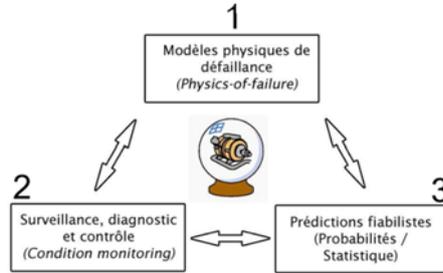




## Un cadre technologique

- Maintenance prévisionnelle d'outils de coupe basée sur l'analyse vibratoire
- Maintenance prévisionnelle basée sur un modèle de dégradation adaptatif
- Globalisation qualité / fiabilité

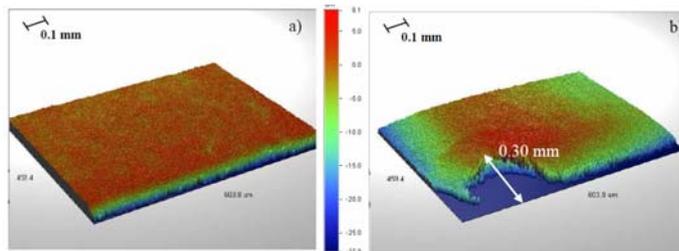
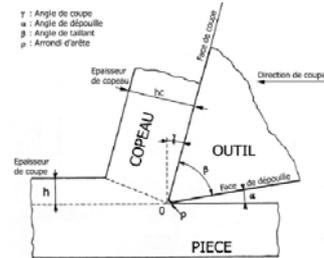
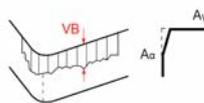
# Maintenance prévisionnelle



# Case studies

1. Wear of machining pads (collaboration with INSA Val de Loire France)

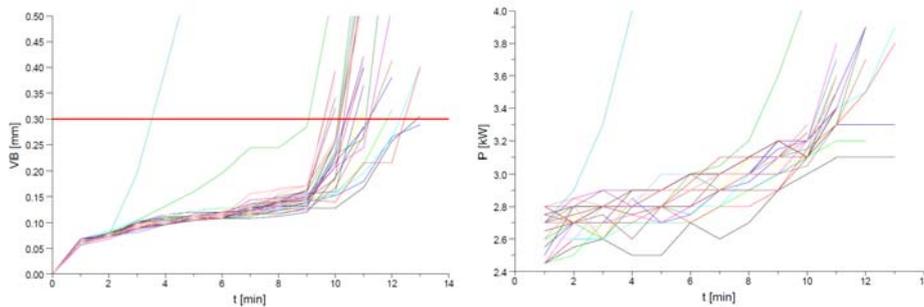
- Flank wear criterion  $VB = 0,3 \text{ mm}$



## Case studies

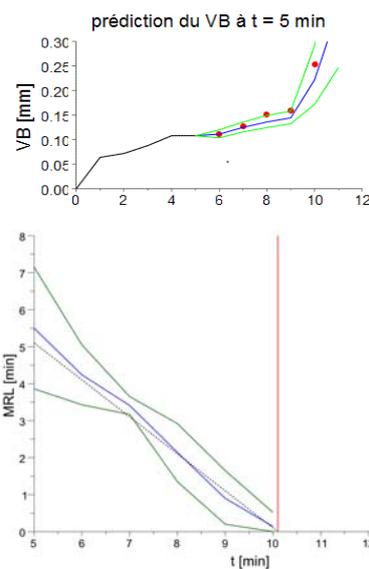
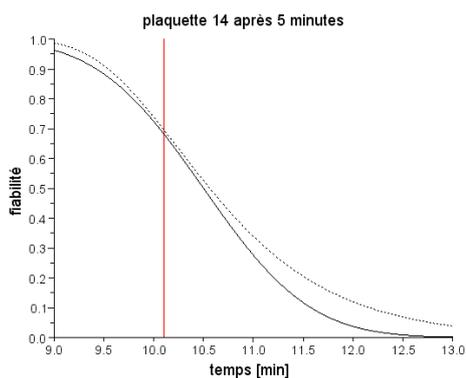
### 1. Wear of machining pads (collaboration with INSA Val de Loire France)

- 30 pads with the same cutting parameters
- Evolution of flank wear and active power for each minute of machining



## Case studies

### 1. Wear of machining pads

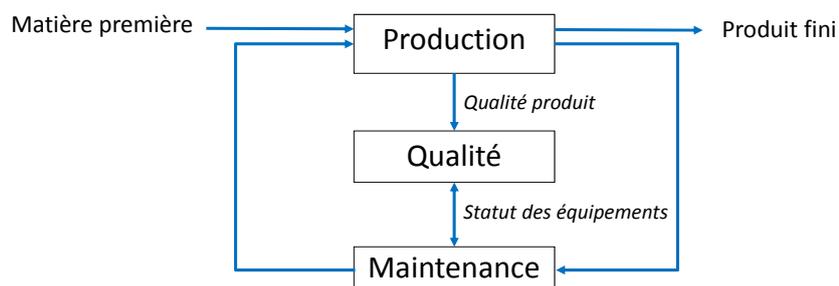


C. LETOT, R. SERRA et P. DEHOMBREUX, *Fiabilité actualisée de plaquettes d'usinage afin d'estimer leur durée de vie à partir de données de dégradation*, Actes du 18<sup>ème</sup> Congrès  $\mu$ , Tours (France), 2012.

## Un cadre technologique

- Maintenance prévisionnelle d'outils de coupe basée sur l'analyse vibratoire
- Maintenance prévisionnelle basée sur un modèle de dégradation adaptatif
- Globalisation qualité / fiabilité

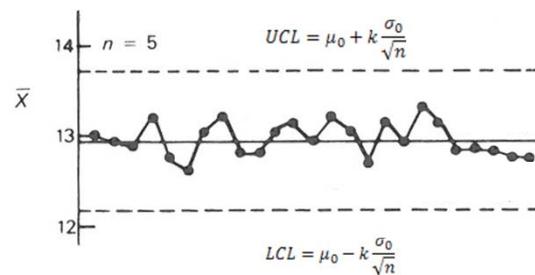
## Maintenance basée sur la qualité



- Objectifs :
  - Optimiser de manière conjointe les stratégies de maintenance et de contrôle qualité

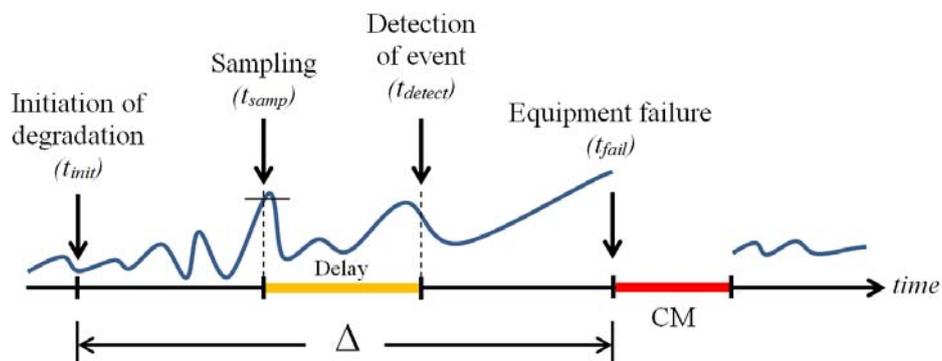
## Contrôle qualité

- Echantillon de  $n$  produits finis toutes les  $d$  heures
- Utilisation des cartes de contrôle  $\bar{x}$ 
  - Surveillance du paramètres qualité
  - Information :
    - Moyenne
    - Limites de contrôle

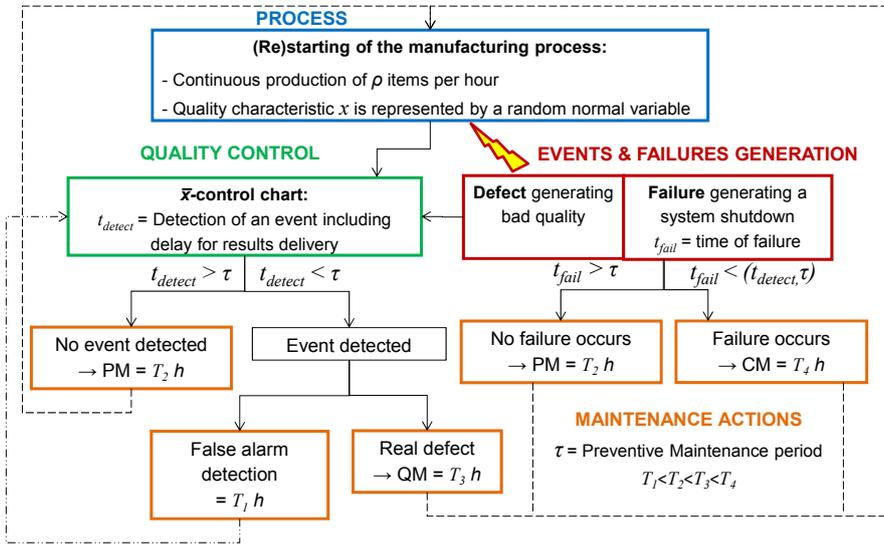


## Impact du délai

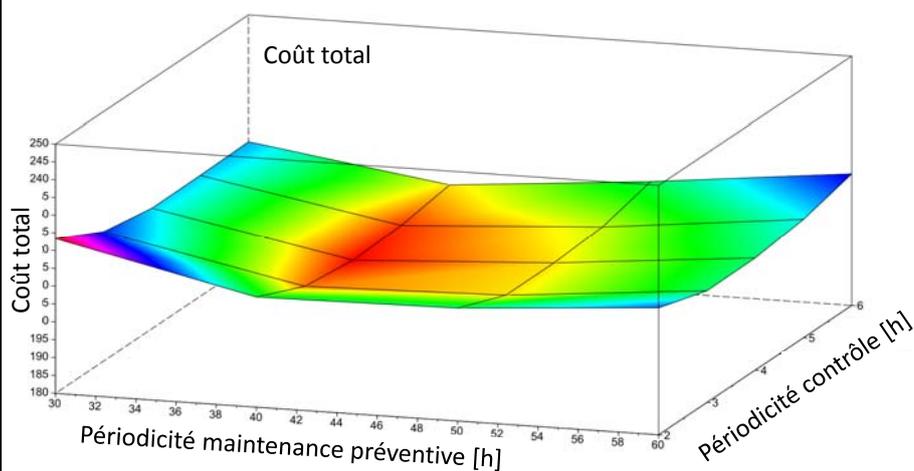
- Intégration du délai d'obtention des résultats des tests qualité



## Logique de simulation



## Etude de cas numérique



- Coût minimum pour  $\tau = 40$  h et  $d = 4$  h

## Un cadre technologique

- Maintenance prévisionnelle d'outils de coupe basée sur l'analyse vibratoire
- Maintenance prévisionnelle basée sur un modèle de dégradation adaptatif
- Globalisation qualité / fiabilité

## Axes de progrès

- Modélisation des dégradations
  - Modes de dégradation simples et combinés
  - *Physic of failure*
- Conception d'unités de production
  - Ingénierie des besoins – Définition des performances attendues
  - Implantation du système de production (flexible, agile, autonome, coopératif, distribué, ...) – intégration de systèmes complexes
- Collecte de données
  - Capteurs
  - Mesures opérationnelles
- Centralisation des données
  - Bases de données
  - Gestion des connaissances

## Axes de progrès

- Transmission des données
  - Télécommunications – réseaux sécurisés
  - Multimedia – interfaces homme-machine
- Analyse des données
  - Traitement du signal
  - Validation des données, fusion de données, *data mining*
  - Fiabilité statistique
  - *Health management*: détection, diagnostic, pronostic
- Décisions et actions
  - Contrôle des processus
  - Recherche opérationnelle
  - Aide à la décision – intégration du risque et des incertitudes
  - Stratégies de maintenance
  - Valorisation des acteurs humains dans un projet d'entreprise

## Conclusions

- Pourquoi s'intéresser à l'évolution de la maintenance dans un contexte "contracting"?
  - Externaliser ce qui est non compétitif et non stratégique :
    - En maintenance, la frontière n'est pas si claire car la maintenance est le levier de notre performance industrielle
    - Et la performance est globale...
  - Actions de maintenance à haute technicité :
    - Diversité des compétences et qualifications des opérateurs
- Équilibre à trouver entre stratégie globale et actions locales

## Questions - Réponses

