Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Sûreté de fonctionnement — TD 4

Maher Mallem[1]

[1]SUPMICROTECH, FEMTO-ST, 25000 Besançon, France

27 octobre 2026

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Retours sur le déroulement du TD 3

Avis ?

- Activité de groupe (frise chronologique).
  - *Organisation*
    (groupes de 4-5, 1h en autonomie, livres à disposition).
  - *Restitution*
    (format libre, passages l'un après l'autre, vote).
  - **La concision est la clé du succès.**
- Études de cas.
  - *Contenu*
    (exemples choisis, nombre).
  - *Format*
    (jeu de rapidité, points remis en jeu).

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

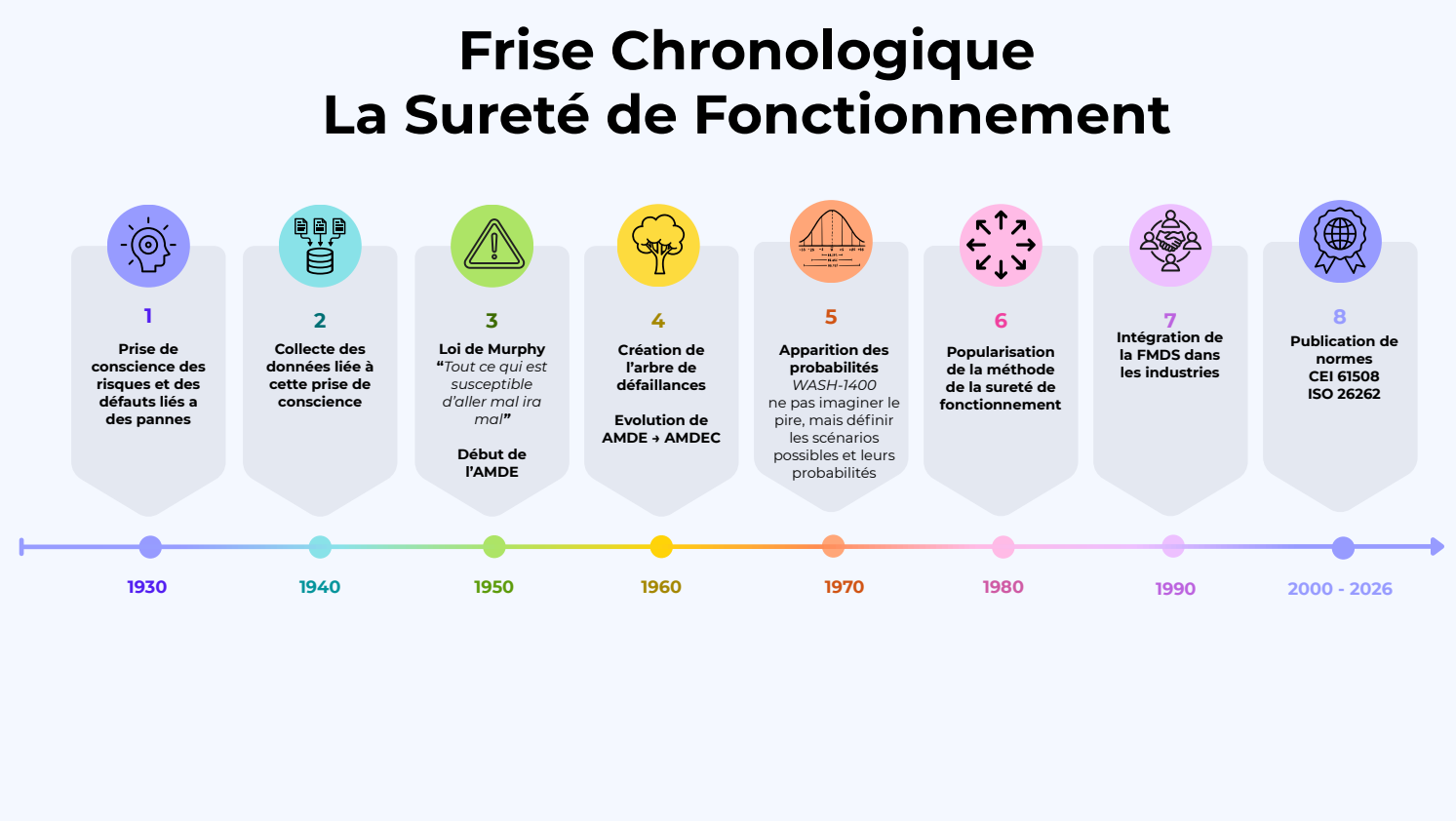
Plan du module (60h)

1. **Introduction à la sûreté de fonctionnement (historique, problématiques et terminologie générale)**
   Début octobre : TD 1-3, 10h (01/10, 2h — 02/10, 4h — 09/10, 4h).
2. **Données et mesures de la sûreté de fonctionnement**
   Fin octobre à début novembre : TD 4-6, 10h (27/10, 4h — 28/10, 4h — 04/11, 2h).
3. **Principaux outils de la sûreté de fonctionnement (AMDEC, diagramme de fiabilité, arbre de défaillance)**
   Fin novembre à mi-décembre : TD 7-11, 20h (25-26/11, 4h — 01/12, 4h — 07/12, 4h — 08/12, 4h — 11/12, 4h).
4. **Concepts avancés (graphe de Markov, diagramme de décision binaire, jumeau numérique)**
   Début janvier : TD 12-16, 20h (04/01, 4h — 05/01, 4h — 07/01, 4h — 08/01, 4h — 12/01, 4h).

- Mi-janvier : Contrôle de connaissances, 2h (15/01).

Liens avec la frise chronologique

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References



- Bloc 2 : points 2 et 5.
- Bloc 3 : points 3-4 et 6-7.
- Bloc 4 : période du point 8.

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Plan du deuxième bloc

Données et mesures de la sûreté de fonctionnement

- 27/10, 10h-12h, 14h-16h (4h). **Déclinaisons de la notion de défaillance ; grandeurs dépendantes du temps**
- 28/10, 14h-18h (4h). **Grandeurs indépendantes du temps ; estimation des paramètres**
- 04/11, 14h-16h (2h). **Évaluation (QCM) et mini-synthèse**

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Plan

1 Introduction
- Point sur le TD 3
- Plan de route

2 Déclinaisons de la notion de défaillance
- Terminologie
- Rappels de probabilité

3 Grandeurs dépendantes du temps
- Définitions
- Lois de probabilités usuelles

4 Conclusion

5 References

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Rappels

Sûreté de fonctionnement = science des **défaillances**.

- Prévention ; tolérance ; élimination ; prévision.

Définition: Défaillance[2]

Déviation du **service** délivré dans l'accomplissement de la **fonction** du **système**.

Définition: Erreur[2]

Partie de l'**état du système** qui est **susceptible** d'entraîner une défaillance.

Définition: Faute[2]

Cause adjugée ou supposée d'une erreur.

- Faute(s) $\Longrightarrow$ erreur(s) $\Longrightarrow$ défaillance.

[2] [Lap95]

Autres notions clés (1/2)

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

- Prévention :
  - identification des **risques**,
  - **détection** des fautes / erreurs,
  - suivi de la **dégradation** — ou usure — du système (par définition *irréversible*).
- Tolérance :
  - fonctionnement malgré la présence d'erreurs — e.g., grâce à des marges ou de la **redondance**.

[2] [Lap95]

Autres notions clés (2/2)

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Définition : Panne[1]

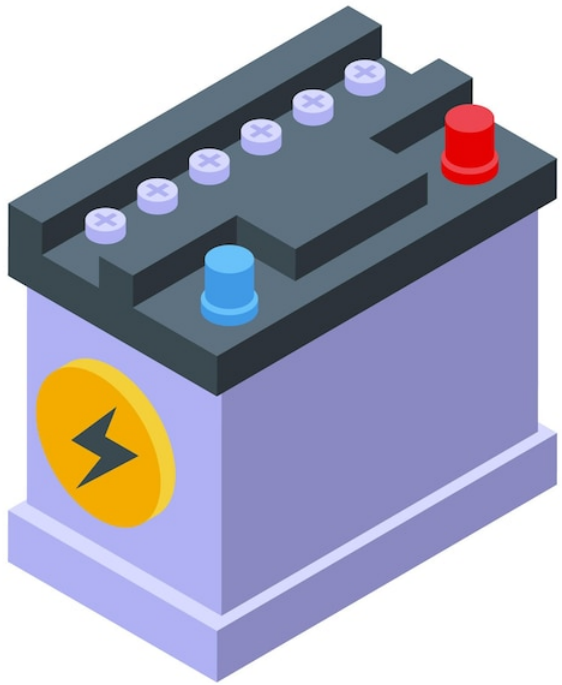
Inaptitude d'une entité à accomplir une fonction requise.

- Élimination :
  - **diagnostic** (i.e., analyse après-coup des erreurs et de leurs conséquences),
  - **reprise** à un état antérieur au moyen de points de reprise (*checkpoints*),
  - **poursuite** vers un état fonctionnel,
  - **compensation d'erreur**.
- Prévision :
  - modélisation via probabilités.

[1] [VCD88]
[2] [Lap95]

Exemple: batterie de véhicule électrique

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References



Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Mini-activité 1 : lancer de pièce

Objectif

- Proposer un protocole pour piper le résultat d'un lancer de pièce équilibrée (i.e., qu'elle tombe plus souvent sur pile que sur face).

Organisation

- Seul ou en groupe, au choix.
- 20 min de préparation.
- A la fin : restitution (nom et démo live) et vote pour le plus convaincant (pas de vote sur soi-même).

Enjeu

- Aucun.

Mini-activité 2 : à prendre ou à laisser ?

Contexte

- Un présentateur, un candidat.
- Trois boîtes, un prix derrière l'une d'elles.
- Le présentateur connaît le contenu des boîtes, et pas le candidat.

Principe

1. Le candidat choisit une boîte.
2. Le présentateur ouvre une des deux autres boîtes, ne contenant pas le prix.

Question: vaut-il mieux garder sa boîte ou changer ?

Mini-activité 2 : à prendre ou à laisser ?

Contexte

- Un présentateur, un candidat.
- Trois boîtes, un prix derrière l'une d'elles.
- Le présentateur connaît le contenu des boîtes, et pas le candidat.

Principe

1. Le candidat choisit une boîte.
2. Le présentateur ouvre une des deux autres boîtes, ne contenant pas le prix.

Question: vaut-il mieux garder sa boîte ou changer ?

- Pour plus d'infos : cf. "problème de Monty Hall".

Rappel

Définition: Probabilité conditionnelle

Soient A et B deux événements d'une variable aléatoire X.

$$\mathbb{P}(A\,|B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}$$

Plan

1 Introduction
- Point sur le TD 3
- Plan de route

2 Déclinaisons de la notion de défaillance
- Terminologie
- Rappels de probabilité

3 Grandeurs dépendantes du temps
- Définitions
- Lois de probabilités usuelles

4 Conclusion

5 References

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Rappels

Soit T une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{R}$.

Définition: Fonction de répartition

$$F(t) = \mathbb{P}(T \leq t)$$

Définition: Densité

$$f(t) = F'(t)$$

Exemple : loi normale

Définition: loi normale

$$\forall t \in \mathbb{R}, f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^{t} f(t)dt$$

avec μ l'espérance et σ l'écart-type.

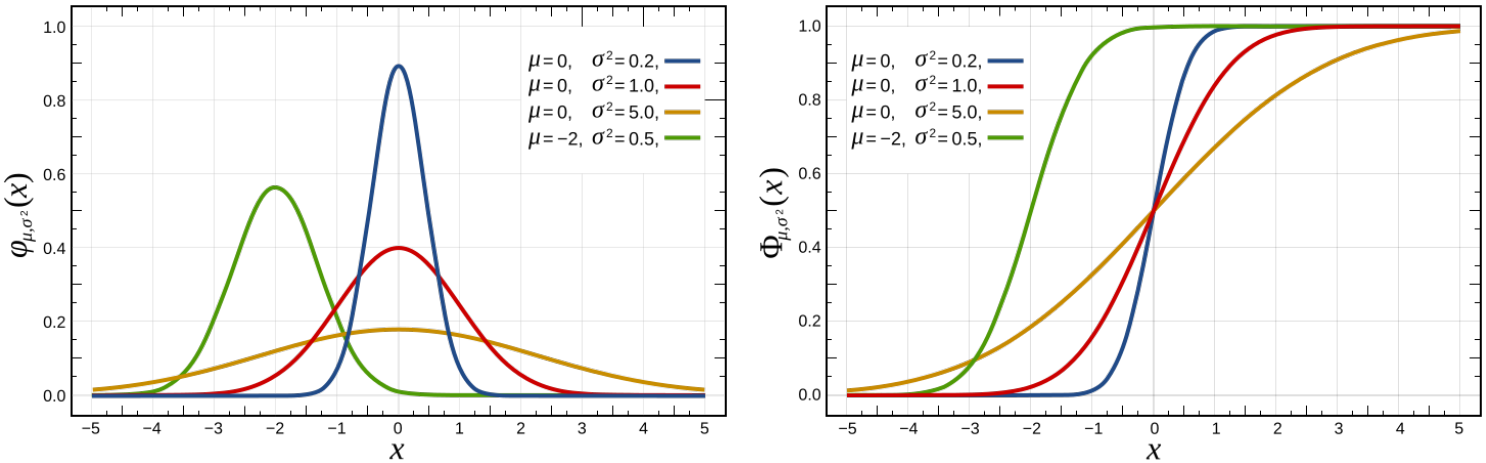


Figure: Fonctions de densité (gauche) et de répartition (droite) de la loi normale.

[1] Source : Wikipédia.

Grandeurs de la sûreté de fonctionnement

Soit T une variable aléatoire à valeurs dans $\mathbb{R}^+$ représentant la **durée de fonctionnement** du système avant sa première défaillance.
On suppose que T une loi de fonction de répartition F.

Définition: fiabilité

$$\forall t \geq 0, R(t) = \mathbb{P}(\text{système toujours en fonctionnement au temps t})$$
$$= 1 - F(t).$$

Densité de défaillance :

$$U(t) = F'(t) = -R'(t).$$

Définition: taux de défaillance (instantané)

$$\forall t \geq 0, h(t) = \mathbb{P}(\text{système défaillant entre } t \text{ et } \Delta t \mid \text{fonctionnel au temps } t)$$
$$= \lim_{\Delta t \to 0} \frac{1}{\Delta t} \mathbb{P}(t < T \leq t + \Delta t | T > t)$$
$$= \frac{U(t)}{R(t)}.$$

Exemple de taux de défaillance

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

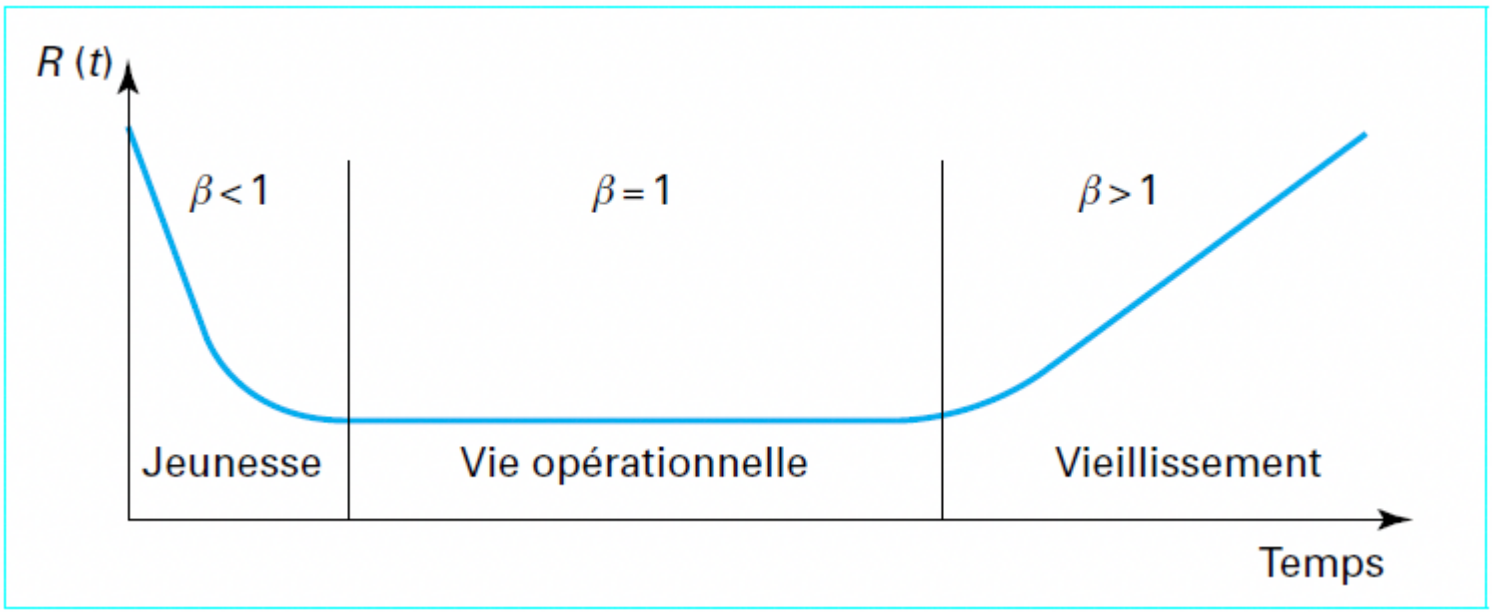


Figure: Courbe typique du taux de défaillance dans le temps.

[1] Source : cours de 2024 de Zeina Al Masry.

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Activité

Objectif

- Passer en revue les lois de probabilité usuelles en sûreté de fonctionnement.

Organisation

- En groupe, deux étapes.
- Étape 1 : focus sur une loi de probabilité.
- Étape 2 : mutualisation des travaux.

Enjeu

- Fiches de synthèse en vue des évaluations.

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Étape 1

Objectif

- Etudier une loi de probabilité parmi les suivantes : normale, exponentielle, log-normale, de Weibull, binomiale.
- Informations :
  - définitions (formulations, paramètres, graphiques),
  - intérêt théorique (i.e., cas typique d'utilisation, impact des paramètres),
  - un exemple concret où elle s'applique.
- Format libre (e.g., 1 page PDF en document texte ou en slide).

Organisation

- Groupes de 2-3 personnes.
- 30 min de préparation.
- A la fin : restitution (rendu via email) et discussions.

Étape 2

Objectif

- Mutualiser les informations de l'étape 1 sous forme synthétique.
- Format libre (e.g., 1 page PDF en document texte ou en slide).

Organisation

- Groupes de 4-7 personnes (deux à trois groupes de l'étape 1).
- 30 min de préparation.
- A la fin : restitution (rendu via email) et discussions.

Plan

1 Introduction
- Point sur le TD 3
- Plan de route

2 Déclinaisons de la notion de défaillance
- Terminologie
- Rappels de probabilité

3 Grandeurs dépendantes du temps
- Définitions
- Lois de probabilités usuelles

4 Conclusion

5 References

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References

Conclusion

- **Ressources**
  - https://mahermallem.github.io/teaching/26-27/SF
- **Contact**
  - Bureau : 0 62 36
    (couloir RDC du département AS2M, avant-dernier bureau sur la gauche)
  - Courriel : maher.mallem@supmicrotech.fr
- **Prochaine séance (28/10, 14h-18h) :** Grandeurs indépendantes du temps ; estimation des paramètres.

Plan

1. Introduction
   - Point sur le TD 3
   - Plan de route
2. Déclinaisons de la notion de défaillance
   - Terminologie
   - Rappels de probabilité
3. Grandeurs dépendantes du temps
   - Définitions
   - Lois de probabilités usuelles
4. Conclusion
5. References

Introduction
Point sur le TD 3
Plan de route
Déclinaisons de la notion de défaillance
Terminologie
Rappels de probabilité
Grandeurs dépendantes du temps
Définitions
Lois de probabilités usuelles
Conclusion
References



Jean-Claude Laprie.
Guide de la sûreté de fonctionnement.
Cépaduès-Editions, Toulouse, 1995.



Alain Villemeur, Paul Caseau, and Arnould D'Harcourt.
Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation.
Collection de la Direction des études et recherches d'Electricité de France. Eyrolles, Paris, 1988.