



Institut pour la **Maîtrise des Risques**  
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques



# Méthode d'évaluation de la fiabilité du véhicule autonome

Paula Lakomicki, Renault / UTT et ISTIA

Bruno Castanier, ISTIA LARIS

Antoine Grall, UTT ICD LM2S

Yves Tourbier, Renault



## Plan de la présentation

1. Problématique industrielle et définition de la fiabilité
2. Problème scientifique et méthode de résolution de la problématique
3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres
4. Construction d'un cas test pour évaluer la performance et premiers résultats
5. Conclusion

# 1. Problématique industrielle et définition de la fiabilité du système de perception et de décision

- **Objectif:** Contribuer à l'optimisation des plans de validation pour estimer la fiabilité du véhicule autonome à moindre coût
- **Fiabilité du véhicule autonome:**
  - Probabilité du système à conduire sans danger pendant une heure, quelque soit le parcours, dans son domaine de fonctionnement
  - Une défaillance : incompréhension ou une mauvaise interprétation du scénario rencontré qui amène à une mise en danger des acteurs du système routier

# 1. Problématique industrielle et définition de la fiabilité du système de perception et de décision

- **Accélération des roulages difficile**

<b>Environnement du véhicule</b>	<b>Système innovant :</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• fortement variable</li><li>• en grande dimension</li><li>• Partiellement connu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mauvaise prédiction du comportement véhicule</li><li>• Evénements menant à la défaillance inconnus</li><li>• Aucun retour d'expérience</li></ul>

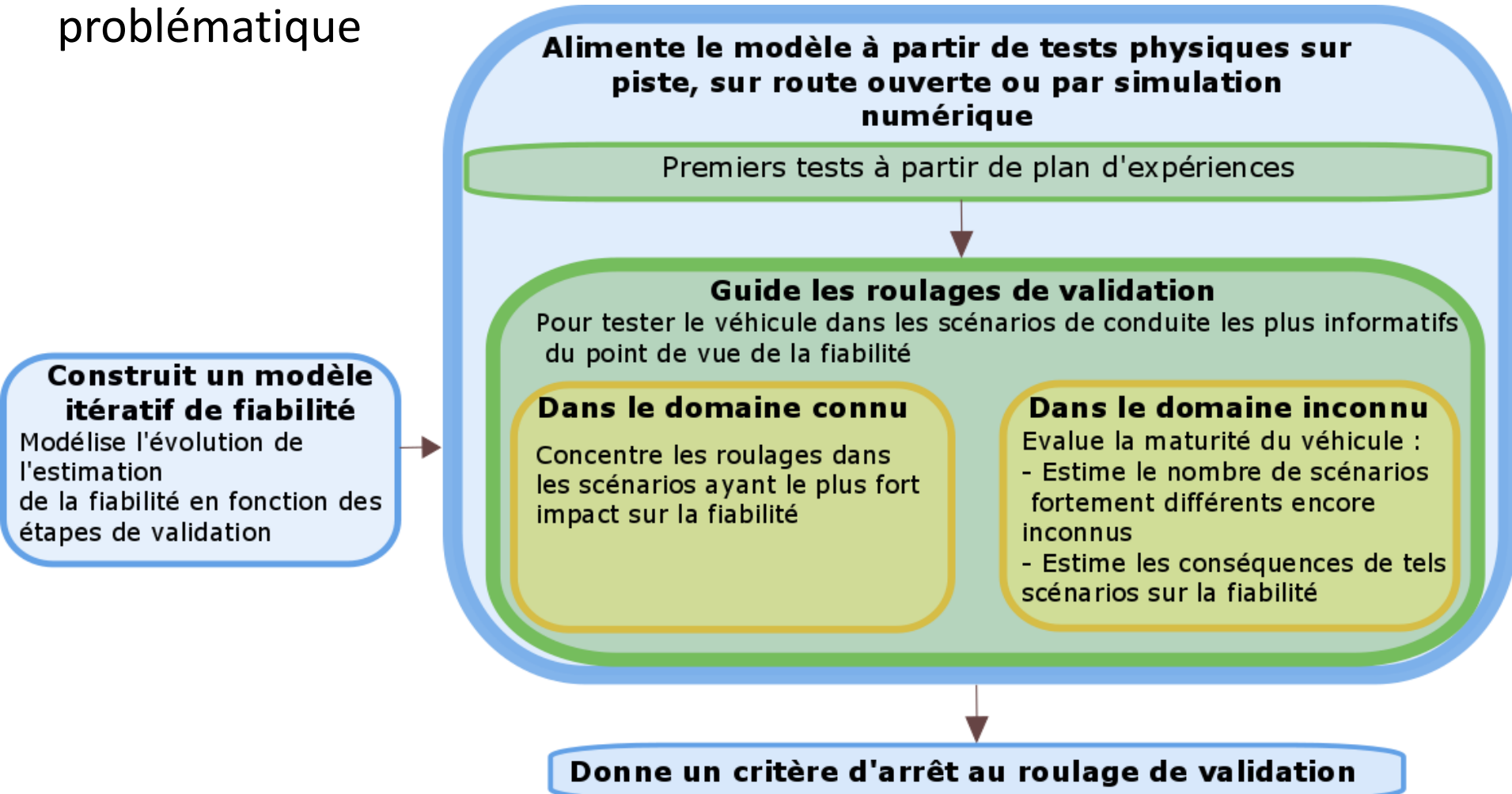




- **Détection de nouveau scenario pendant les roulages de validation**

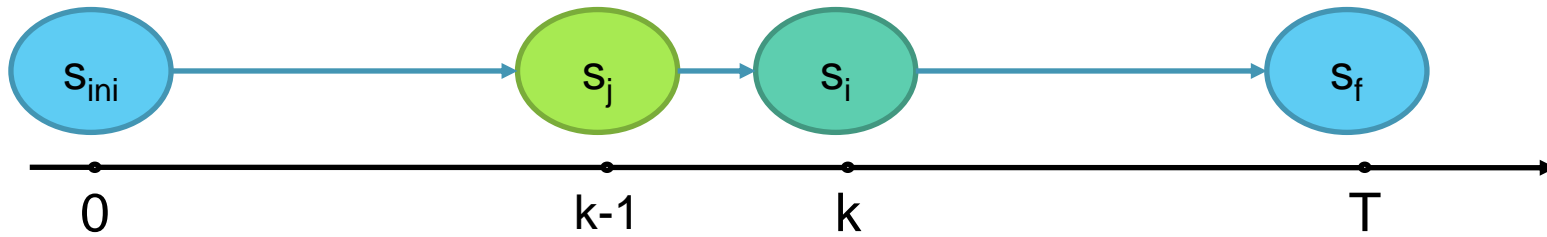
- **Fiabilité du véhicule** : quantifie l'évolution de la maturité du système en fonction des étapes de validation en tenant compte du manque de connaissance sur les scénarios de conduite

## 2. Problème scientifique et méthode de résolution de la problématique

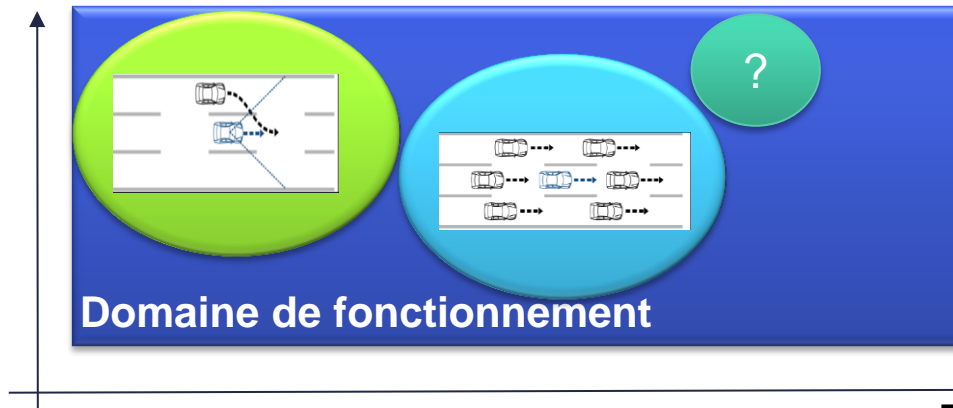


## 2. Problème scientifique et méthode de résolution de la problématique

### Une heure de roulage



Paramètres de l'environnement :  
Météo  
infrastructure



avec  $s_i$  = scenario  
rencontré au temps  $t_k$

Paramètres cinématique  
trafic

### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres

- Fiabilité réelle après  $T$  scénarios rencontrés selon le modèle choisi si tous les use cases étaient identifiés :

$$R_E(T) = \sum_{i=1}^{N_c} Pini_i \times \delta_i \times (P \times S)^T \times e$$

$N_c$  le nombre de use cases dans le domaine complet

$P$  la matrice de **transitions**  $N_c \times N_c$  et  $Pini$  probabilités du use case initial

$S$  la matrice diagonale  $N_c \times N_c$  des probabilités de **survie**

$e$  vecteur colonne  $1 \times N_c$  de 1

$\delta_i$  vecteur de Kronecker

- Fiabilité estimée après  $T$  scénarios dite ajustée :

$$R_A(T) = \sum_{i=1}^{N_k} \widehat{Pini}_i \times \delta_i \times (\widehat{P} \times \widehat{S})^T \times e$$

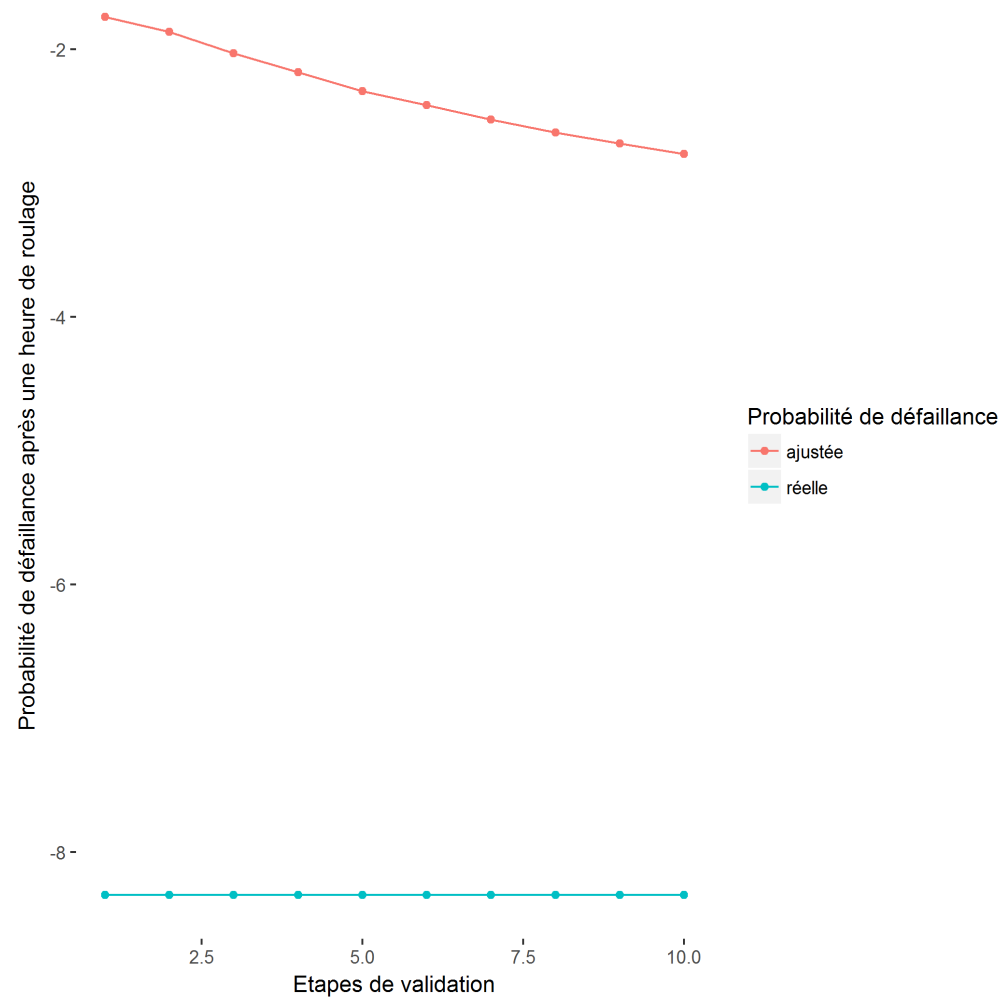
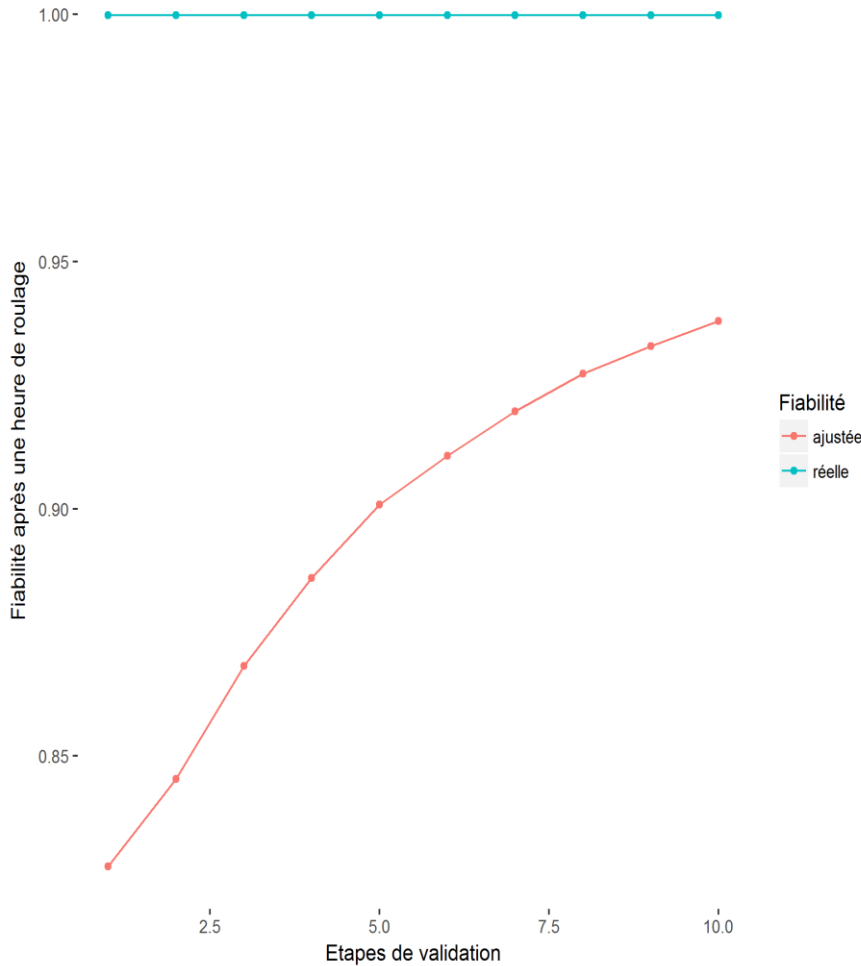
$N_k$  Nombre de use cases connus

$\widehat{P}$  la matrice de **transitions estimée**  $(N_k + 1) \times (N_k + 1)$

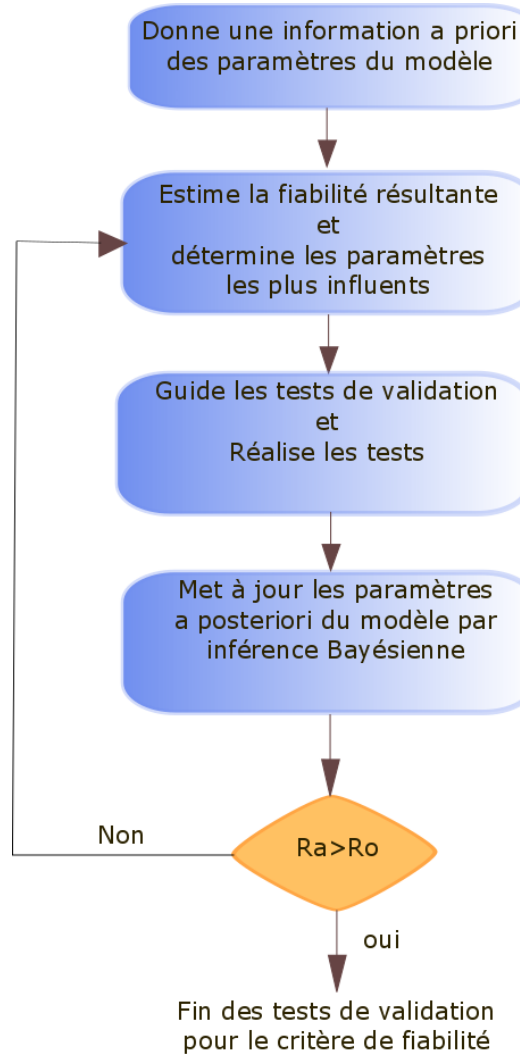
$\widehat{S}$  la matrice diagonale  $(N_k + 1) \times (N_k + 1)$  des probabilités de **survie estimées**



### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres



### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres



### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres

La matrice  $P_k^n$  des transitions entre les  $N_k$  use cases connus

A priori :  $\forall i \in \{1, \dots, N_k\}$

$$(P_{ij})_{j \in \{1, \dots, N_k\}} \sim D(\alpha_{ij}^0)$$

Mise à jour à l'état n :

$$\alpha_{ij}^n = \alpha_{ij}^{n-1} + \sum_{l=1}^{N_{sc}-1} 1_{\{s_l \in i, s_{l+1} \in j\}}$$

$$\widehat{P}_k^n = \begin{bmatrix} \widehat{P}_{11}^n & \dots & \widehat{P}_{1N_k}^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{P}_{N_k 1}^n & \dots & \widehat{P}_{N_k N_k}^n \end{bmatrix}$$

### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres

Probabilité de rencontrer un use case inconnu  $P_{uk}^n$ :

Modèle de croissance exponentielle,  
( $T_1, \dots, T_l$ ) temps d'apparition  
d'un nouveau use case

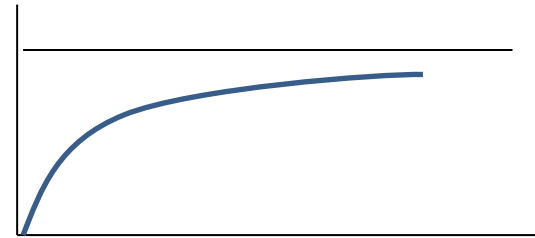
$$(X_i)_{i \in \{1, \dots, l-1\}}$$

$$= (T_i - T_{i-1})_{i \in \{1, \dots, l-1\}} \sim P(\lambda(t))$$

$$\lambda(t) = abe^{-bt}$$

Nombre de  
nouveaux  
use cases  
détectés

Nombre total de use cases inconnus



Temps de validation (en nombre de  
scénarios rencontrés)

$$\hat{p}^n = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{p}_{11}^n & \dots & \hat{p}_{1k}^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{p}_{k1}^n & \dots & \hat{p}_{kk}^n \end{bmatrix} \times (1 - \hat{p}_{uk}^n) & \hat{p}_{uk}^n \\ \vdots & \vdots \\ \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{N_k} \end{bmatrix} \times (1 - \hat{p}_{uk}^n) & \hat{p}_{uk}^n \end{bmatrix}$$

### 3. Modélisation de la fiabilité et estimations des paramètres

La matrice  $S_k^n$  des probabilités de survie les  $N_k$  use cases connus :

A priori :  $\forall i \in \{1, \dots, N_k\}$

$$S_i \sim B(\alpha_i^0, \beta_i^0)$$

Mise à jour à l'état n :

$$n_i = \sum_{l=1}^{N_{sc}} 1_{\{s_l \in i\}}$$

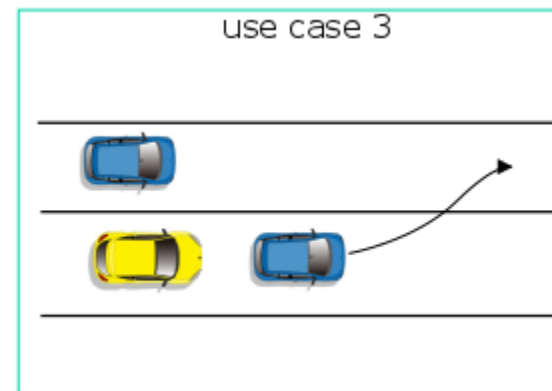
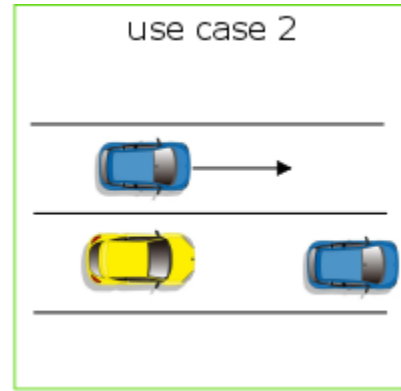
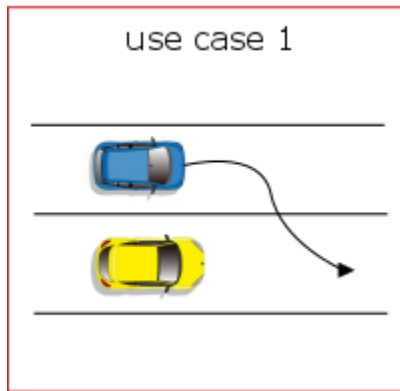
$$\alpha_i^n = \alpha_i^{n-1} + \sum_{l=1}^{n_i} 1_{\{\text{véhicule non défaillant}\}}$$

$$\beta_i^n = \beta_i^{n-1} + \sum_{l=1}^{n_i} 1_{\{\text{véhicule défaillant}\}}$$

probabilité de survie dans un use case inconnu  $S_{uk}$ :  $\hat{S}_{uk} = \min_{i \in \{1, \dots, N_k\}} \hat{S}_i$

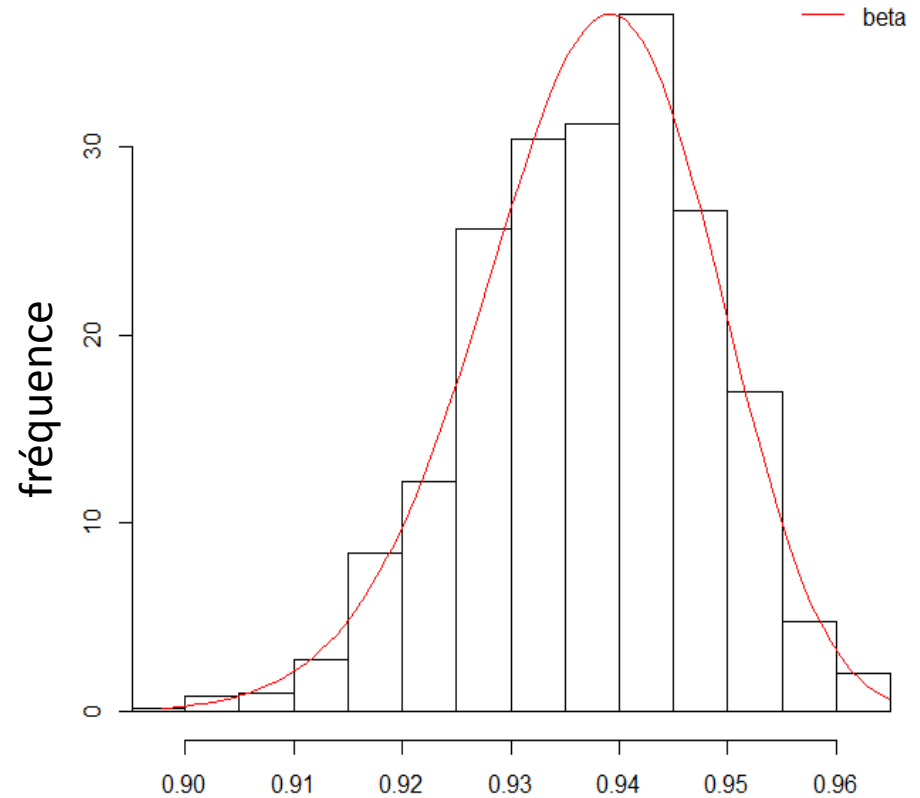
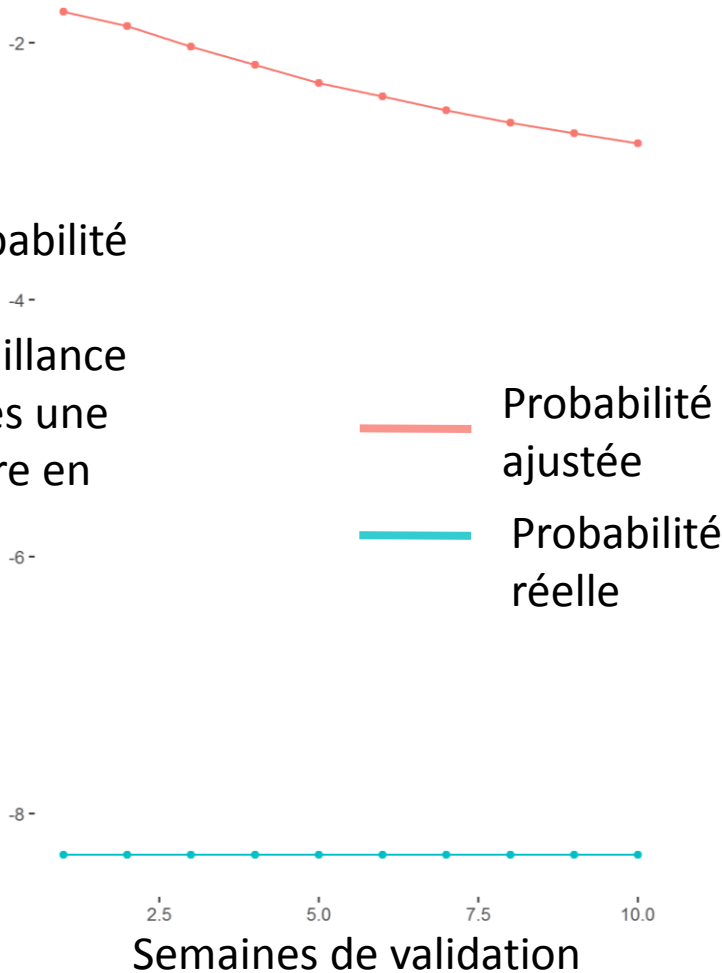
$$\hat{S}^n = \begin{bmatrix} \hat{S}_1^n & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{S}_{N_k}^n & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \hat{S}_{uk}^n \end{bmatrix}$$

## 4. Construction d'un cas test pour évaluer la performance du modèle



- Nombre de use case : Nuc =30
- Nombre de use cases inconnus : 5
- Fiabilité du système : 0.9997562
- 10 semaines de tests qui représentent 10500 scénarios observés
- tests aléatoires

## 4. Construction d'un cas test pour évaluer la performance du modèle



Estimation de la fiabilité du système

## 5. Conclusions et perspectives

- Méthode innovante pour évaluer la fiabilité du véhicule autonome
- Elle doit se combiner à un roulage accéléré en privilégiant les use cases qui ont le plus d'effet sur la fiabilité pour être performante
- Plusieurs analyses de sensibilité seront réalisées pour observer l'évolution de ce modèle en fonction des systèmes étudiés, de la connaissance a priori et de l'efficacité des tests.
- Quantification de la réduction du temps de validation avec cette méthode.