

# Simulation de fautes pour l'évaluation du test en ligne de systèmes RFID

**Gilles Fritz**

**Directeur de thèse : Vincent Beroulle,**

**Co-encadrants : Oum-El-Kheir Aktouf, David Hély**

**LCIS – Grenoble INP**

**Projet ANR : SAFERFID**

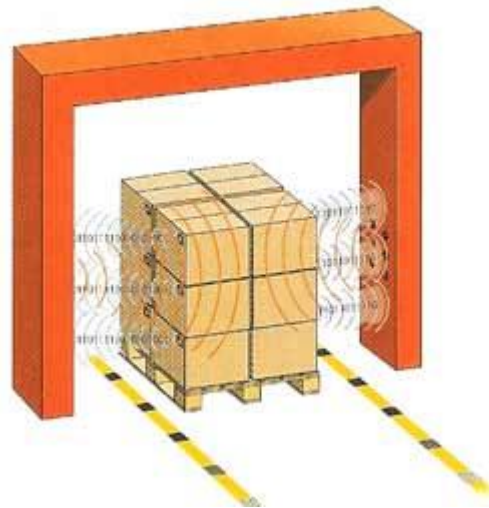
# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion

# Technologie RFID

## ■ Concepts et applications

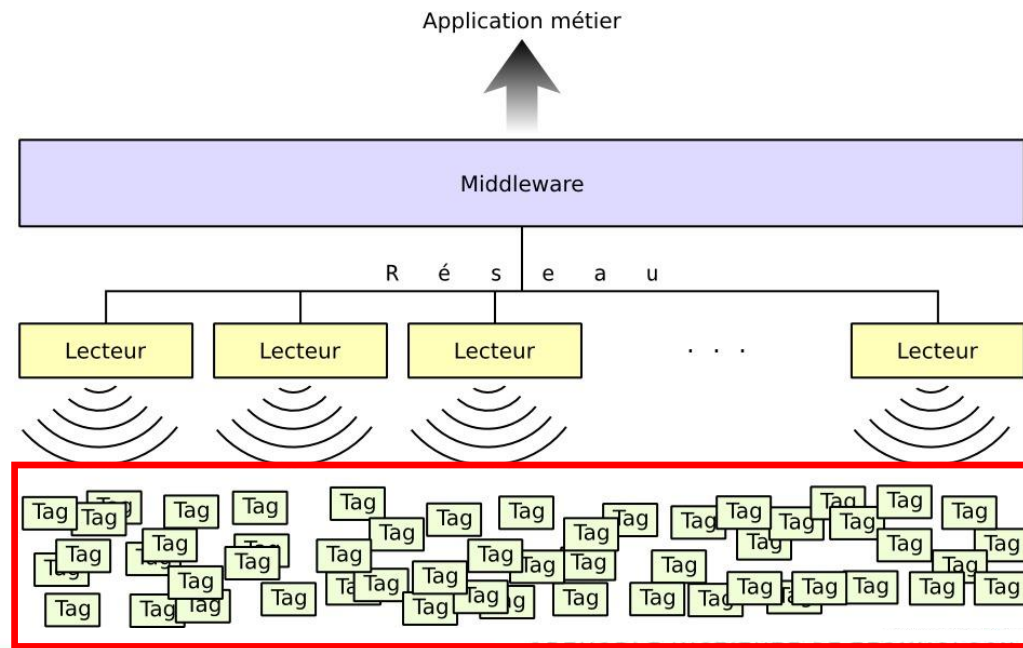
- Identification d'object ou de personnes par RF
  - Chaîne logistique, contrôle d'accès, paiement sans contact, etc.
- Sans contact ni vision directe



# Technologie RFID

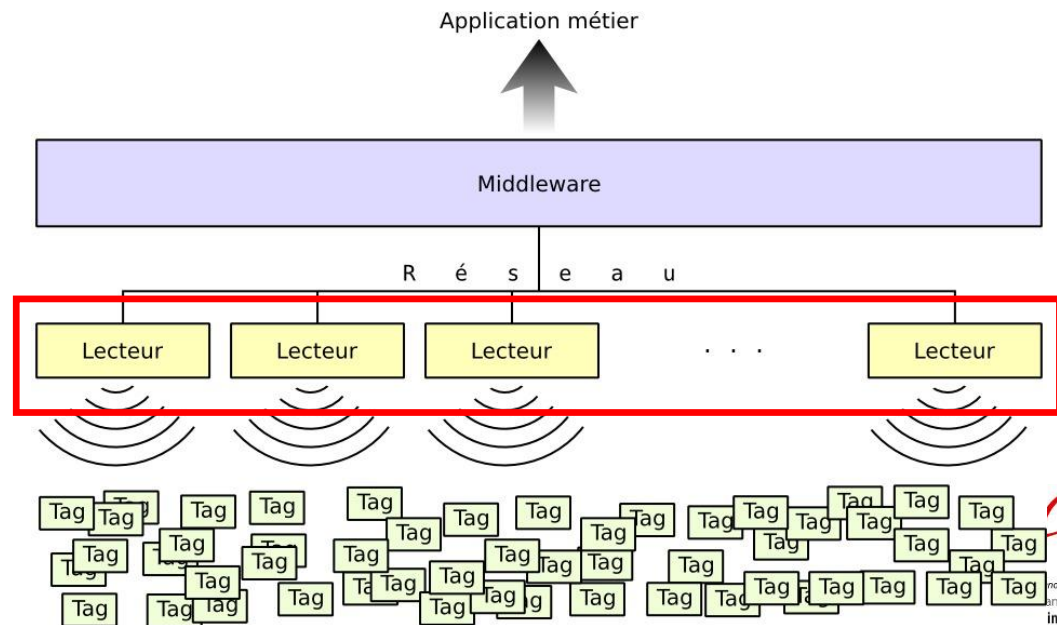
## ■ Premier composant matériel

- Transpondeur **ou** tag
  - Tag passif : Antenne + puce télé-alimentée
    - UHF (800-900MHz, 2,4GHz) : quelques mètres
    - Pas d'émetteur pour la communication
  - Bas coût



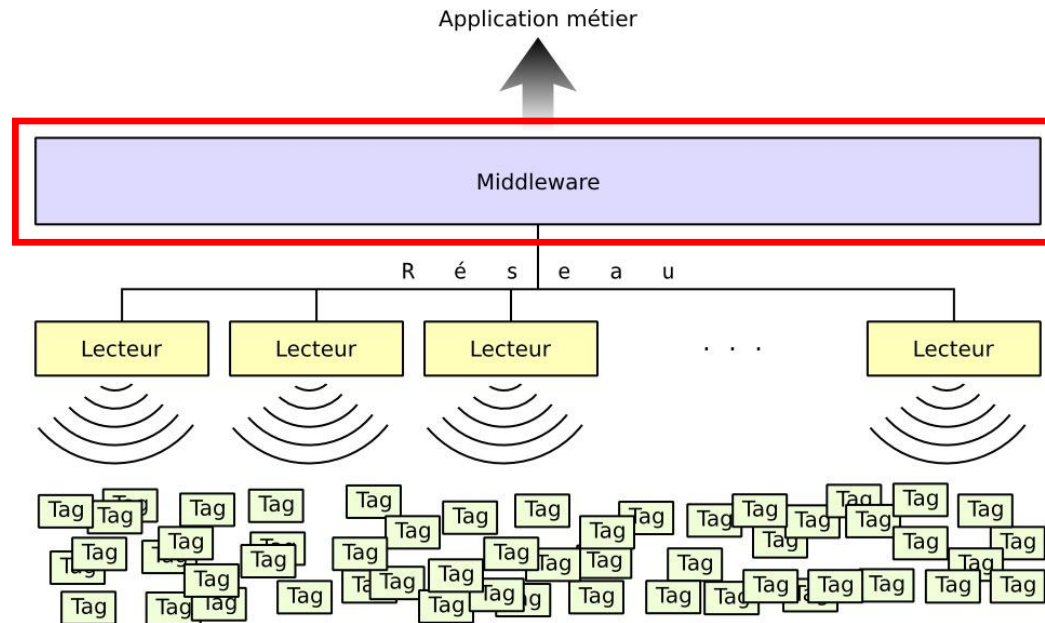
# Technologie RFID

- **Second composant matériel**
  - Lecteur ou station de base
    - Plusieurs antennes **par lecteur**
    - Interconnecté à travers un réseau



# Technologie RFID

- Un composant logiciel : le middleware

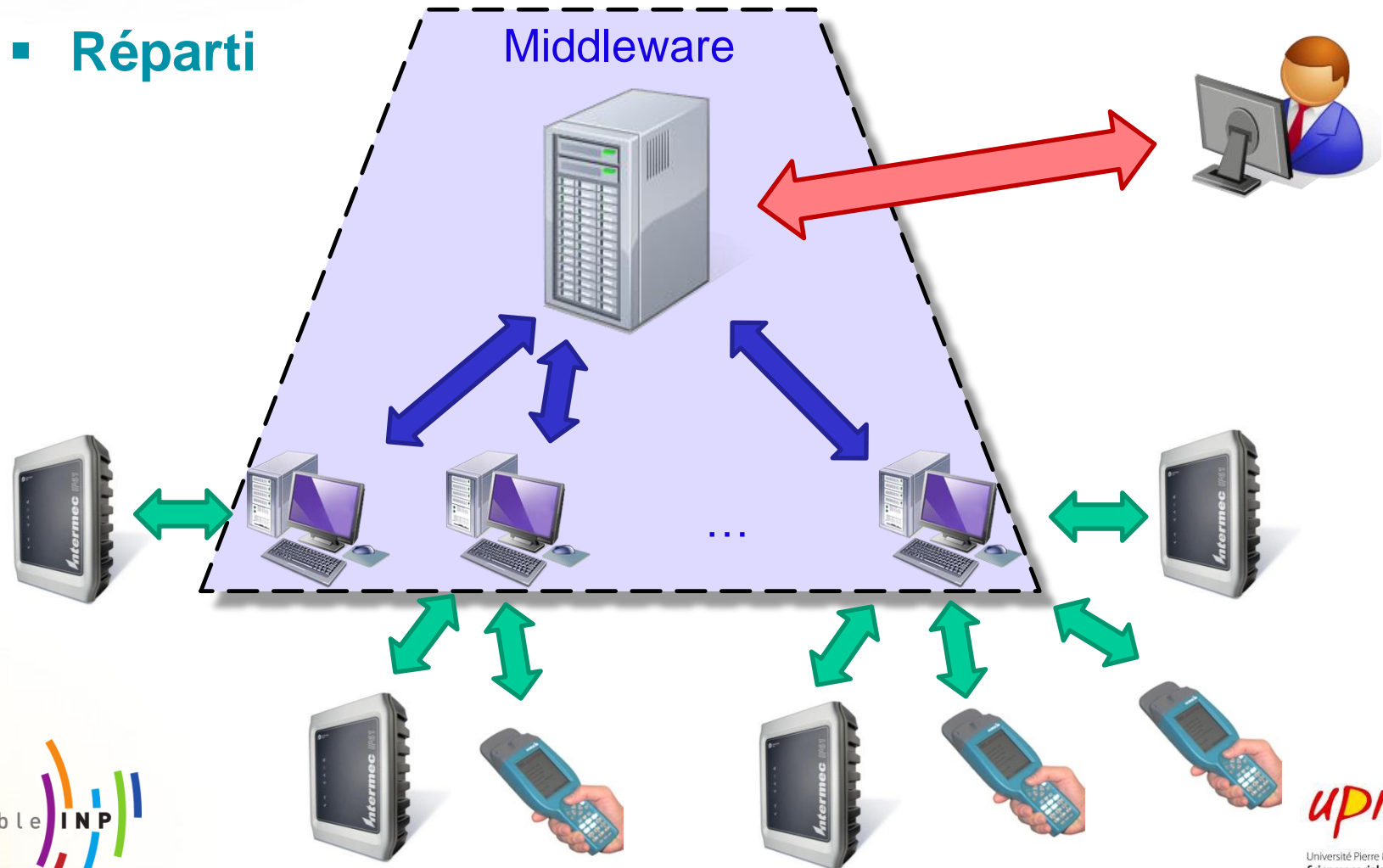




# Technologie RFID

## *Middleware*

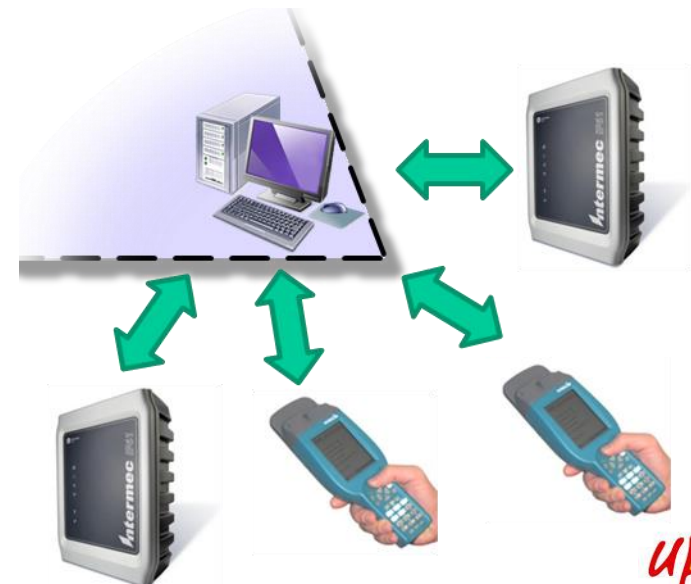
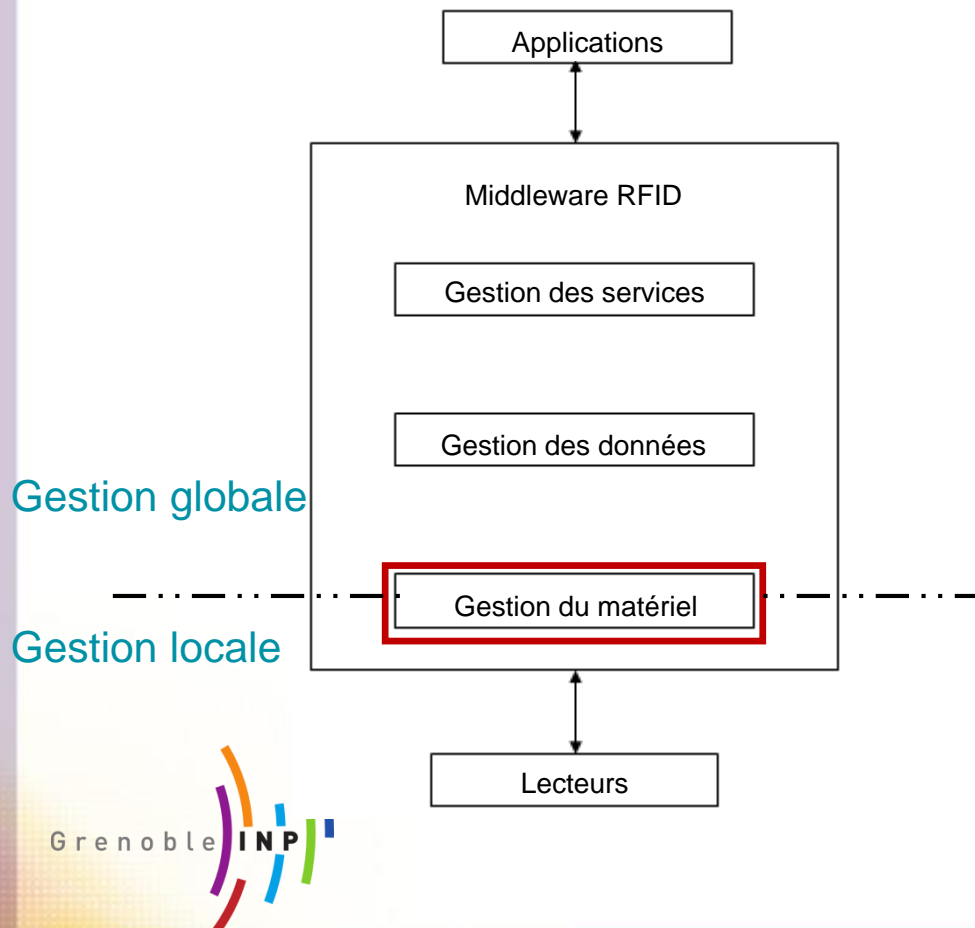
### ■ Réparti



# Technologie RFID

## Middleware

- Gestion du matériel
  - Gère l'hétérogénéité
  - Surveillance



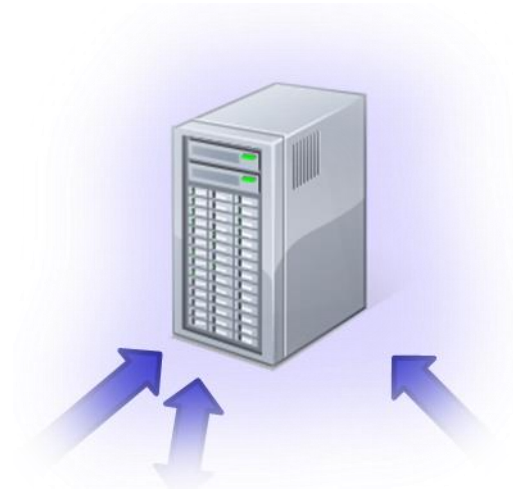
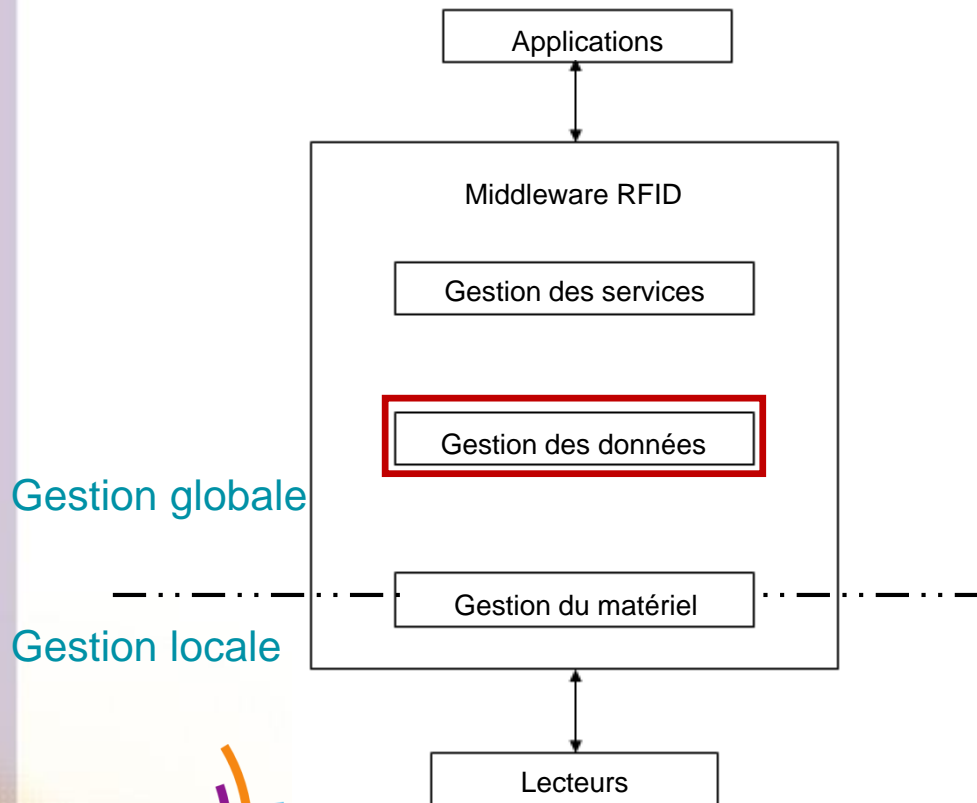


# Technologie RFID

## *Middleware*

### ■ Gestion des données

- Agrège
- Filtre
- Transforme

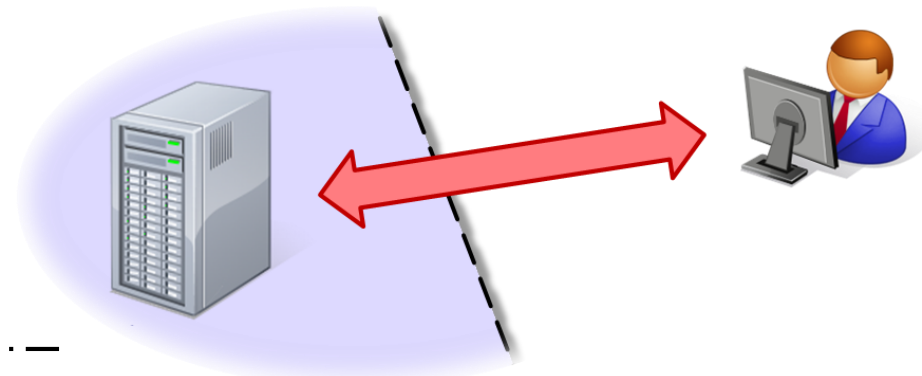
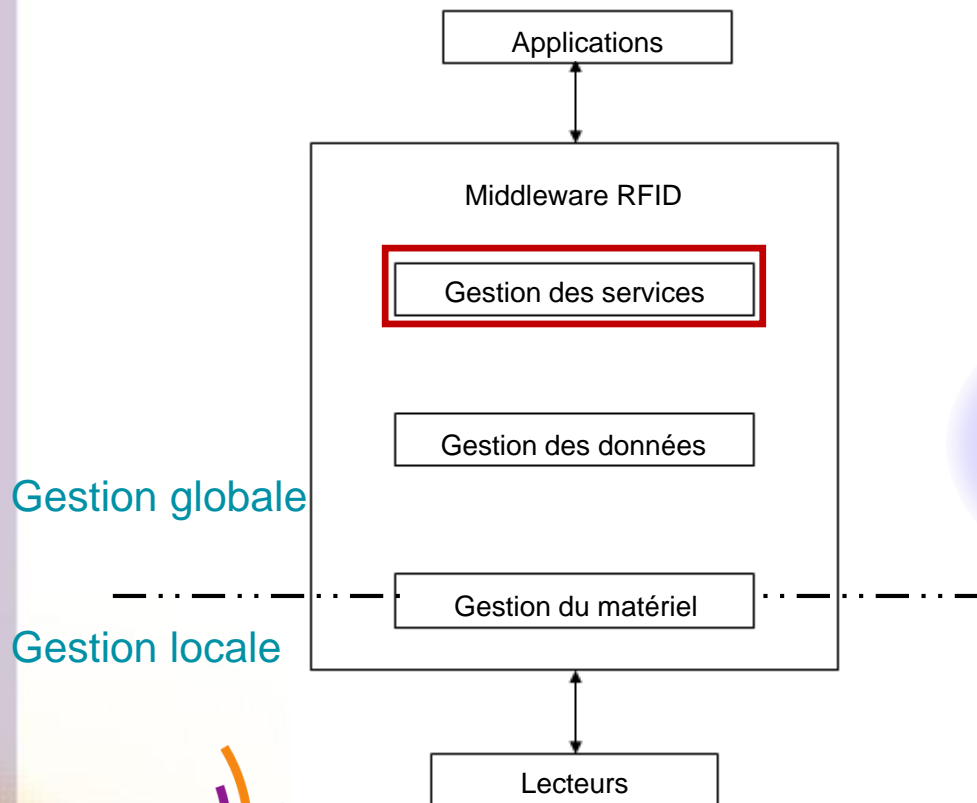


# Technologie RFID

## *Middleware*

### ■ Gestion de service

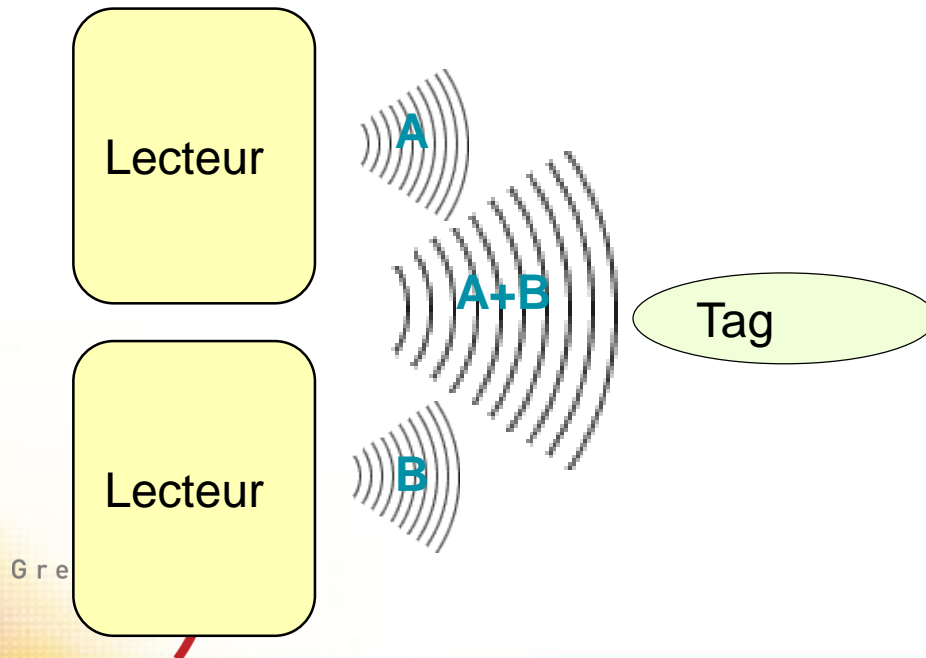
- Interagit avec l'application finale



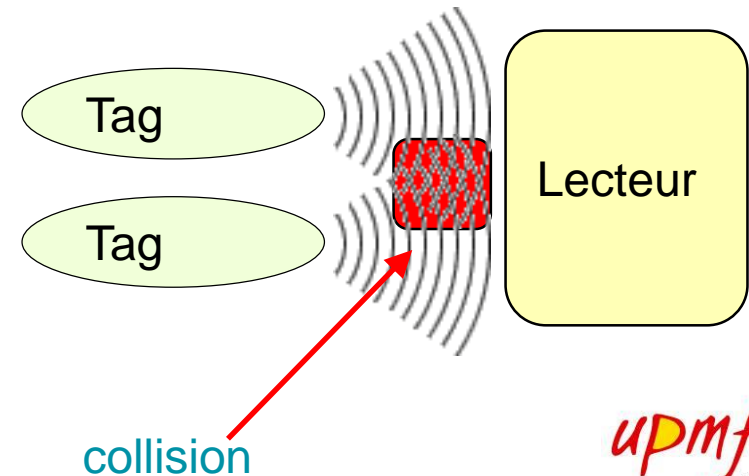
# Technologie RFID

- Phénomènes physiques : télé-alimentation, collisions et masquage

Plusieurs télé-alimenteurs



Plusieurs émetteurs

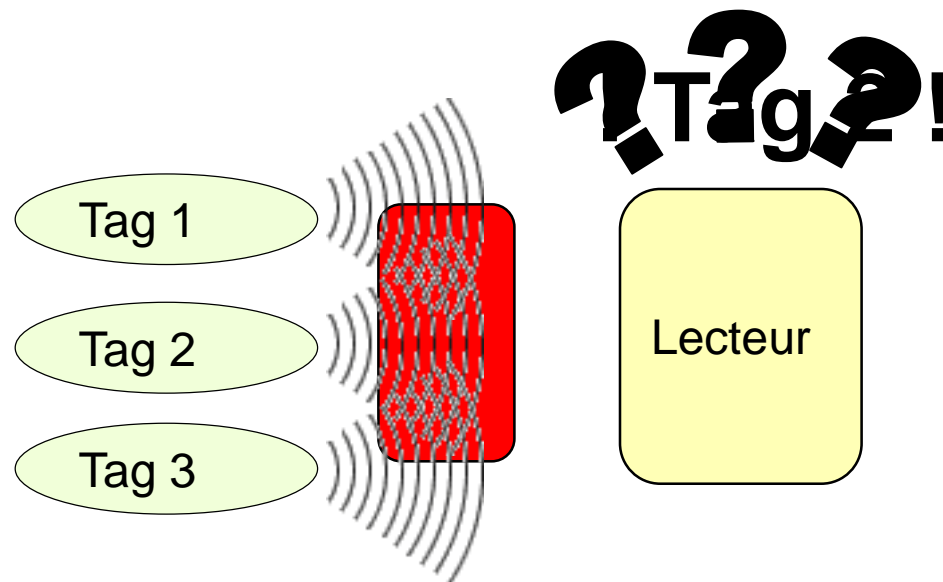


collision

# Technologie RFID

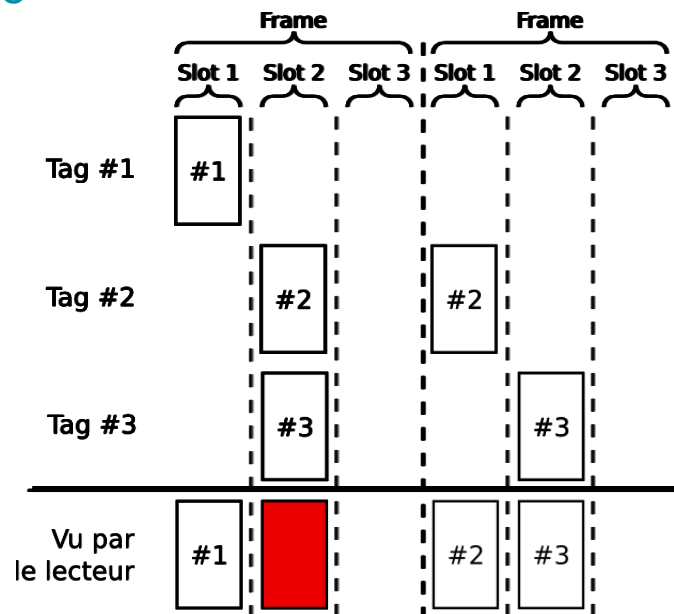
- Phénomènes physiques : télé-alimentation, collisions et masquage

Plusieurs tags, dont un masquant les autres



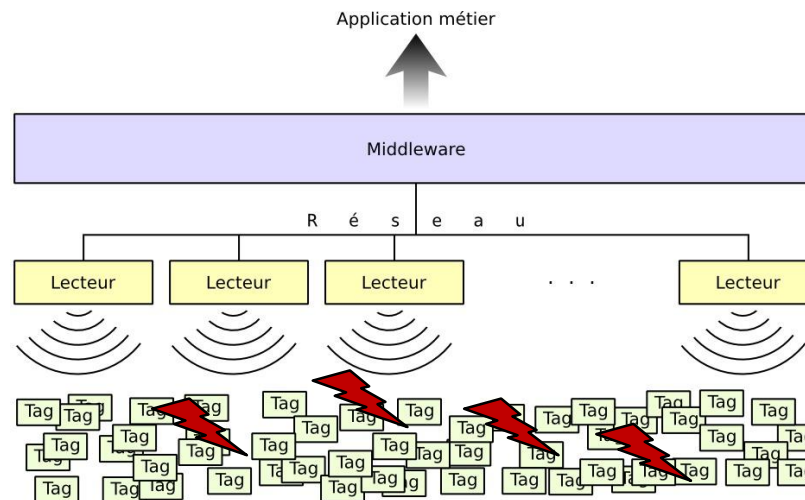
# Technologie RFID

- **Problème des collisions**
  - Utilisation d'algorithmes anti-collision
    - Eviter
    - Résoudre



# Technologie RFID

- **Systèmes sujets aux erreurs de communication**
  - Systèmes communiquant sans fil bas coût
  - Fortement sensibles à leur environnement
- **Environnements difficiles**
  - Perturbation EM
  - Agression mécanique, thermique, vieillissement





# Technologie RFID

- **Applications critiques**
  - Nucléaire, ferroviaire, aéronautique, processus de production, santé, ...
- **Automatisation des chaînes logistiques**
  - Augmente le coût de la maintenance
  - Pas d'opérateur humain



# Technologie RFID

???

**Problème de la  
sûreté de fonctionnement**

# Problématique

- Evaluation de la sûreté de fonctionnement
- Proposition de méthodes permettant d'améliorer la sûreté de fonctionnement

# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion

# Sûreté de fonctionnement

- « la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre » [LAP96]
  - Fiabilité
  - Disponibilité
  - Maintenabilité
  - Sécurité-Innocuité
  - Sécurité-Immunité

# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Paramètres permettant d'évaluer fiabilité & disponibilité : « capacité du tag à être lu »[LOD06]
- Beaucoup d'études centrées principalement sur la sécurité-immunité



# Sûreté de fonctionnement et RFID

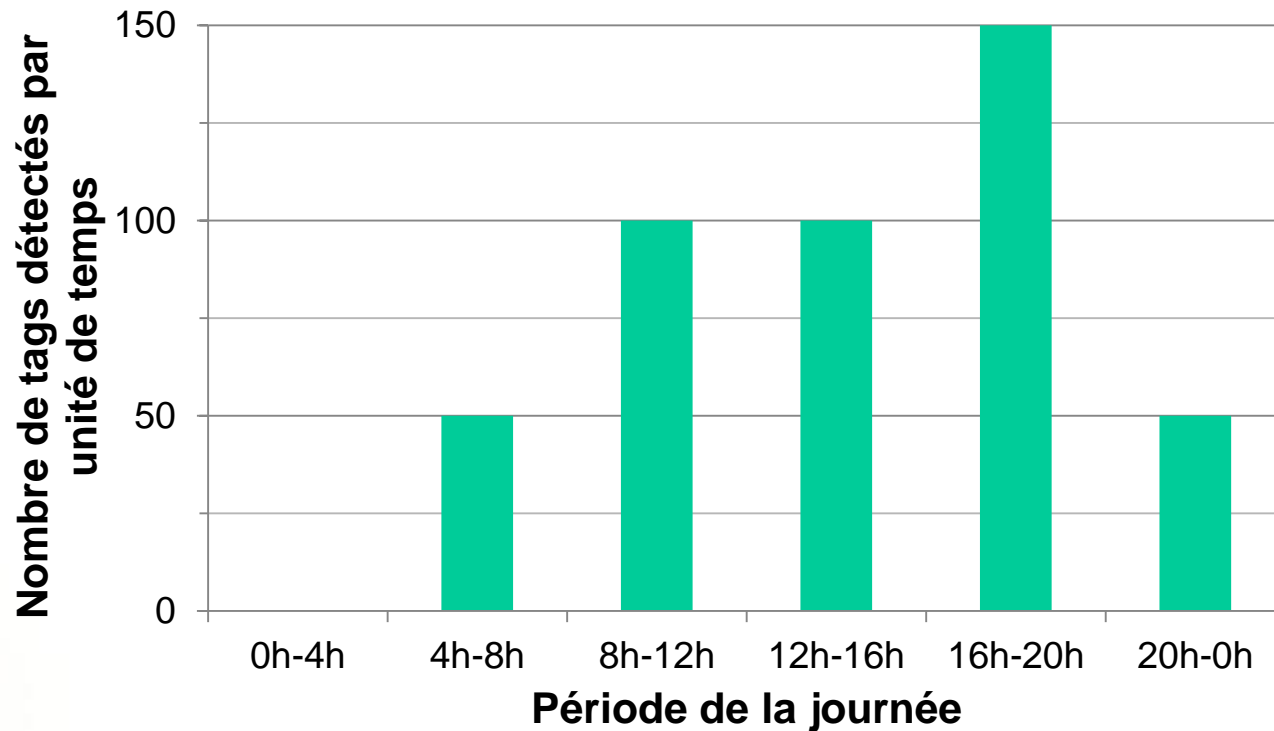
- **Plusieurs moyens pour**
  - Éliminer les fautes
    - Validation du système complet
    - Test de caractérisation
    - Test de production pour supprimer les éléments faibles
      - Impossibilité d'utiliser les techniques classiques pour tester les systèmes RF car pas d'émetteur
  - Tolérer les fautes
    - Redondance : plusieurs lecteurs, plusieurs tags
    - Test en ligne, diagnostique et reconfiguration
  - Prévoir les fautes
    - Simulation de fautes
  - Prévenir les fautes
    - Conception particulière : antennes adaptées

# Sûreté de fonctionnement et RFID

- **Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité**
  - Problème du test en ligne pour la RFID
    - Les tags apparaissent de manière asynchrone pour des durées relativement courtes
  - Test en ligne : permet de connaître l'état du système durant son fonctionnement
    - Deux types : intrusif et non-intrusif
    - Peut être basé sur une simple interrogation
    - Peut être basé sur l'observation des performances

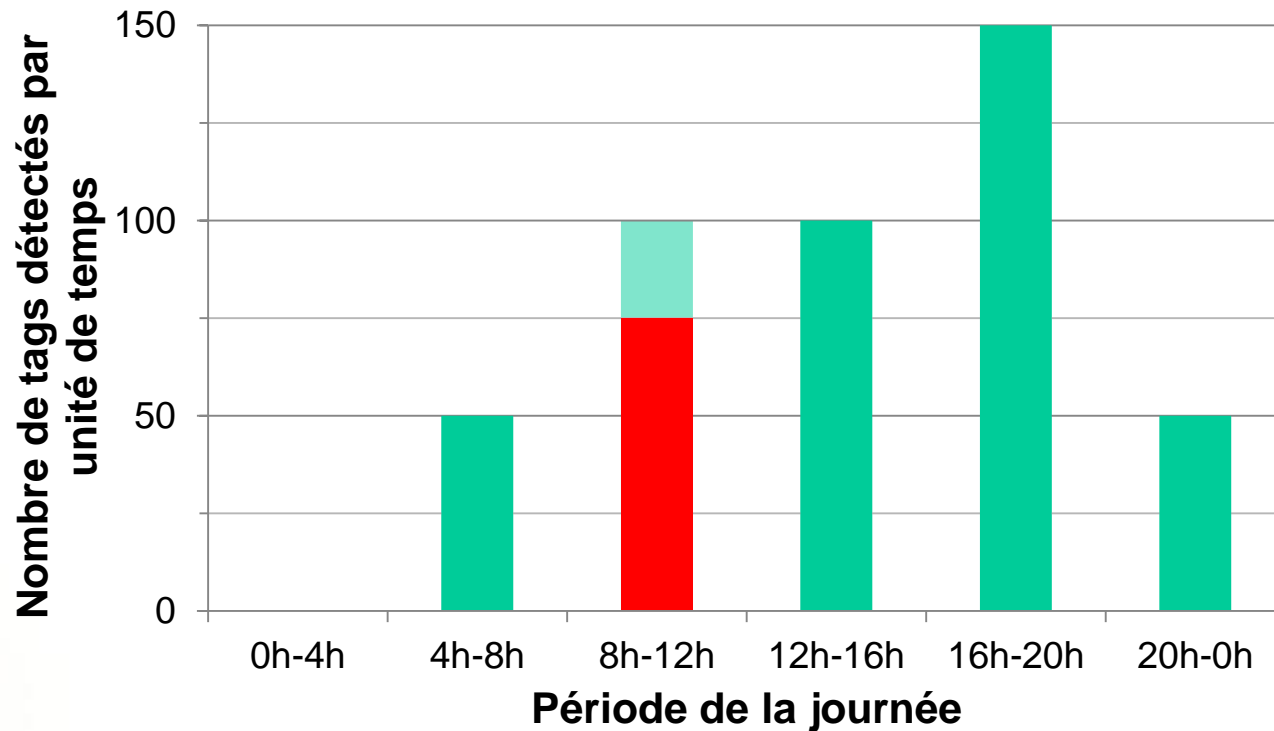
# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité
  - Tests en ligne non intrusifs
    - ATTV : « Average Tag Traffic Volume »



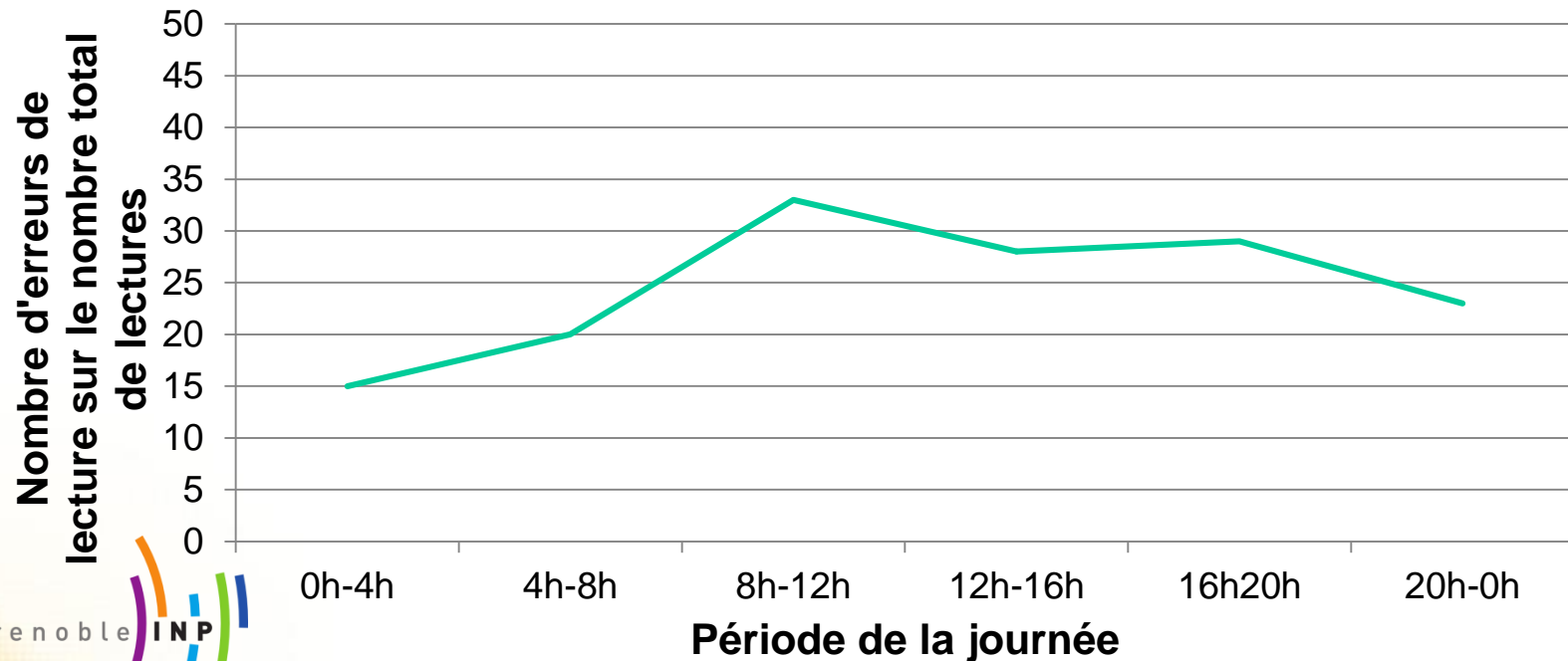
# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité
  - Tests en ligne non intrusifs
    - ATTV : « Average Tag Traffic Volume »



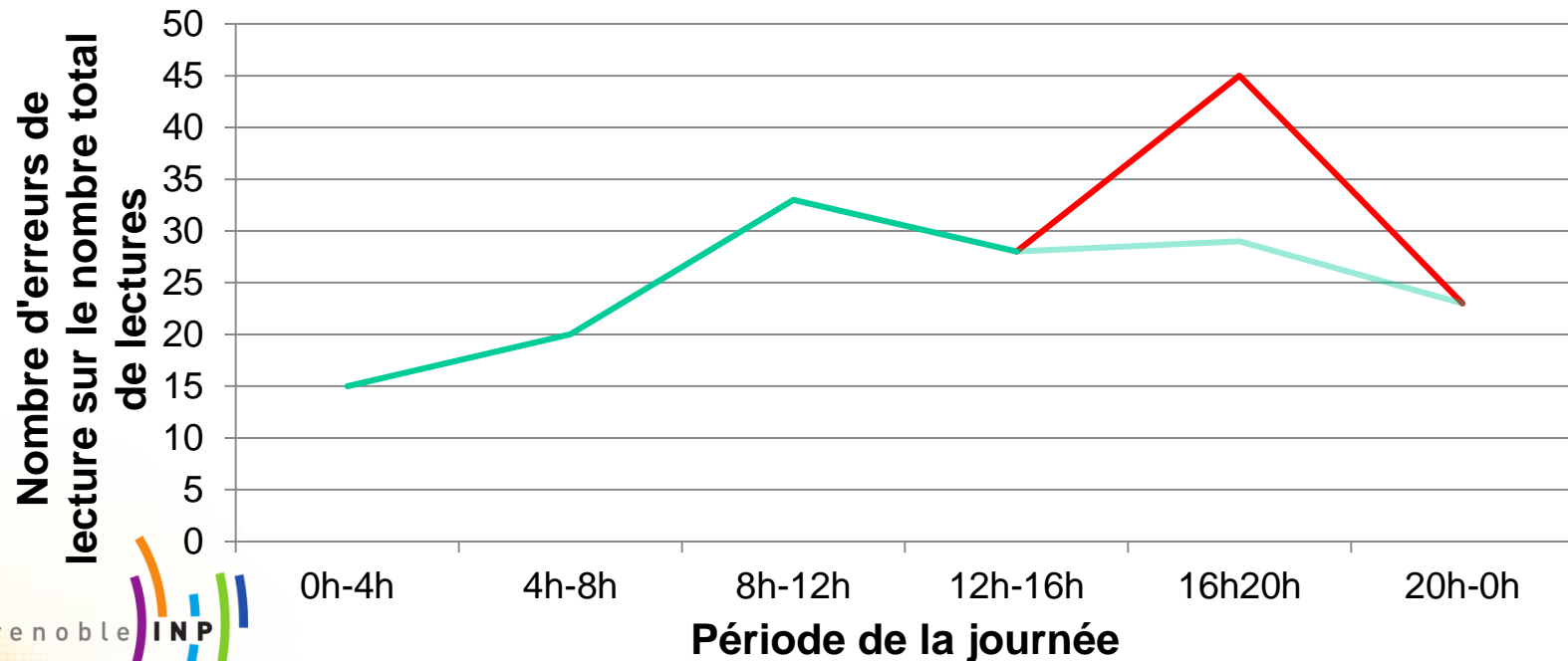
# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité
  - Tests en ligne non intrusifs
    - ATTV : « Average Tag Traffic Volume »
    - RETR : « Read Error To Total Reads »



# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité
  - Tests en ligne non intrusifs
    - ATTV : « Average Tag Traffic Volume »
    - RETR : « Read Error To Total Reads »





# Sûreté de fonctionnement et RFID

- Besoin d'un outil pour évaluer la sûreté de fonctionnement

# Simulateurs RFID

- **Plusieurs simulateurs RFID existent mais**
  - Simulent uniquement une partie :
    - Conception et vérification de middlewares : communication lecteurs/middleware [RIFIDI - Pramari]
    - Conception et vérification de protocoles : communication tags/lecteurs [RFIDSim - PETRA]
    - Conception et vérification de tags ou de lecteurs [ANG09]
  - Non prévus pour l'analyse de sûreté de fonctionnement

# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion

# AMDE

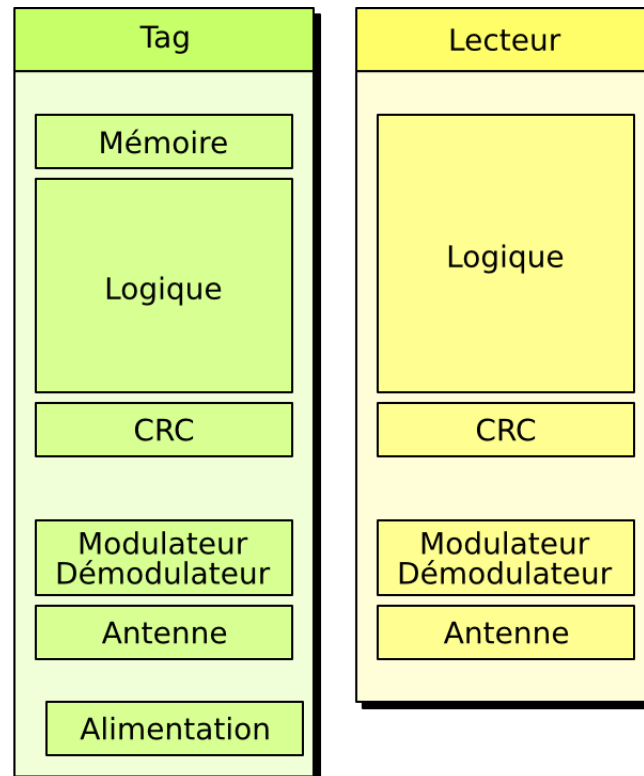
- **AMDE : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets**
  - « Méthode inductive d'analyse de système utilisée pour l'étude systématique des causes et des effets des défaillances qui peuvent affecter les composants de ce système »
- **Objectifs**
  - Étudier les défaillances qualitativement
  - Définir les modèles du système et des fautes

# AMDE

- **Découpage du système en composants**
  - 2 découpages possibles
    - Découpage fonctionnel
    - Découpage selon le modèle OSI

# AMDE

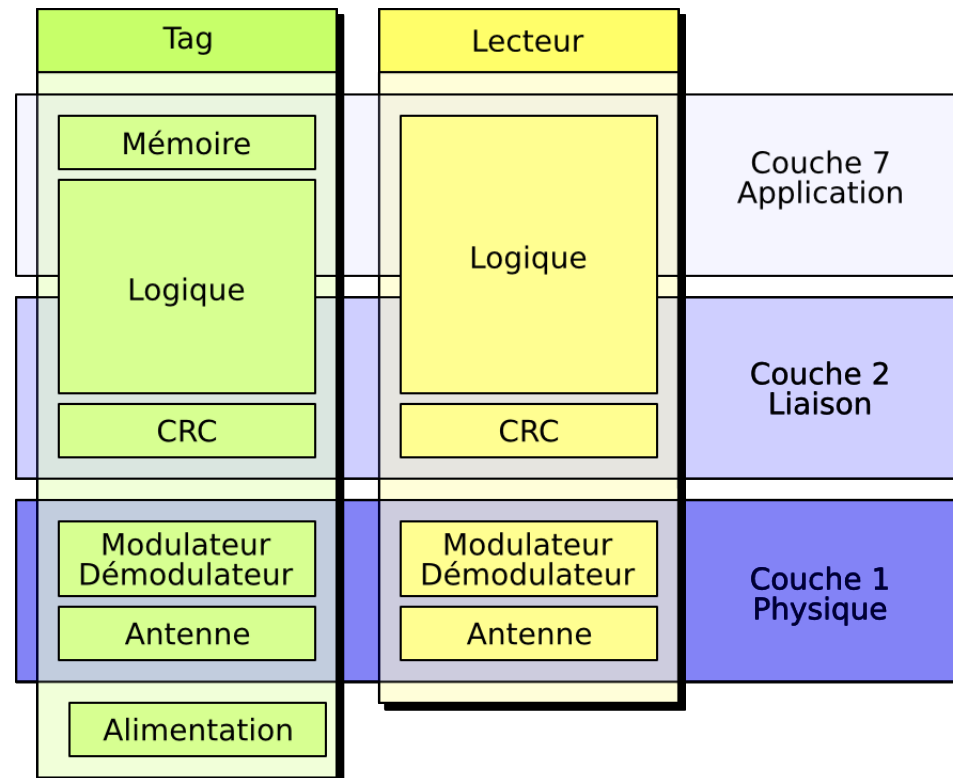
- **Découpage fonctionnel**
  - De chaque composant principal : tag, lecteur, middleware





# AMDE

- Lien entre le découpage fonctionnel et selon le modèle OSI



# AMDE

## ■ Exemple

Composant	Mode de défaillance	Cause possible	Effet sur le système	Moyen de détection
Alimentation	N'alimente pas alors qu'elle devrait	Puissance fournie par l'antenne insuffisante	Le tag ne répond pas	Analyse statistique
		Mauvaise orientation du tag		

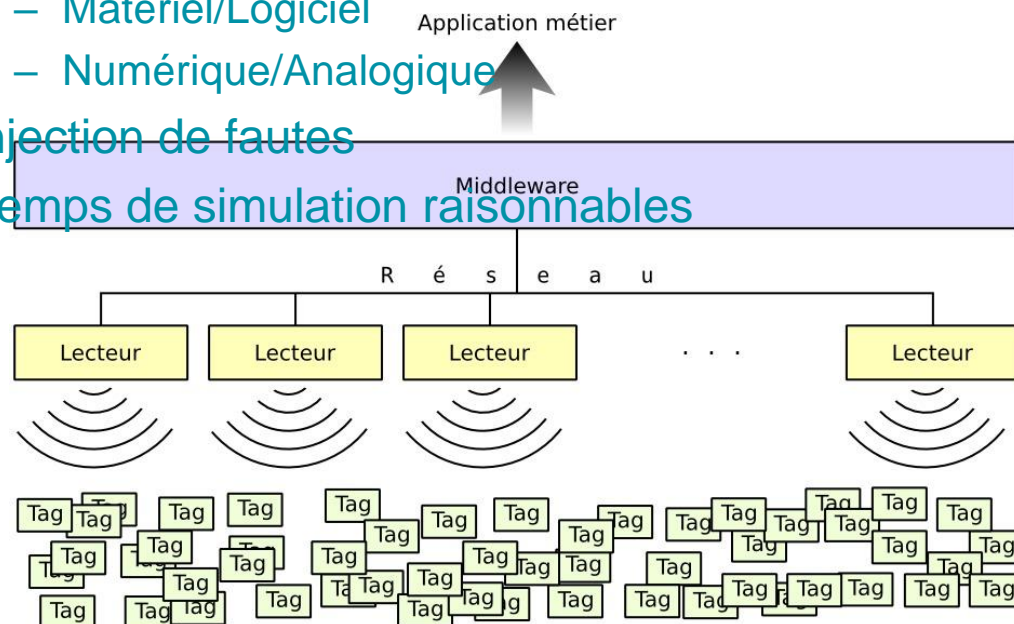
# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion

# Simulateur

## ■ Besoin

- Outil pour évaluer la sûreté de fonctionnement des systèmes RFID
  - Modélisation de la totalité du système
    - Matériel/Logiciel
    - Numérique/Analogique
  - Injection de fautes
  - Temps de simulation raisonnables



# Simulateur

## ■ Choix d'implémentation

- Séparation de la simulation du middleware et des autres composants : co-simulation
  - Permet de réutiliser les middlewares existants pour évaluation
  - Simplifie le modèle

# Simulateur

## ■ Choix du langage ou environnement

Langage/ Environnement	Simu. continue	Simu. discrète	Simu. logiciel	Synthétisable	Conn. réseau	Notion de composants
C			X		X	
C++			X		X	X
CST	X					
JAVA			X		X	X
JUnit		X	X		X	X
MATLAB SIMULINK	X	X		X		X
<b>SYSTEMC*</b>		X	X	X	X	X
SYSTEMC-AMS*	X				X	X
VHDL**		X	DIFFICILE	X		X
VHDL-AMS**	X					X

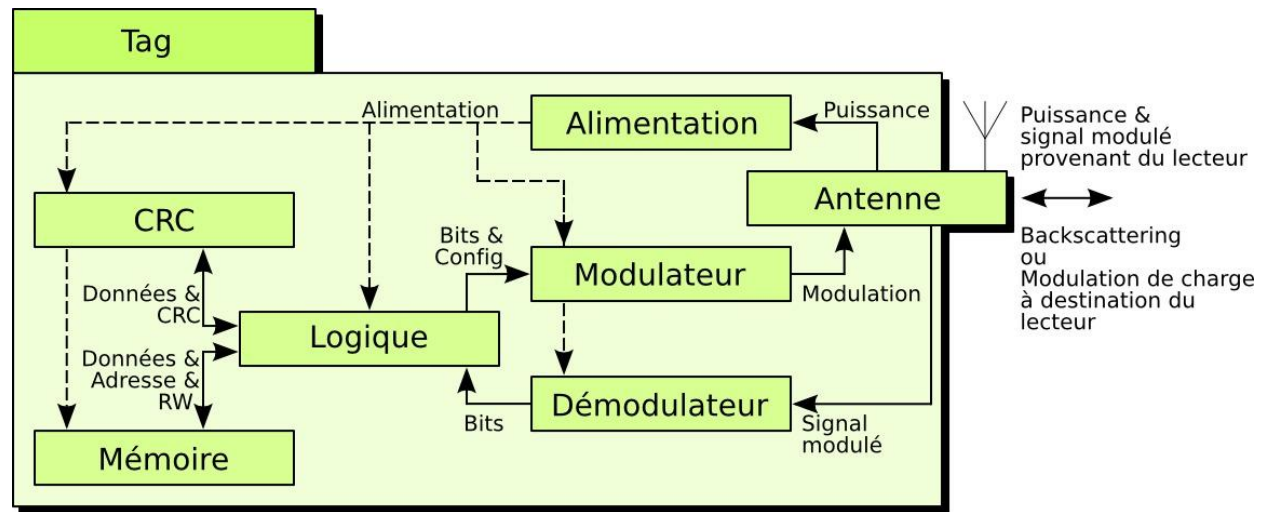


# Simulateur

- **Simulation et Evaluation des systèmes RFID : SERFID**
- **Deux versions existent**
  - HF : ISO15693
  - UHF : ISO1800-6C ou EPC Classe 1 Génération 2
- **20000 lignes pour chaque version**

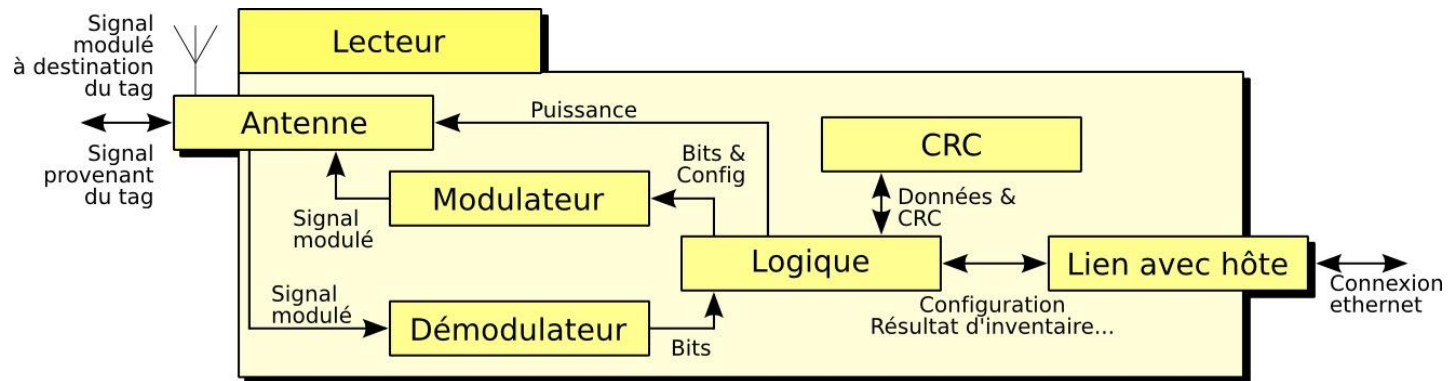
# SERFID

## ■ Modélisation du tag



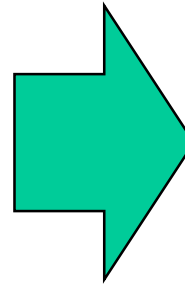
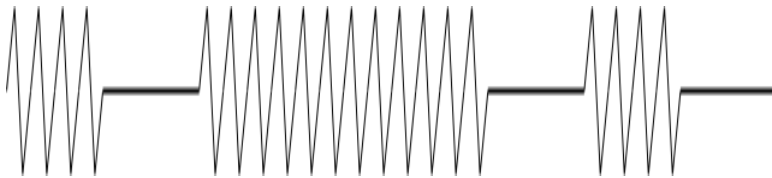
# SERFID

## ■ Modélisation du lecteur



# SERFID

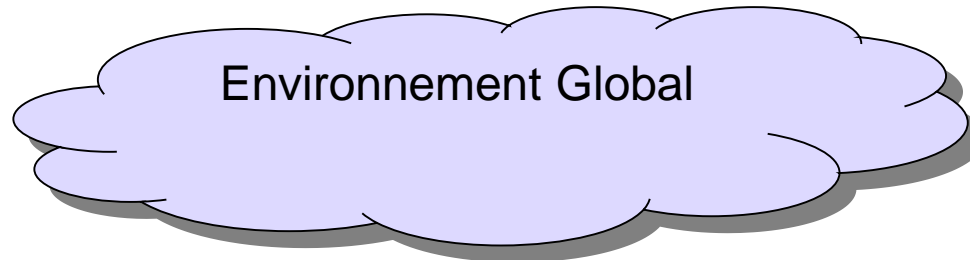
## ■ Signaux analogiques : modélisation discrète



Information
Type de modulation
Codage bit
Débit binaire
Début de signal
Données
Code commande
...
CRC
...
Fin de signal
Puissance
Qualité

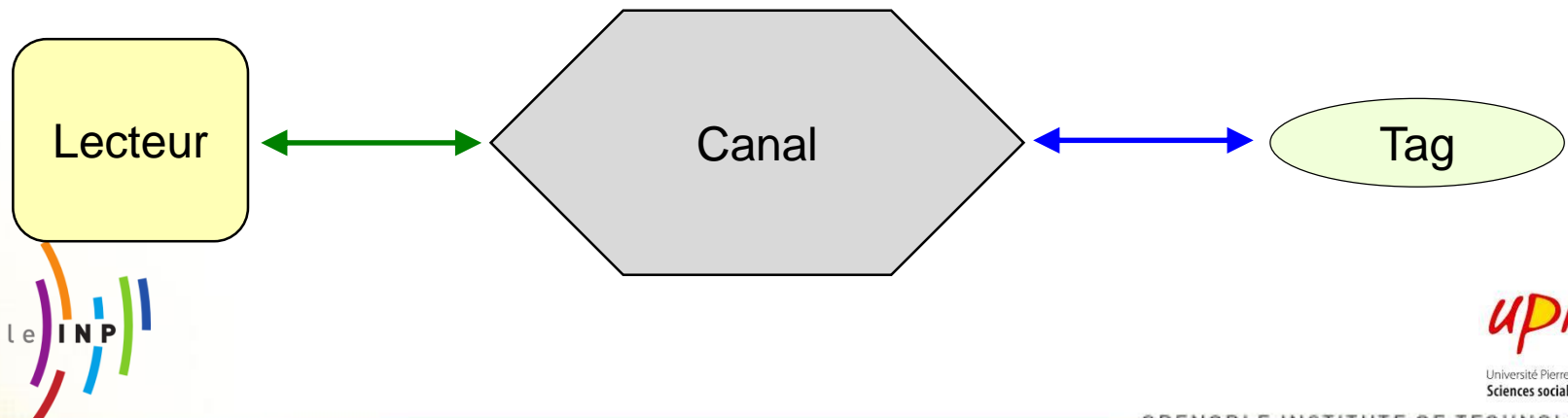
# SERFID

- **Signaux analogiques : modélisation discrète**
  - Séparation en deux des données concernant la transmission
    - Un environnement global caractéristique des paramètres communs



# SERFID

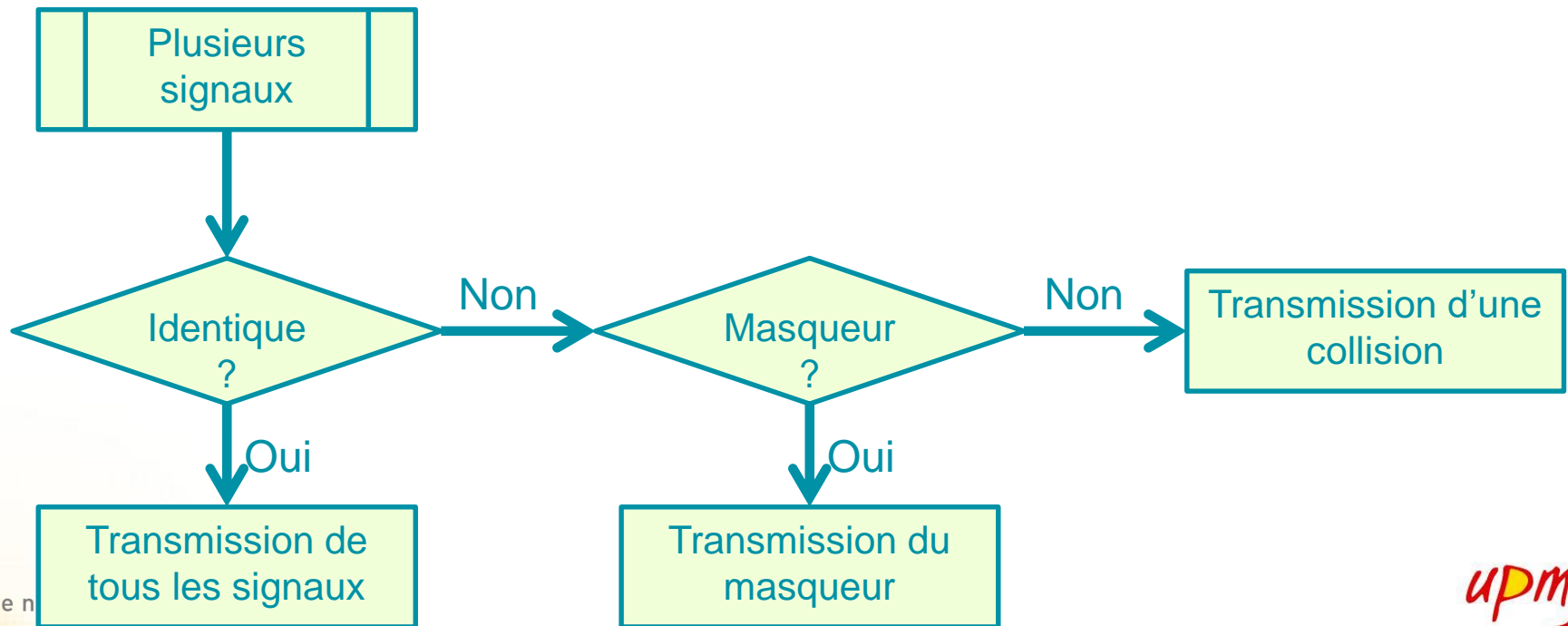
- **Signaux analogiques : modélisation discrète**
  - Séparation en deux des données concernant la transmission
    - Canal de transmission
      - Représentation du lien entre *un* tag et *un* lecteur
      - Diminution de la puissance transmise en fonction de la *distance*
      - Diminution de la qualité du signal
      - Modification des données binaires (*TEB*)
      - Délai



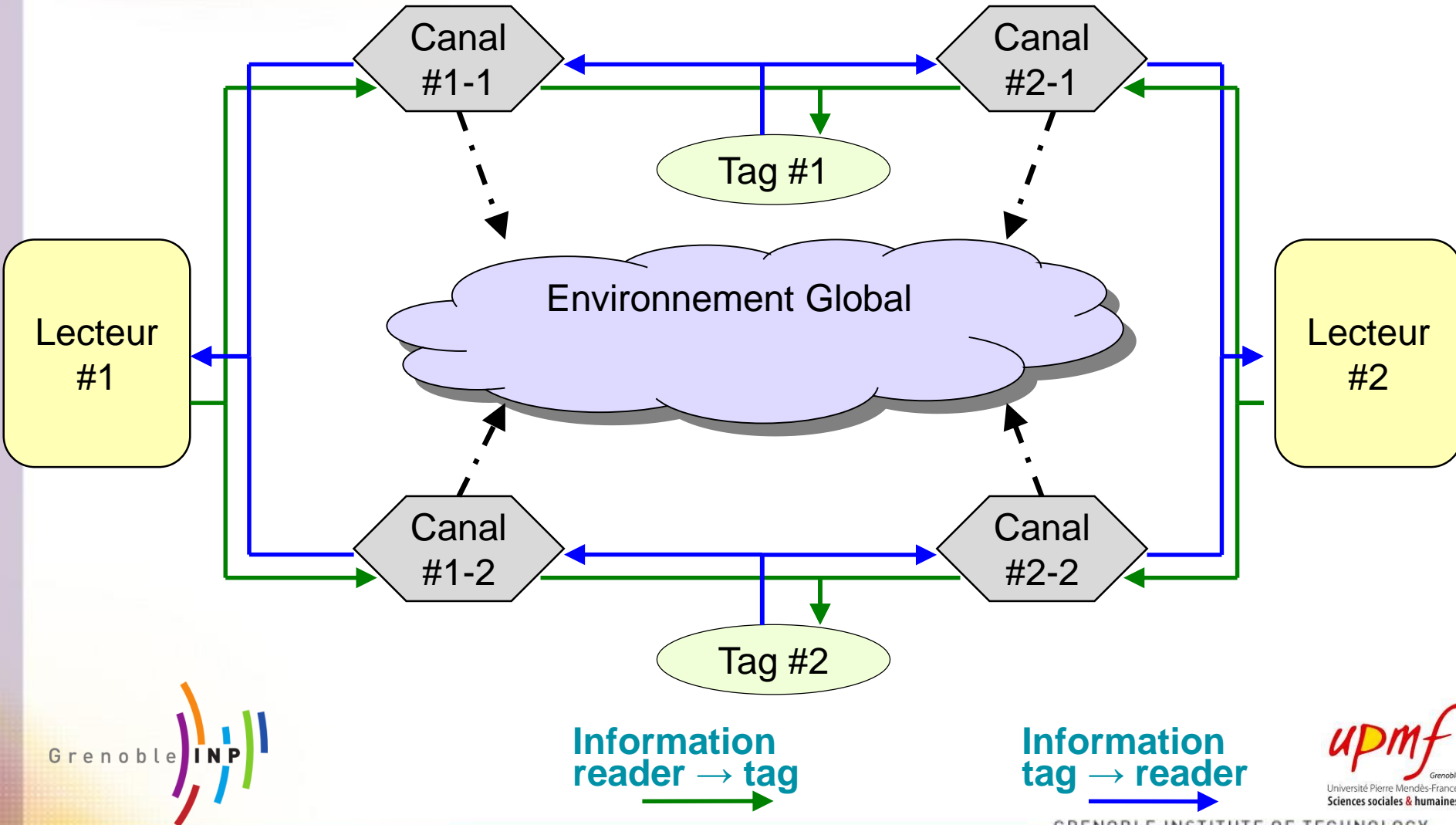


# SERFID

- **Signaux analogiques : modélisation discrète**
  - Table de résolution lorsque plusieurs composants émettent en même temps



# SERFID



# SERFID

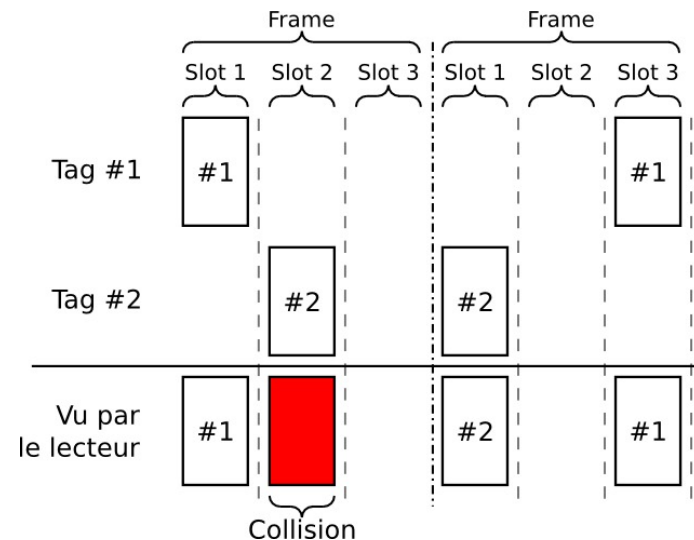
## ■ Validation

- Test unitaire pour chaque composant
- Validation fonctionnelle
  - De l'algorithme anticollision
  - Du comportement temporel

# SERFID

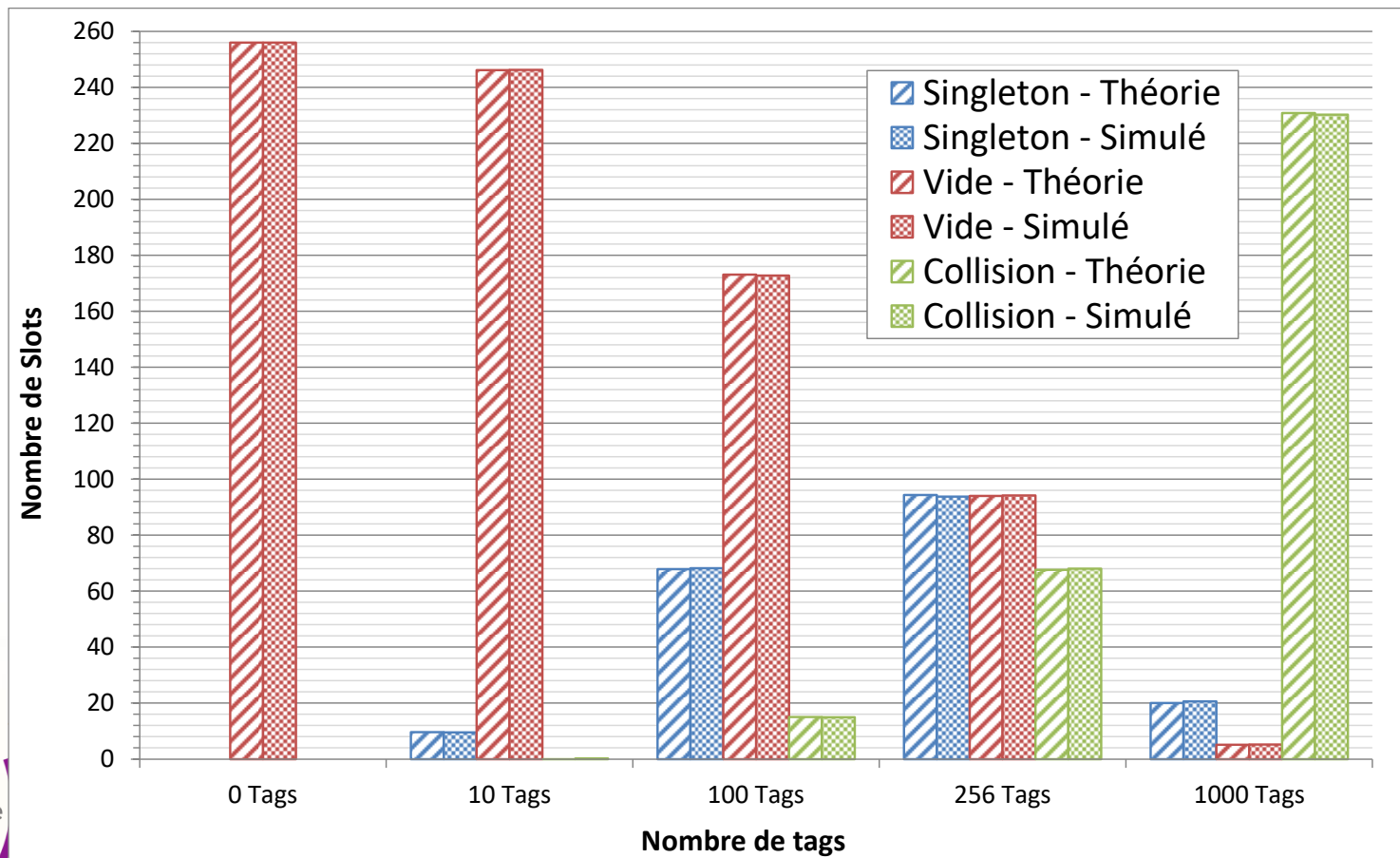
## ■ Validation de l'algorithme anticollision

- Algorithme anticollision : permet de résoudre les collisions
- EPC Classe 1 Génération 2 :
  - Découpe le temps en frames, et les frames en slots
  - Pour un nombre de slots donné et un nombre de tags donné, possibilité de prédire le nombre de slots vides, singletons ou collisions



# SERFID

## Validation de l'algorithme anticollision

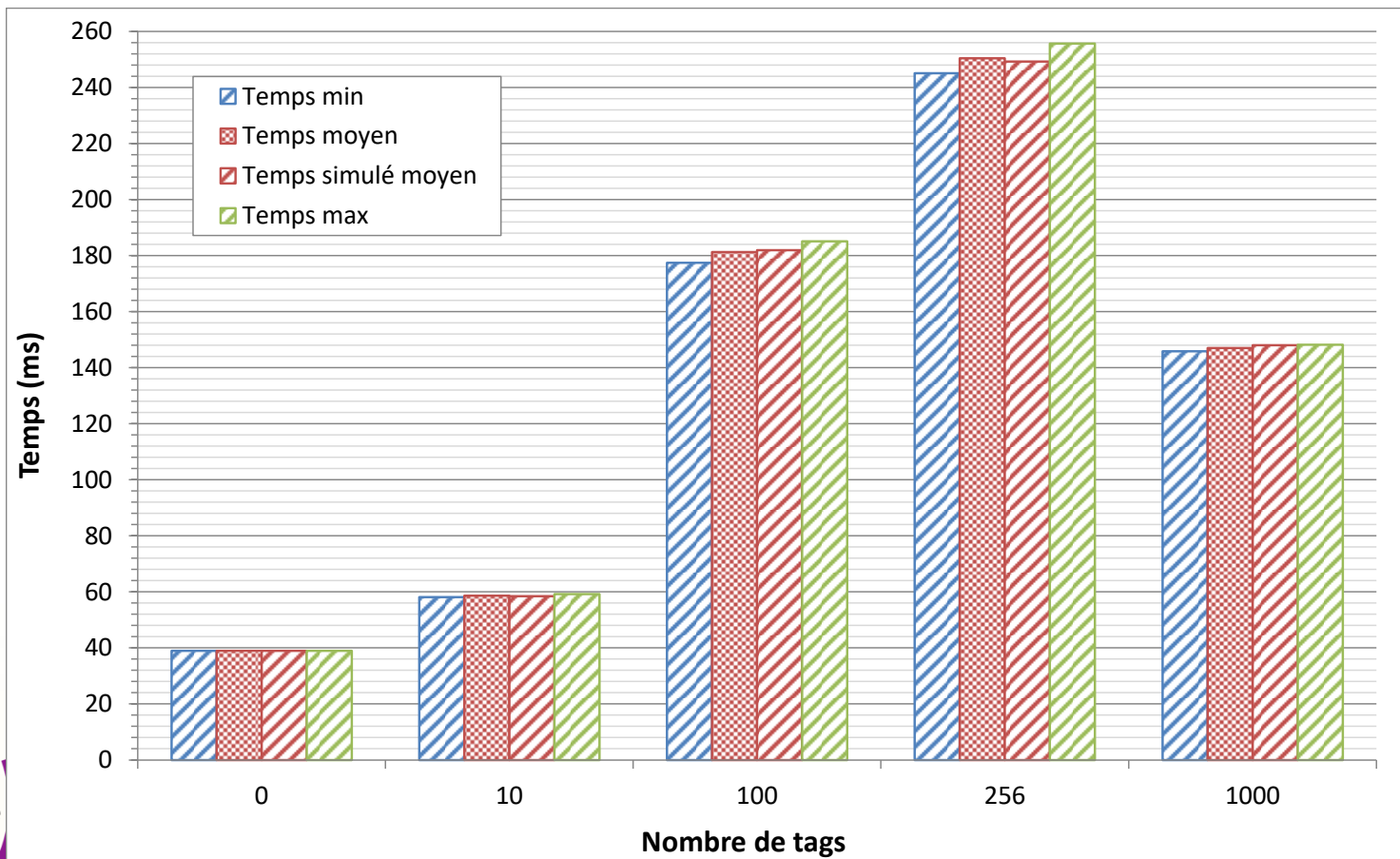


# SERFID

- **Validation du comportement temporel**
  - Possibilité de calculer le temps que prend un slot collision, vide et singleton
  - Pour un nombre de slots donné et un nombre de tags donné, nombre de slots collisions, vides ou singletons prédictible

# SERFID

## ■ Validation de l'algorithme anticollision





# SERFID

- **3 modèles de fautes :**
  - Désactivation puis réactivation des canaux
    - Canal entièrement désactivé : puissance + information
    - 5 à 10% des tags affectés
    - Période de 100, 600, 1200 ms avec duty cycle 50%
    - Caractéristique de défaillances :
      - Dans le médium (canal de transmission, environnement)
      - Dans la couche physique (antennes)
      - Dans le composant alimentation

# SERFID

## ■ 3 modèles de fautes :

- Communication impossible périodiquement
  - Seule l'information n'est plus disponible
  - Equivalent à des bursts définis dans IEC61000-4-4
  - Période : 300ms, durée : 15ms
  - Caractéristique de défaillances :
    - Dans le médium (canal de transmission, environnement)
    - Dans la couche physique (antennes, modulateur, démodulateur)

# SERFID

## ■ 3 modèles de fautes :

- Diminution de la qualité du lien lecteur/tag
  - Augmentation du taux d'erreurs binaires de  $2.10^{-3}$  à  $7.10^{-3}$
  - Pour 2%, 5% ou 10% des tags
  - Caractéristique de défaillances :
    - Dans le médium (canal de transmission, environnement)
    - Dans la couche physique (antennes, modulateur, démodulateur)
    - Dans la logique du tag ou du lecteur

# SERFID

The screenshot displays the SERFID software interface, specifically the 'Compare' tab. The interface is divided into several sections:

- Profiles:** A list of profiles on the left, including 'Tests without errors', '10 tags ber 0.5 & 0.', 'limit', 'Test: 0', 'Test: 1', 'Test: 2', 'Test: 3', 'Test: 4', 'Test: 5', 'Test: 6', 'Test: 7', 'Test: 8', and 'Test: 9'.
- Profile Selection:** Two dropdown menus for 'Profile 1' and 'Profile 2'. 'Profile 1' is set to 'Limit' and 'Profile 2' is set to 'Test 0'.
- Comparing plugins:** A list of plugins to be compared, including 'GlobalReadRate', 'Number of tags testing method', and 'Profile Testing Method'. There are 'remove' and 'add' buttons.
- Compare Results:** A large text area at the bottom showing the results of the comparison. It includes the following text:
 

```

=====
Compare: GlobalReadRate
Average is : 47.77363636363636There is a fault in the system: 47.77363636363636 < 49.8092727
=====
Compare: Number of tags testing method
Number of detected tags : 110
=====
Compare: Profile Testing Method
Number of difference between limit and results 0.17636363636363636There is a fault in the system!
      
```

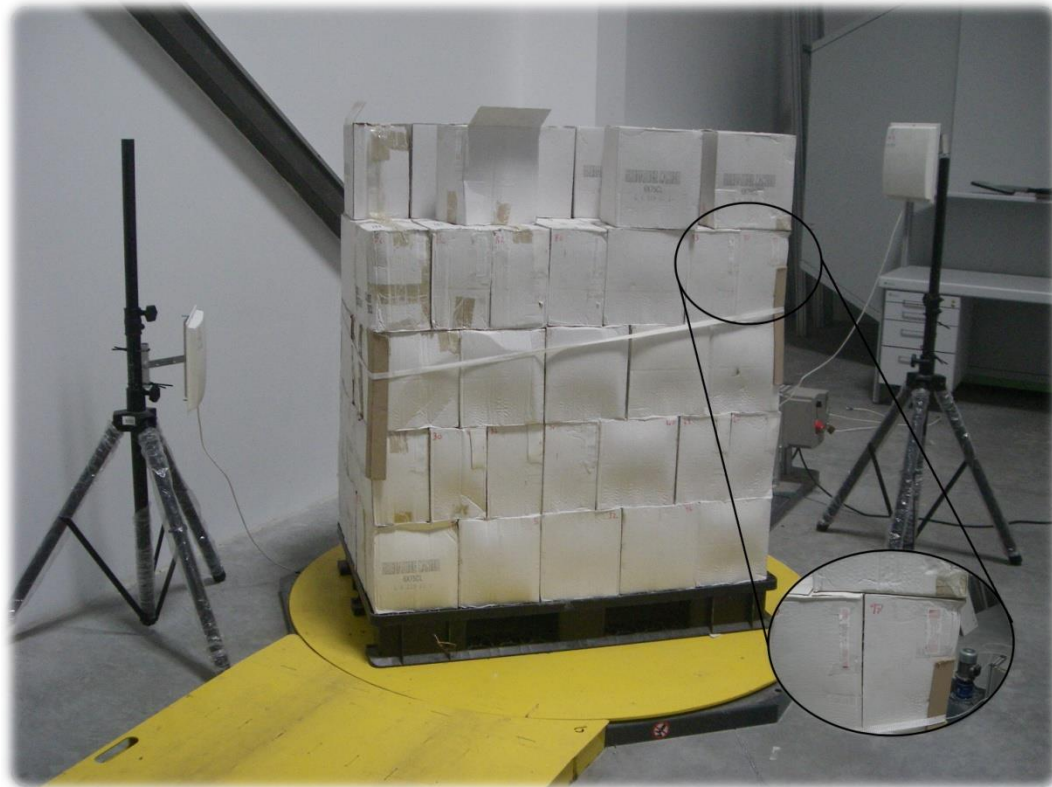
# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion



# Méthode de test en ligne

- Présentation du système
  - Palette contenant 110 cartons de sirop



 **RFTLab**<sup>®</sup>  
Centre d'Essais Radio Fréquence

# Méthode de test en ligne

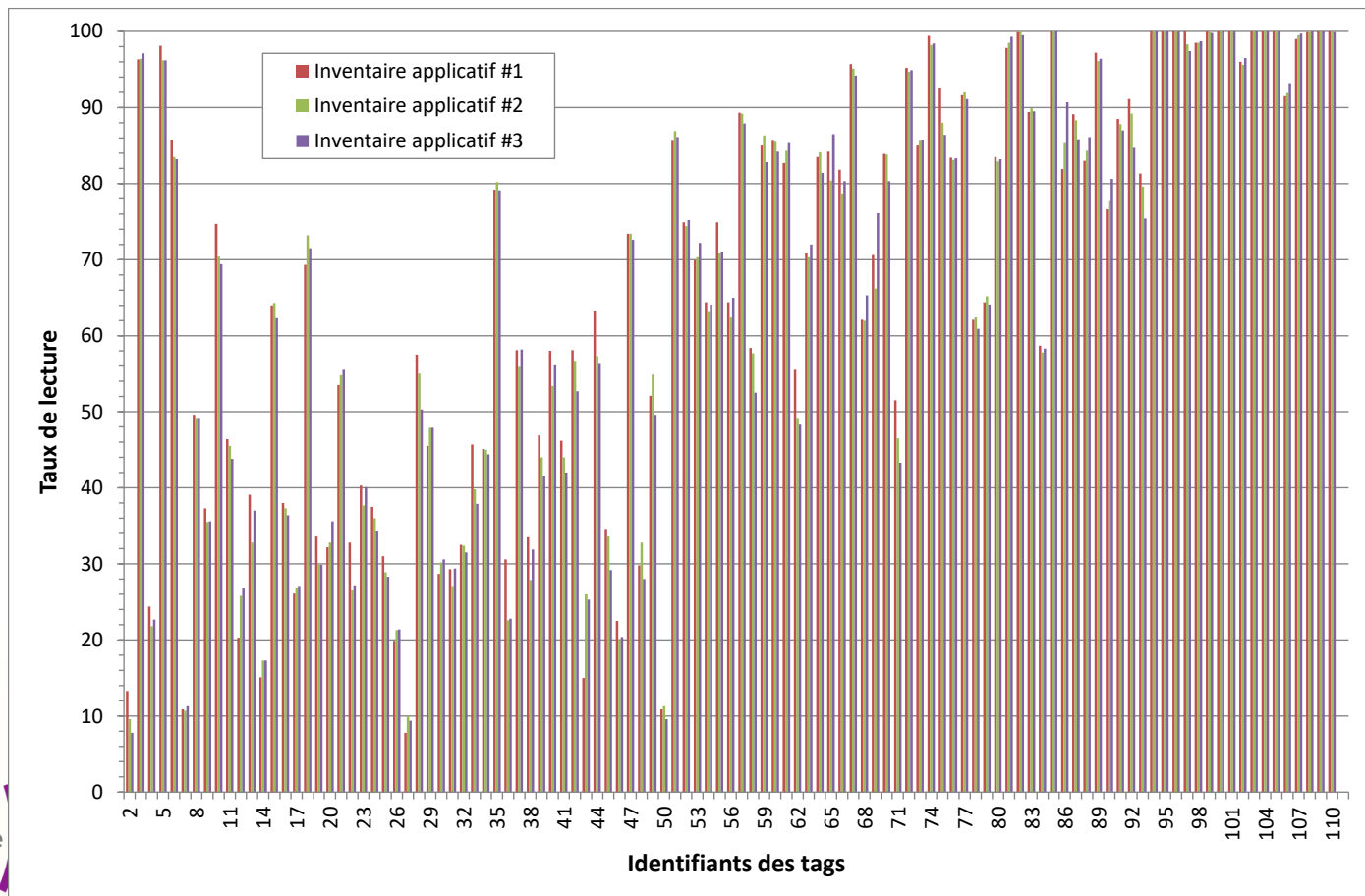
## ■ Présentation du système

- Inventaire applicatif : inventaire vu par l'utilisateur
- Inventaire simple : tentative de lecture des tags
- Inventaire applicatif = 100 inventaires simples
- 32 slots par frame



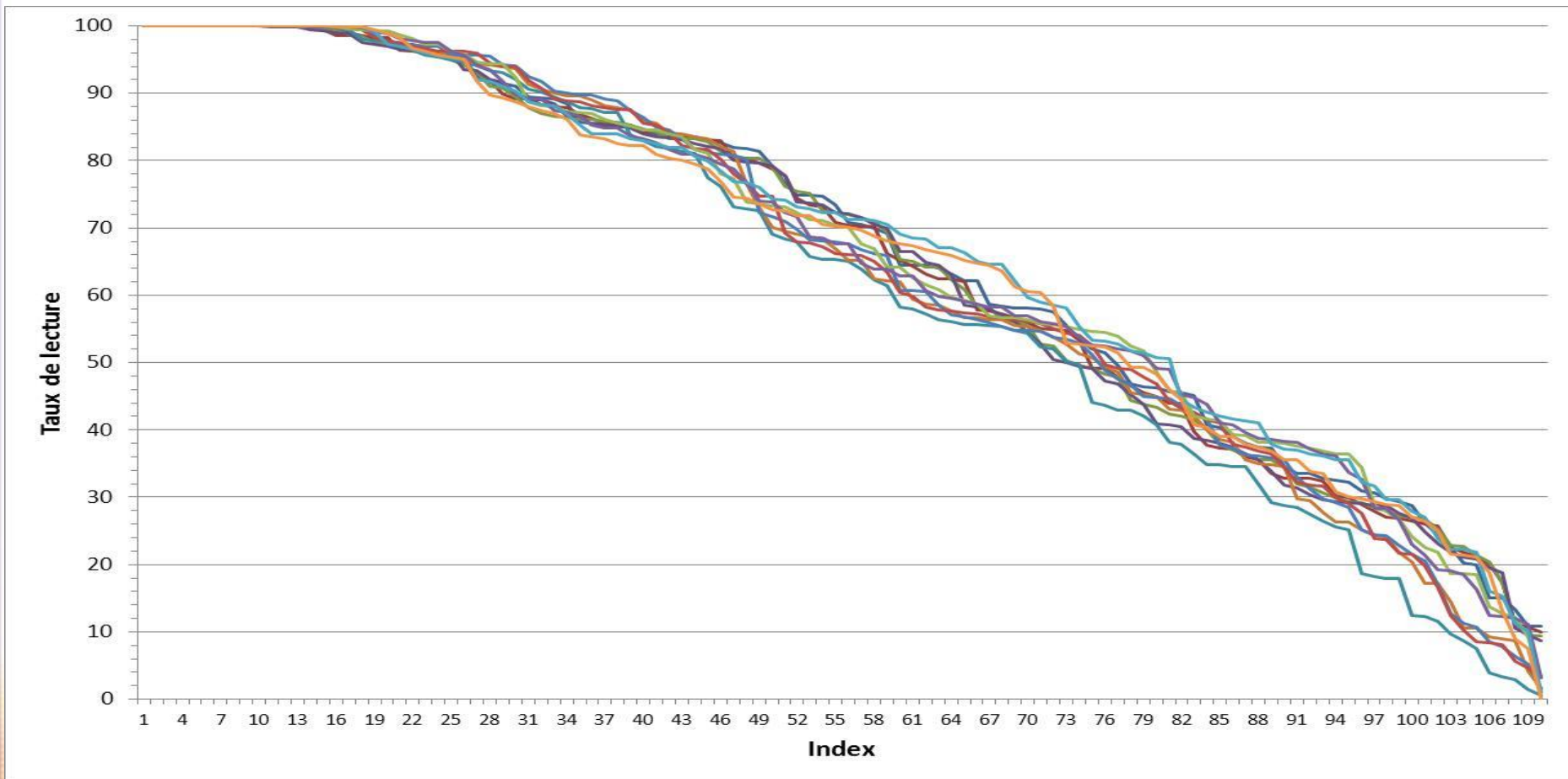
# Méthode de test en ligne

## ■ Observations des taux de lecture par identifiant



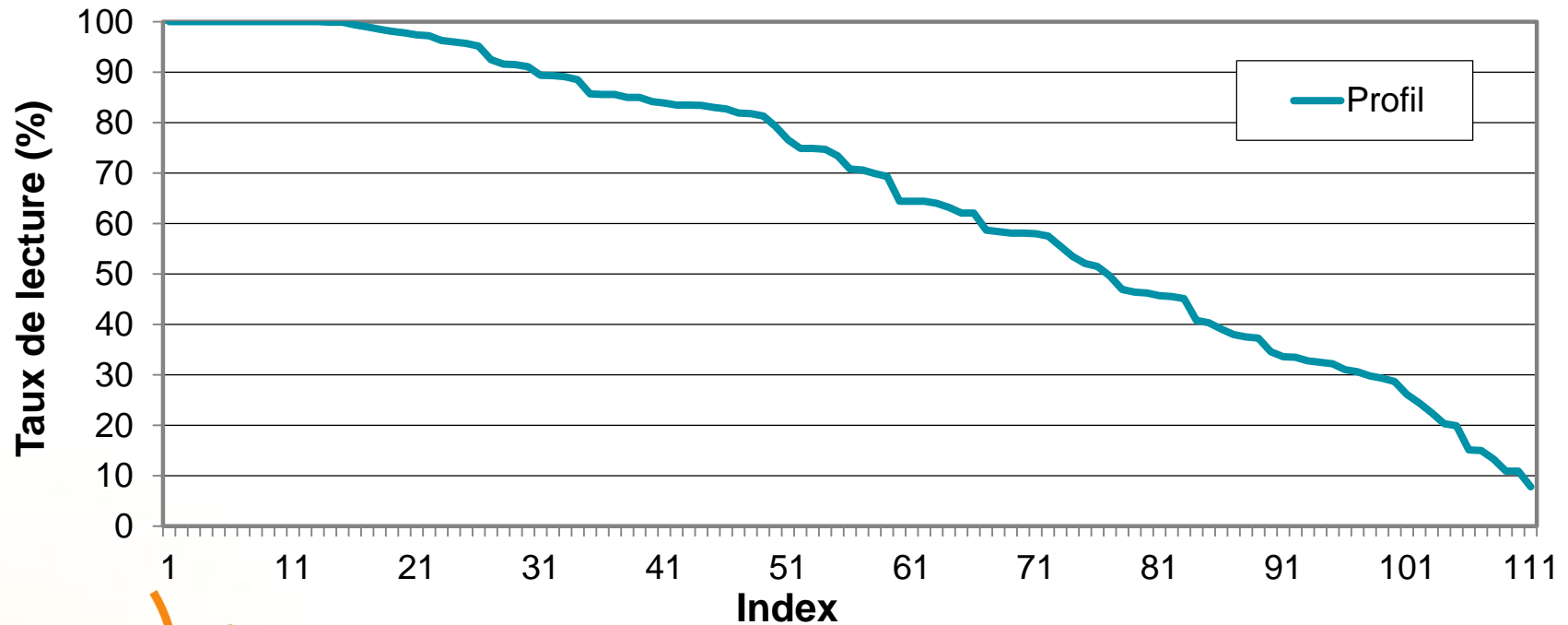
# Méthode de test en ligne

## ■ Observations des taux de lecture *ordonnés*



# Méthode profil

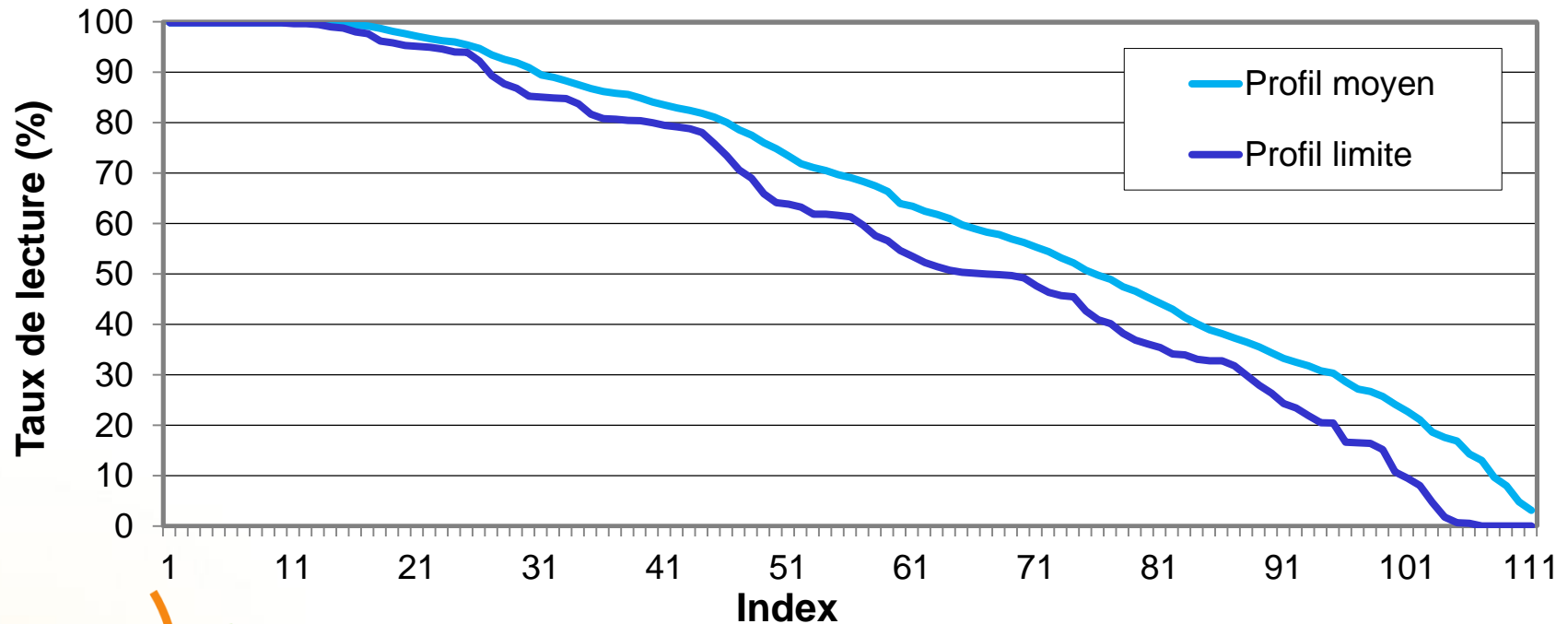
- Exemple de profil pour une palette de 110 cartons de sirop sur plateforme tournante



# Méthode profil

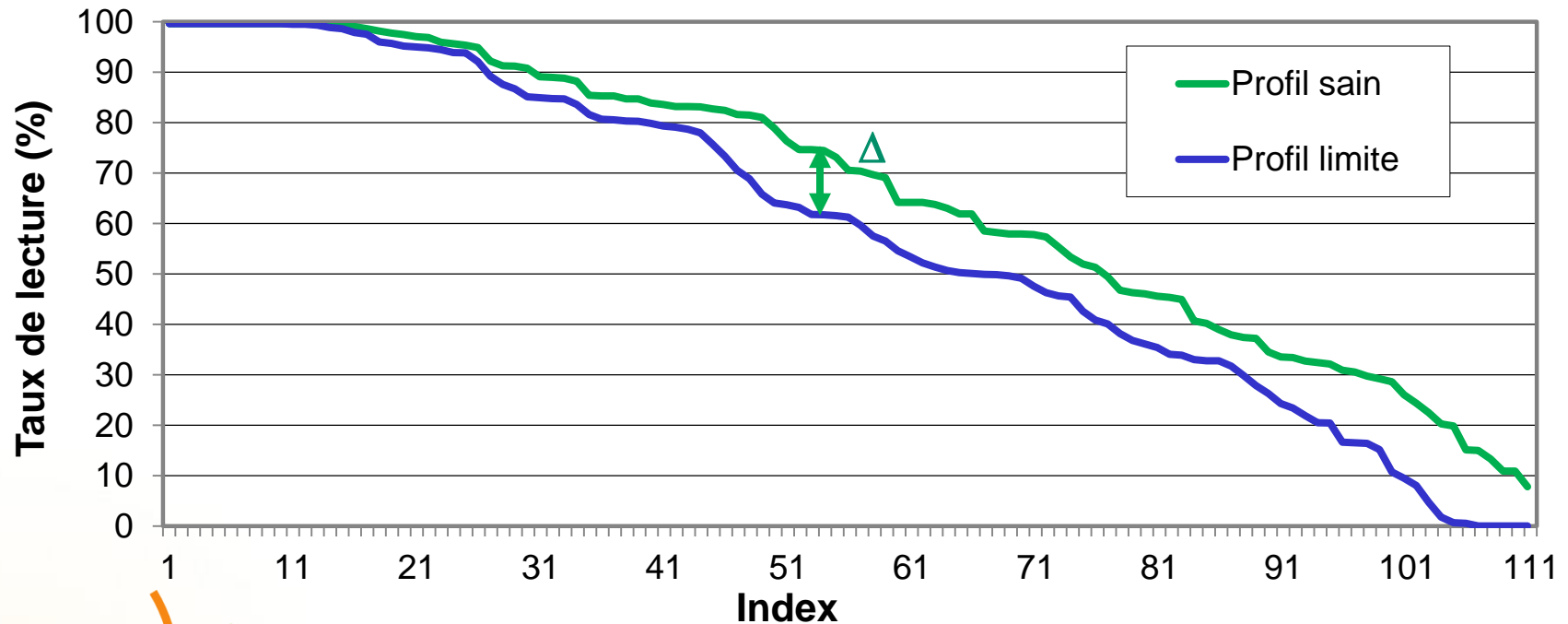
- Etude statistique pour déterminer la limite

$$profile_{moyen} = \left\{ \bar{n}_i / \bar{n}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M e_{i_j} \right\} - profile_{limite} = \left\{ \bar{l}_i / \bar{l}_i = \bar{n}_i - 3 \cdot \sigma_i \right\}$$



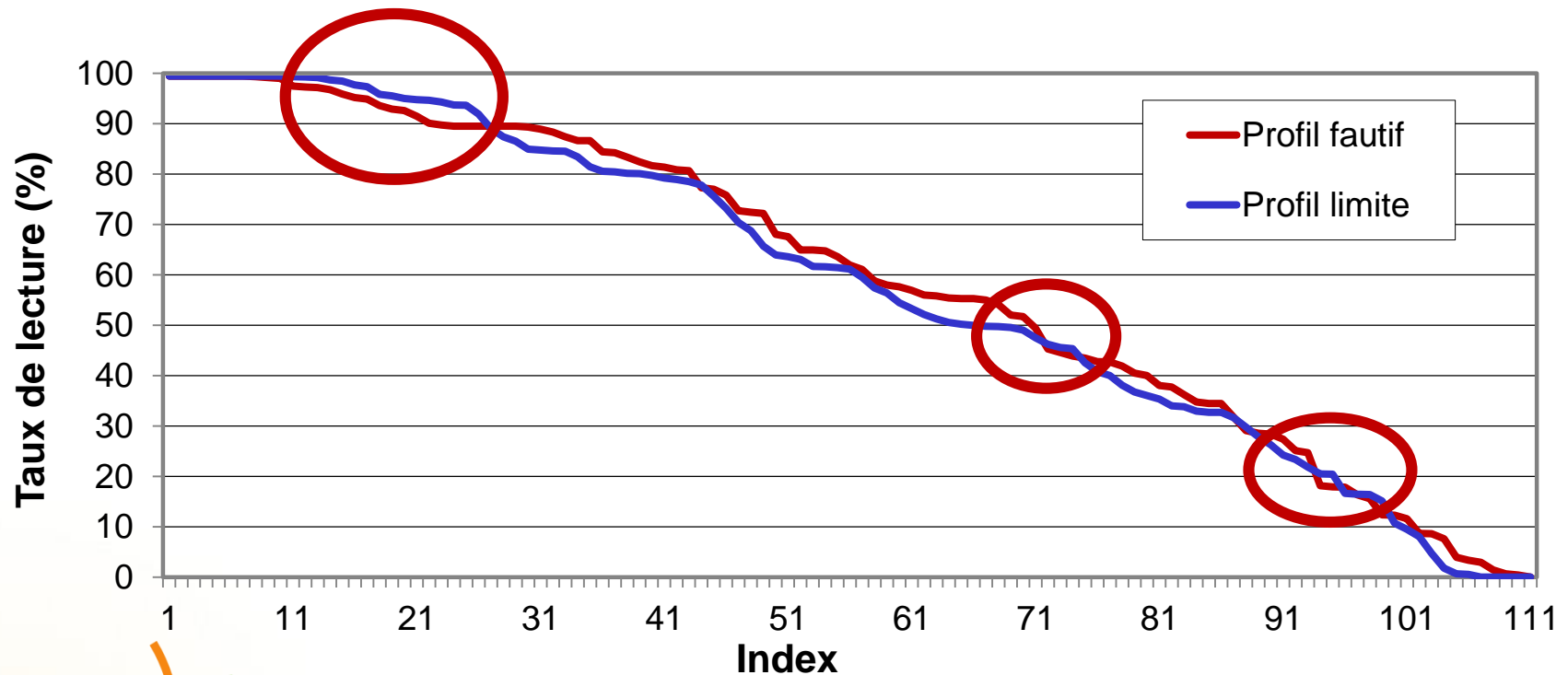
# Méthode profil

- Si chaque point du profil est au dessus de la limite  
=> Système sain



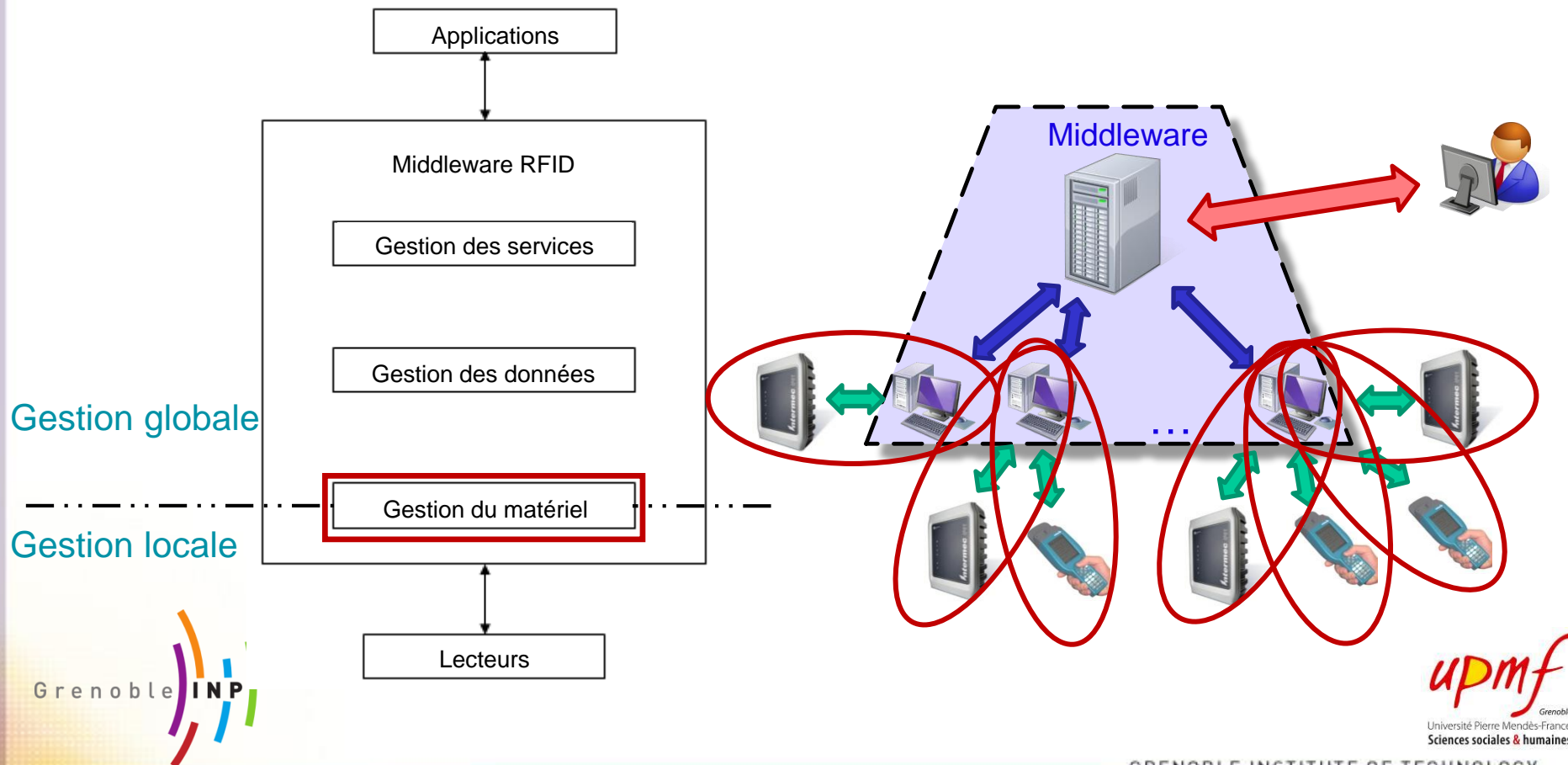
# Méthode profil

- Si au moins un point du profil est en dessous de la limite  
=> **Système fautif**



# Méthode profil

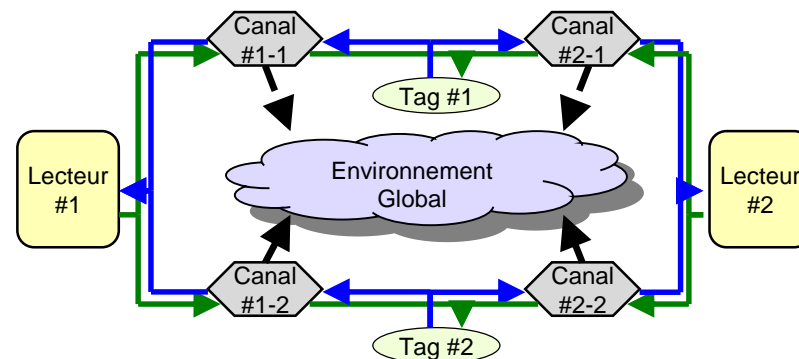
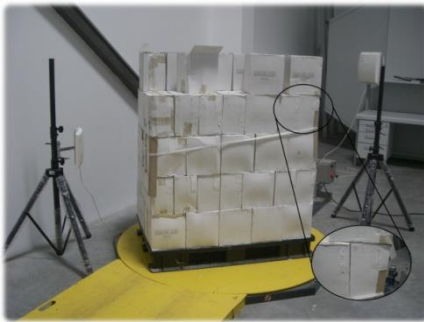
- Méthode développée dans le middleware





# Méthode profil

- Évaluation par expérimentation
- Évaluation par simulation
  - Sur différents systèmes :
    - Taux de lectures peu, moyennement ou fortement variables
  - Avec différentes fautes :
    - Fautes impactant le système faiblement, moyennement ou fortement



# Méthode profil

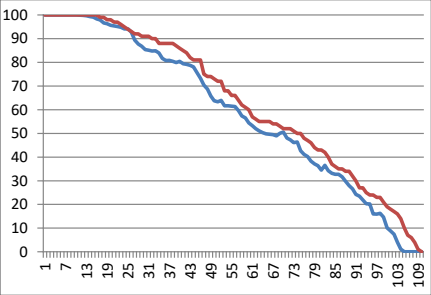
## ■ Méthode

- Analyse statistique des taux de lectures pour déterminer les limites pour les méthodes RETR, ATTV et profil
- Injection de fautes et application des méthodes

# Méthode profil

## évaluation par expérimentation

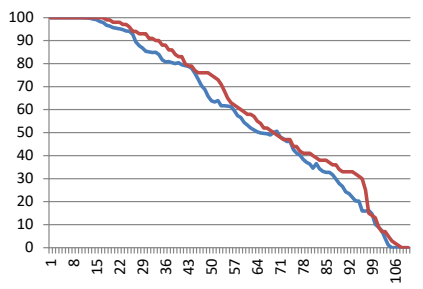
- La rotation de la palette est arrêtée pendant 15s

	Système 5
Nombre de tags dont le taux de lecture diminue d'au moins 10%	25
Augmentation du taux d'erreurs	+1,66
Nombre de tags détectés	109
Profil vs Profil limite	
Points du profil en dessous de la limite	1
ATTV	
RETR	
Profil	X

# Méthode profil

## évaluation par expérimentation

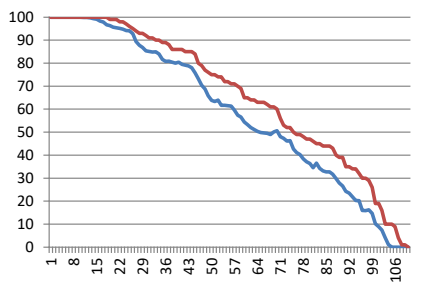
- L'emplacement de 21 tags choisis aléatoirement est modifié

	Système 4
Nombre de tags dont le taux de lecture diminue d'au moins 10%	29
Augmentation du taux d'erreurs	+2,48
Nombre de tags détectés	107
Profil vs Profil limite	
Points du profil en dessous de la limite	7
ATTV	X
RETR	
Profil	X

# Méthode profil

## évaluation par expérimentation

- L'emplacement de 5 tags choisis aléatoirement est modifié

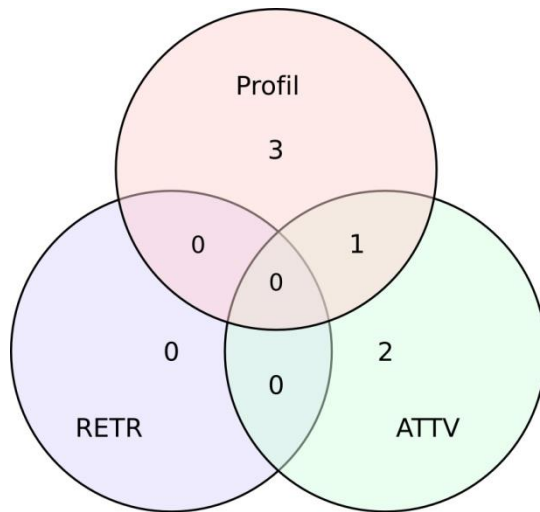
	Système 2
Nombre de tags dont le taux de lecture diminue d'au moins 10%	14
Augmentation du taux d'erreurs	-1,17
Nombre de tags détectés	108
Profil vs Profil limite	
Points du profil en dessous de la limite	0
ATTV	X
RETR	
Profil	

# Méthode profil

## évaluation par expérimentation

### ■ Conclusion

- 1<sup>ère</sup> évaluation comparative
  - 9 injections de fautes
- Utilisation conjointe des méthodes pour une meilleure détection

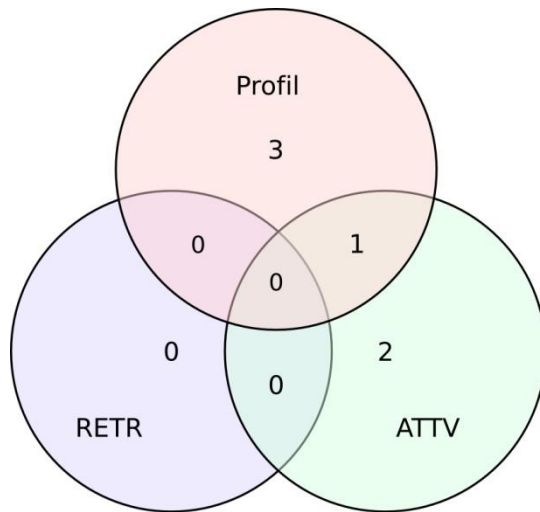


# Méthode profil évaluation par expérimentation

## ■ Conclusion

– Mais :

- Injection de fautes complexes et difficilement maîtrisable
- Beaucoup de manipulations

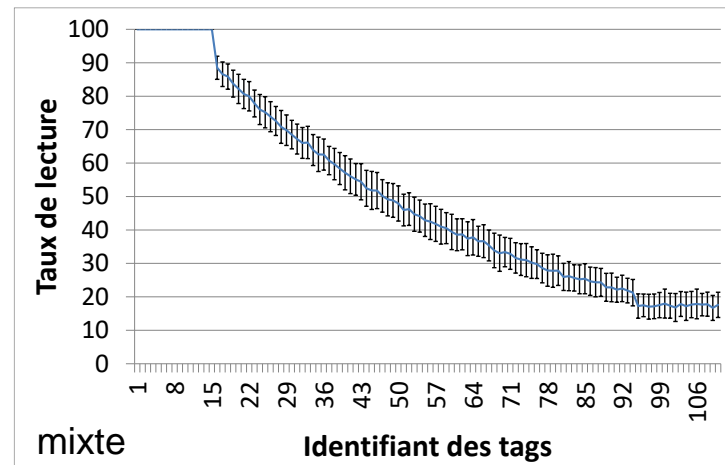
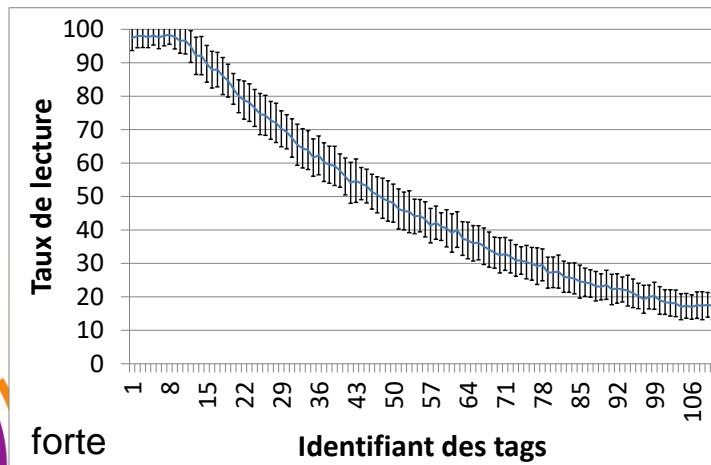
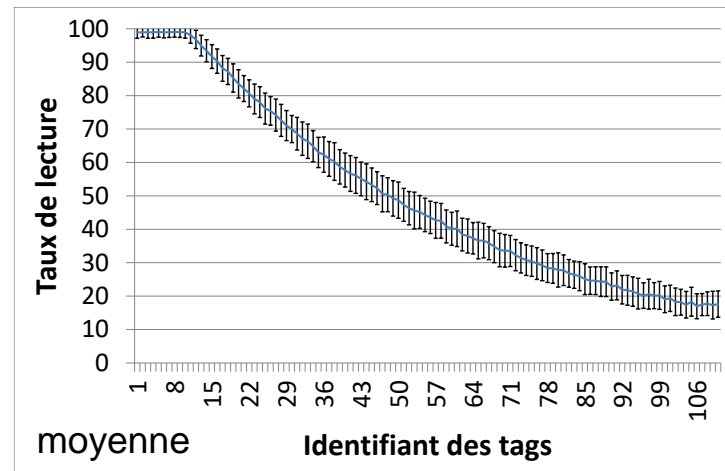
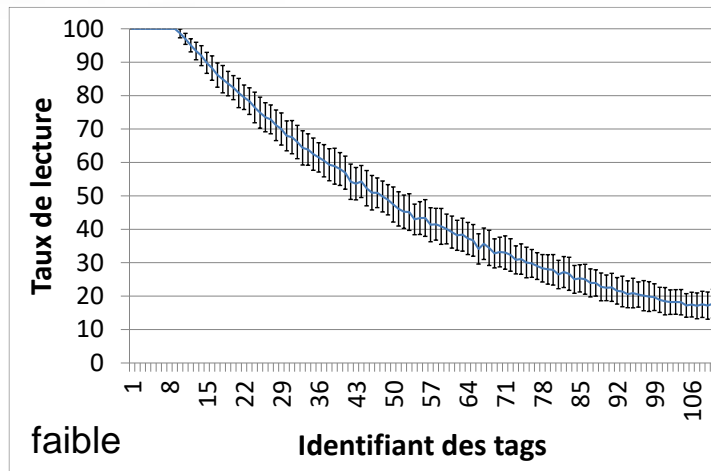




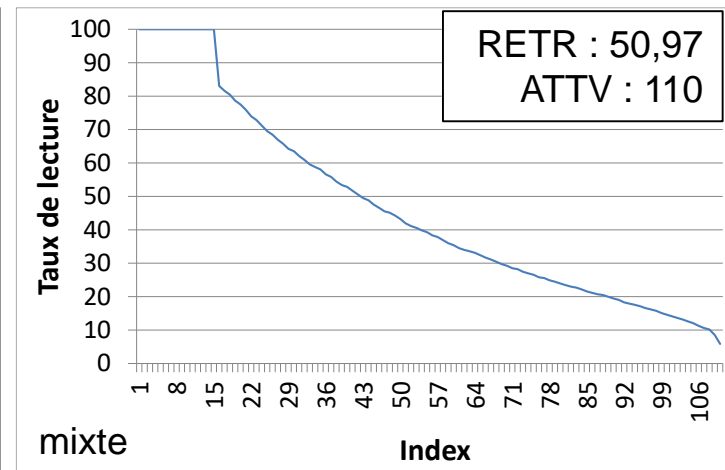
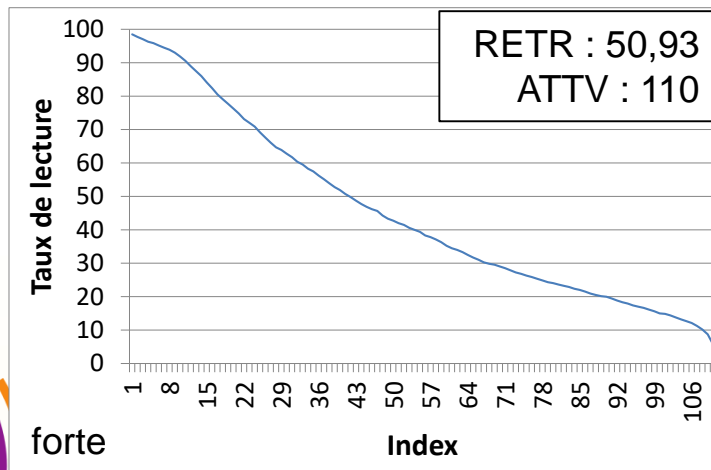
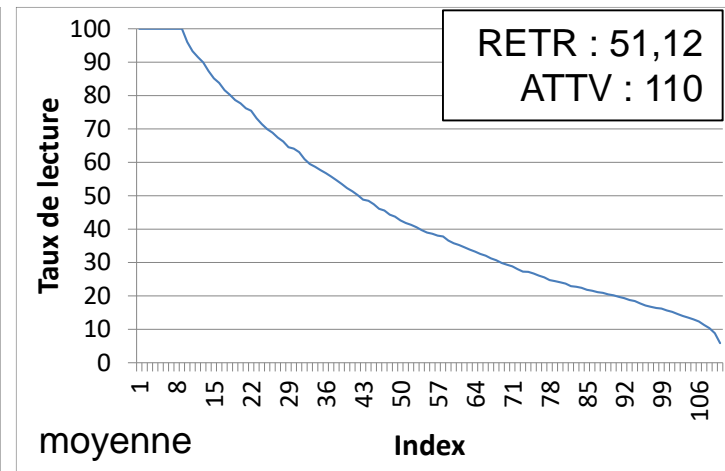
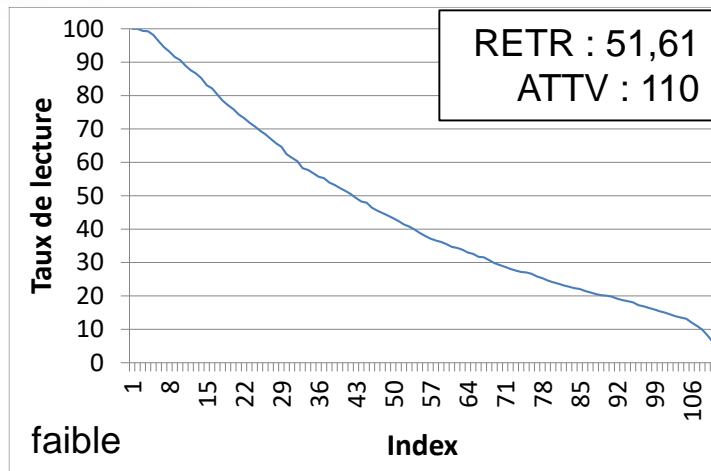
# Méthode profil évaluation par simulation

- **Simulation de 4 systèmes**
  - Permet d'évaluer la méthode profil sur des systèmes dont la variabilité est différente :
    - Forte
    - Moyenne
    - Faible
    - Mixte

# Méthode profil évaluation par simulation



# Méthode profil évaluation par simulation

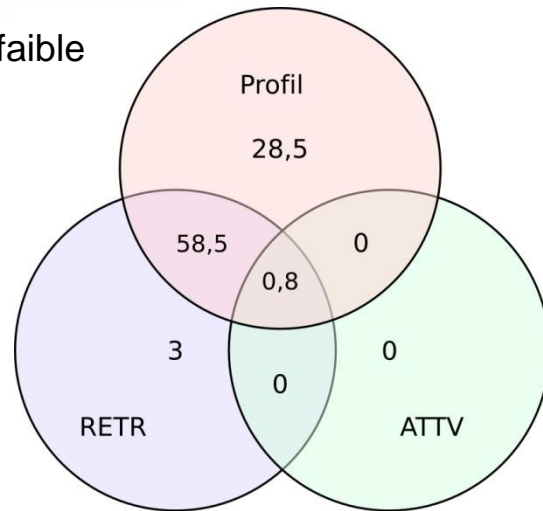


# Méthode profil évaluation par simulation

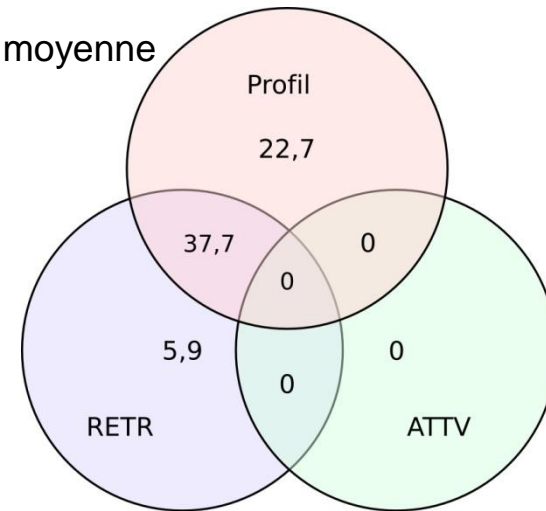
- **Injection du 3<sup>e</sup> modèle de faute :**
  - Diminution de la qualité du lien lecteur/tag
    - Augmentation du taux d'erreurs binaires de  $2.10^{-3}$  à  $7.10^{-3}$
    - Pour 2%, 5% ou 10% des tags
- **Chaque faute est simulée 20 fois**
  - A chaque fois, un nouveau groupe de tags affectés est choisi au hasard

# Méthode profil évaluation par simulation

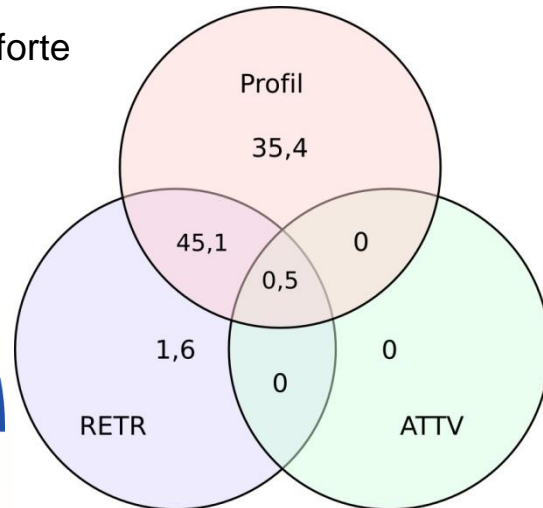
faible



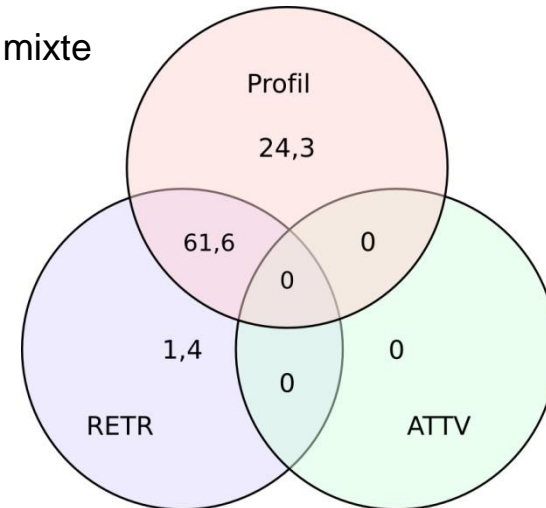
moyenne



forte



mixte



# Méthode profil évaluation par simulation

## ■ MAIS

- Taux de fausses détections : env. 10%
    - Dépend de la variabilité du système
    - Dû au nombre de variables aléatoires dont est composé le profil
- ⇒ Solution intrusive : effectuer le test une seconde fois pour confirmer la classification en système fautif
- ⇒ Autres solutions en perspective

# PLAN

- Introduction
- État de l'art
- Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
- SERFID : outil de simulation de systèmes RFID
- Méthode de test en ligne pour détecter les défaillances
- Conclusion



# Conclusion

## ■ Contribution

- Réalisation d'une AMDE
- Proposition d'un modèle de système RFID
- Proposition de modèles de fautes pour les systèmes RFID
- Implémentation en SystemC des modèles :
  - Simulateur SERFID
  - HF [ISO-15693] et UHF [EPC Classe 1 Génération 2]
- Méthode de test en ligne : méthode Profil
  - Détection de diminution de performance
- Comparaison avec des méthodes existantes : ATTV et RETR

# Conclusion

## ■ Perspectives

### – Pour ce travail

- Amélioration du modèle pour une prise en compte des phénomènes physiques plus détaillée : TEB, propagation de la puissance
- Amélioration de la méthode profil
  - Modification pour la rentre non intrusive :
    - » Etude des dépassements
- Utilisation au niveau global des résultats locaux
  - Permet de faire de recoupement

# Conclusion

## ■ Perspectives

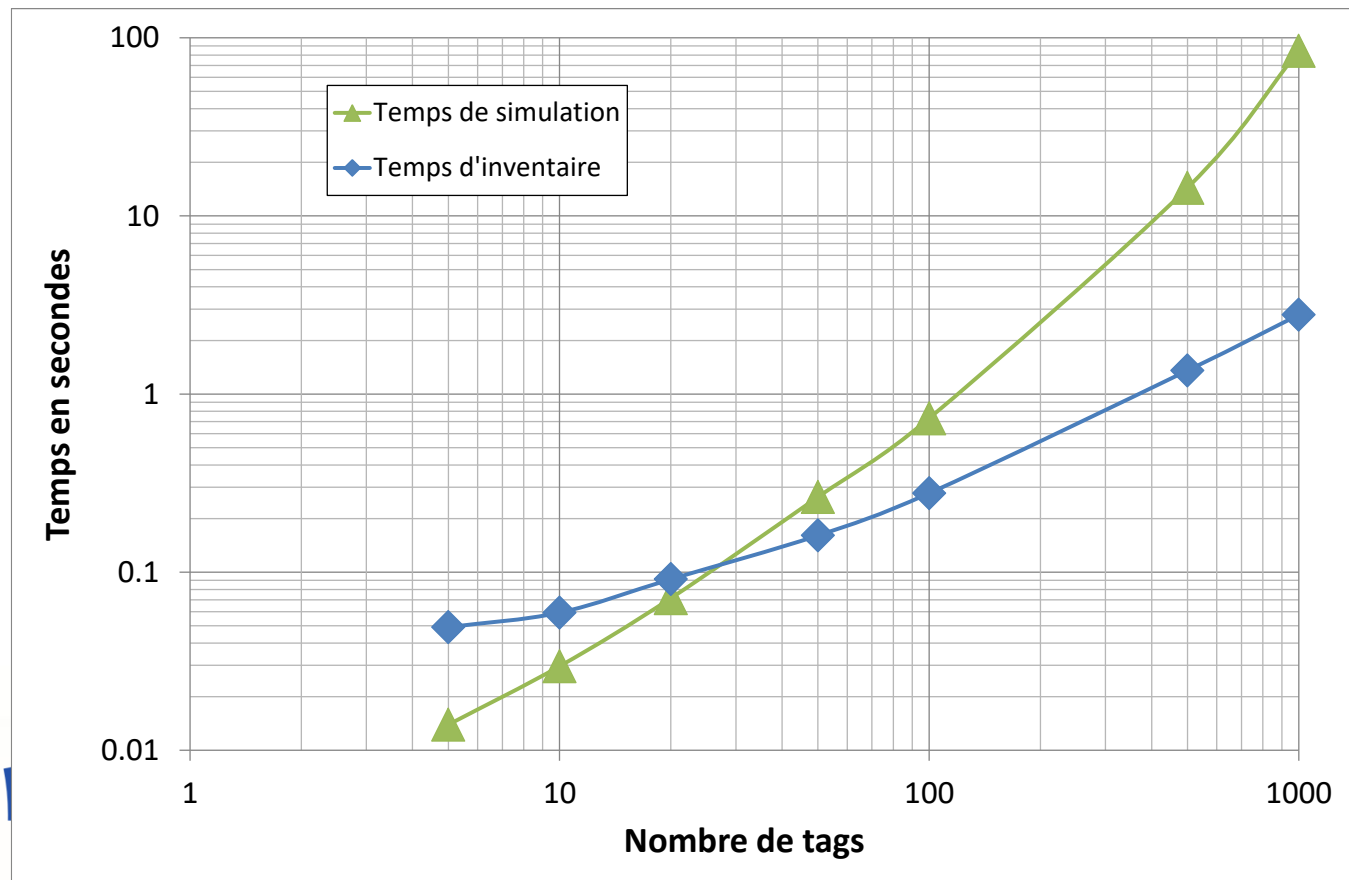
### – Pour le projet SafeRFID [ANR JC]

- Axe lié à la SdF au niveau du middleware
  - À son utilisation pour détecter, diagnostiquer et reconfigurer en agrégeant les résultats des différents tests locaux
    - ⇒ Utilisation de SERFID pour simuler un réseau de lecteurs, injecter des fautes et évaluer les actions menées au niveau du middleware
- Axe lié à la SdF au niveau des tags
  - À la définition et la conception d'un tag sur une carte FPGA
    - » Pour valider l'architecture numérique d'un tag en environnement réel
    - » Injecter des fautes en environnement réel
  - => Utilisation de SERFID pour évaluer l'impact sur le lecteur, les communications, et sur la robustesse vis-à-vis des fautes externes au tag

**Merci de votre attention**

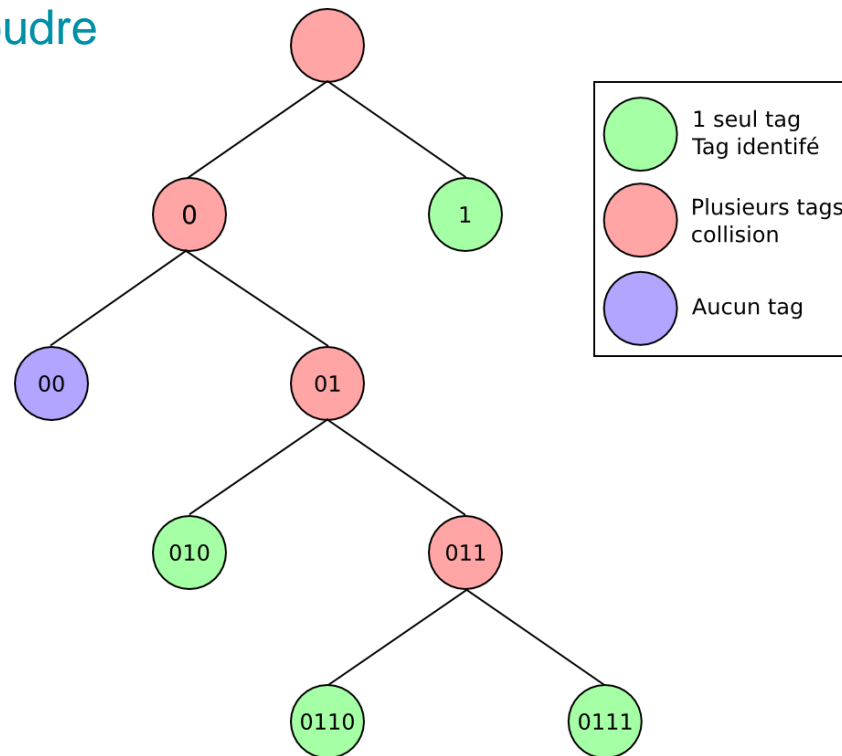
# SERFID

## ■ Temps de simulation

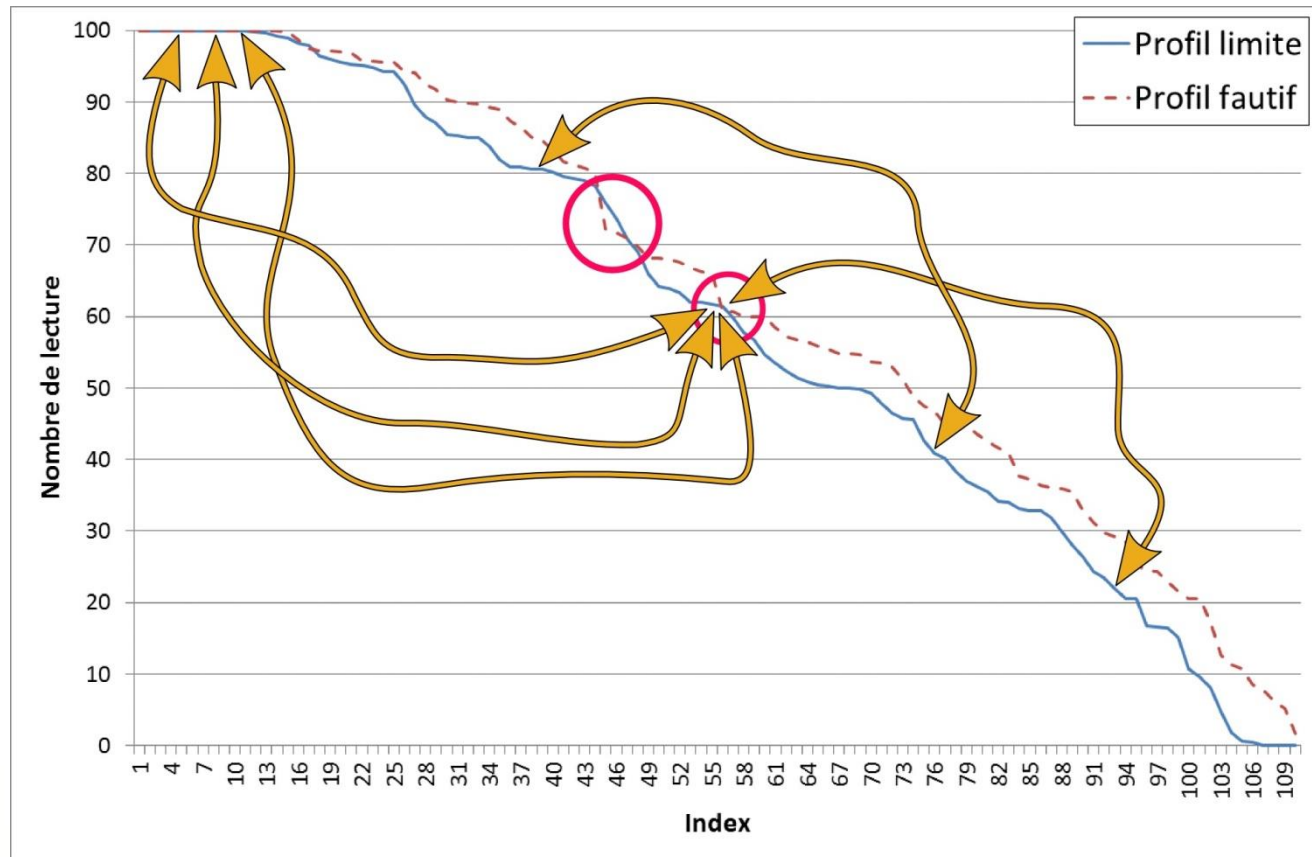


# Technologie RFID

- **Problème des collisions**
  - Utilisation d'algorithme anti-collision
    - Eviter
    - Résoudre



# Méthode profil évaluation par simulation





# Méthode profil évaluation par simulation

