

# Modélisation et évaluation de la disponibilité d'un système de signalisation ferroviaire ERTMS niveau 2

**Siqi Qiu<sup>a</sup>, Mohamed Sallak<sup>a</sup>, Walter Schön<sup>a</sup>,  
Zohra Cherfi<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>UMR CNRS 7253 Heudiasyc  
Université de Technologie de Compiègne

<sup>b</sup>UMR CNRS 7337 Roberval  
Université de Technologie de Compiègne

22 Mars 2013  
Qualita'2013 - Compiègne, France

# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
- Système de signalisation ferroviaire
- Modélisation
- Simulation et évaluation
- Conclusion et perspective

# Introduction

## Problèmes traités

- Proposer la modélisation d'un système de signalisation ferroviaire ERTMS niveau 2 en utilisant les Statecharts.

Le système de signalisation ferroviaire est un  
**Système-de-Systèmes**

- Proposer l'évaluation de performances de ce système en termes de disponibilité et de temps moyen passé dans chaque état (mode de fonctionnement nominal, mode dégradé et mode de défaillance).

Multi-état

# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
  - Définition
- Système de signalisation ferroviaire
- Modélisation
- Simulation et évaluation
- Conclusion et perspective

# Système-de-Systèmes

## Définition

Un SdS est un ensemble complexe qui:

- se compose de parties complexes et indépendantes ayant plusieurs configurations;
- est caractérisé par la complexité contextuelle qui affecte son comportement;
- a des limites ambiguës et changeantes;
- présente des propriétés émergentes.

Intérêt: Avoir une vue globale du SdS qui tient compte des systèmes qui constituent le SdS ainsi que les différentes relations et interactions entre ces systèmes.

# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
- **Système de signalisation ferroviaire**
  - Système européen de surveillance du trafic ferroviaire (ERTMS)
  - ERTMS/ETCS niveau 2
- Modélisation
- Simulation et évaluation
- Conclusion et perspective

# Système européen de surveillance du trafic ferroviaire

## ERTMS

- Garantir l'interopérabilité entre des différents pays et fabricants en créant un standard européen pour les systèmes de contrôle-commande des trains.
- ERTMS = ETCS + GSM-R
- ETCS: Système européen de contrôle des trains
- GSM-R: Standard de communication sans fil basé sur le GSM pour les applications et les communications ferroviaires

# Système européen de surveillance du trafic ferroviaire

## ETCS

ETCS est un système de Protection Automatique des Trains (ATP). Il permet de

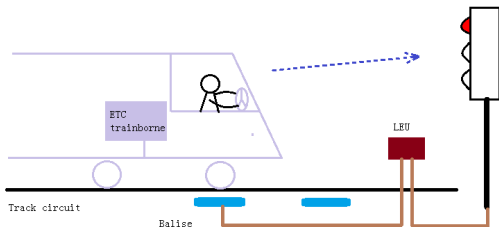
- freiner automatiquement un train en cas de danger
- échanger des informations avec le sol
- informer le conducteur
- superviser les actions du conducteur

Il a trois différents niveaux.



# Système européen de surveillance du trafic ferroviaire

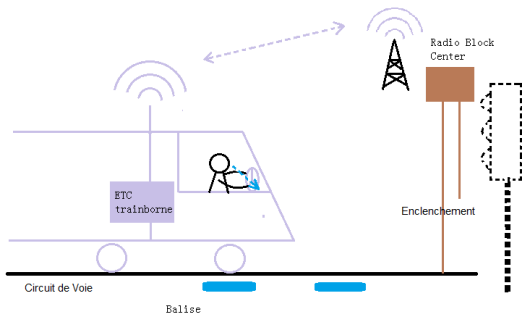
## ETCS Niveau 1



- Des informations sont transmises par des balises.
- Les signaux latéraux sont nécessaires.

# Système européen de surveillance du trafic ferroviaire

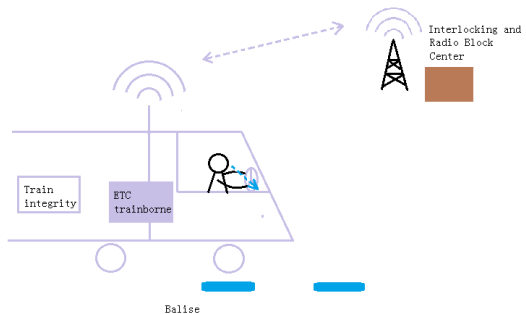
## ETCS Niveau 2



- Des informations sont transmises par radio.
- La description des voies est affichée dans la cabine, donc les signaux latéraux ne sont pas nécessaires.
- Les balises aident à déterminer et à corriger la position du train.

# Système européen de surveillance du trafic ferroviaire

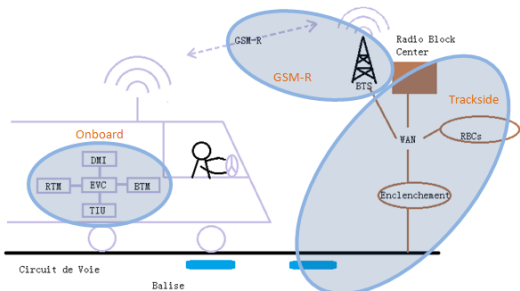
## ETCS Niveau 3



- La vérification de l'intégrité du train se fait par le train lui-même, donc les circuits de voie ne sont plus nécessaires.
- Les balises aident à mettre à jour des informations de position et transmettre les données par GSM-R.

## ERTMS/ETCS niveau 2

### Architecture de l'ERTMS/ETCS niveau 2



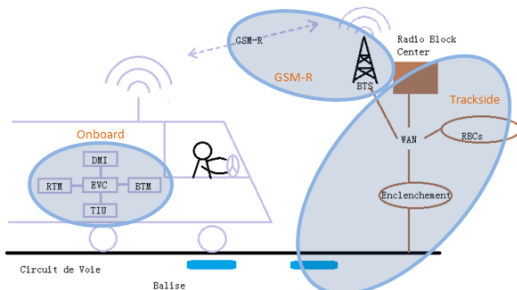
Ce système de signalisation se compose de trois systèmes:

- Système Onboard
- Système Trackside
- Système GSM-R



# ERTMS/ETCS niveau 2

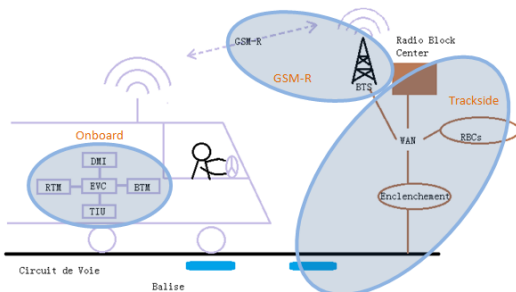
## Système Trackside



- Enclenchement
- Système de séparation
  - RBC(Radio Bloc Center)
  - Eurobalise

# ERTMS/ETCS niveau 2

## Système GSM-R

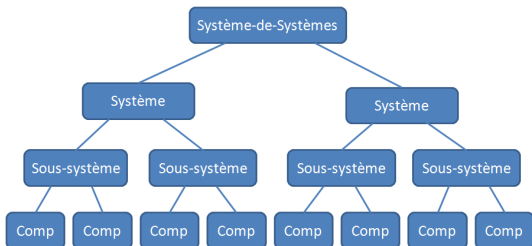


Fréquence des GSM-R messages:

- Direction “bord à sol”: 876-880 MHz
- Direction “sol à bord”: 921-925 MHz

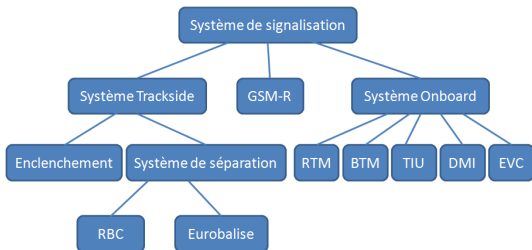
# Structure hiérarchique

## Système-de-Systèmes





# Structure hiérarchique ERTMS/ETCS niveau 2



# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
- Système de signalisation ferroviaire
- **Modélisation**
  - Facteur humain
  - Défaillances réseaux
  - Modélisation sous Stateflow
- Simulation et évaluation
- Conclusion et perspective

## Modélisation

### Facteur humain

Selon des statistiques aux États-Unis, les facteurs humains sont les sources les plus importantes des accidents/incidents de train.

	2007	2008	2009	2010	2011	Total
Absence de l'opérateur	101	91	53	63	74	382
Opérateur endormi	3	3	2	0	3	11
Affaiblissement à cause de médicament/alcool	1	0	0	1	0	2
Incapacité à cause de blessure/maladie	1	0	0	0	1	2
État physique de l'opérateur	1	0	0	0	1	2

Taux d'erreur

$$\lambda_{op} = \frac{382+11+2+2+2}{5ans*107} = 8.514 * 10^{-5} h^{-1}.$$

## Modélisation

### Défaillances réseaux

			2007	2008	2009	2010	2011	Total
Communication	radio,		9	9	4	5	4	31
échec à obéir								
Comm.	radio,	échec	4	4	0	2	1	11
d'envoi/réception								
Télécommande,	perte de		0	1	0	0	1	2
comm								

Taux de défaillance:

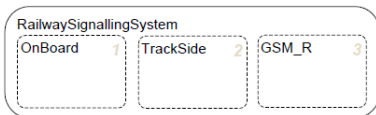
$$\lambda_r = \frac{31+11+2}{5\text{ans} \cdot 10^7} = 9.3885 * 10^{-6} h^{-1}.$$

Taux de réparation:

$$\mu_r = 0.6 h^{-1}.$$

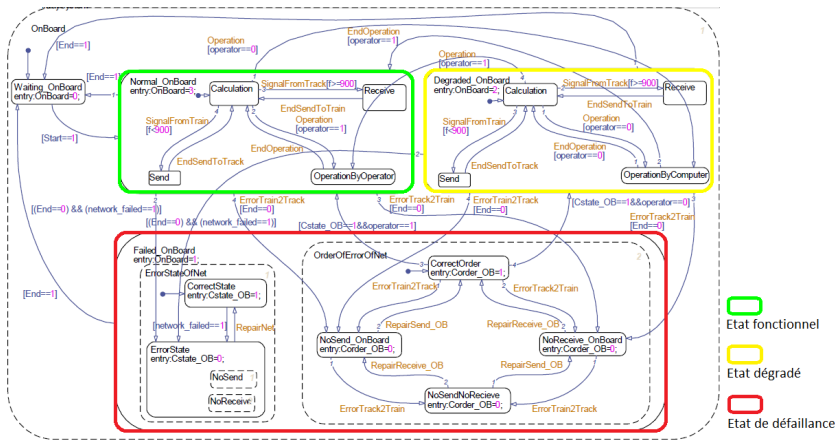
# Modélisation sous Stateflow

## Statechart du système de signalisation



# Modélisation sous Stateflow

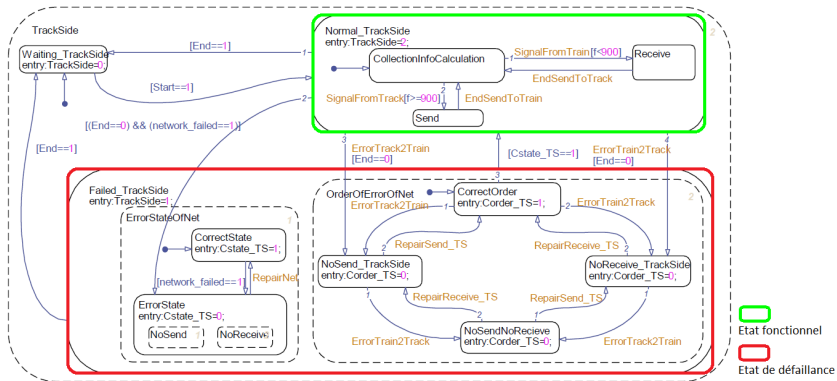
## Statechart du système Onboard



- Etat fonctionnel
- Etat dégradé
- Etat de défaillance

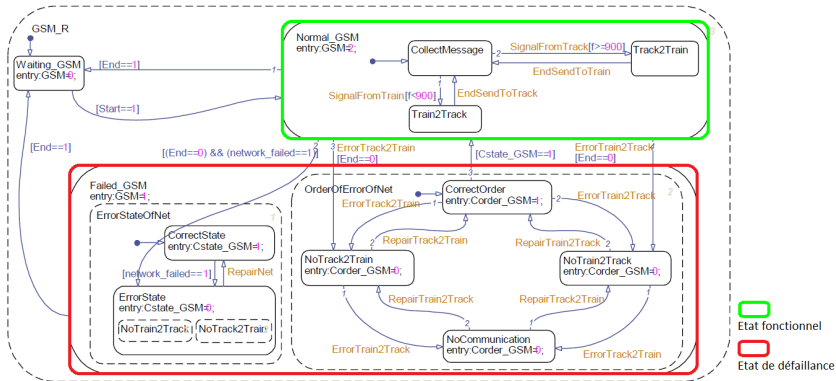
# Modélisation sous Stateflow

## Statechart du système Trackside



# Modélisation sous Stateflow

## Statechart du système GSM-R





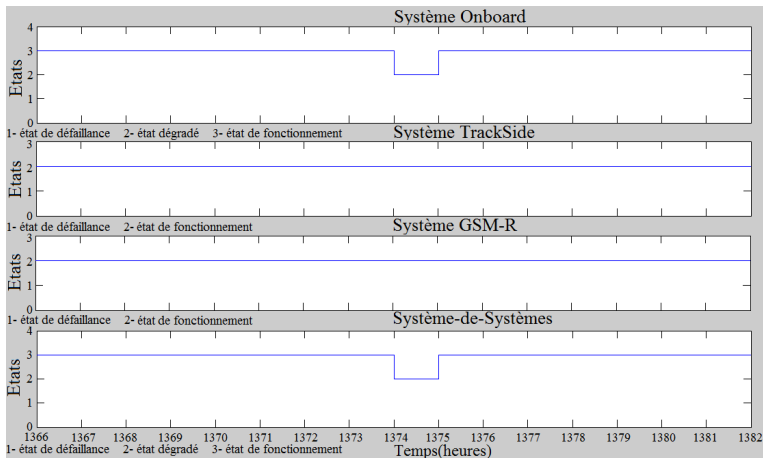
# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
- Système de signalisation ferroviaire
- Modélisation
- Simulation et évaluation
  - Simulation
  - Évaluation
- Conclusion et perspective

# Simulation

## Résultat

Les états de chaque système ainsi que l'état du SdS en fonction du temps:



# Évaluation

MUT (Durée moyenne de fonctionnement après réparation)

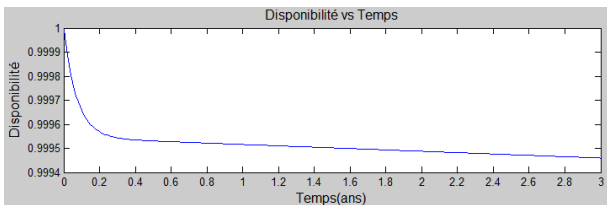
MDT (Durée moyenne d'indisponibilité)

MTTF (Temps moyen de fonctionnement avant panne)

MTBF (Temps moyen entre pannes)

Disponibilité instantanée

MUT	MDT	MTTF	MTBF
4984.6h	2.6h	5626.4h	4987.2h



# Plan

- Introduction
- Système-de-Systèmes
- Système de signalisation ferroviaire
- Modélisation
- Simulation et évaluation
- Conclusion et perspective

## Conclusion et perspective

### Conclusion

- Le système de signalisation ferroviaire ERTMS/ETCS niveau 2 est considéré comme un SdS.
- Les facteurs humains et les défaillances réseaux sont pris en compte.
- Le système de signalisation est modélisé en utilisant les statecharts.
- La performance du modèle est évaluée en termes de disponibilité instantanée et d'autres paramètres.

### Perspective

- Introduction de l'incertitude dans le modèle.

# Merci de votre attention