

Génération de composant “état de santé” pour monitorer le système embarqué de véhicule autonome

Sara Zermani, Catherine Dezan, Chabha Hireche,
Reinhardt Euler and Jean-Philippe Dignet

Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

11th National Conference on “Software and Hardware Architectures
for Robots Control” , SHARC'2016, Brest, France
30 Juin 2016

Projet financé par :
CNRS via un projet PICS (SWARMS 2013-2015),
et RELIASIC via le projet COMIN Labs (ANR-10-LABX-07-01).



Introduction

▷ Motivation

- Les systèmes autonomes :
 - de plus en plus complexes,
 - opèrent dans des environnements incertains.
 - Un dysfonctionnement peut avoir des conséquences désastreuses.
- ▷ La nécessité d'évaluer continuellement l'état de santé du système :
- vérifier la fiabilité de la mission,
 - détecter et localiser les défaillances,
 - agir en temps réel, dans le but de prendre des décisions (replanification, reconfiguration, etc.)

Introduction

▷ Contributions principales :

- 1 Un modèle probabiliste de l'évaluation de l'état de santé à partir d'une analyse de défaillances et leurs contextes d'apparition.
- 2 Application pour le cas du GPS et de la consommation énergétique.
- 3 Un Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW embarquée des modules "état de santé" sur un SoC hybride.

Outline

- 1 Introduction
- 2 Modèle probabiliste pour l'état de santé
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
- 5 Expérimentations et résultats
- 6 Conclusion

Outlines

- 1 Introduction
- 2 **Modèle probabiliste pour l'état de santé**
 - Modèles probabilistes et réseaux bayésiens
 - Réseaux bayésiens et FMEA
 - Modèle bayésien de l'état de santé à partir de l'analyse FMEA
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
- 5 Expérimentations et résultats
- 6 Conclusion

► Modèles probabilistes et réseaux bayésiens

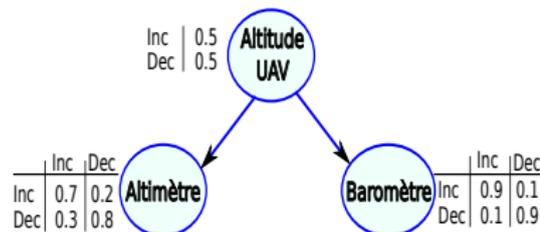
- Les systèmes de santé se basent sur des méthodes de diagnostic.
- Modèles utilisés :
 - réseaux neuronaux, systèmes experts, analyse de données, arbres de défaillance, modèles logiques, réseaux bayésiens, ...
- Dans le cas d'une mission autonome, les données peuvent être imprécises et incomplètes.
- Les réseaux bayésiens sont bien adaptés pour gérer l'incertitude.
 - Software Health Management with Bayesian Networks [Schumann et al., 2013].

Contribution

La génération d'un modèle de réseau bayésien pour l'état de santé à partir d'une analyse de défaillance (**FMEA**).

▷ Réseau bayésien [Pearl, 1988]

- Modélisation probabiliste et graphique des relations “cause à effet”.
- Basé sur des données observables, en déduire la probabilité des inobservables (**inférence**).



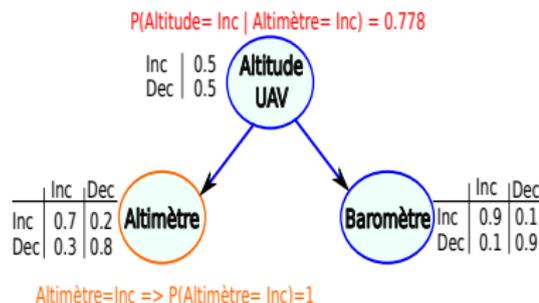
▷ Approche d'analyse de défaillance

- Identifier le **monitoring** des erreurs et leurs **contextes d'apparition**. (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [AIAG, 1993])

Type d'erreur	Monitoring	Contexte d'apparition
U_E_i	Capteur S_E_i	A_E_i

▷ Réseau bayésien [Pearl, 1988]

- Modélisation probabiliste et graphique des relations “cause à effet”.
- Basé sur des données observables, en déduire la probabilité des inobservables (**inférence**).



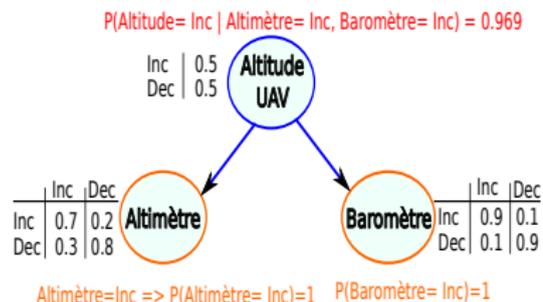
▷ Approche d'analyse de défaillance

- Identifier le **monitoring** des erreurs et leurs **contextes d'apparition**. (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [AIAG, 1993])

Type d'erreur	Monitoring	Contexte d'apparition
U_E_i	Capteur S_E_i	A_E_i

▷ Réseau bayésien [Pearl, 1988]

- Modélisation probabiliste et graphique des relations “cause à effet”.
- Basé sur des données observables, en déduire la probabilité des inobservables (**inférence**).

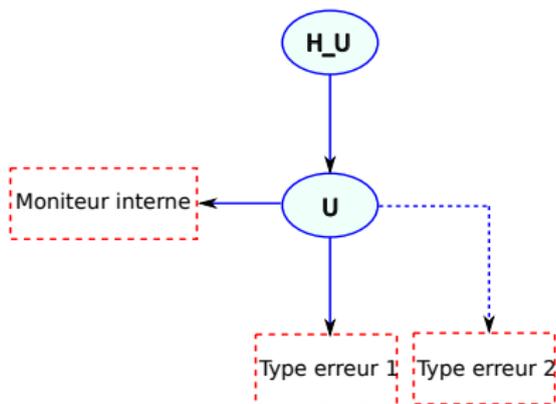


▷ Approche d'analyse de défaillance

- Identifier le **monitoring** des erreurs et leurs **contextes d'apparition**. (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [AIAG, 1993])

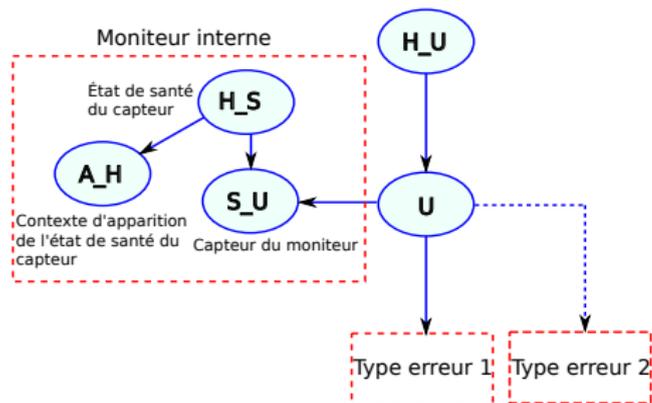
Type d'erreur	Monitoring	Contexte d'apparition
U_E_i	Capteur S_E_i	A_E_i

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé



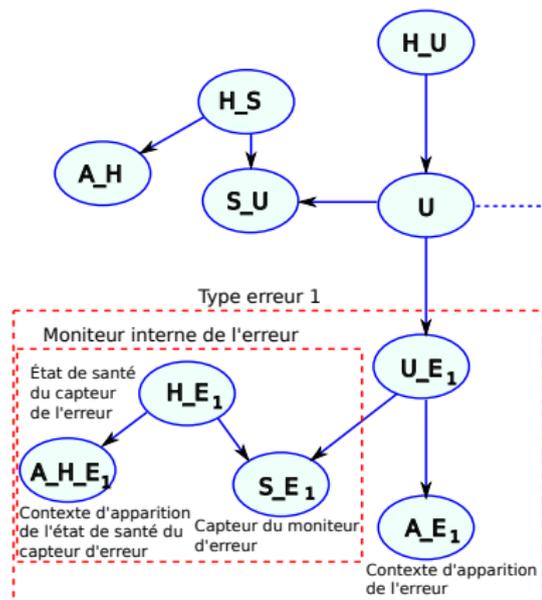
- $H.U$ (nœud Health) : état de santé du système.
- U (nœud Status) : état "inobservable" du système.

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé



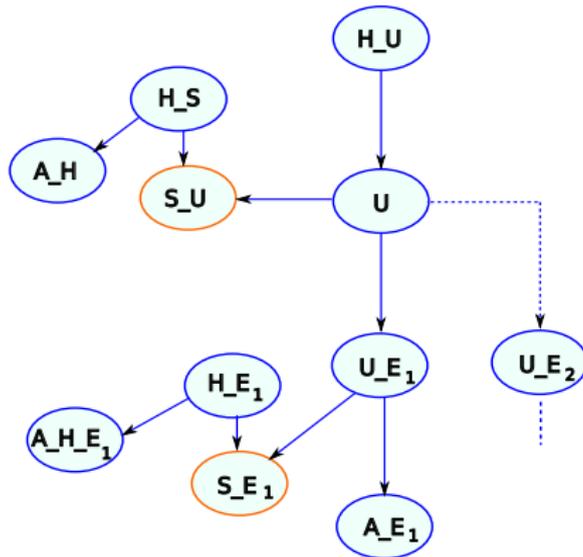
- H_U (nœud Health) : état de santé du système.
- U (nœud Status) : état "inobservable" du système.
- S_U (nœud Sensor) : mesures du système (capteur).
- H_S (nœud Health) : état de santé du capteur.
- A_H (nœud Appearance context) : contexte d'apparition de l'état de santé du capteur.

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé



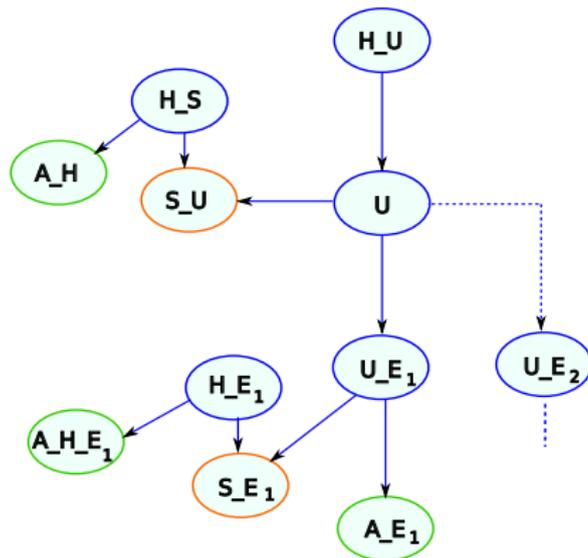
- H_U (nœud Health) : état de santé du système.
- U (nœud Status) : état "inobservable" du système.
- S_U (nœud Sensor) : mesures du système (capteur).
- H_S (nœud Health) : état de santé du capteur.
- A_H (nœud Appearance context) : contexte d'apparition de l'état de santé du capteur.
- U_E (nœud Status) : état "inobservable" de l'erreur.
- S_E (nœud Sensor) : mesures de l'erreur (capteur).
- H_E (nœud Health) : état de santé du capteur de l'erreur.
- A_{H_E} (nœud Appearance context) : contexte d'apparition de l'état de santé du capteur de l'erreur.
- A_E (nœud Appearance context) : contexte d'apparition de l'erreur.

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé



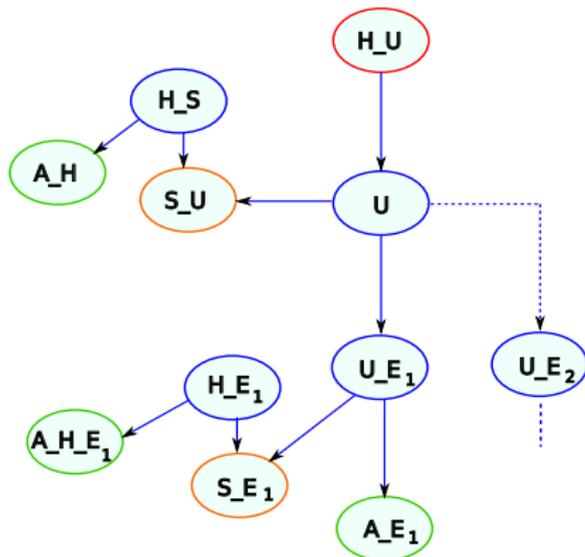
- Entrées du modèle : observations sur les capteurs (evidence «e»).

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé



- Entrées du modèle : observations sur les capteurs (**evidence** «**e**»).
- Contextes d'apparition : renforce la croyance sur l'erreur ou l'état de santé des capteurs.

▷ Réseau bayésien générique de l'état de santé

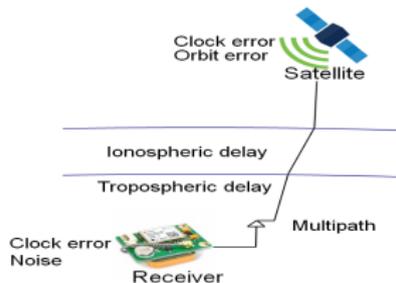


- **Entrées du modèle :** observations sur les capteurs (**evidence** «*e*»).
- **Contextes d'apparition :** renforce la croyance sur l'erreur ou l'état de santé des capteurs.
- **Sortie du modèle :** Probabilité posteriori de l'état de santé sachant les evidences $P(H_U|e)$.
 «**inférence bayésienne**»

Outlines

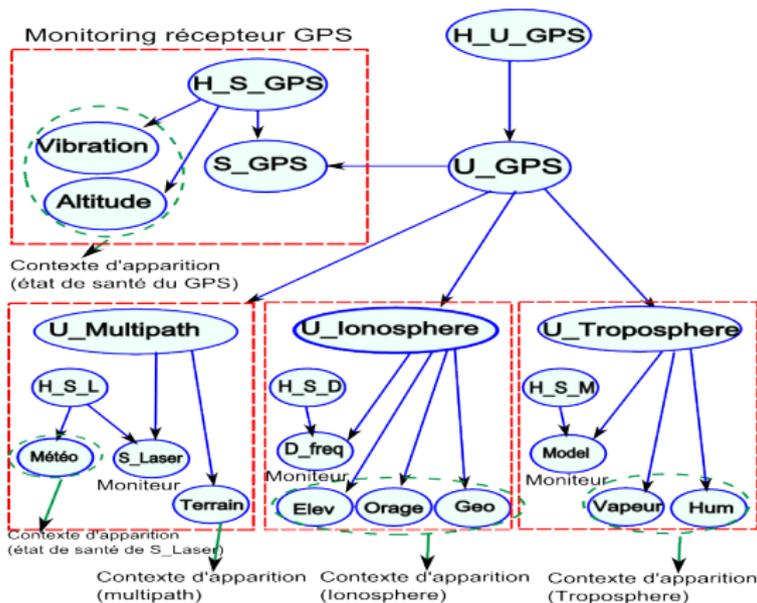
- 1 Introduction
- 2 Modèle probabiliste pour l'état de santé
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
 - Cas de la position par GPS
 - Cas de la consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
- 5 Expérimentations et résultats
- 6 Conclusion

▷ Erreurs GPS



Type d'erreur	Monitoring	Contexte d'apparition
Ionosphère	Mesure à double fréquence	<ul style="list-style-type: none"> - Faible angle d'élévation - Tempêtes solaires - Proximité géomagnétique de l'équateur ou des pôles
Troposphère	Modèle en fonction de la température, de la pression et de l'angle d'élévation du satellite	<ul style="list-style-type: none"> - Humidité - Vapeur
Multipath	Détection d'obstacle par SW ou capteur laser	<ul style="list-style-type: none"> - Terrain urbain
Récepteur GPS	comparaison avec la position calculée	<ul style="list-style-type: none"> - Haute altitude - Vibration

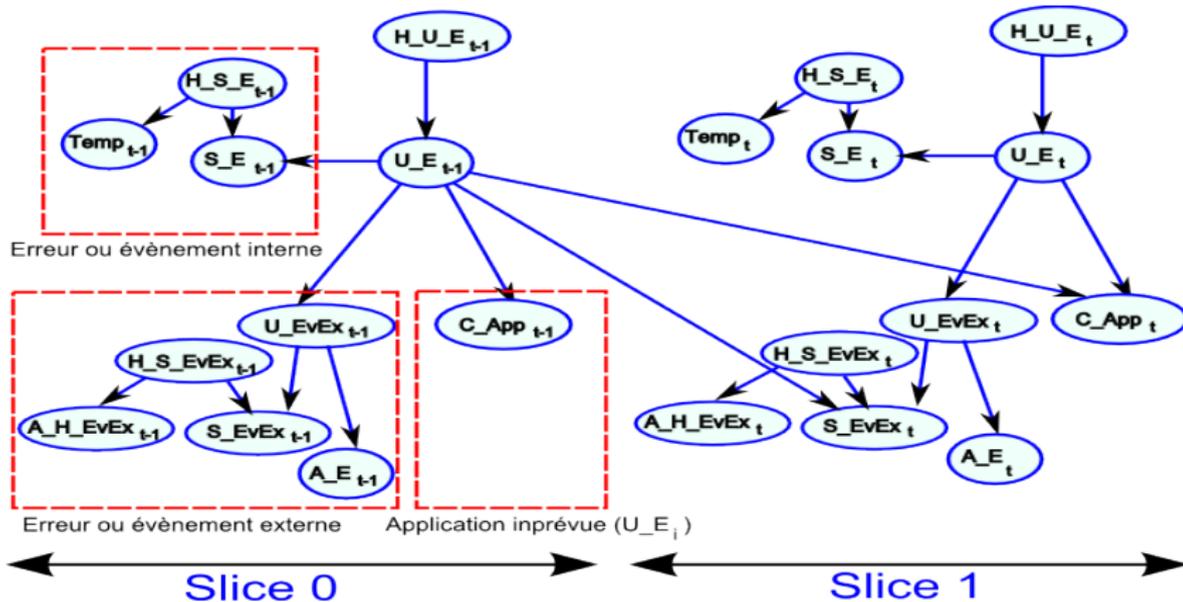
▷ Réseau bayésien pour l'état de santé de la position par GPS



▷ Cas de la consommation énergétique

- Evolue d'une manière linéaire dans le mode nominal.
(sans perturbation ou événement interne/externe)
 - Les événements externes tels que le vent peuvent augmenter la consommation, ainsi que toute autre application/composant utilisé dans la période de temps.
- Le réseau bayésien de la consommation énergétique est **dynamique** sur deux temps (2TBN).
 - La partie intra-slice : le modèle générique, avec les événements internes/externes comme types d'erreurs.
 - La partie inter-slice : l'évolution du réseau entre deux temps (slice 0, slice 1).

▷ Réseau bayésien pour la consommation énergétique



Outlines

- 1 Introduction
- 2 Modèle probabiliste pour l'état de santé
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
 - Implémentation HW/SW sur SoC hybride
 - Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW de l'état de santé
- 5 Expérimentations et résultats
- 6 Conclusion

▷ **Intérêt d'une implémentation HW/SW :**

- ① Implémentation dans la partie disponible (CPU or FPGA).
- ② L'implémentation sur FPGA :
 - efficacité énergétique, l'accélération de calcul, éviter la surcharge des ressources limitées...

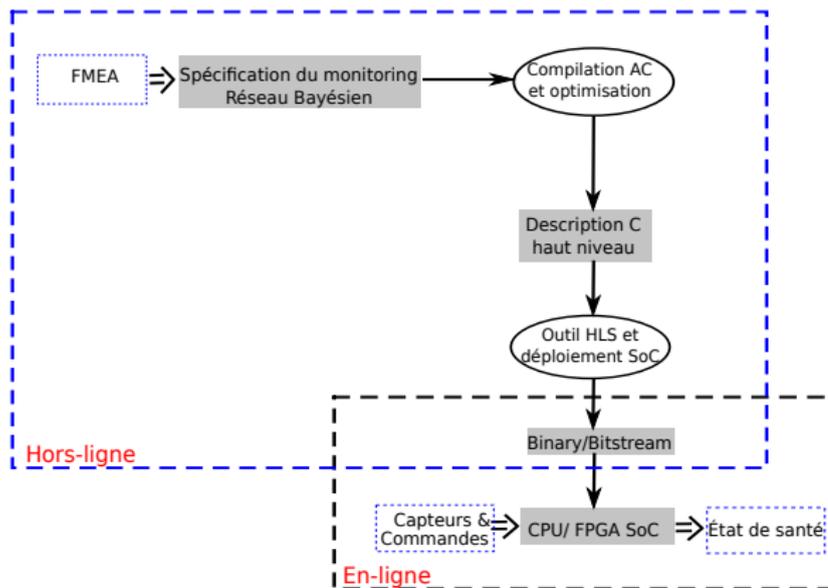
▷ **Plate-forme cible :**

- Dispositif Zynq hybride de Xilinx (Zedboard).
 - Processeur Zynq (ARM Cortex-A9, implémentation SW).
 - Partie logique programmable (type FPGA, implémentation HW).
- ▷ Pas d'implémentation directe des réseaux bayésiens.

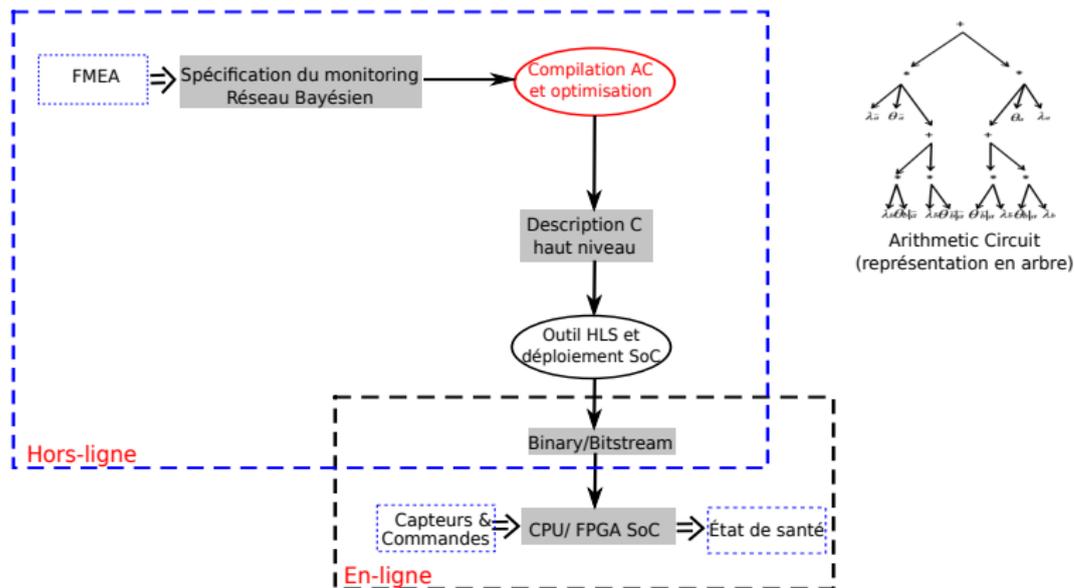
Proposition

Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW embarquée du module "état de santé".

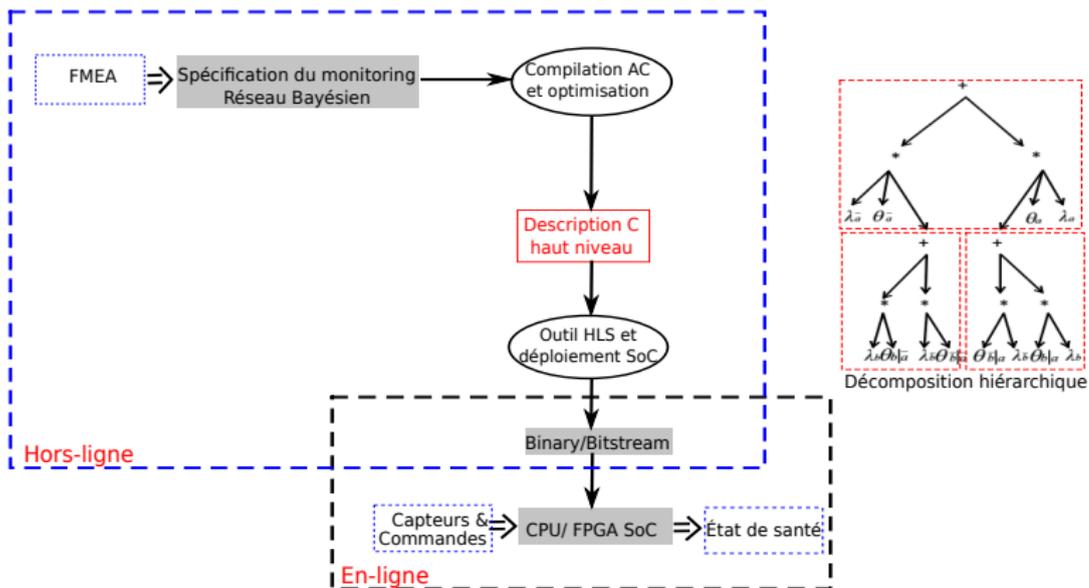
▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



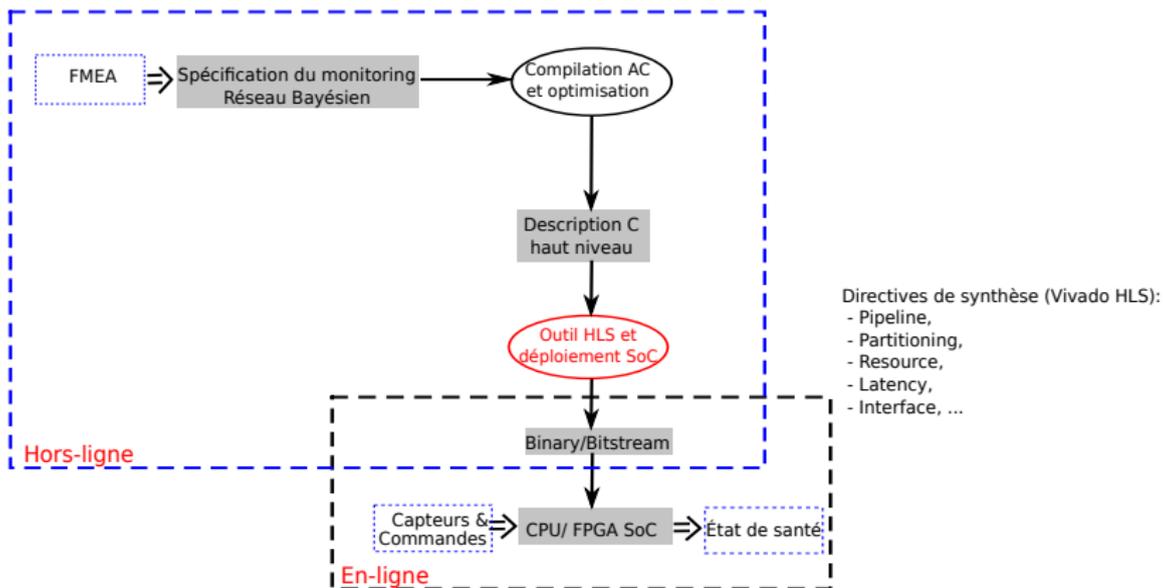
▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



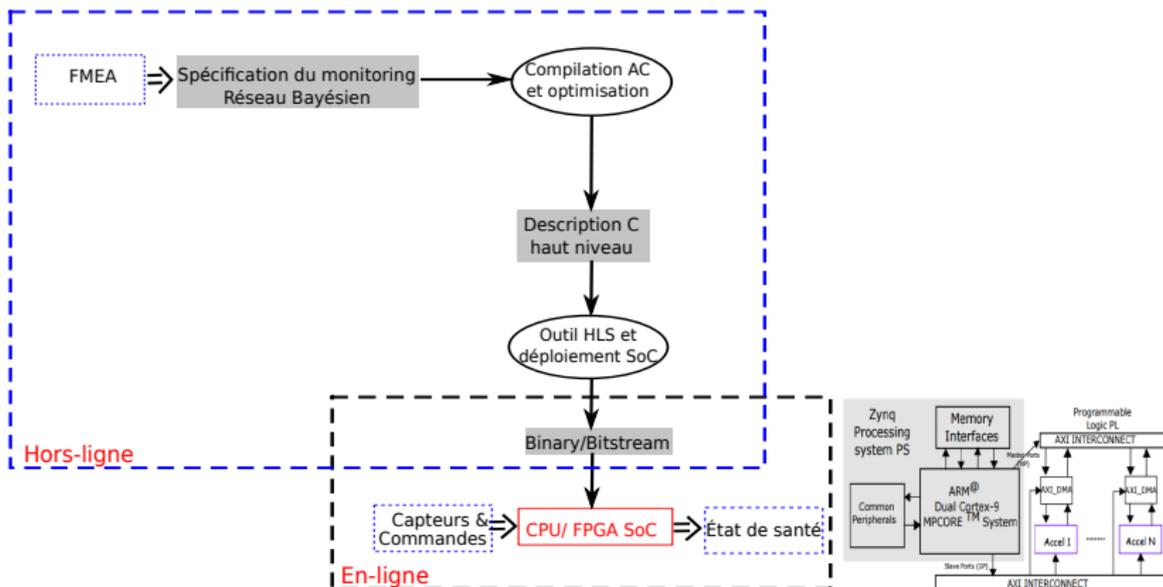
▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



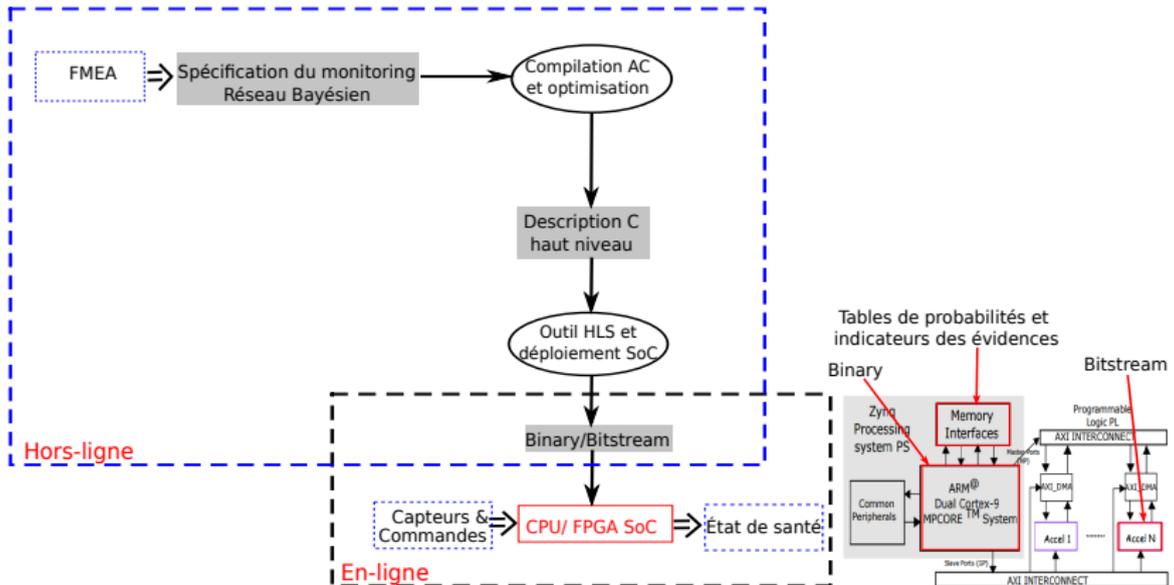
▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



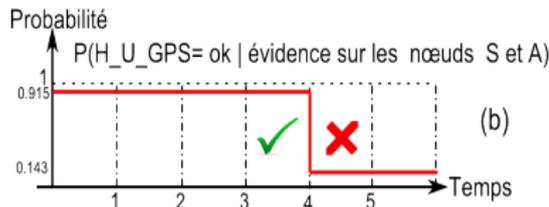
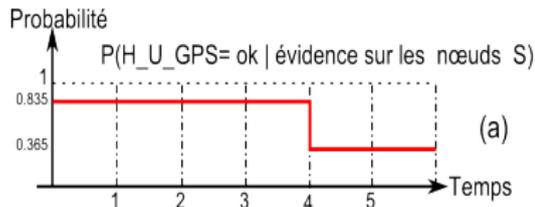
▷ Atelier logiciel pour l'implémentation HW/SW



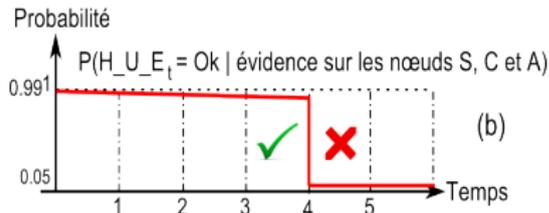
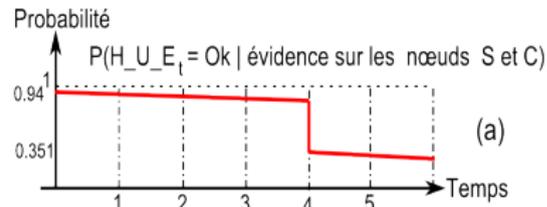
Outlines

- 1 Introduction
- 2 Modèle probabiliste pour l'état de santé
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
- 5 **Expérimentations et résultats**
 - Evaluation de l'état de santé
 - Implémentation embarquée sur la ZedBoard
- 6 Conclusion

▷ Cas du GPS



▷ Cas de l'énergie



- Monitoring avec des évidences sur les capteurs (S), les commandes (C) et (ou) des contextes d'apparition (A).
- Les contextes d'apparition renforcent la croyance sur les capteurs.

▷ Implémentation embarquée sur la ZedBoard

	BRAM	DSP	LUT	FF
GPS sans opt.	0%	36%	36 %	10%
GPS avec opt.	0%	36%	33%	9%
Energie sans opt.	0%	29 %	40%	11%
Energie avec opt.	0%	29%	27%	7%

TABLE – Ressources utilisées sur la partie logique programmable

	temps HW (cycles)	temps SW (cycles)	Acc1 (In)	Acc2 (Out)
GPS sans opt.	401	1123	4.30	2.80
GPS avec opt.	391	955	3.80	2.42
Energie sans opt.	412	1488	5.47	3.61
Energie avec opt.	339	1268	6.22	3.74

TABLE – Performances de l'implémentation embarquée

Outlines

- 1 Introduction
- 2 Modèle probabiliste pour l'état de santé
- 3 Étude de cas : GPS et consommation énergétique
- 4 État de santé pour un contexte embarqué
- 5 Expérimentations et résultats
- 6 Conclusion

Conclusion

- Un nouveau modèle pour l'évaluation **de l'état de santé** à partir de **capteurs moniteurs** et de **contextes d'apparition** par **réseaux bayésiens**.
- Application sur le **GPS** et de la **consommation énergétique**.
- **Implémentation HW/ SW** sur "Zedboard".
- Limitations :
 - besoin d'un grand nombre de capteurs,
 - la complexité de l'implémentation dépend du nombre de types d'erreurs.

▷ Travaux en cours

- Un modèle complet pour une mission avec des scénarios de défaillance et l'intégration de la prise de décision.

References



AIAG (1993).

Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) : Reference Manual.
Chrysler Corporation.



Langley, R. B. (1997).

The gps error budget.
GPS world, 8(3) :51–56.



Pearl, J. (1988).

Probabilistic reasoning in intelligent systems : Networks of plausible inference.
Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.



Schumann, J., Mbaya, T., Mengshoel, O., Pipatsrisawat, K., Srivastava, A., Choi, A., and Darwiche, A. (2013).

Software health management with bayesian networks.
Innovations in Systems and Software Engineering, 9(4) :271–292.



Zermani, S., Dezan, C., Euler, R., and Diguët, J.-P. (2015).

Bayesian network-based framework for the design of reconfigurable health management monitors.
In Adaptive Hardware and Systems (AHS), 2015 NASA/ESA Conference on.