PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Réseaux Bayesiens dynamiques pour l'étiquetage d'évènements discrets organisés en séquence temporelle :

Application à la classification des points singuliers de l'infrastructure ferroviaire

Laurent Bouillaut

Chargé de recherche
INRETS – Laboratoire des Technologies Nouvelles
2, avenue du général Malleret-Joinville
94114 Arcueil

bouillaut@inrets.fr

http://www.inrets.fr/ur/ltn/pole_diag.htm

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

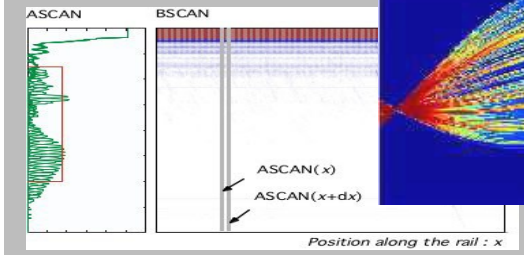
Maintenance des Systèmes de Transport Guidés

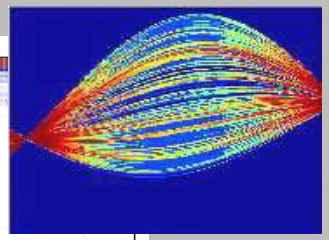
- De nouveaux outils pour le diagnostic

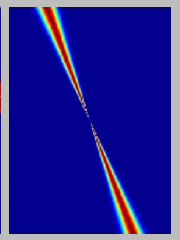
Diagus : Diagnostic de défauts internes

(SNCF INRETS UTC-CEA)

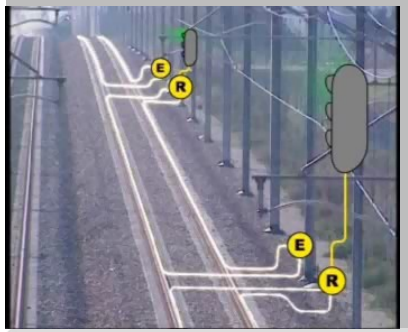
- Véhicules d'inspection US
- BSCAN
- Débruitage par ondelettes 2D
- Transformée de Radon lissée





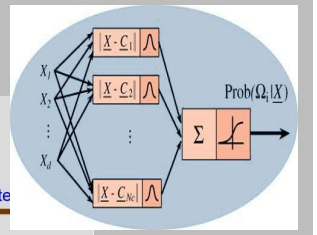


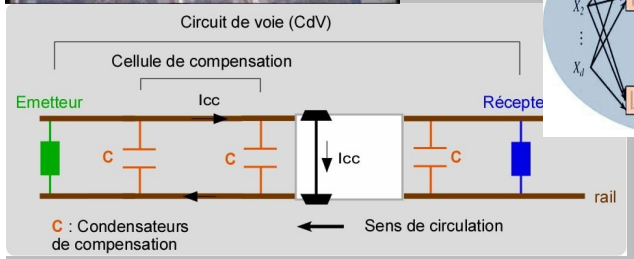
Circuit de Voie



(SNCF INRETS INSA)

- modèle électrique
- classification des défauts
- réseaux de neurones
- fusion

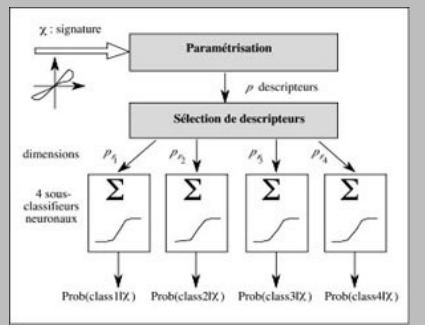




CF-FI : Diagnostic des ruptures de rail

(RATP INRETS COGIFER- CRAN)

- Rails cassés et Ecailles
- Multicapteur à courants de Foucault
- Classification par RN supervisés et SVM
- Implémentation temps réel (QNIX)



Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

e à la détection de défauts de surface

Projet initial : ***Projet PREDIT 2***

Objectifs : Sécurité du système (détection des rails cassés)
Maintenance de l'infrastructure (détection de défauts mineurs)

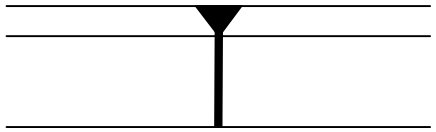
Enjeux pour la RATP : Coût global d'entretien de la voie plus faible
Meilleure disponibilité du réseau
Nouveaux outils d'aide aux mainteneurs

Démonstrateur (2002) : 100% des rails cassés
72% des défauts mineurs

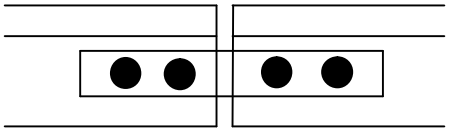
Capteur à courants de Foucault

Confusion entre *vrais défauts* et *points singuliers* du rails (joins de rails)

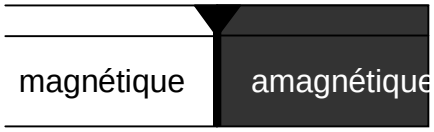
Ω_1: soudure (JS)



Ω_2: Eclisse (JE)



Ω_3: Appareil de voie (JA)



Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Nos objectifs : Améliorer la distinction entre défauts réels du rail et points singuliers de la voie (joints soudés, joints éclissés…)

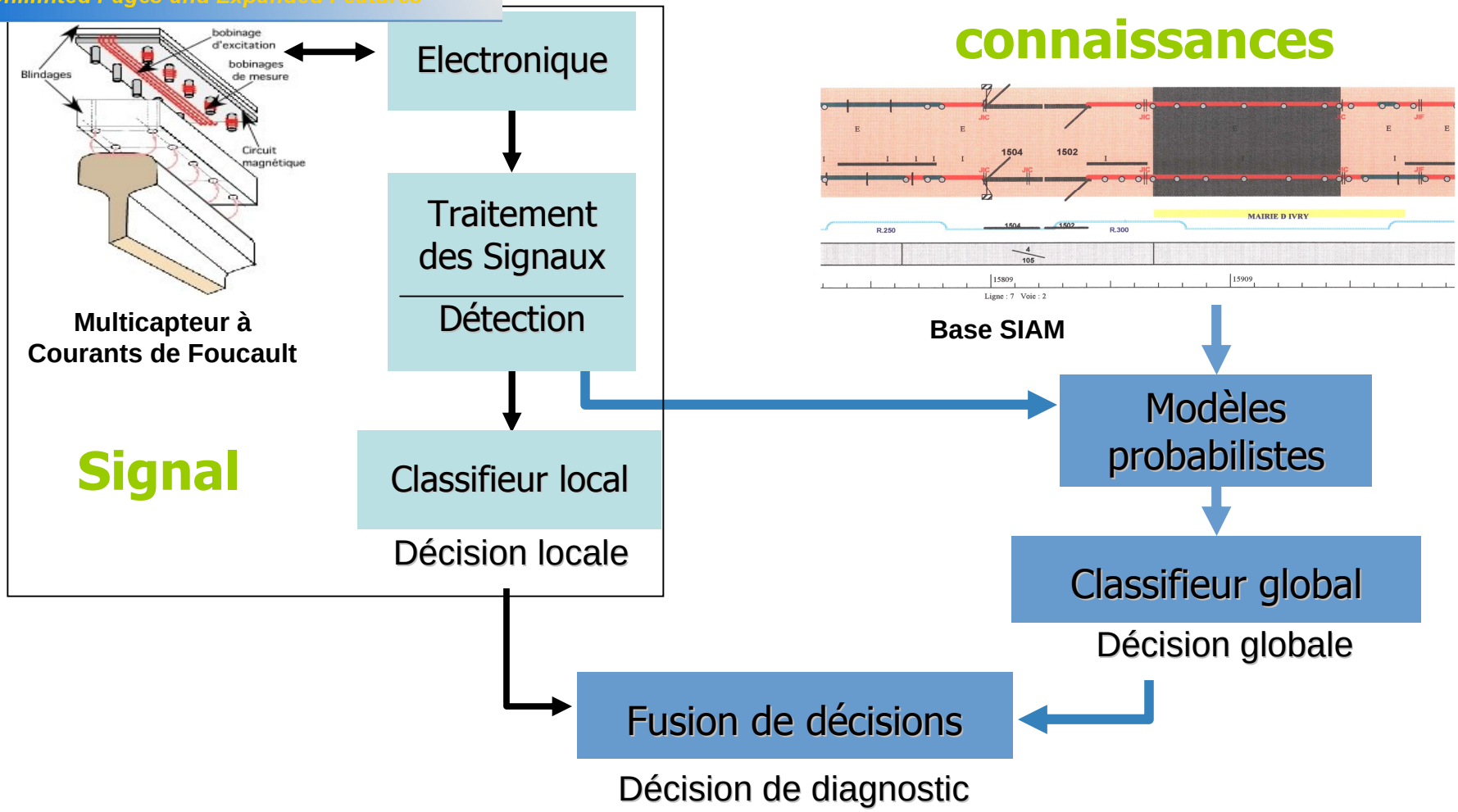
- Utilisation de données a priori fortes sur les statistiques de successions des points singuliers.
- Augmenter nos certitudes pour les événements '*Points singuliers*'.
- Diminuer la confusion '*Points singuliers*' – '*Vrais défauts*'.

- Infrastructure d'une voie ferrée fortement structurée (règles de pose des rails, contraintes techniques…)
- Existence d'une certaine homogénéité des types de défauts par coupons.
- Base de donnée RATP (SIAM) sur les lignes à contact '*fer*' du métro parisien.

Utilisation de ces connaissances statistiques a priori

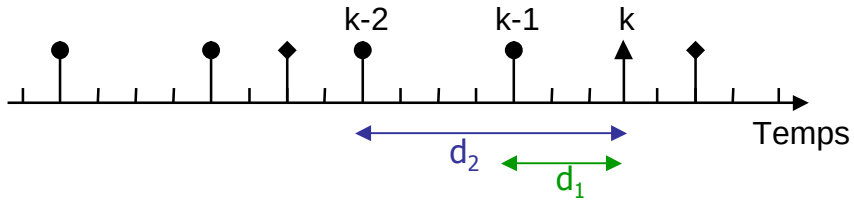
Décision globale indépendante de la mesure

PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ession des joints

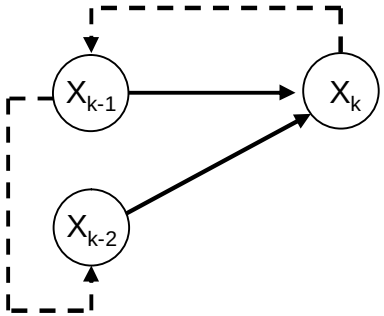


- **Réseaux bayesiens à *n* tranches de temps :**

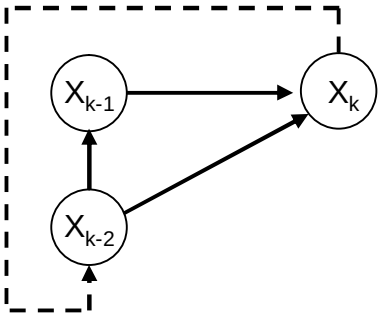
La nature de la détection actuelle dépend de la nature des n dernières détections

Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 1

Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 2



Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 1, inférence sur deux pas de temps

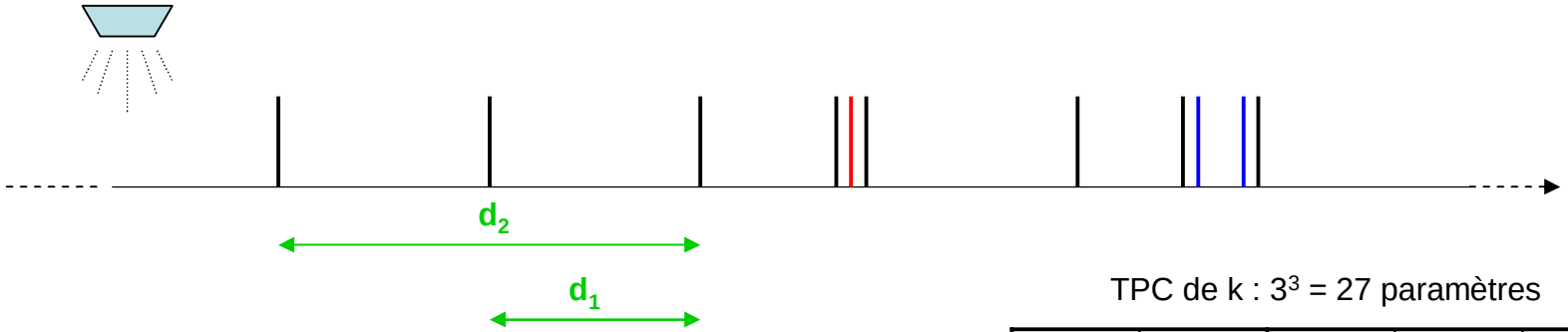


Quel comportement pour les TPC ?

- ✓ Fixe (sûreté de fonctionnement)
- ✓ Variable (météorologie)

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

onde
détection détection



TPC de k : 3^3 = 27 paramètres

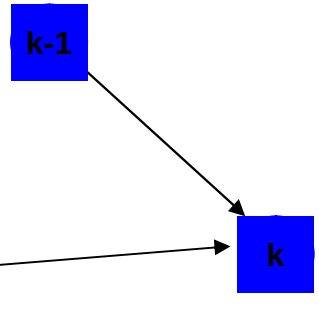
k - 2	k - 1	Ω_1	Ω_2	Ω_3
Ω_1	Ω_1	82.4	12.2	5.4
	Ω_2	74.3	25.7	0
	Ω_3	42.8	13.7	43.5
...	...	...	...	...
Ω_3	Ω_1	28.6	47.3	24.1
	Ω_2	7.6	83.2	9.2
	Ω_3	37.8	3	59.2

TP de k -1

Ω_1	Ω_2	Ω_3
100	0	0

TP de k -2

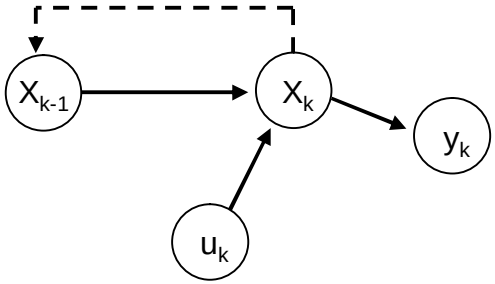
Ω_1	Ω_2	Ω_3
100	0	0



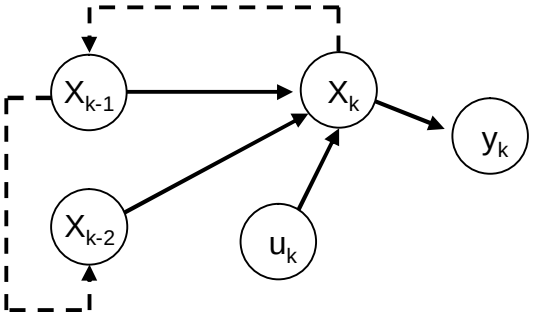
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ariable exogène, la distance : vers les IO-HMM

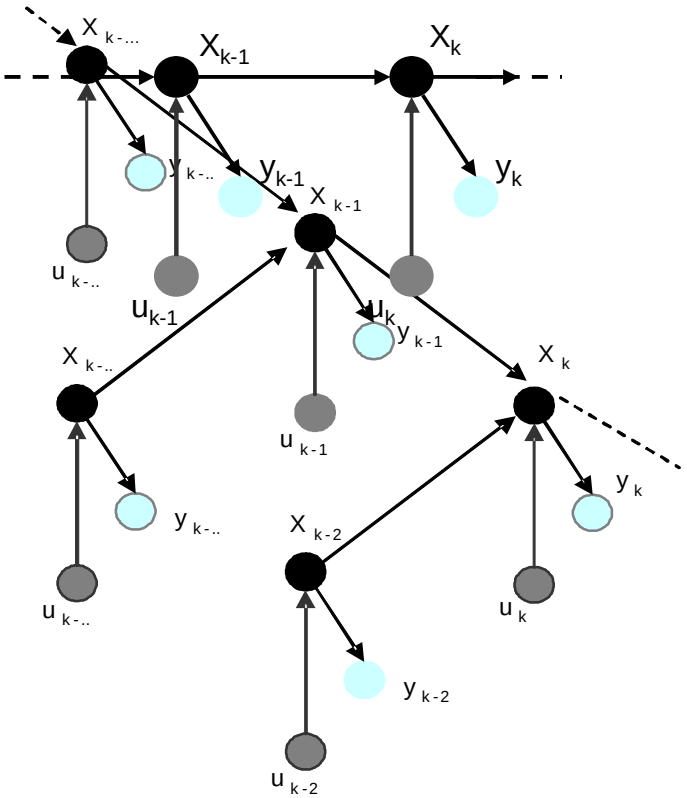
Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 1



Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 2



IO-HMM (modélisée par un RBD déroulé)



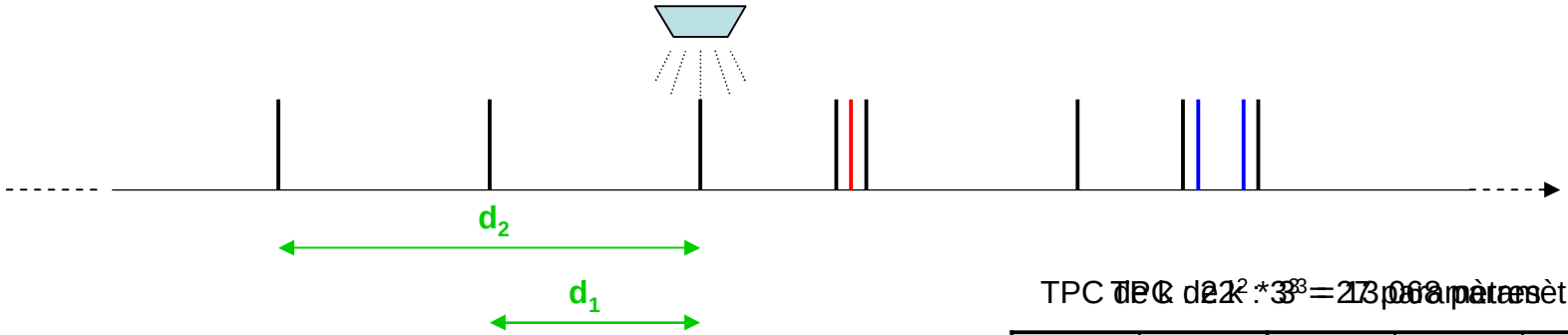
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

...RITÉ

...eau

...onde

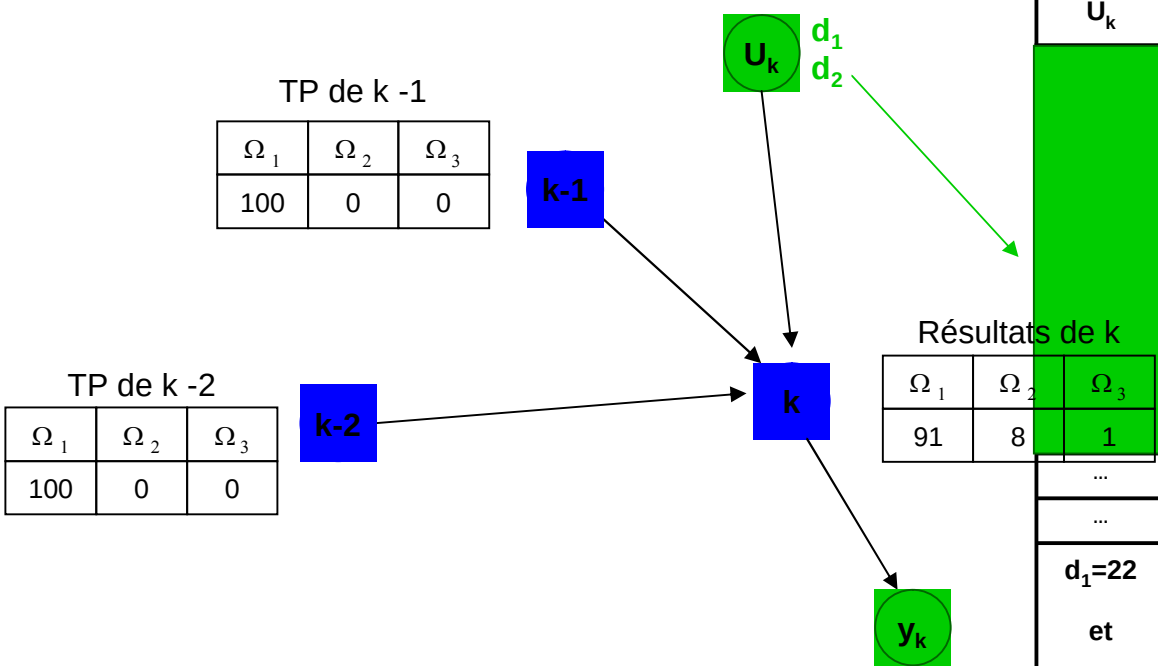
détection détection



TPC de k : $22^2 * 3^3 = 17$ paramètres

TPC de k : $3^3 = 27$ paramètres

U_k	k-2	k-1	Ω_1	Ω_2	Ω_3
			82.4	12.2	5.4
			74.3	25.7	0
			42.8	13.7	43.5
			...	...	...
			28.6	47.3	24.1
			7.6	83.2	9.2
			37.8	3	59.2
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
d_1=22 et d_2=22	Ω_3	Ω_1 Ω_2 Ω_3			



TP de k -1

Ω_1	Ω_2	Ω_3
100	0	0

TP de k -2

Ω_1	Ω_2	Ω_3
100	0	0

Résultats de k

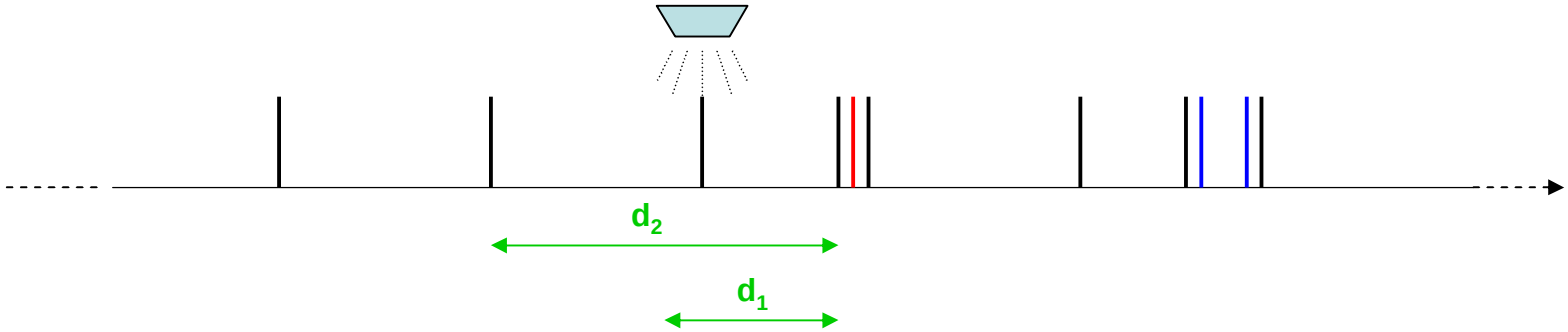
Ω_1	Ω_2	Ω_3
91	8	1

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

eau

onde

détection détection

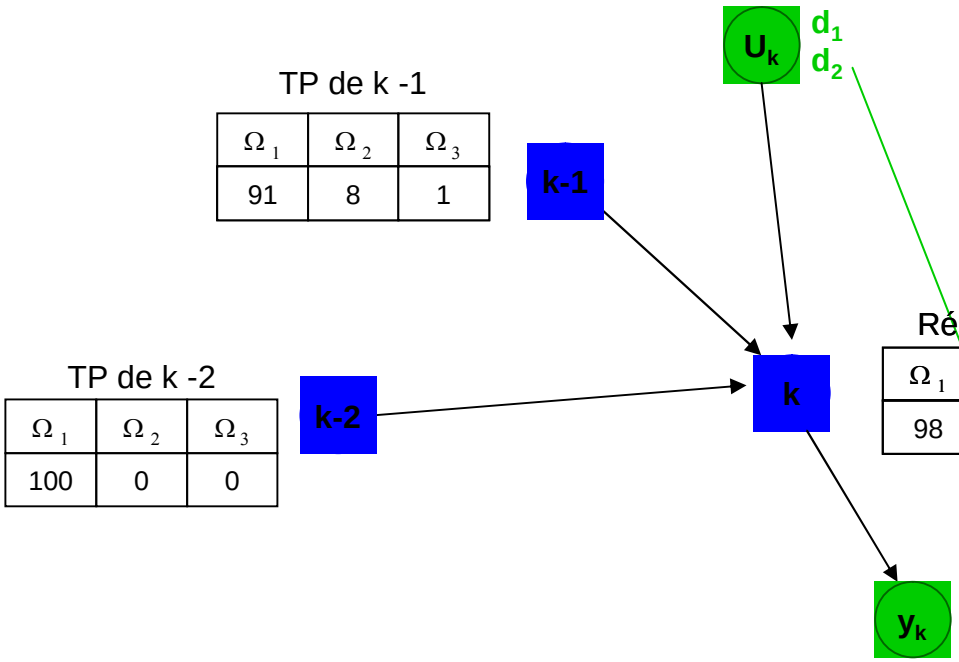


TP de k -1

Ω_1	Ω_2	Ω_3
91	8	1

TP de k -2

Ω_1	Ω_2	Ω_3
100	0	0



Résultats de k

Ω_1	Ω_2	Ω_3
98	2	0

U_k	k - 2	k - 1	Ω_1	Ω_2	Ω_3
d_1=1 et d_2=1	Ω_1	Ω_1			
		Ω_2			
		Ω_3			
	...	...	...	...	...
d_1=1 et d_2=1	Ω_3	Ω_1			
		Ω_2			
		Ω_3			
d_1=22 Et d_2=22	Ω_3	Ω_1			
		Ω_2			
		Ω_3			

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

a distinction entre défauts réels du rail et points singuliers de la voie (joints soudés, joints éclissés…) en augmentant la certitude sur les événements '*Points singuliers*'.

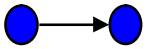
- **La base SIAM :**
  - ✓ Répertorie 20.878 points singuliers (nature, PK, …) sur 9 lignes
  - ✓ 18.387 soudure (JS), 2.203 éclisses (JE) et 288 appareils de voies (JA)
  - ✓ Disparité de la base d'une ligne à l'autre :
    Caractéristiques différentes (courbures, dates de pose, zone aériennes…)
    Contraintes différentes (Tonnage cumulé, historique de maintenance…)

  ⇒ **Les densités de successions de joints peuvent varier fortement**
  ⇒ **Difficulté de définir un ensemble d'apprentissage commun**

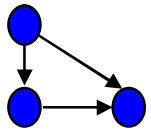
  Attention à l'apprentissage !!!

- **Les modèles de base :** Chaque nœud représente la même variable (la nature de la détection) et est décrit par trois états (JS, JE et JA)

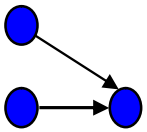
Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 1 :



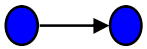
Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 1, sur deux pas de temps :



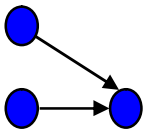
Réseau Bayesien Dynamique d'ordre 2 :



PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Classe	Classification		
	Ω_1	Ω_2	Ω_3
Ω_1	**97%**	3%	0%
Ω_2	52.4%	**47.6%**	0%
Ω_3	64.9%	35.1%	**0%**



Classe	Classification		
	Ω_1	Ω_2	Ω_3
Ω_1	**97.4%**	2.6%	0%
Ω_2	50.6%	**49.2%**	0.2%
Ω_3	40.2%	57%	**2.8%**

- ✓ $\forall$ le modèle, les soudures sont très bien détectées (représentent 88% de la base)
- ✓ Le taux de bonne détection des éclisses semble augmenter avec l'ordre du modèle (logique compte tenu du mode de pose)
- ✓ Pour les appareils de voie : Gros problème! Sous représentation dans la base Caractérisés par des modèles d'ordre sup?

Que faire pour améliorer ces premiers résultats?

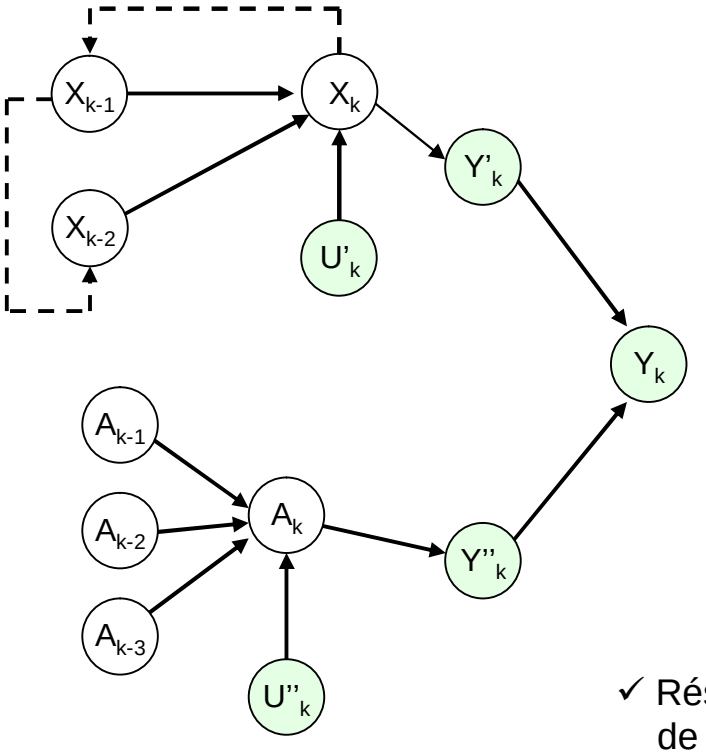
- ✓ Continuer à augmenter de l'ordre ?
  - Nombre de paramètres :
    - RB2 : $22^2 . 3^3 = 13.068$
    - RB3 : $22^3 . 3^4 = 862.488$
  - Problème d'apprentissage
- ✓ Combiner avec d'autres réseaux ?

PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

onnés (multinet) : RB2 + masques de niveau 3

- ✓ Mode de pose des appareils de voie ⇒ JA caractérisés par des modèles d'ordre 3
- ✓ Réalisation d'un réseau d'ordre 3 sur toutes les classes peu réaliste et très coûteux

⇒ Réseau d'ordre 3 dédié à la reconnaissance de modèles caractéristiques des JA.



RB2 : Nœuds X_i à 3 états : JS, JE, JA

RB3-JA : Nœuds A_i à 2 états : Oui, Non

Classe	Classification		
	Ω_1	Ω_2	Ω_3
Ω_1	**97.4%**	2.6%	0%
Ω_2	45.8%	**53.7%**	0.5%
Ω_3	10.4%	11.1%	**78.5%**

RB2 seul : 97.4% (JS) 49.2% (JE) et 2.8% (JA)

- ✓ Résultats faibles comparés aux applications 'classiques' de classification
- ✓ Apport important et non négligeable d'information en vue de fusion de classifieurs.

PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

- ✓ Différentes méthodes de fusion testées

	Globales	Js	Je	Ja	D
Fusion Bayésienne Naïve	4.1	-1.2	21.5	3.1	11
Moyenne	4.1	2.55	15	2.7	3.4
Moyenne Pondérée	3.59	2.65	11.2	2.65	2.76
Behavior Knoledge Space	1.7	0	21.3	4.9	-2.7
Decision Template	3.9	-2.8	25.3	3.9	12.7
Méthode de Xu	-3.12	4.85	-11.9	5.7	-21.9
Somme conjonctive sans affaiblissement	3.8	2.2	10.2	1.8	5.6
Somme conjonctive avec affaiblissement	5	3.12	15.7	4.4	5.4

- ✓ Premiers essais de fusion sur un capteur *virtuel*…
- ✓ Fusion de fusion ???

PDF Complete
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

variables exogènes continues :

- ✓ Période d'échantillonnage du capteur : de l'ordre du millimètre
  Période d'échantillonnage de la base SIAM : de l'ordre du mètre
- ✓ Les classifieurs n'auront donc pas la même précision… $\Rightarrow$ Fusion difficile ou appauvrie

Une solution : rendre continue la variable exogène

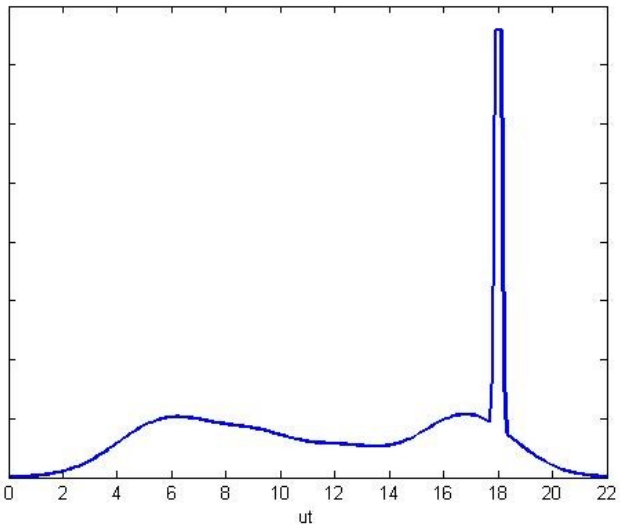
- ✓ La variable continue sera la distance *d* entre deux détections successives
- ✓ Pour renseigner les TPC d'un n-TBN, 3^n densités, fonctions de *d*, à déterminer
- ✓ Utilisation des Algorithmes EM (approximation par mixtures de Gaussiennes)

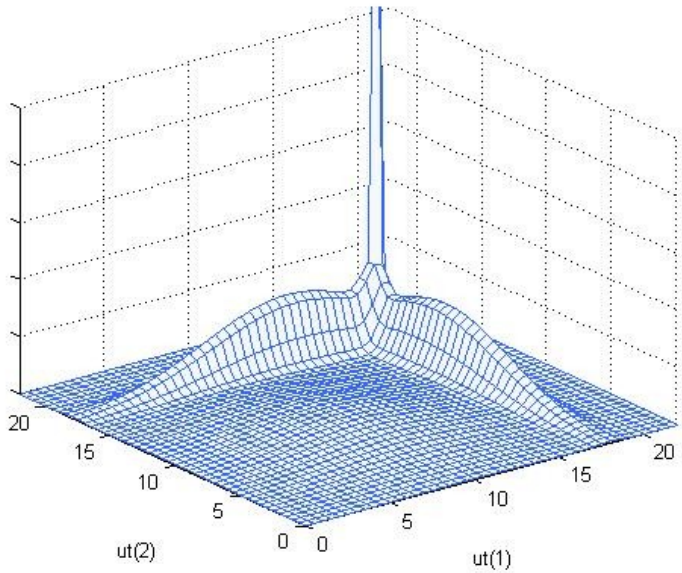
	Modèle d'ordre 1	Modèle d'ordre 2
Cas discret	198	13068
Cas continu	576	1728

Nombre de paramètres à estimer

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

variables exogènes continues :





Classes	1 (JS)	2 (JE)	3 (JA)
Taux de bonnes détections (discret)	97.4	53.7	78.5
Taux de bonnes détections (continu)	97.5	50.3	77.2

Taux de bonnes classifications obtenu sur lensemble des huit lignes pour le modèle d'ordre 2.

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

: Atelier Virtuel de Maintenance

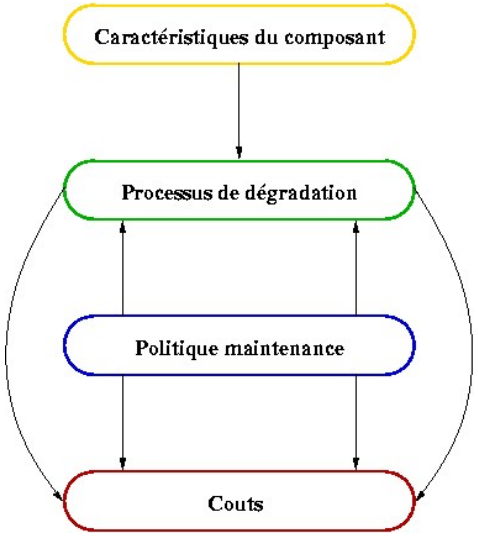
Projet : ***Thèse CIFRE, IP Urban Track***

Contexte de la thèse :

- Maintenance du rail à la RATP :
  - **Corrective** (*Palliative* : renforcement du rail ou *Curative* : dépose du rail)
  - **Préventive** (*Systématique* : auscultations périodiques ou *Conditionnelle* : actions de maintenance en fonction de l'évolution des défauts)
- Paramètres de maintenance :
  - Fréquences d'auscultations (véhicule US, parcours à pieds, . . .)
  - Délai avant remplacement
- Paramètres choisis empiriquement
- Processus de dégradation du rail peu connu

Objectifs : *Modélisation et optimisation de stratégies de maintenance à partir de modèles graphiques dynamiques)*

- Modélisation statistique du processus de dégradation du rail à partir de données censurées
- Modélisation de différentes politiques de maintenance (formalisme des modèles graphiques)
- Optimisation des paramètres de maintenance en termes de coûts et disponibilité du service



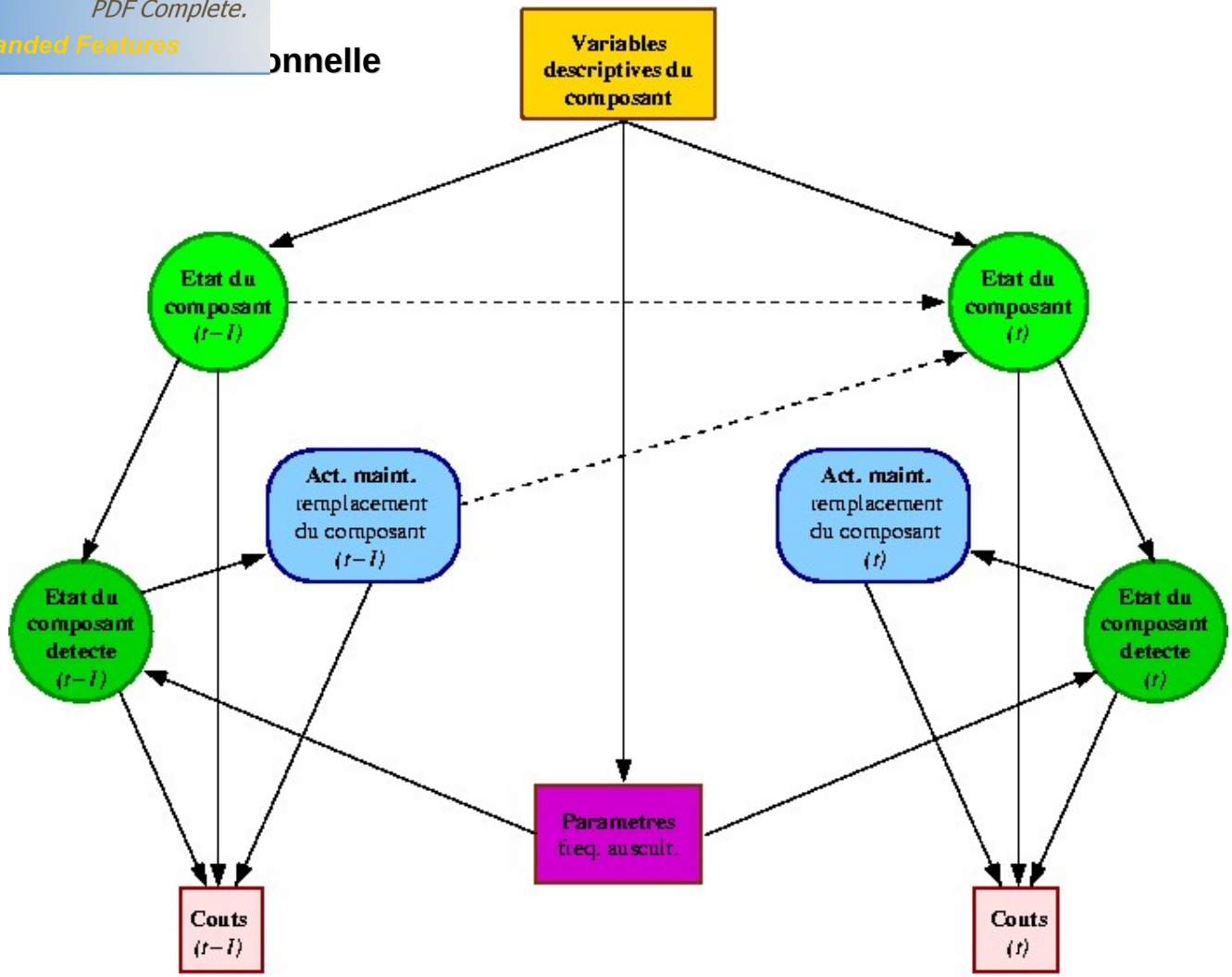
Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

onnelle

Paramètre à estimer : fréquence de remplacement du composant en fonction de ses caractéristiques

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

onnelle



Paramètres à estimer : Fréquence des différentes auscultations
Paramètres des actions de maintenance (ex : délai avant remplacement)

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

de résolution

Calcul de la disponibilité

- Modèle complexe : inférence exacte difficile
- Utilisation de méthodes d'inférence approchées

Estimation des paramètres optimaux

- Fonction objective difficile à estimer et non différentiable
- Utilisation d'une méthode sans gradient (ex : recuit simulée)

Your Special Edition complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Réseaux Bayesiens dynamiques pour l'étiquetage d'évènements discrets organisés en séquence temporelle :

Application à la classification des points singuliers de l'infrastructure ferroviaire

Laurent Bouillaut
Chargé de recherche INRETS – LTN

bouillaut@inrets.fr