



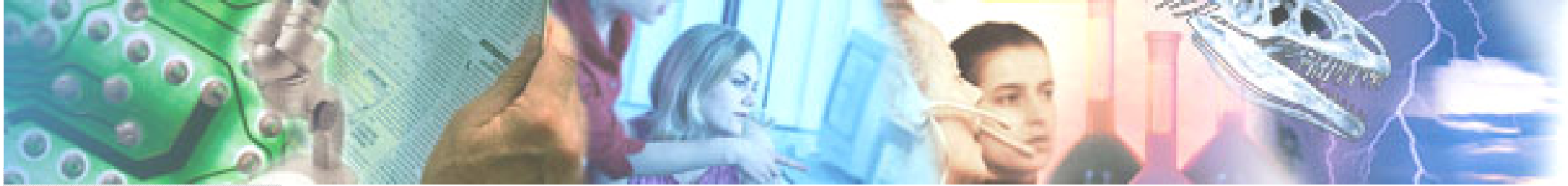
**« Proposition d'un protocole MAC  
temps-réel pour réseaux de capteurs »**

**Thomas Watteyne**

tutrice : Isabelle Augé-Blum

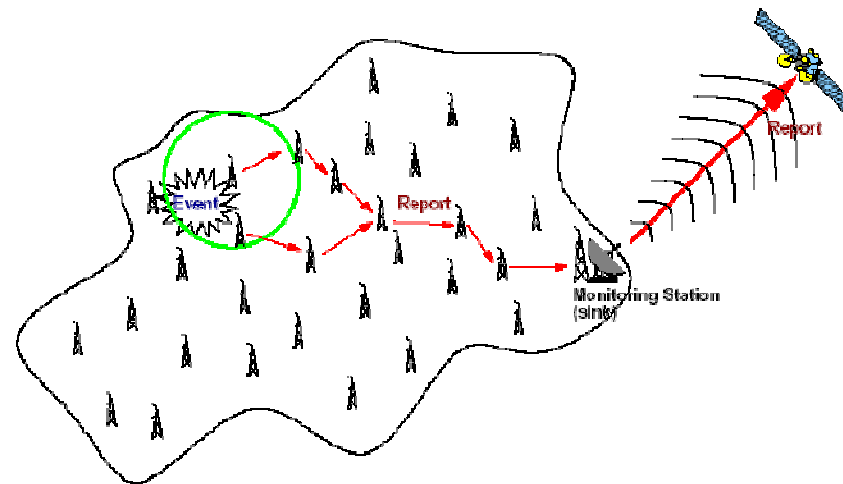
CITI, INSA de Lyon

soutenance de Master, 23 juin 2005



# Réseaux de capteurs

➔ **Nombreuses applications** militaire, de surveillance, Santé, maison intelligente, ...



- Mesure d'une valeur physique
- Traitement
- Communication sans fil

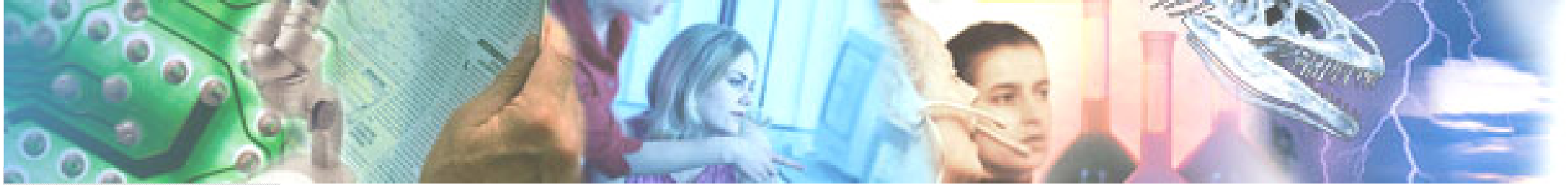
## systemes embarqués

- puissance de calcul
- mémoire limitée
- énergie embarquée

- zones inaccessibles / dangereuses
- déploiement « aléatoire »
- intervention humaine impossible (batterie...)

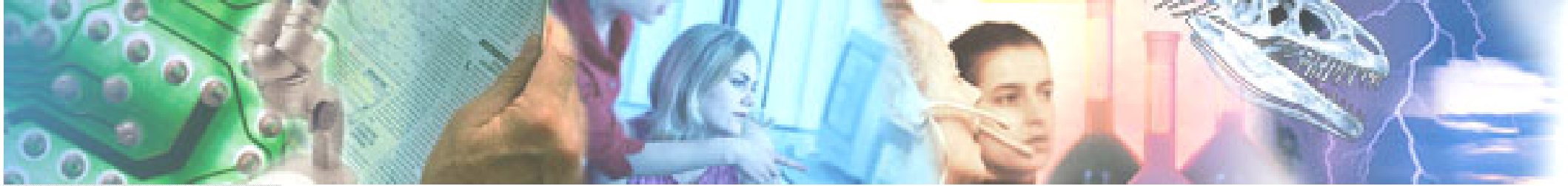
➔ **Domaine d'application des réseaux ad-hoc**

- pas infrastructure fixe
- topologie changeante
- multi-sauts



# Plan

- I. **Etat de l'art**
- II. Proposition
- III. Modélisation et validation
- IV. Conclusion et perspectives



# Temps-réel dans les RdC

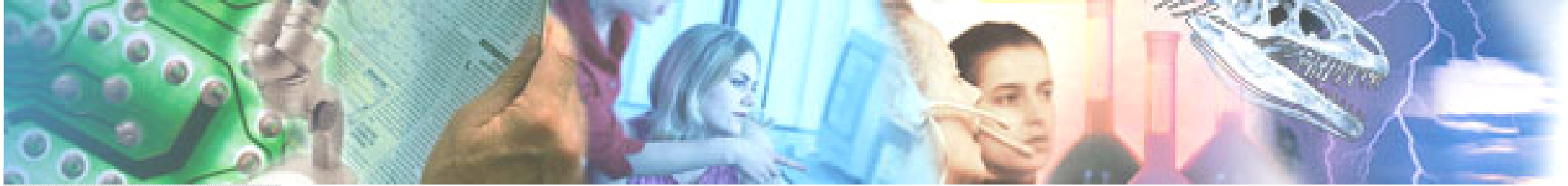
## Temps-réel dur

Toujours arriver avant le **deadline**

**Temps pire** exécution/transmission connu, borné, garanti

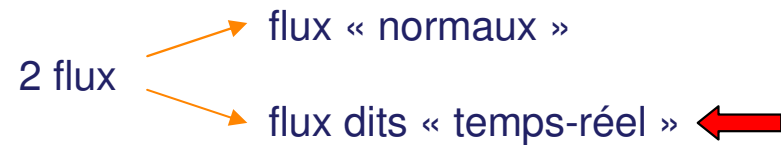
## Temps-réel relâché

Application flexible ➔ accepte un certain pourcentage de messages en retard



# Temps-réel dans les RdC

Etat de l'art: temps-réel relâché



**couche 2:** MAC, accès au médium

Réduire temps d'attente pour accéder au médium

ex: 802.11

**couche 3:** routage

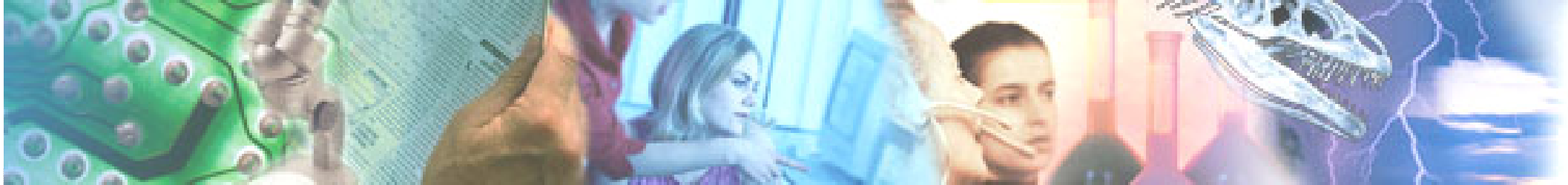
Prendre en compte urgence du message dans décision de routage

ex: SPEED

**couches 1,2,3:** architecture de communication

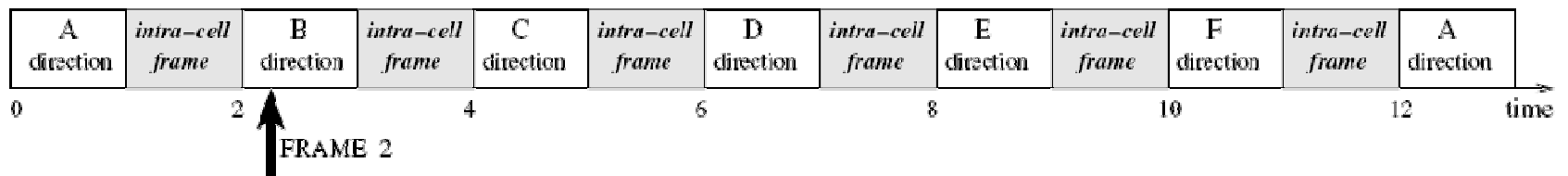
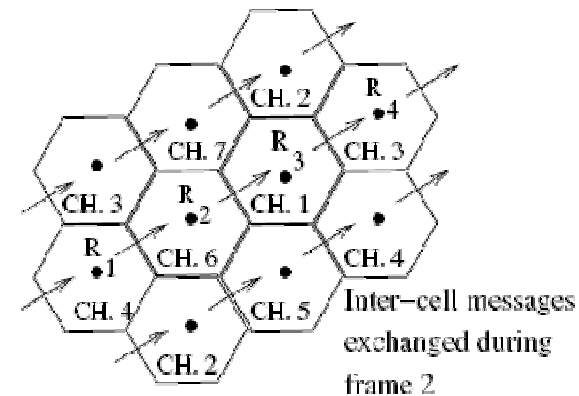
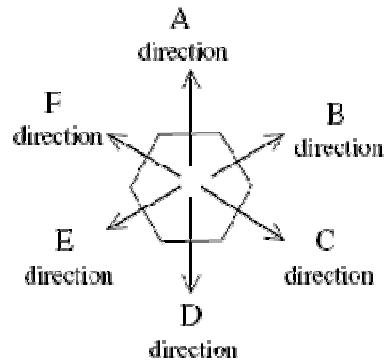
Vitesse de l'information comme métrique d'urgence

ex: RAP



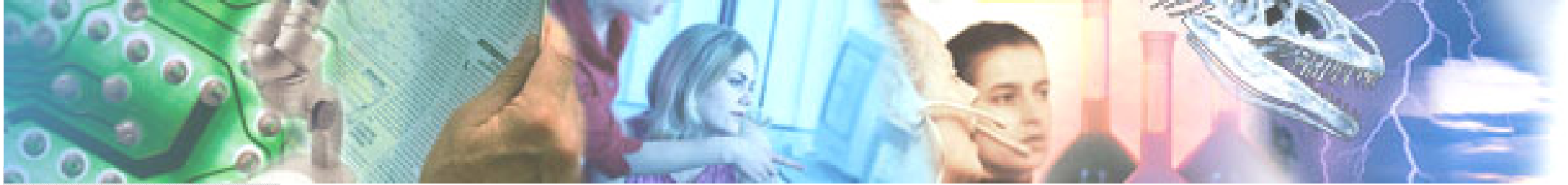
# Temps-réel dans les RdC

Etat de l'art: temps-réel dur



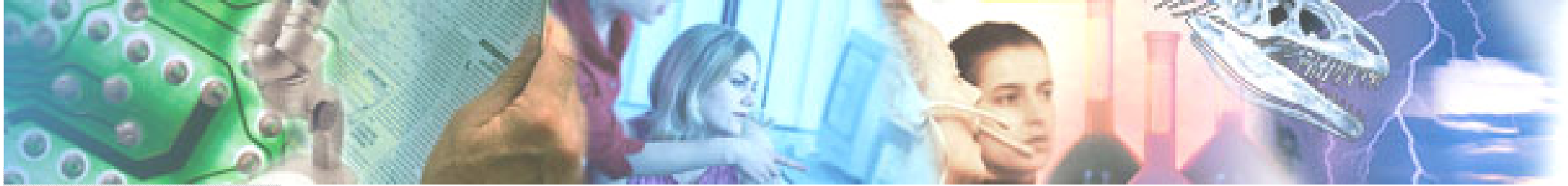
Hypothèses fortes:

- découpe en cellules hexagonales de même taille
- 7 fréquences
- synchronisation



# Plan

- I. Etat de l'art
- II. Proposition**
- III. Modélisation et validation
- IV. Conclusion et perspectives



## But

Première étape

*“Proposer et valider un protocole MAC pour réseaux de capteurs assurant le respect des garanties temps-réel dur”*

Pas de routage

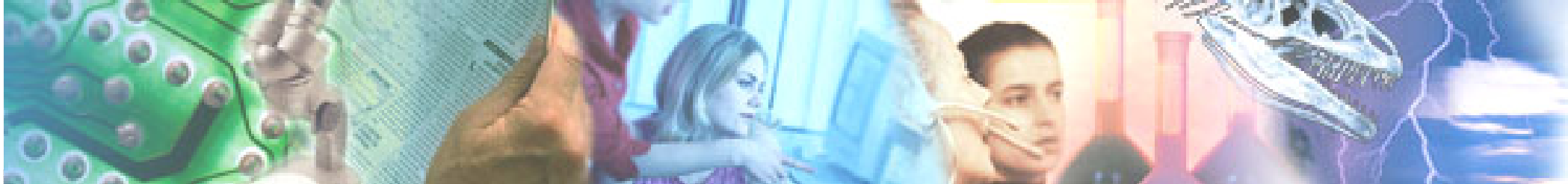
Classe d'application: réseau linéaire

ex: détection d'accidents sur autoroute

ex: suivi de trains sur voie ferrée

ex: surveillance de chaîne de production





# Hypothèses

## Nœuds

- nœud égaux
- une seule fréquence, même puissance
- pas de GPS (*positionnement, synchronisation*)
- nœud connaît sa position

## Zone surveillée

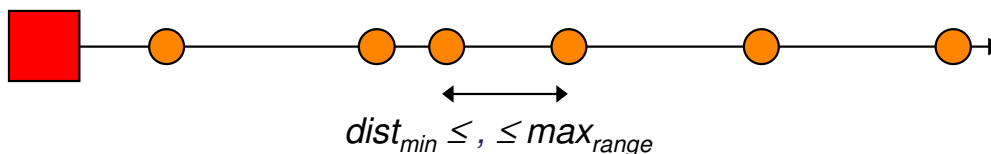
- linéaire
- présence d'un puits
- $dist_{min} \leq \text{distance entre voisins} \leq max_{range}$

## Lien radio

- bidirectionnel
- pas d'erreurs de transmission

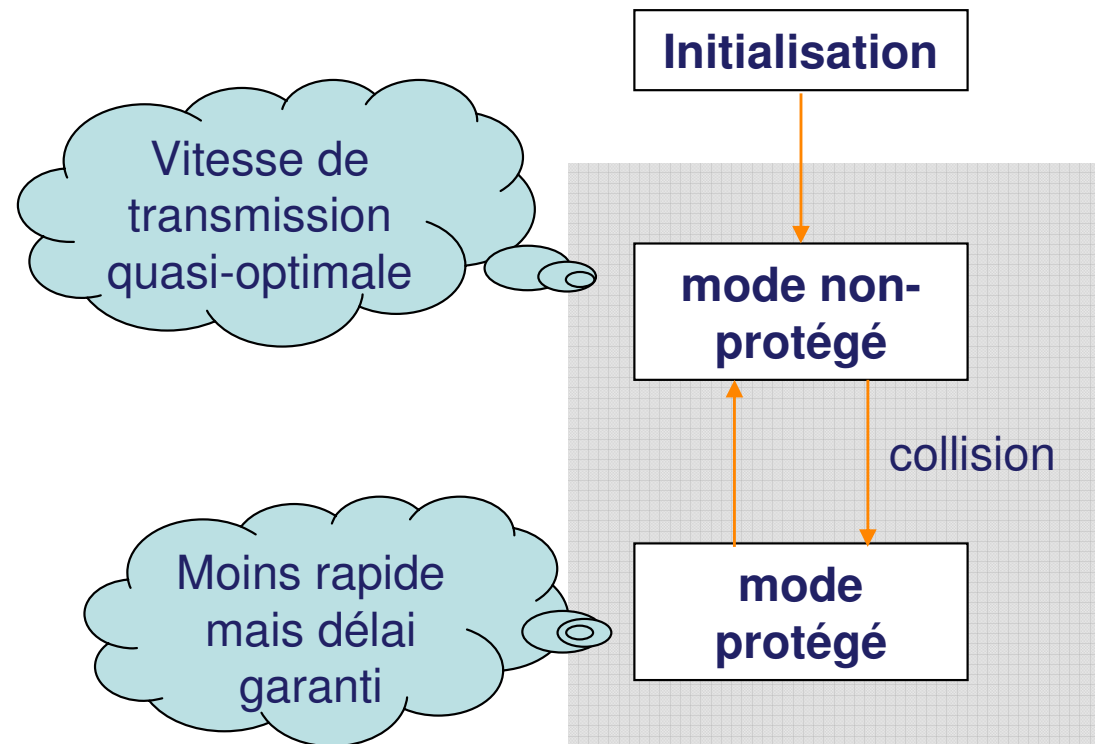
## Alarmes

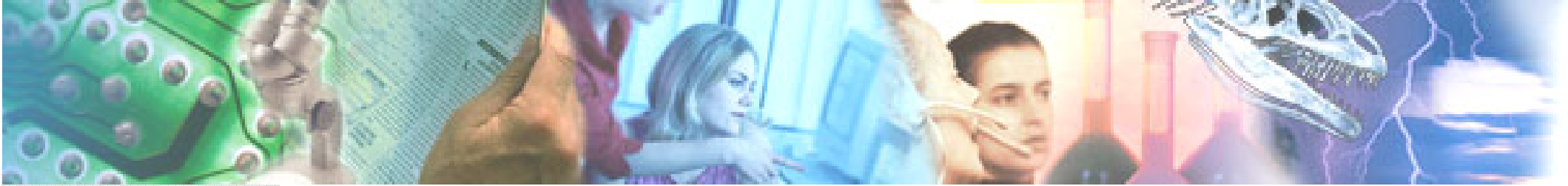
- levées par n'importe quel nœud
- pas de priorités



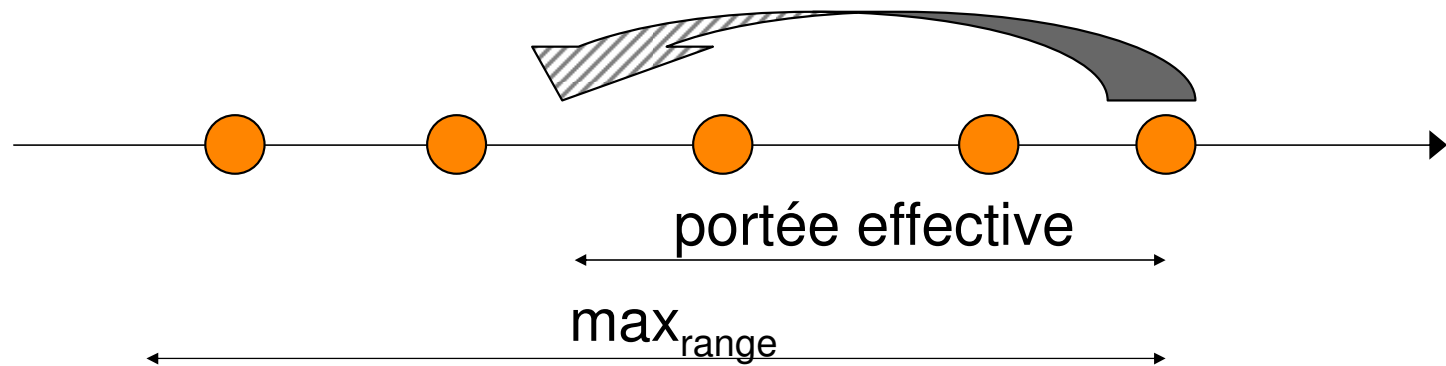


## Idée générale



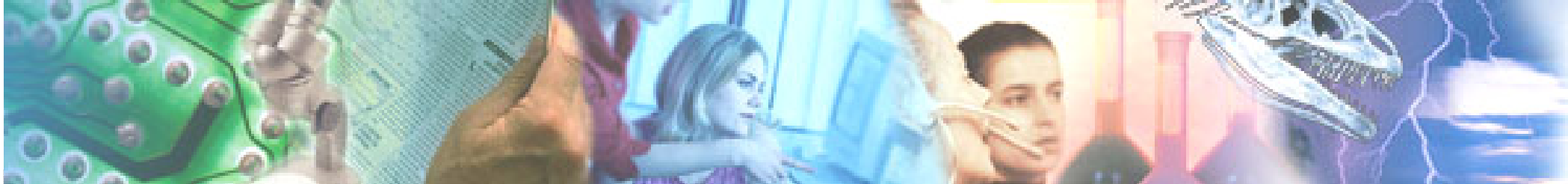


## Mode non-protégé



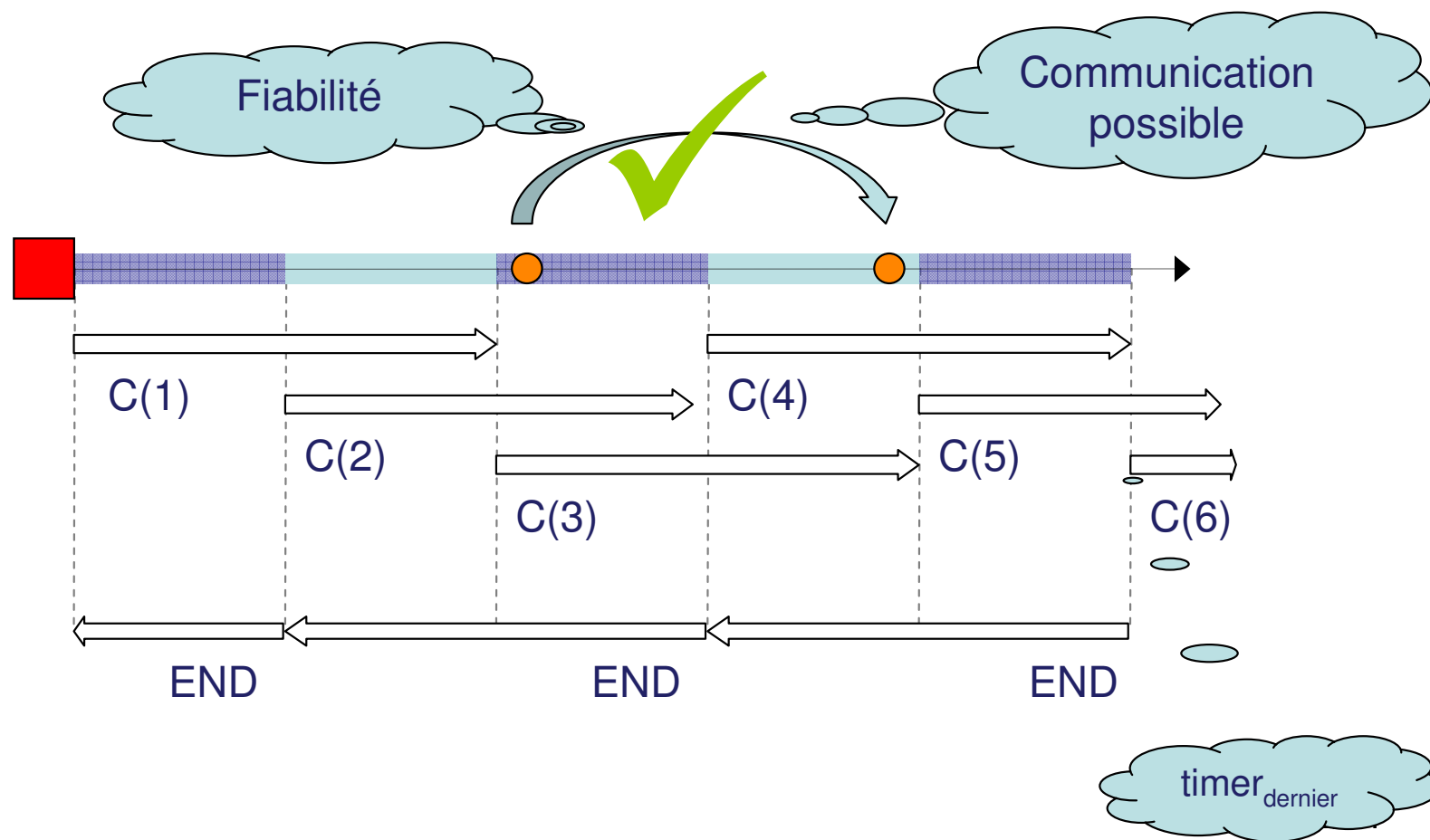
Quasi-optimal

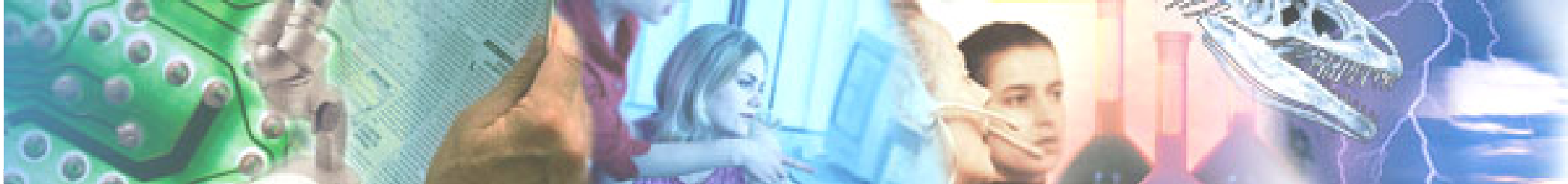
$$\text{backoff}_{\text{unprotected}} \propto A - (A_{\text{emitting}} - \text{max}_{\text{range}})$$



# Mode protégé

Découpe en cellules

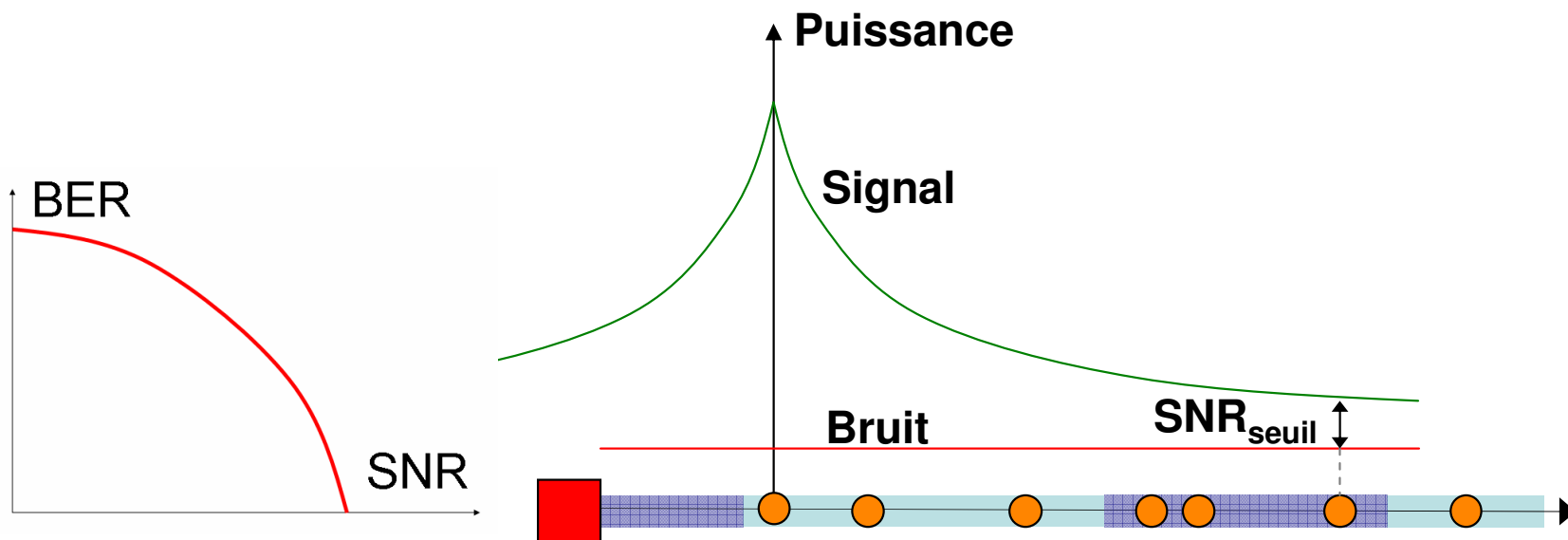




## Mode protégé

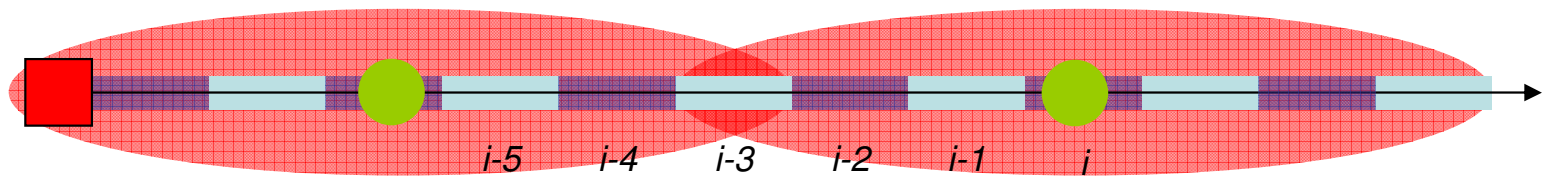
### Découpe en cellules: fiabilité

- BER (*Bit Error Rate*): métrique physique de la fiabilité
- SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), mesurable par un nœud

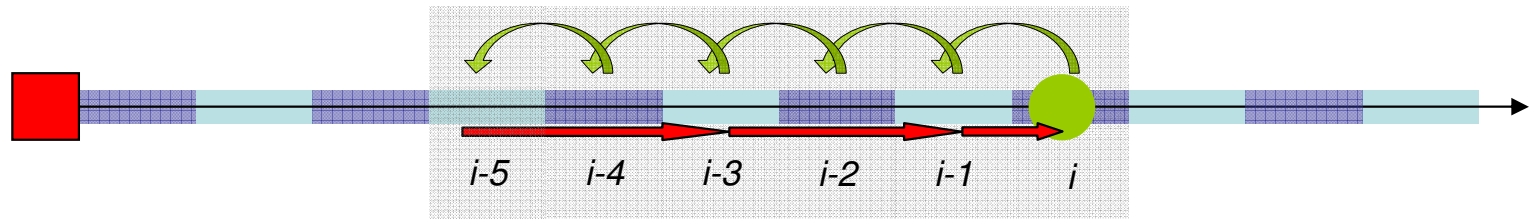




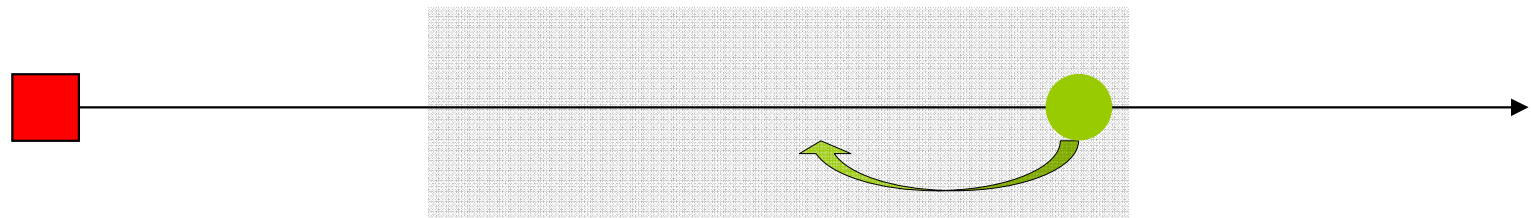
## Mode protégé

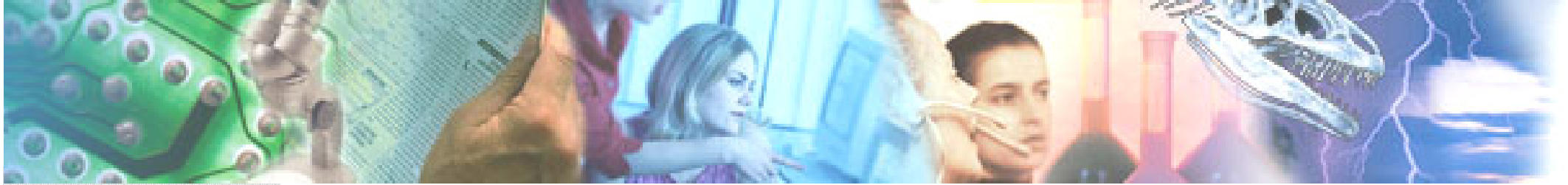


Protection d'une portion du réseau...



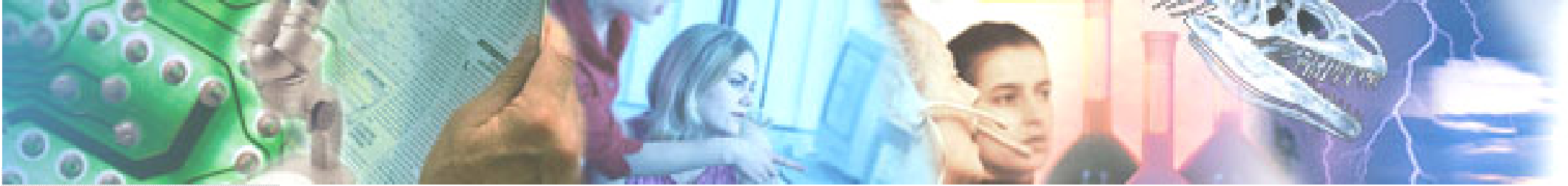
... et envoi du message d'alarme





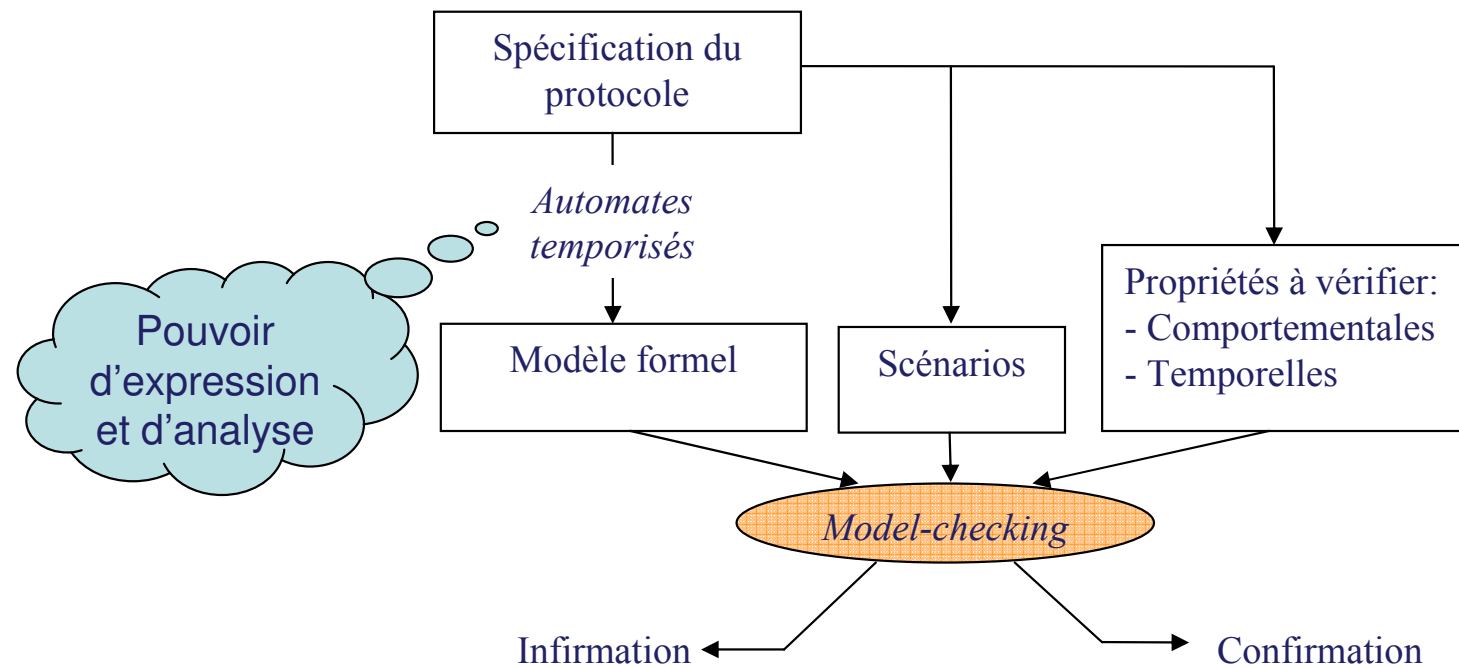
# Plan

- I. Etat de l'art
- II. Proposition
- III. Modélisation et validation**
- IV. Conclusion et perspectives

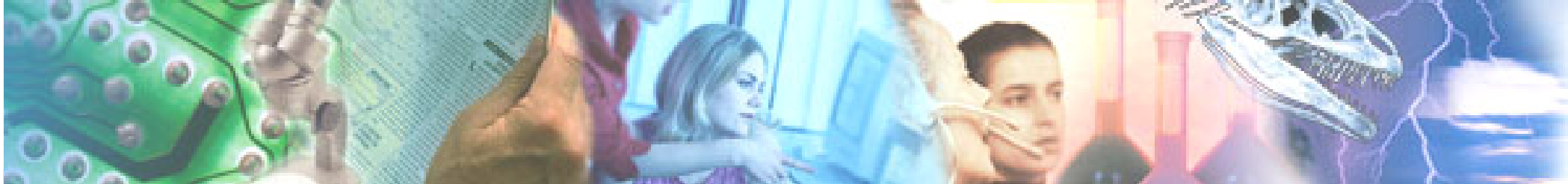


# Méthodologie

- Détermination analytique des temps pires (*initialisation, non-protégé, protégé*)
- Validation par modèle formel

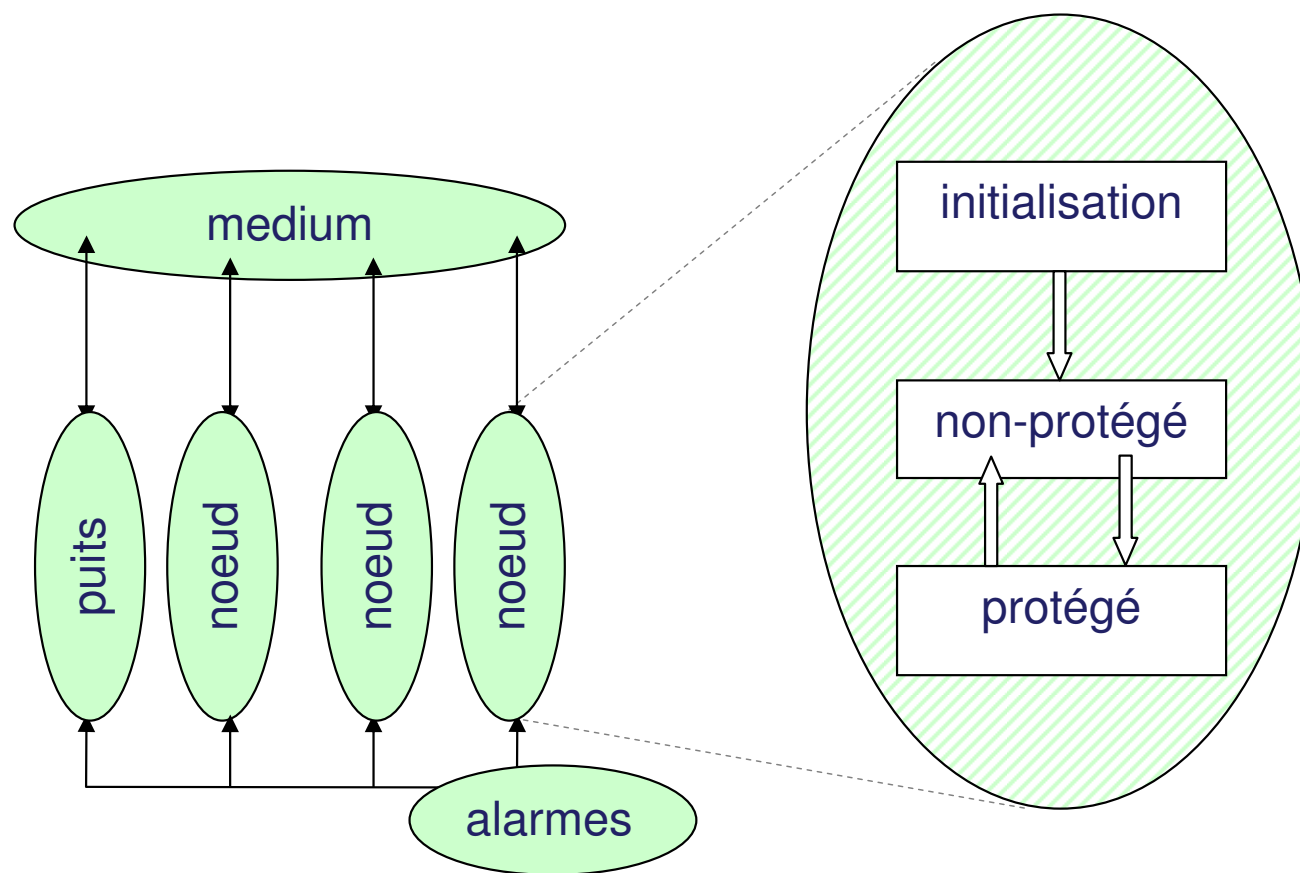






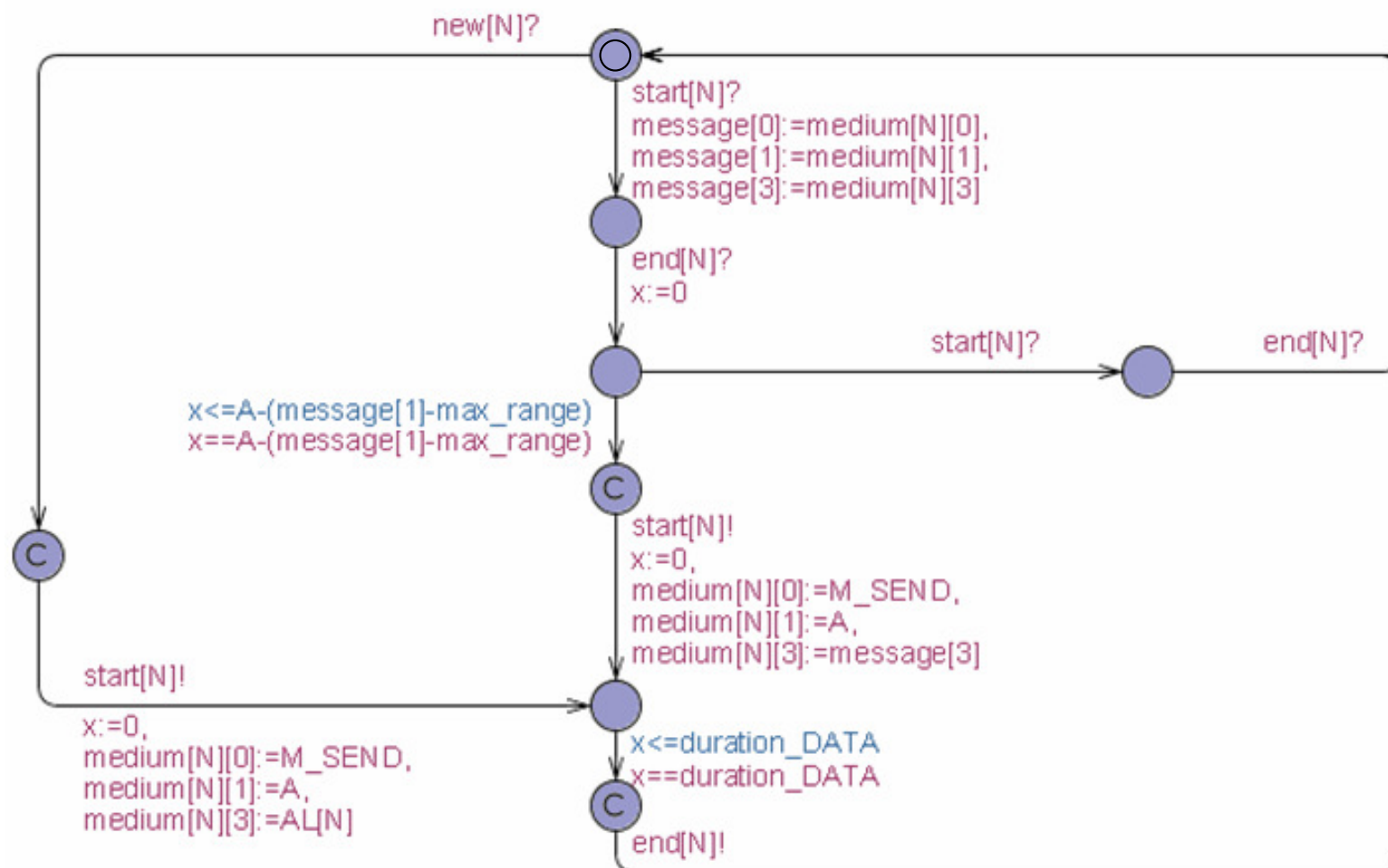
# Modélisation

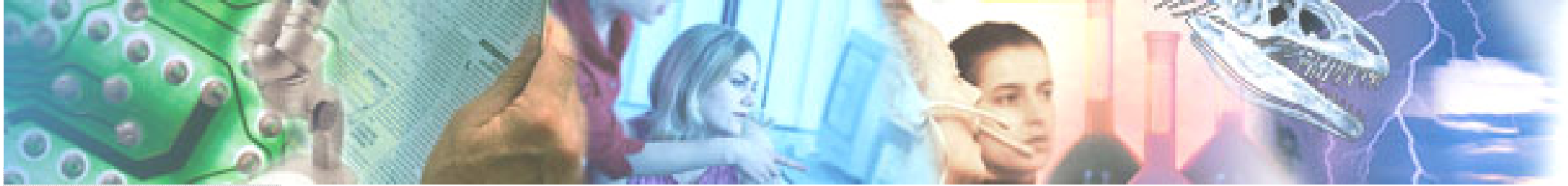
## Découpage logique de modélisation





Exemple: nœud en mode non protégé (*simplifié*)



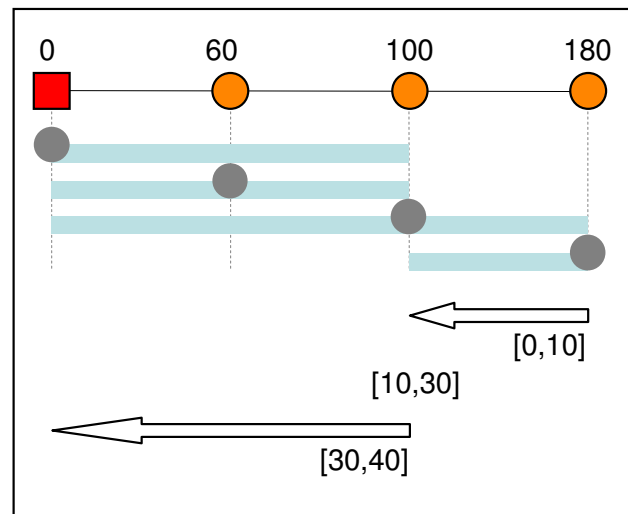


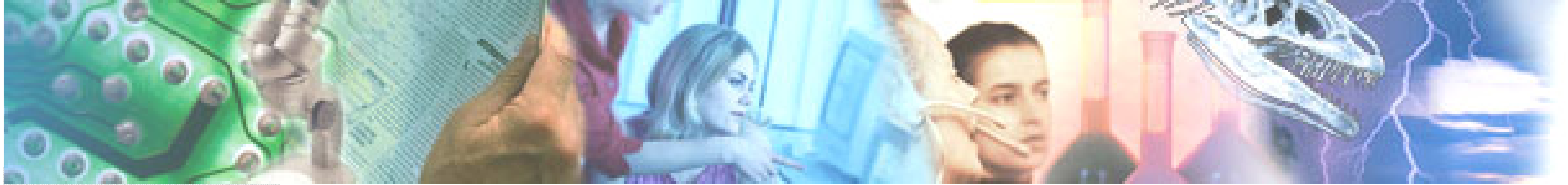
# Validation Temporelle

Mode non-protégé

$$Pire_{non-protégé} = nombre_{noeuds} \times \left[ \frac{taille_{data}}{BW} + \left( \frac{\max_{range} - \frac{longueur_{réseau}}{nombre_{noeuds}}}{W_{émission}} \right) \right]_{si I \geq 3}$$

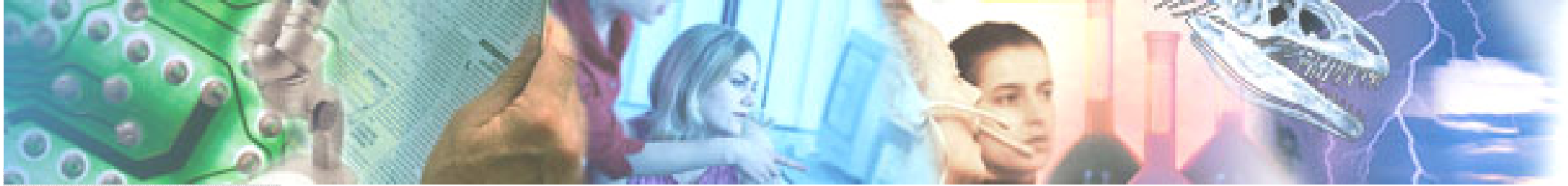
$$= 150$$





# Plan

- I. Etat de l'art
- II. Proposition
- III. Modélisation et validation
- IV. Conclusion et perspectives**



## Conclusion

- Respect des contraintes temps-réel important au vu des applications
- Proposition d'un protocole temps-réel dur avec hypothèses réalistes
- Validation comportementale et temporelle par un modèle formel

## Perspectives

- Capacité du réseau en nombre d'alarmes par cellule/unité de temps
- Tolérance aux fautes (perte message/nœud)
- Extension à deux dimensions (couche routage temps-réel)
- Comparation des performance en temps moyen avec protocoles existants