

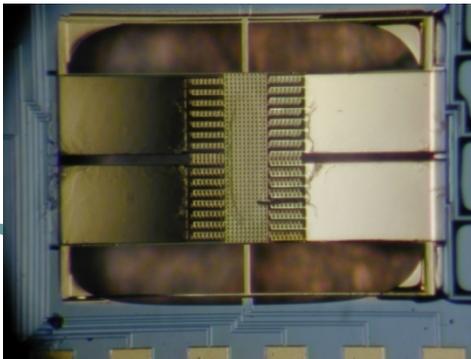
Autonomie énergétique des objets
communicants : Choix technologiques et
optimisation de la consommation

Renaud BRIAND

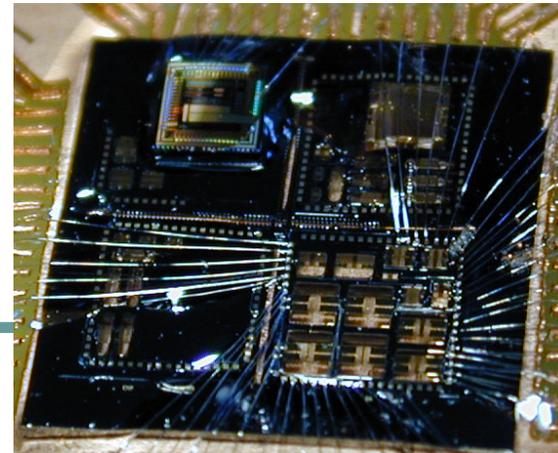
r.briand@estia.fr



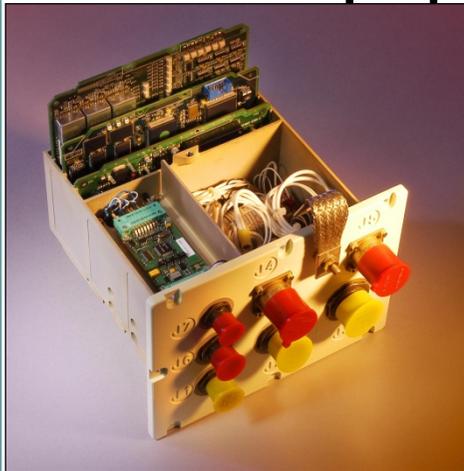
- Enseignant-Chercheur à l'ESTIA
 - Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées
 - Ecole consulaire (CCI Bayonne-Pays Basque)
- ESTIA-Recherche
 - Activité de recherche sur la conception de microcapteurs autonomes



Renaud BRIAND



- Directeur R&D d'Aquitaine Electronique
PME de Pau
Equipementier aéronautique



Equipements Electroniques



Faisceaux Electriques



Outillages de tests

+ Smart sensors
pour turbine hélicoptère

Activités

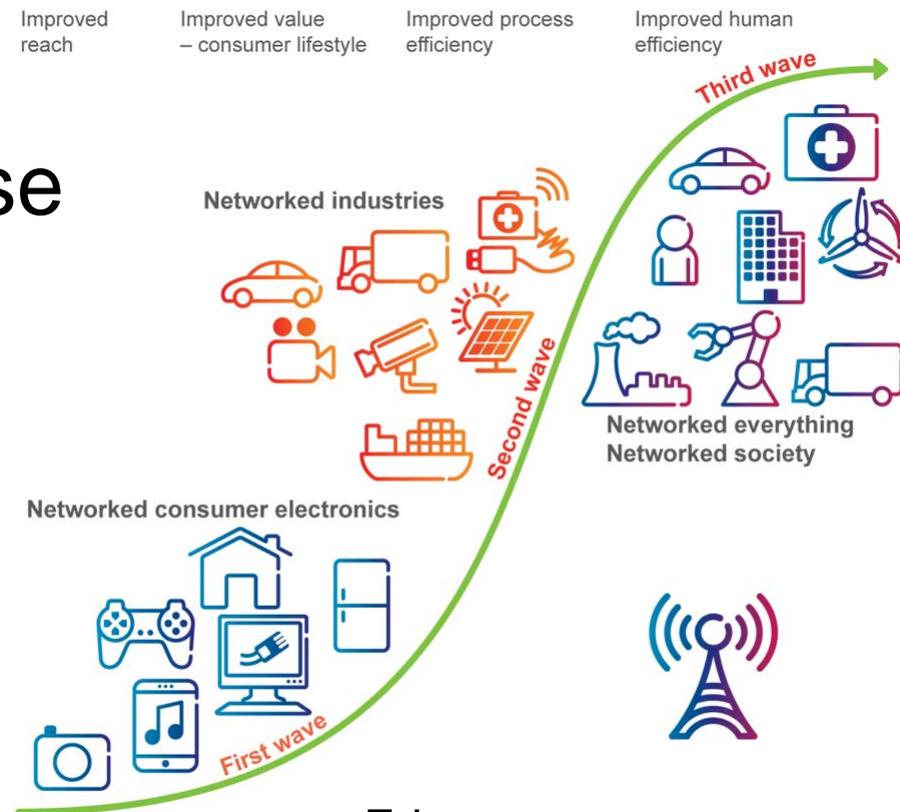
- Modélisation et simulation des éléments composant un capteur autonome
- Evaluation de la consommation
- Récupération d'énergie
- Outils d'aide aux choix de conception
- Développements
 - Gestion d'un parc de stationnement
 - Architecture de communication pour le bâtiment
 - Surveillance de feux de forêts
 - Réseau de capteurs sismiques

Plan

- L'internet des objets
 - Problématique de consommation
- Réseau de capteurs
 - Modélisation énergétique du nœud
- Récupération d'énergie
 - Technologies
 - Modélisation
- Outils d'aide à la conception

Internet des objets

- Les objets communicants sont aujourd'hui devenus incontournables
- Leur nombre dépasse celui des personnes depuis 2008
- 50 Milliards d'objets connectés en 2020



Ericsson.com

Internet des objets



graphism.fr

- Objets hétérogènes connectés
 - Avantages évidents
 - Société de l'information
 - Nouveaux services intéressants
 - Développement complexe
 - Interopérabilité
 - Des applications innombrables
 - Très différentes les unes des autres
 - Avec des caractéristiques parfois contradictoires

Internet des objets

- Des points communs
 - Intelligence (performance)
 - Communication (filaire ou sans fil)
 - Maîtrise de l'énergie (consommation, autonomie)
 - Connectivité (permanente ou temporaire)
- Mais prépondérance de ces critères fortement dépendante de l'application

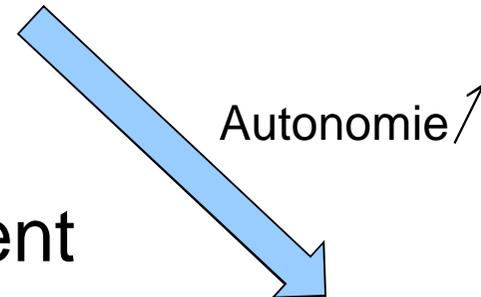
Internet des objets

- La manière de concevoir est différente
 - Ex : Téléphonie mobile
 - Débit de données maximal
 - Performance maximale
 - Connectivité permanente
 - Consommation maximale
 - Ex : Réseau de capteurs
 - Autonomie maximale
 - Maintenance maximale

Internet des objets

- Le niveau de connectivité

- Communication permanente
- Communication périodique
- Communication sur événement
- Communication avec apport d'énergie



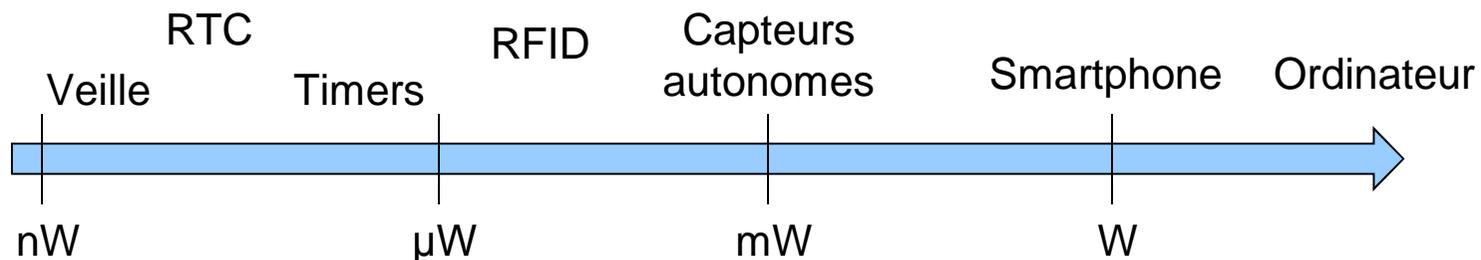
➔ Technologies, Protocoles et Topologies différentes

Internet des objets

- On imagine
 - Les objets « des villes »
 - Souvent alimentés par le réseau
 - Connectés à des infrastructures de communication
- On oublie souvent
 - Les réseaux de capteurs
 - Energie embarquée
 - Communication sans fil
- Les problématiques sont différentes

Internet des objets

- Réseau de capteurs
- Intérêt de mesurer
 - pour mieux connaître un environnement
 - et donc mieux le maîtriser
- ➔ Nouveaux services
- Maintenance facile



Les réseaux de capteurs

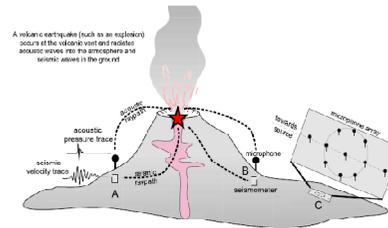


[Honeywell, 2005]



maison-et-domotique.com

Bâtiment et applications domotiques

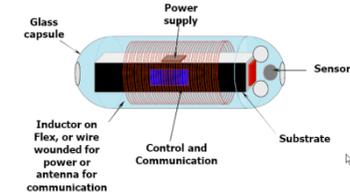


Surveillance de volcan,
[Werner-Allen et al., 2005]

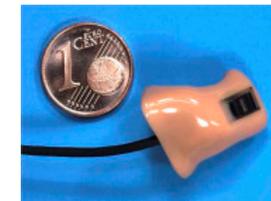


Suivi d'animaux,
Université de Floride

Surveillance d'environnement



Pilule intelligente,
Université de l'Ohio



Implant auditif, Institut CiS d'analyse microsensorielle

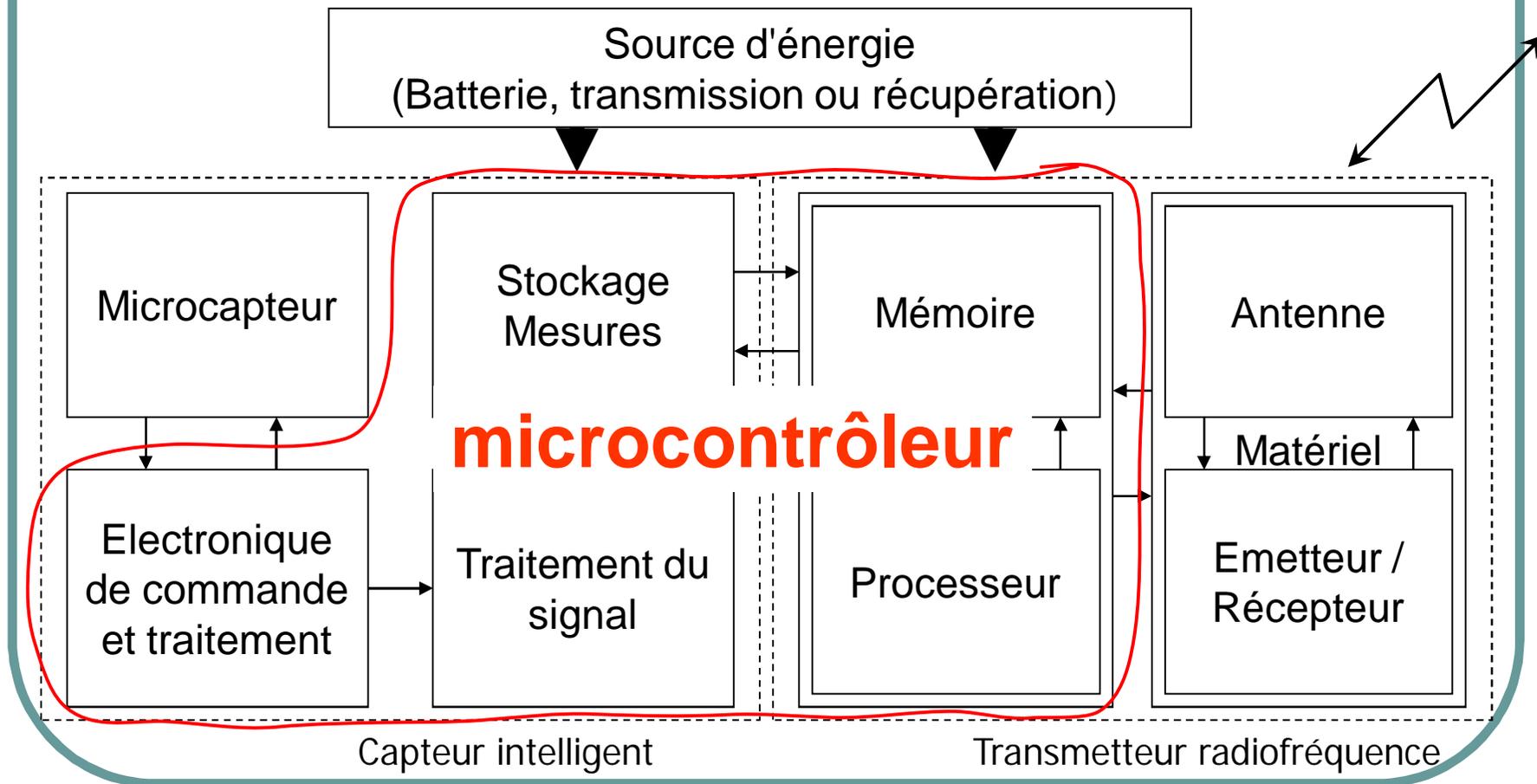
Médical

Les réseaux de capteurs

- Problématique de consommation et de miniaturisation
 - Durée de vie des nœuds → Autonomie
 - Transmission périodique ou sur événement
 - Unidirectionnelle ou bidirectionnelle
 - Topologie du réseau
 - Distance maximale entre les éléments
 - Nombre de nœuds
 - Mobilité
- Spécifications de l'application

Les réseaux de capteurs

- Le microcapteur autonome



Modélisation de la consommation

- **Activité périodique nécessaire**

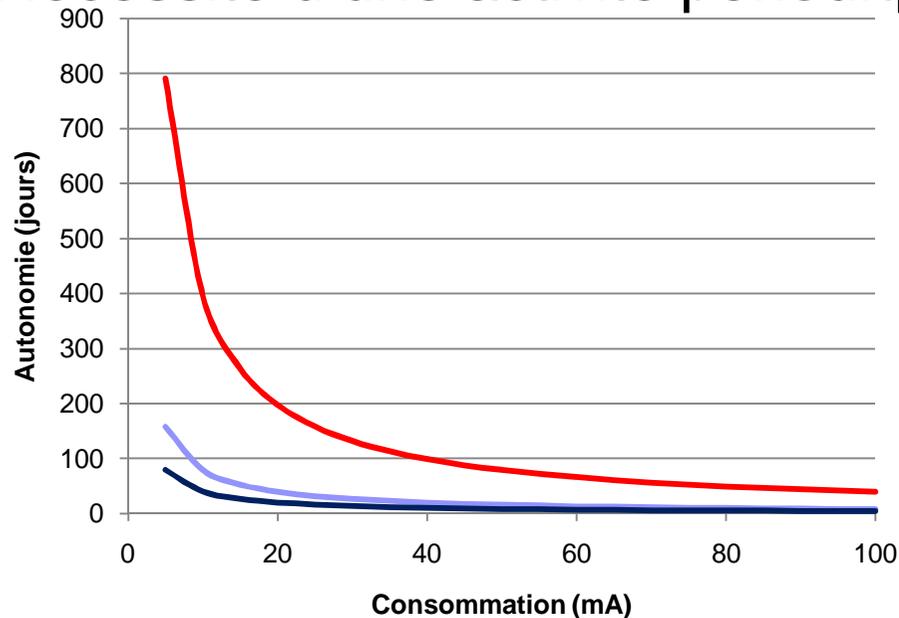
$$\text{Autonomie} = \frac{C_{bat}}{I_{moy}}$$

$$I_{moy} = 10 \text{ mA}$$

$$C_{bat} = 950 \text{ mAh}$$

→ - de 4 jours

- **Nécessité d'une activité périodique du nœud**

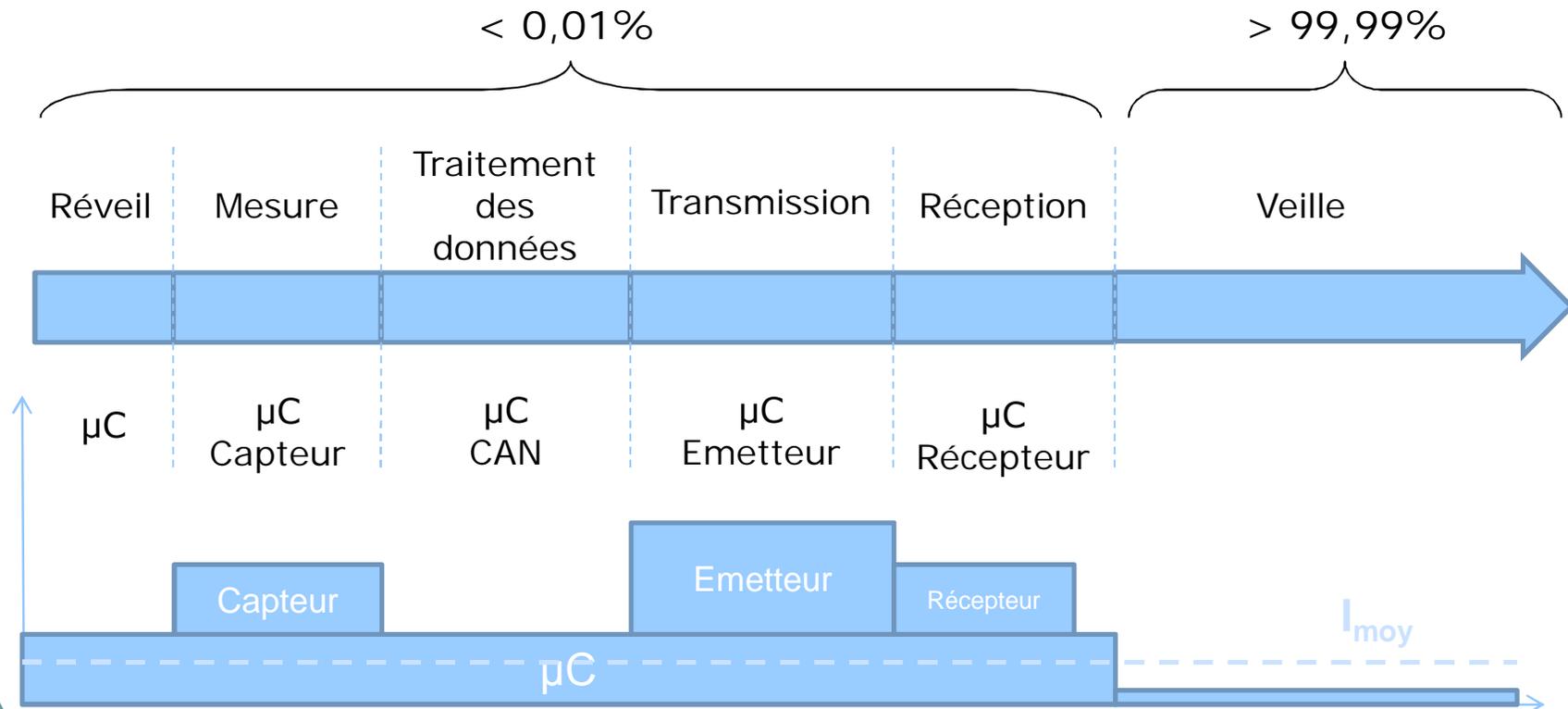


$$I_{on} = \frac{C_{bat}}{\alpha \cdot d_{aut}}$$

— 0,01%
— 0,05%
— 0,1%

Modélisation de la consommation

- Séquencement du fonctionnement



Modélisation de la consommation

- Calcul énergétique au niveau du nœud

$$E_{node} = E_{sensor} + E_{ADC} + E_{\mu C} + E_{trans} + E_{rec}$$

- Capteur

$$E_{sensor} = P_{on_sensor} (t_{stabilization} + t_{measure}) + P_{off_sensor} (T_{cycle} - (t_{stabilization} + t_{measure}))$$

- Emetteur

$$E_{on_trans} = \left(t_{wake-up_trans} + \frac{N_{bits_trans}}{D_{inst}} \right) P_{on_trans} \quad t_{trans} = \frac{N_{bits_trans}}{D_{inst}}$$

Modélisation de la consommation

- Récepteur

$$E_{on_rec} = \left(t_{delay} + \frac{N_{bits_rec}}{D_{inst}} \right) P_{on_rec} \qquad t_{rec} = t_{delay} + \frac{N_{bits_rec}}{D_{inst}}$$

- Microcontrôleur

$$t_{\mu C} = \frac{N_{inst_cycle}}{S_{\mu C}}$$

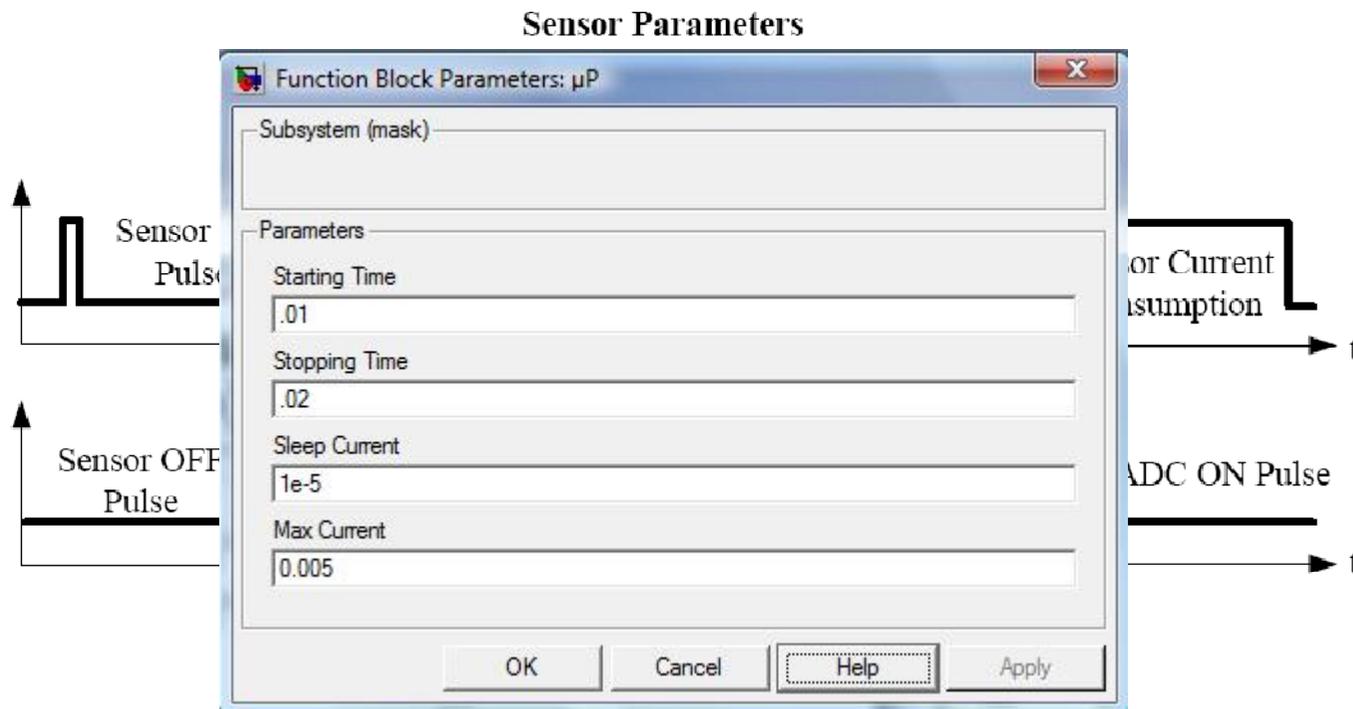
$$E_{data\ processing} = \frac{N_{soft}}{S_{\mu C}} P_{on_{\mu C}}$$

$$E_{on_{\mu C}} = P_{on_{\mu C}} \left(t_{wake-up_{\mu C}} + t_{on_sensor} + \frac{N_{inst}}{S_{\mu C}} + t_{on_trans} + t_{on_rec} \right)$$

$$E_{on_ADC} = P_{on_ADC} \left(t_{wake-up_ADC} + t_{measure} \right)$$

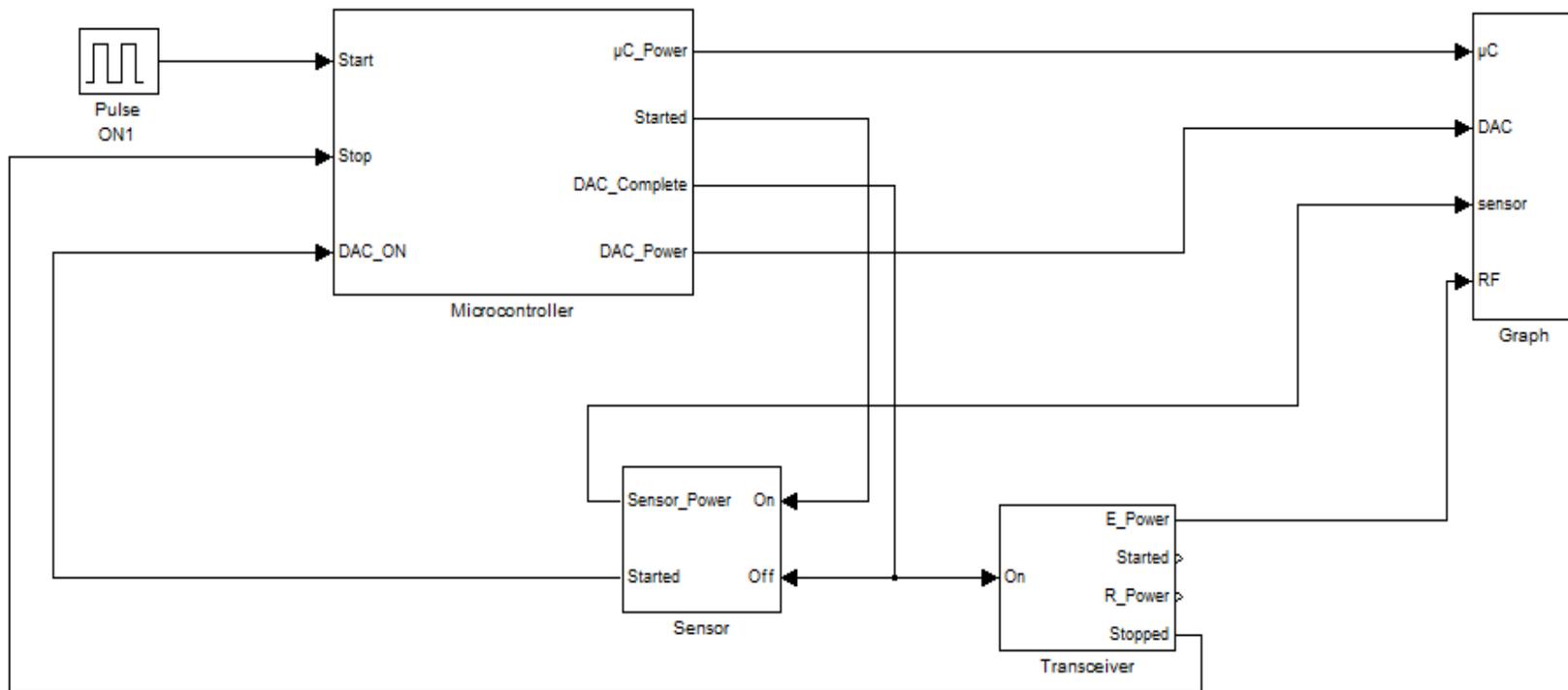
Modélisation de la consommation

- Modélisation simple des éléments
 - Exemple : le capteur



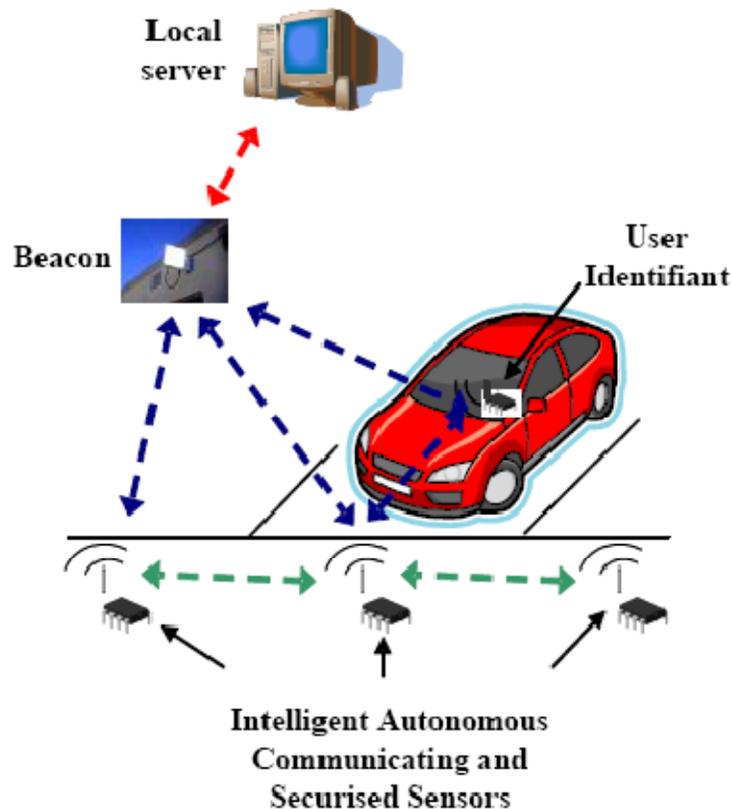
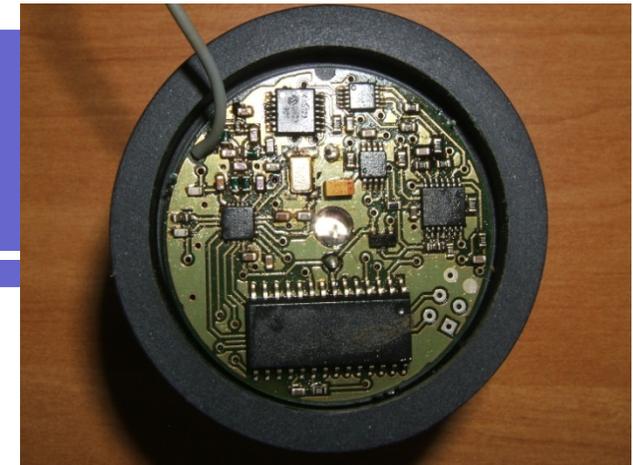
Modélisation de la consommation

- Modélisation du séquençement



Aide à la conception

- **Projet de gestion de parking**

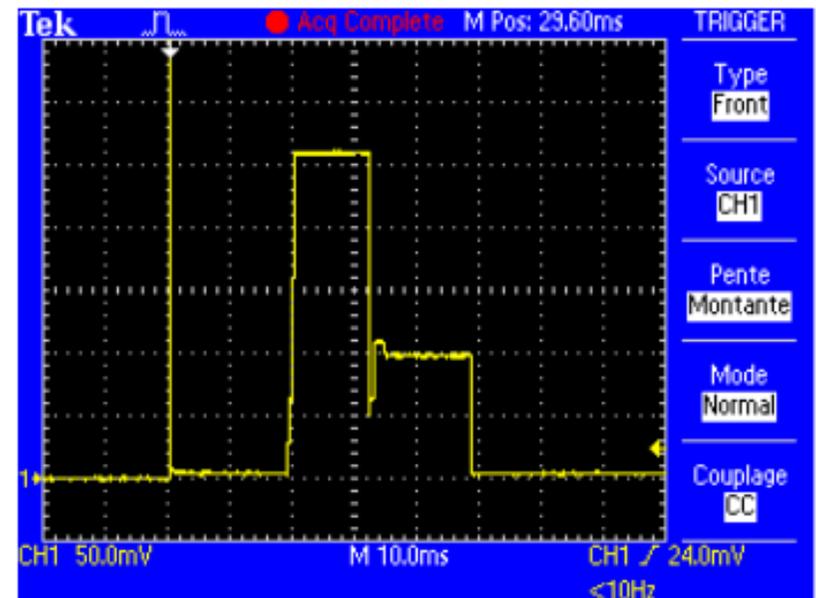
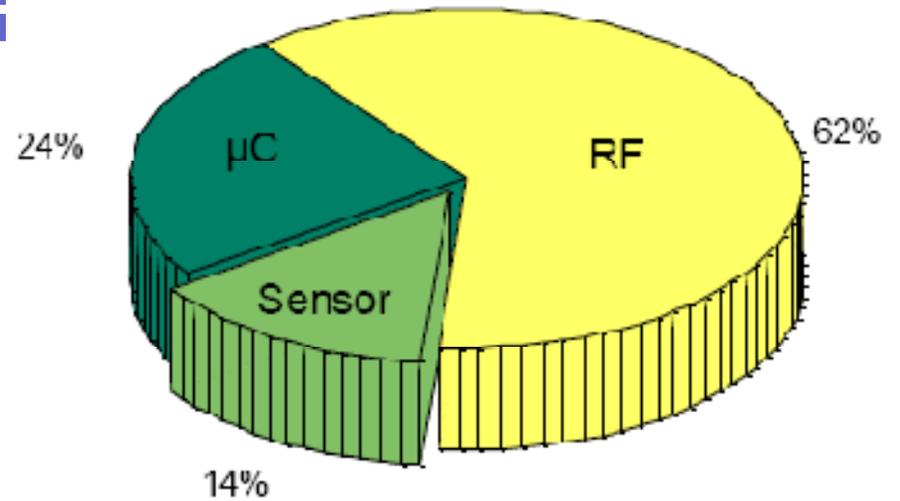
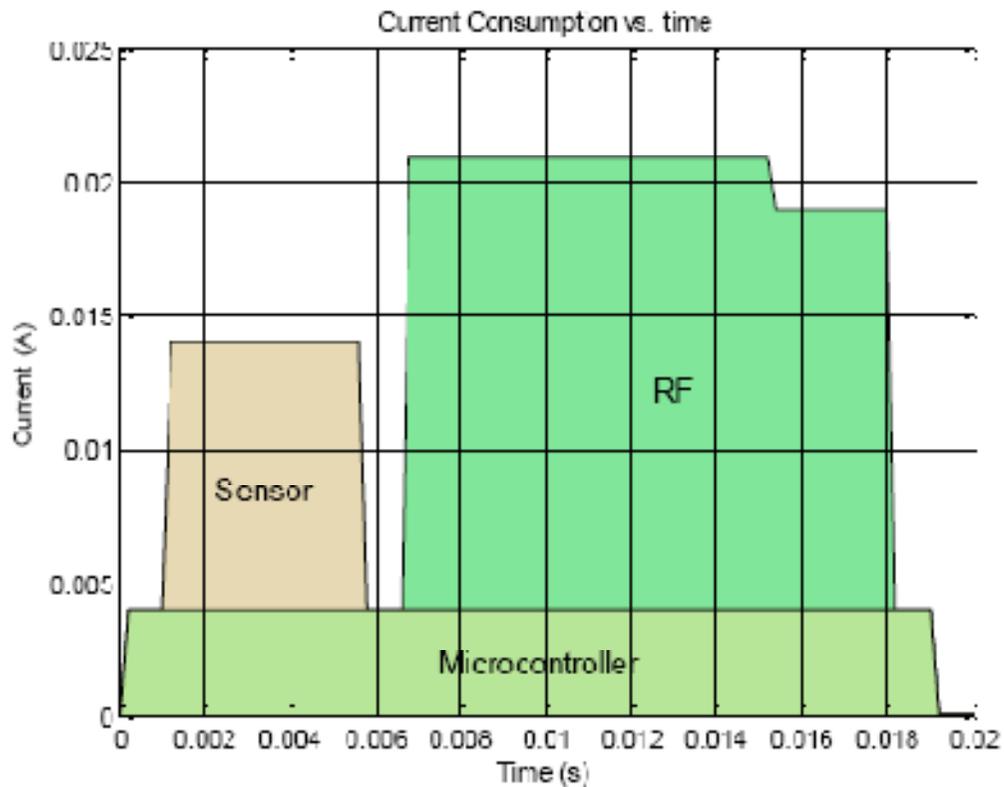


Parameters	Value
Bits to transmit ($N_{\text{bits_trans}}$)	200 bits
Bits to receive ($N_{\text{bits_rec}}$)	50 bits
Measure periodicity (T_{cycle})	30s
Autonomy	> 8 years

Node element	I_{on} (mA)	I_{off} (μA)	t_{on} (ms)	$t_{\text{wake-up}}$ (ms)
Magnetic sensor HMC105	10	1	2	3
Microcontroller PIC16F @ 20MHz	4	1	18	1
TR1000	Transmitter	12	6.7	0.02
	Receiver	4.8	1.7	0.01
CC1100	Transmitter	17	6.7	1
	Receiver	15	1.7	0.5

Aide à la conception

- Simulation Matlab



Renaud BRIAN

Aide à la conception

Notre outil

- Point de départ : spécifications de l'application
- Simulations de différentes configurations
 - Pour le choix des éléments du nœud
 - Pour le choix du séquençement optimum
- Simulations de différents scénarios
 - Pour le choix de la communication
 - Evaluation du protocole le plus adapté
- Graphe de répartition des consommations
 - Evaluation des éléments à optimiser

Aide à la conception

Exemple d'utilisation

- Fréquence microcontrôleur

$f_{\mu C}$	$I_{\mu C}$	$T_{on} (ms)$	$P_{on} (mW)$	$P_{off} (\mu W)$
31kHz	84 μ A	1725	0.537	31.63
4MHz	2.9mA	256.57	11.31	31.42
8MHz	5.1mA	250.7	18.61	31.42
48MHz	22.7mA	245.958	76.73	31.42

- Débit de transmission

$F \nearrow \rightarrow I \nearrow$ mais $T_{ON} \searrow \rightarrow I \searrow$
 \rightarrow Compromis sur la consommation

Réseau de capteurs

- Objets autonomes en énergie
 - Utilisation de batteries ou piles
 - Inconvénients
 - Taille
 - Poids
 - Durée de vie
 - Recharge
 - Respect de l'environnement
- Alternative: récupération d'énergie

Récupération d'énergie

- Utilisation de l'environnement proche
- Théoriquement illimitée dans le temps
- Dépendant de l'application
- Différents types de sources
 - Énergie solaire
 - Énergie mécanique
 - Énergie thermique
 - Énergie électromagnétique
 - Énergie chimique



Récupération d'énergie

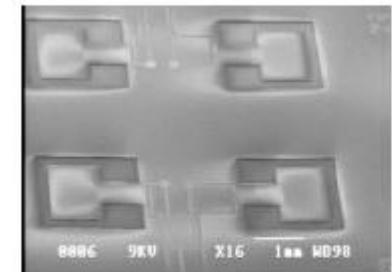
- Energie embarquée
 - Récupération
 - Solaire
 - Vibrations (Piézoélectricité, Electromagnétisme)
 - Stockage
 - Batterie
 - Condensateurs
 - Electronique de gestion
 - Gestion de charge
 - Aiguillage vers l'application



Vetorino S.R., et al. United States Patent 5975714
2001.



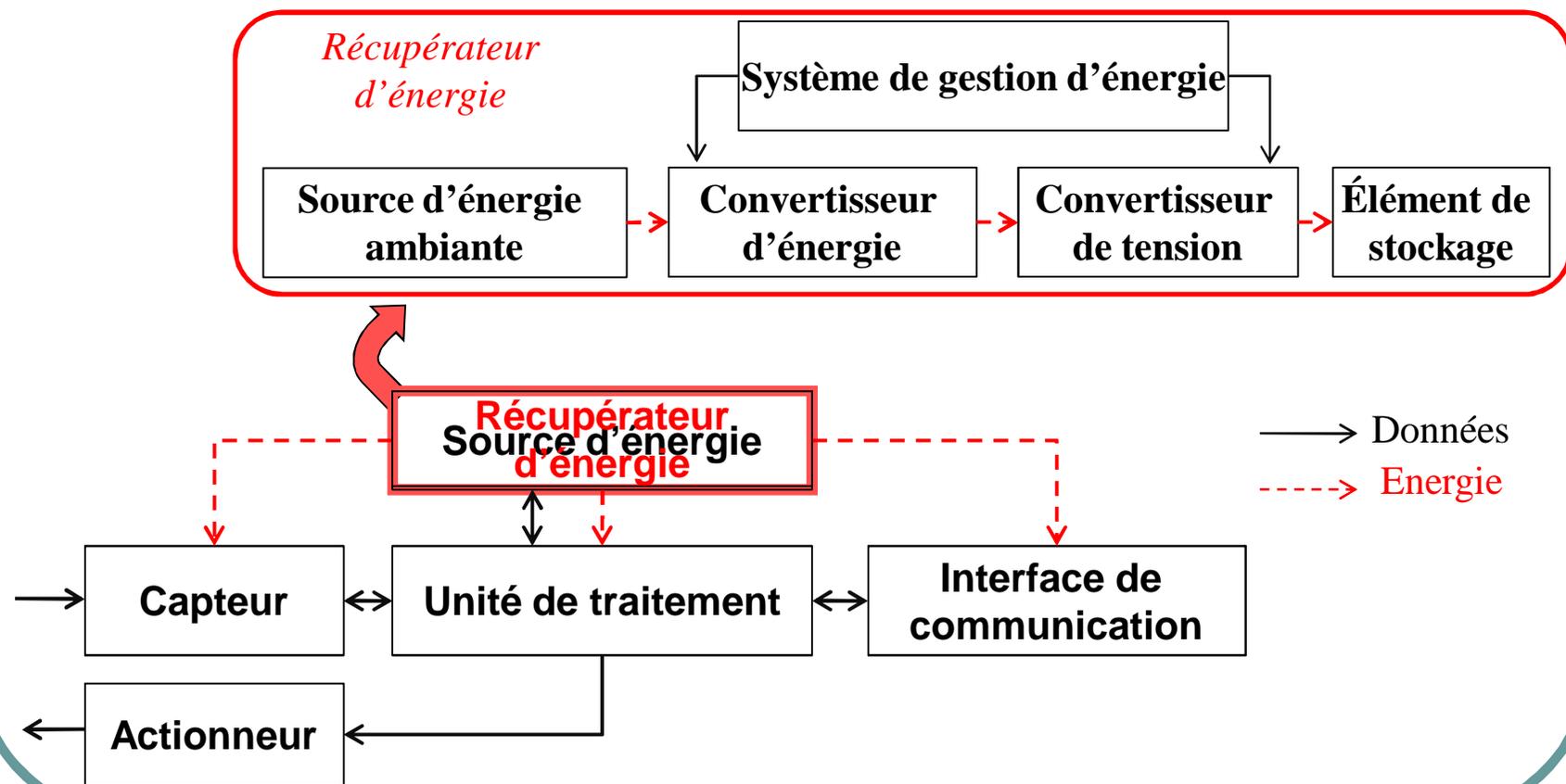
Shenck N.S. et al., IEEE Micro 2001.



Marzencki et al., 2005. (TIMA)

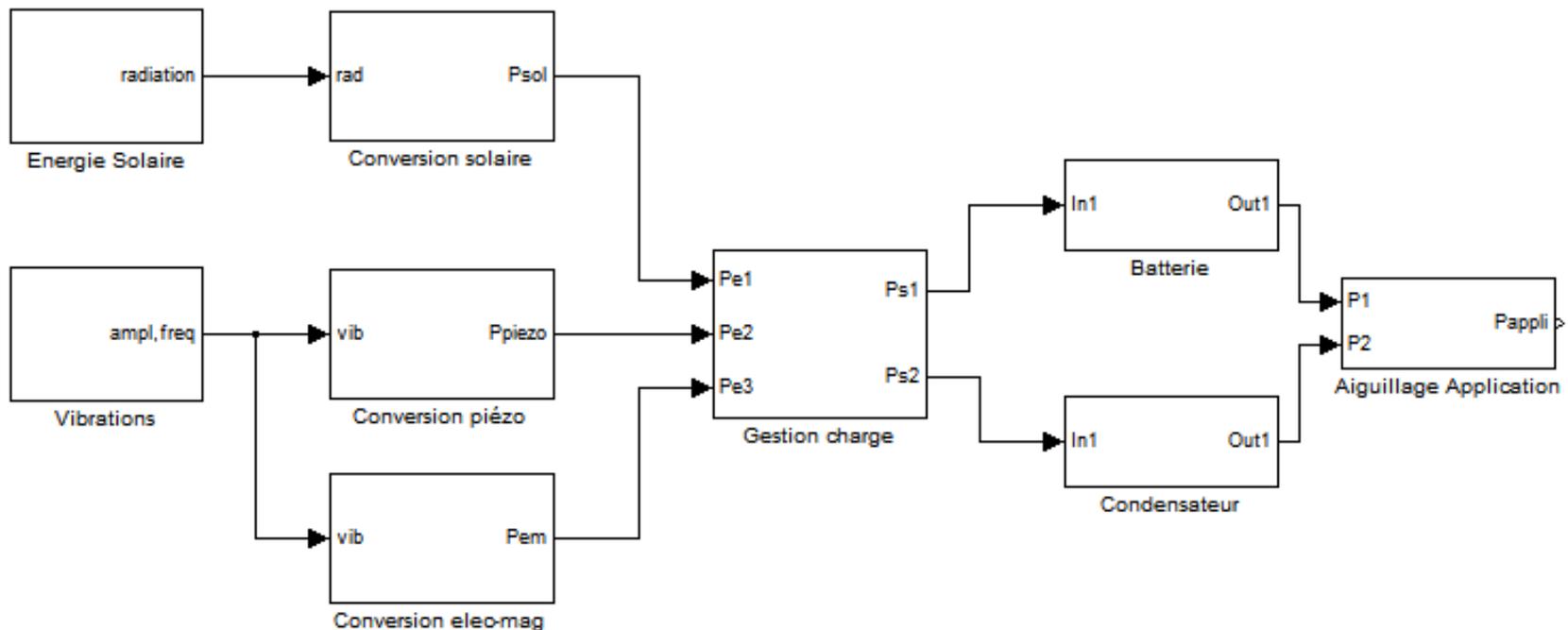
Récupération d'énergie

- Architecture du noeud



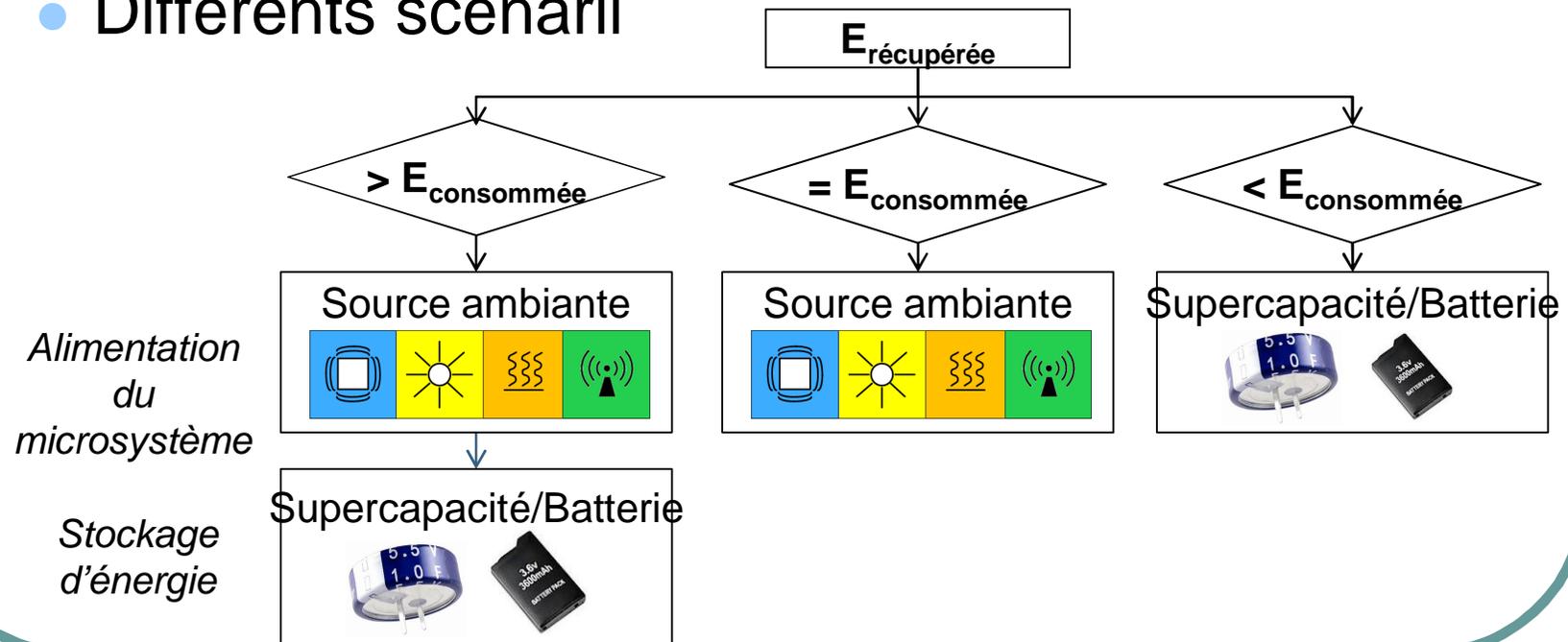
Modélisation de la récupération

- Modélisation de l'énergie embarquée



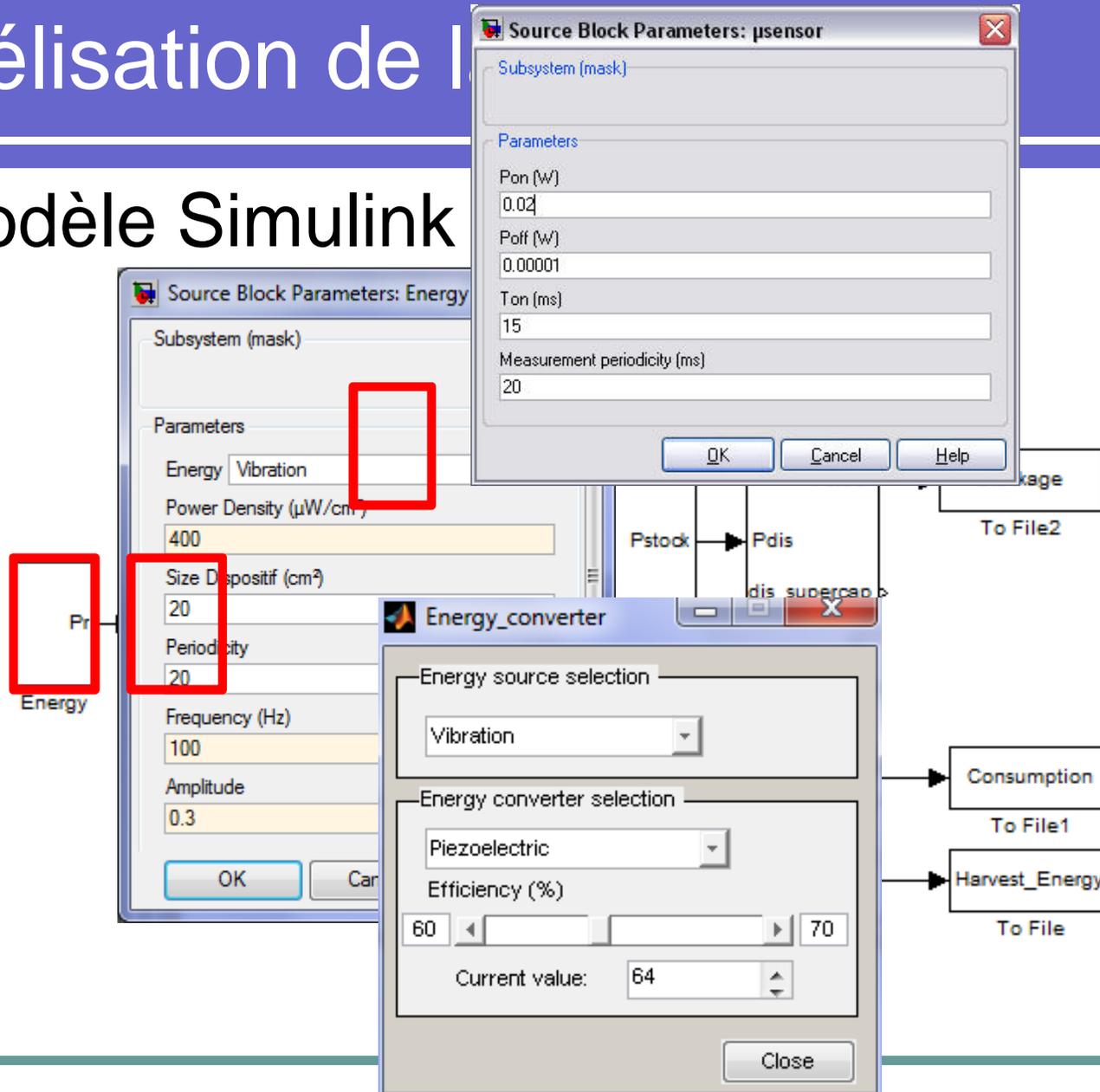
Modélisation de la récupération

- Unité de gestion de l'énergie
 - Source ambiante, supercapacité et/ou batterie
 - Fonctionnement séquentiel du capteur
 - Actif / Veille
 - Différents scénarii



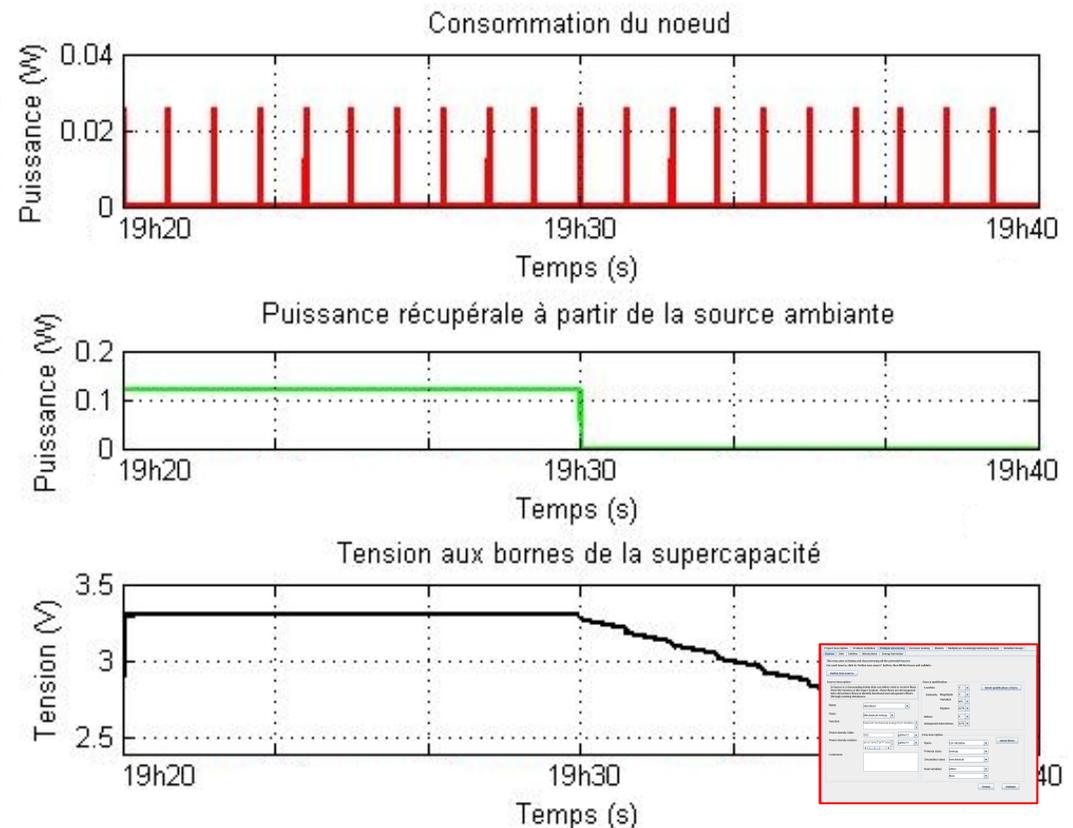
Modélisation de l

- Modèle Simulink



Modélisation de la récupération

- Pré-dimensionnement
 - Résultats avec le solaire
 - Éléments considérés
 - Panneau photovoltaïque
 - Convertisseur DC/DC
 - Autonomie du nœud
 - 7 ans (batterie)

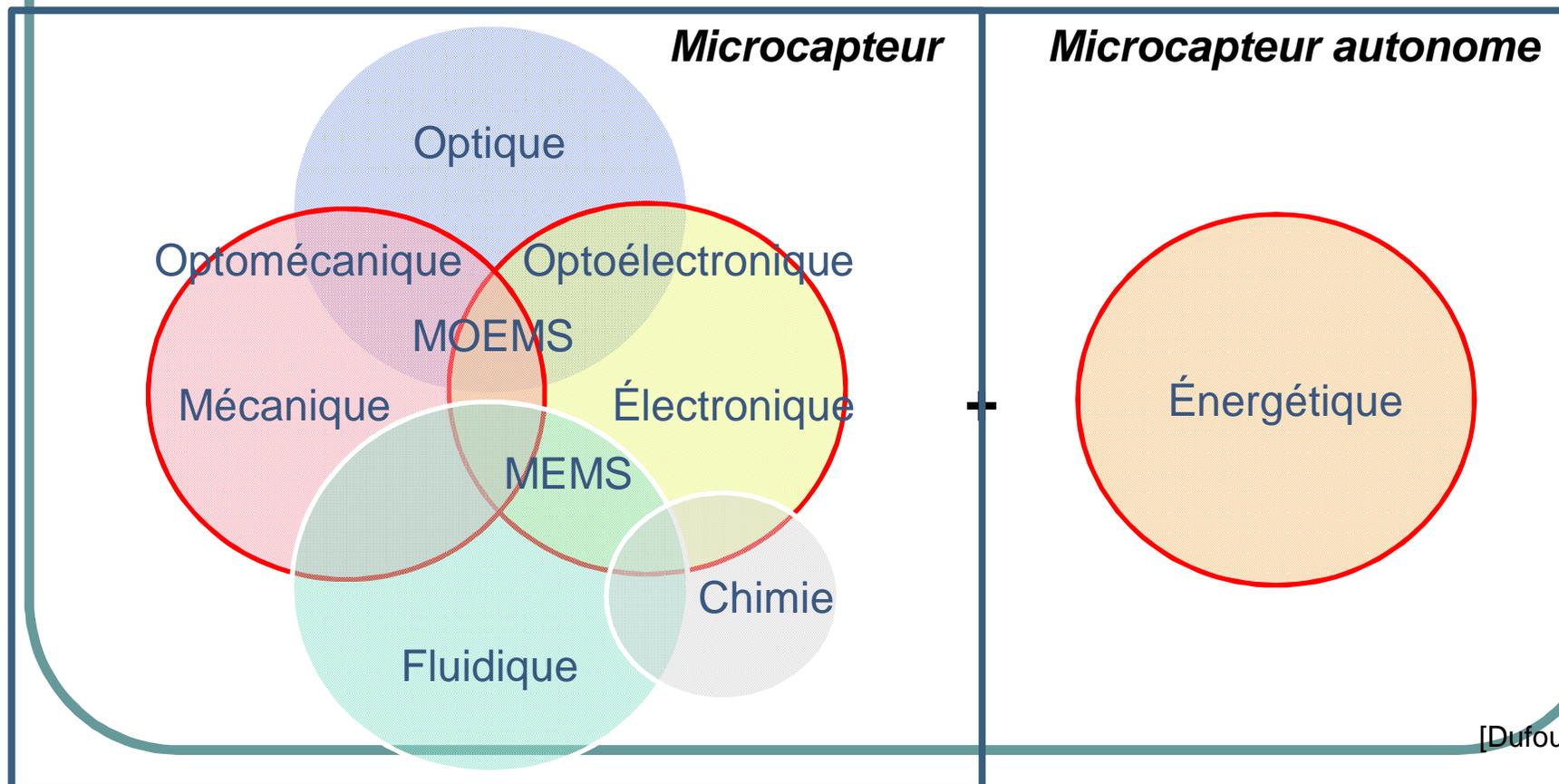


Conception d'objets autonomes

- Conception spécifique
 - Liée à l'application
- Conception pluridisciplinaire
 - Mécanique, Électronique, Énergétique
- Technologies en pleine expansion
 - Choix des composants difficile

Conception d'objets autonomes

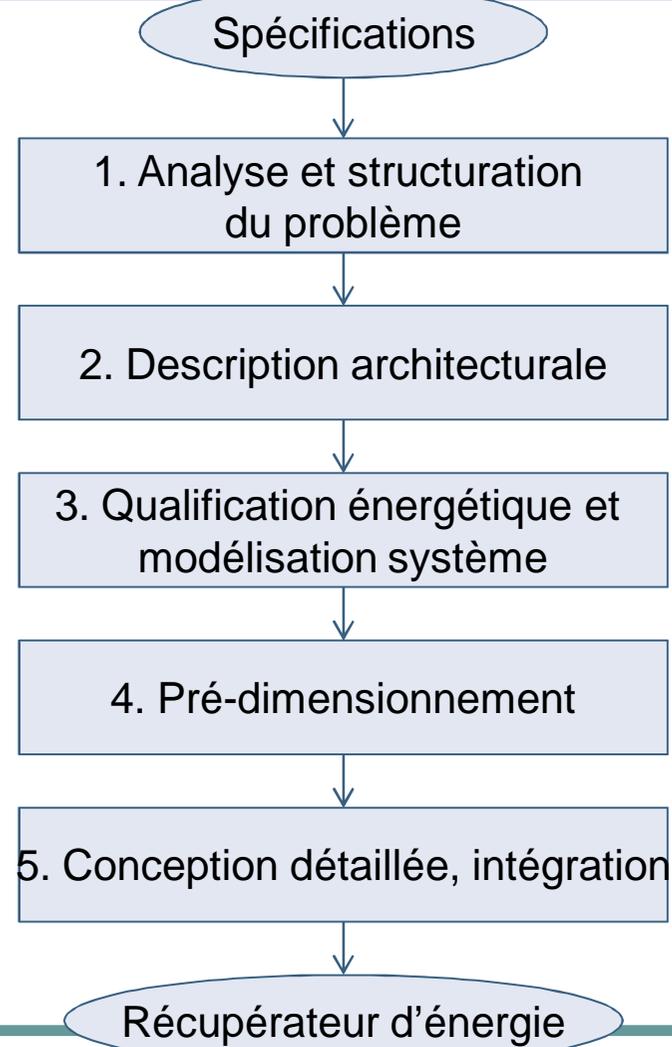
- Conception multidisciplinaire



[Dufou, 2006]

Conception d'objets autonomes

- Méthode



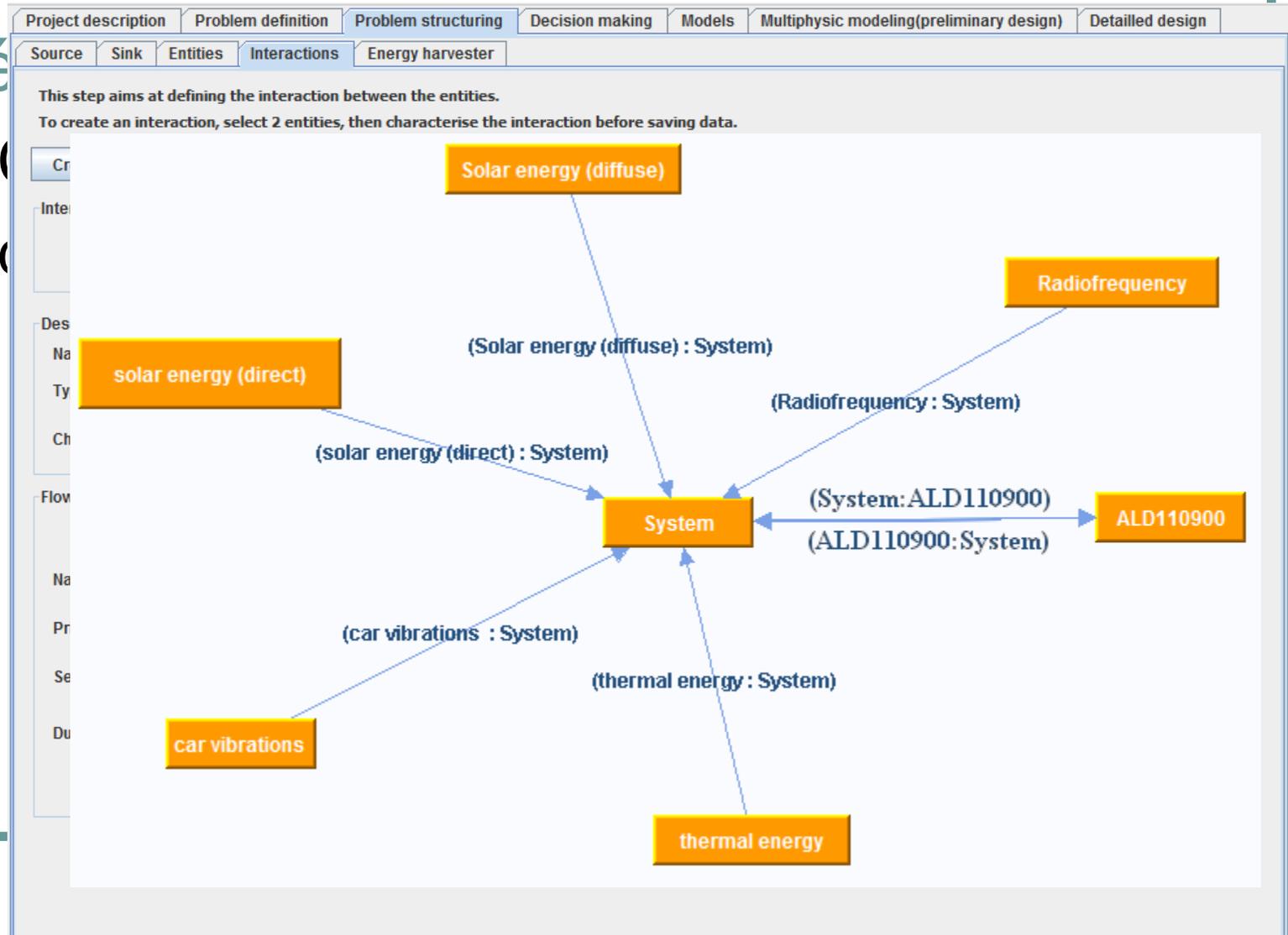
Conception d'objets autonomes

- Modélisation du problème de conception
 - Décomposition fonctionnelle
 - Identification des sources

Source	Caractéristiques	Densité de puissance disponible
Énergie solaire	Rayonnement direct	jusqu'à 100 mW/cm ²
Énergie mécanique	$f = 6,28 \text{ Hz}$; $A = 1,245 \text{ m/s}^2$	qq mW/cm ³
Énergie thermique	Gradient thermique = 5°C	~ 40 $\mu\text{W/cm}^2$
Radiofréquence	GSM, Wifi	< 1 $\mu\text{W/cm}^2$

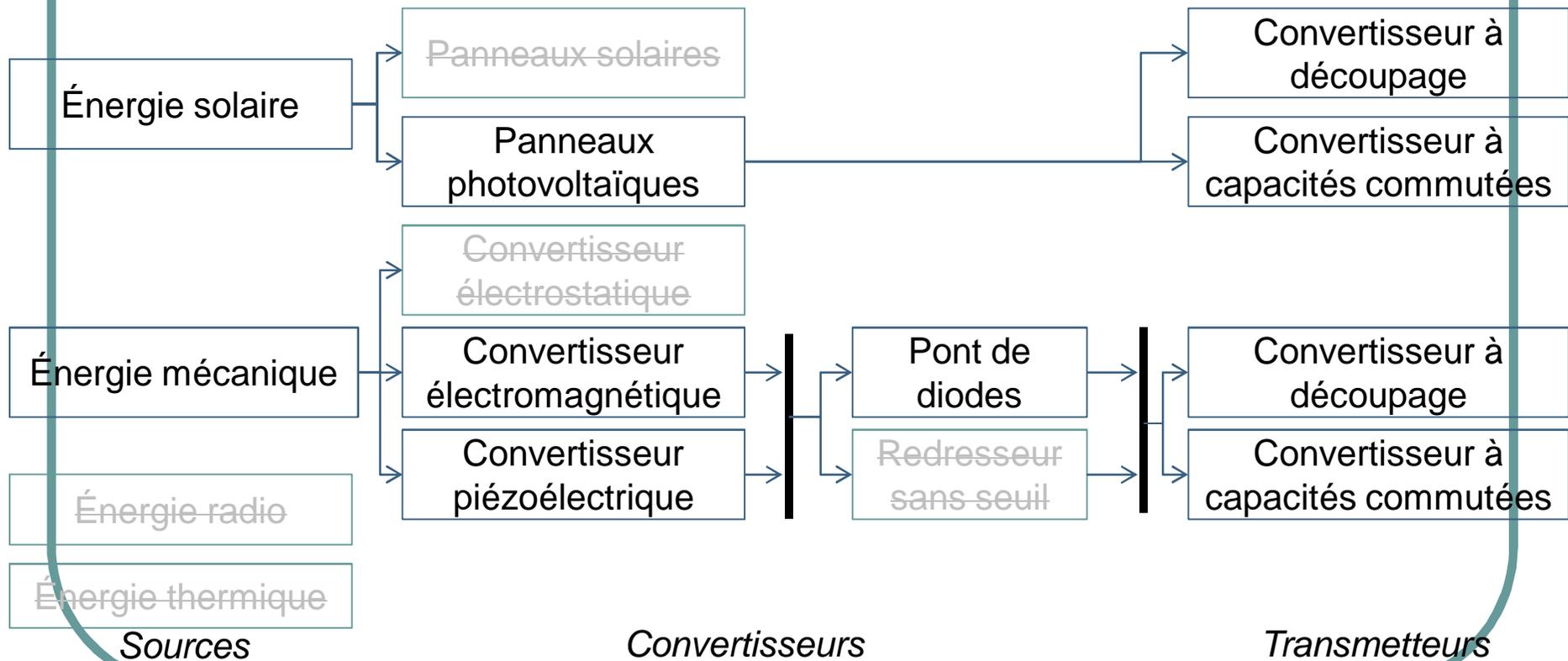
Conception d'objets autonomes

● Définition



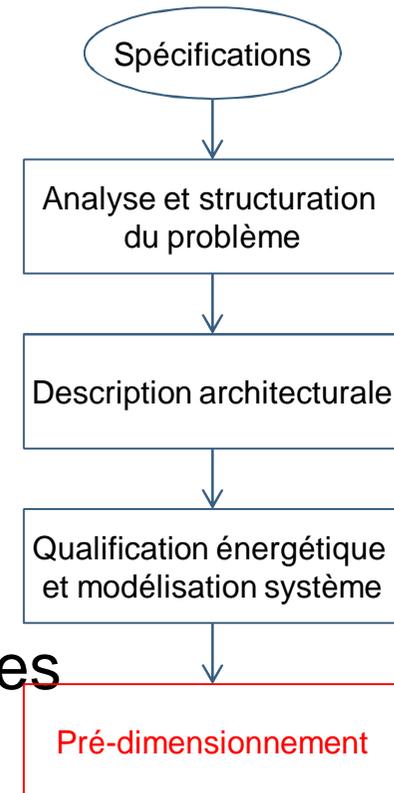
Conception d'objets autonomes

- Qualification des sources
 - Choix de l'architecture



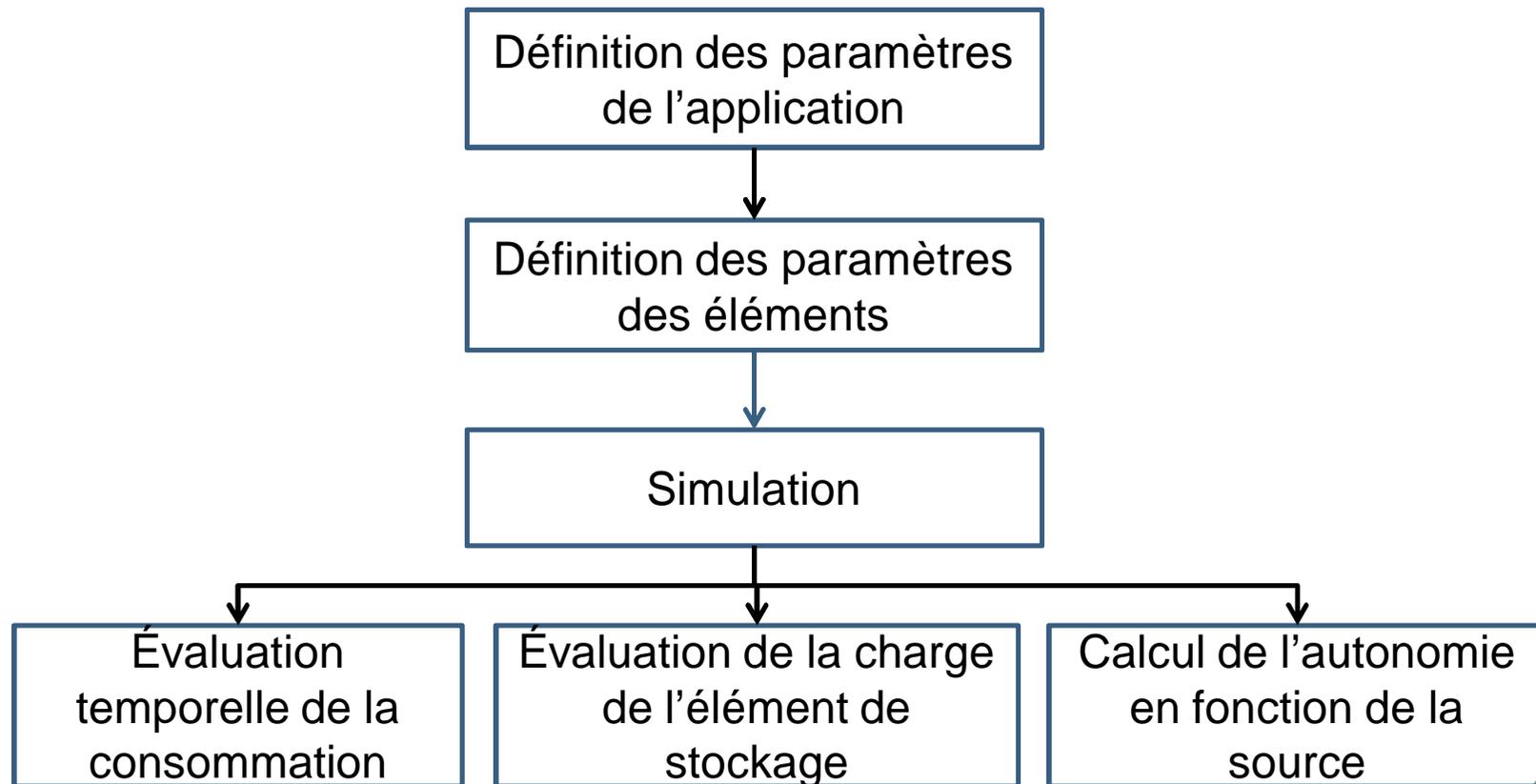
Conception d'objets autonomes

- **Pré-dimensionnement**
 - Représentation physique du récupérateur d'énergie
 - Analyse des architectures
 - Simulation globale
 - Amélioration des performances
 - Évaluer l'impact de certains paramètres
 - Diminuer la consommation d'énergie



Conception d'objets autonomes

- Modélisation sous Matlab/Simulink



Principe de fonctionnement de l'outil de simulation

Conclusion et Perspectives

- L'internet des Objets est en plein développement

Mais son avènement nécessitera de grosses (r)évolutions

- La conception d'objets communicants réellement autonomes n'est pas simple
- Chaque application est un cas particulier

Conclusion et Perspectives

- Outil orienté « Application »
 - Aide aux choix de conception
 - Optimisation
- Objets mobiles
 - Récupération d'énergie problématique
- Interopérabilité
 - Communications différentes (WiFi, GSM, RF)
 - Protocoles différents (routage, ACK)
 - Topologies différentes (internet, routeur)