

*Simulations en méthodes amont  
CEM: évolution des besoins et  
solutions envisagées.*

➔ Olivier MAURICE - GERAC



**RF&HYPER**  
EUROPE 2008

30 SEPTEMBRE, 1<sup>er</sup> & 2 OCTOBRE 2008  
à PARIS-NORD VILLEPINTE



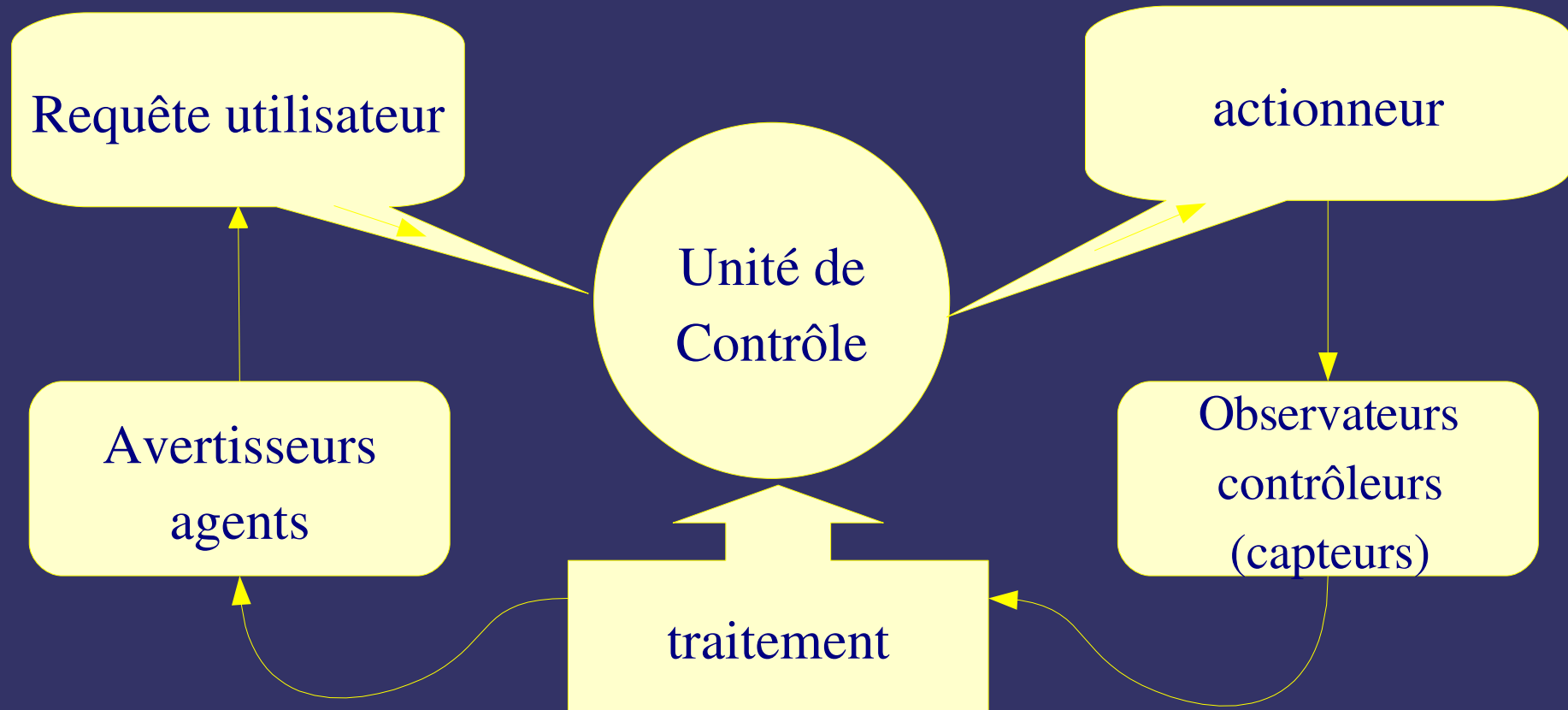
**GERAC**  
ELECTROMAGNETISME

# Sommaire

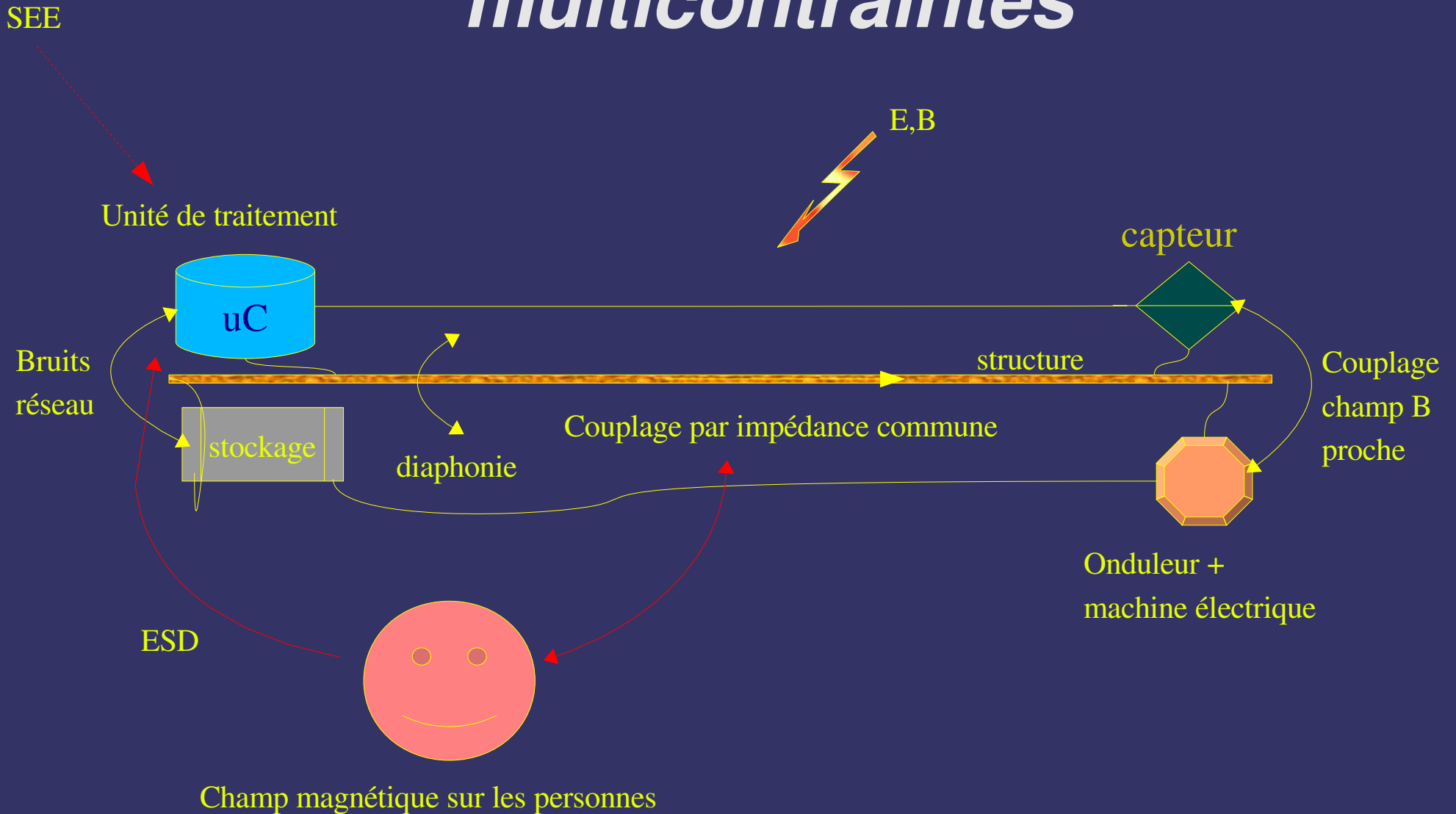
- ➔ Système moderne
- ➔ Réalité des environnements multicontraintes
- ➔ Outils de simulations vs expérimentations
- ➔ Cohérence entre choix architecturaux et modèles
- ➔ Gestion des incertitudes
- ➔ Le système vu comme ensemble multiéchelles de réseaux couplés
- ➔ Exemple des systèmes de puissances
- ➔ Rôle des connectivités
- ➔ Analyses sur l'équation du système
- ➔ Validations



# Un système moderne



# Réalité des environnements multicontraintes



# *Outils de simulation vs expérimentations*

- Maillage
- Processus différencié
- Simulation virtuelle des processus physiques
- Expérimentation virtuelle



# *Outils de simulation vs expérimentations*

- Simulation virtuelle des processus physiques
- Dans les limites de la disponibilité de modèles numériques pour ces processus
- Dans la limite des durées de simulation acceptables



# *Cohérence entre choix architecturaux et modèles*

- ➔ La réalité doit être organisée et accessible
- ➔ de la même façon que l'architecture répond à des contraintes de place, de vibration, de température, elle doit être pensée en intégrant la contrainte CEM.



**RF&HYPER**  
EUROPE 2008

30 SEPTEMBRE, 1<sup>er</sup> & 2 OCTOBRE 2008  
à PARIS-NORD VILLEPINTE



**GERAC**  
ELECTROMAGNETISME

# *Cohérence entre choix architecturaux et modèles*

- ➔ Exemple: un cas courant est celui des câblages. Une ségrégation par types de signaux va permettre de les intégrer avec une incertitude acceptable dans la simulation.
- ➔ Sans cela, la multiplication des couplages possibles conduit à une complexité ingérable, ou à des incertitudes telles que l'on ne pourra plus calculer la probabilité de défaillance.





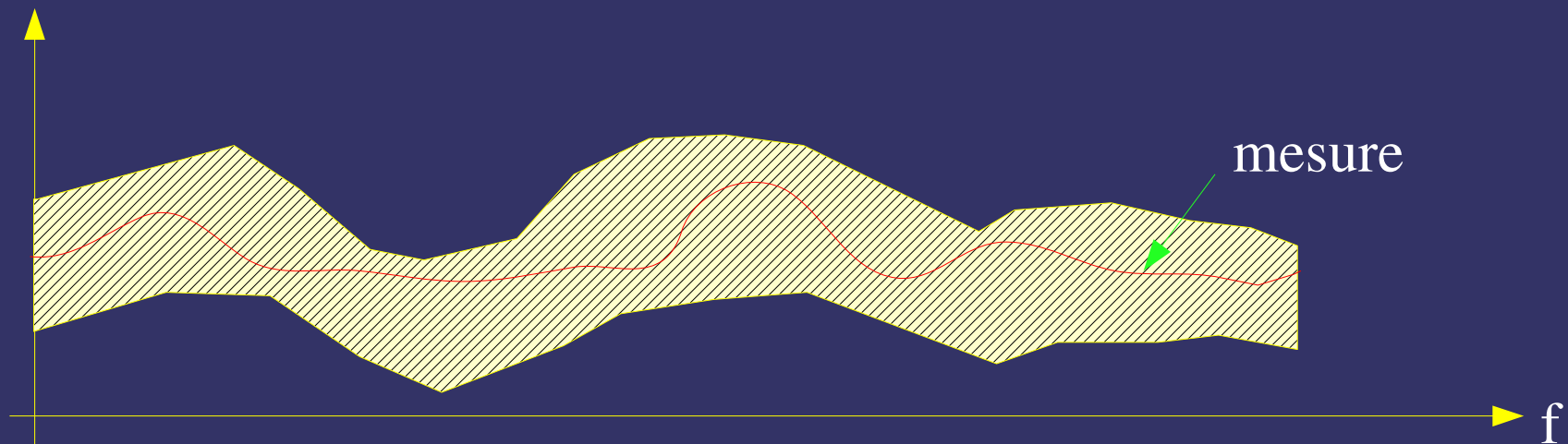
# Gestion des incertitudes

- ➔ Exemple: on considère un toron de câbles d'alimentation dont on peut caractériser la distance à la structure sur son cheminement sur un ensemble de systèmes. On peut en déduire une loi  $[\mu, \sigma](s)$ , que l'on intègre dans la simulation. Par exemple on extrait deux ensembles de puissances couplées pour les deux valeurs  $\mu + \sigma(\forall s)$  ,  $\mu - \sigma(\forall s)$

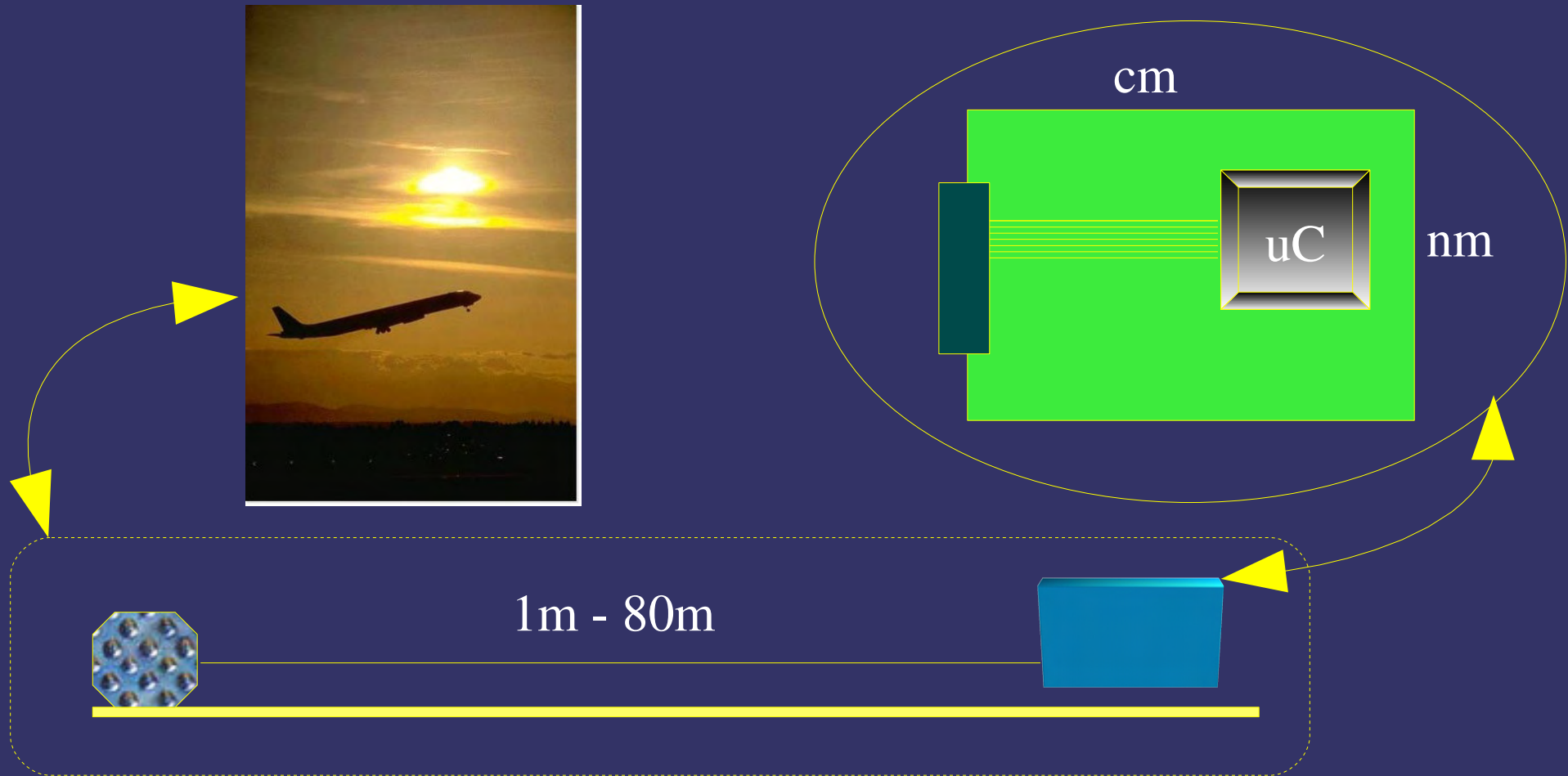


# Gestion des incertitudes

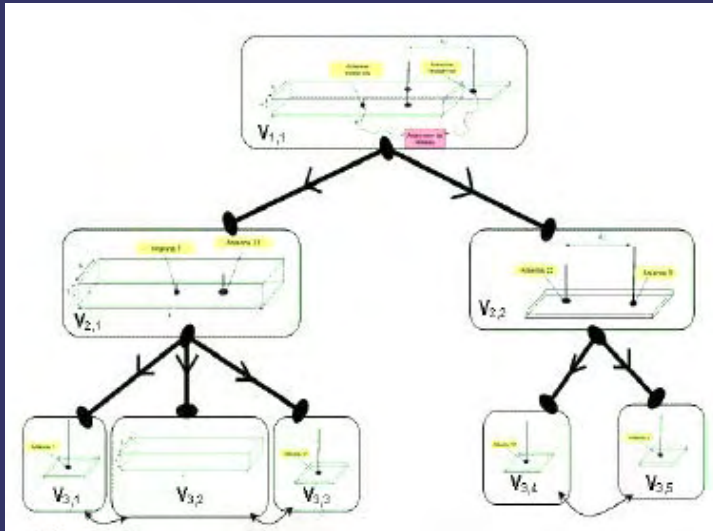
- Une expérimentation sur prototype va permettre de recalibrer les simulations et les modèles qui en découlent. Les valeurs mesurées doivent rentrer dans l'enveloppe des résultats possibles



# *Le système vu comme ensemble multiéchelles de réseaux couplés*



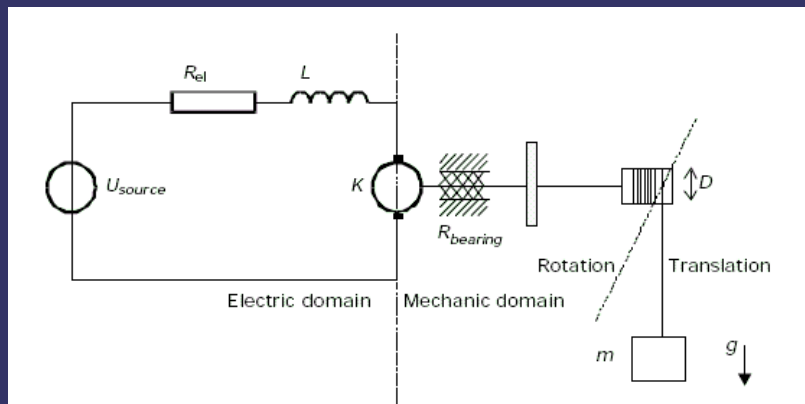
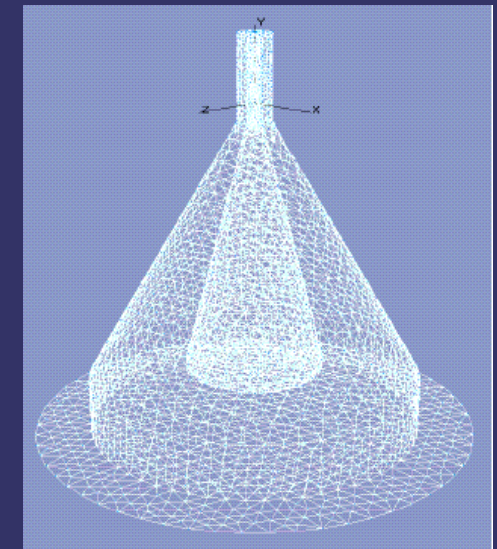
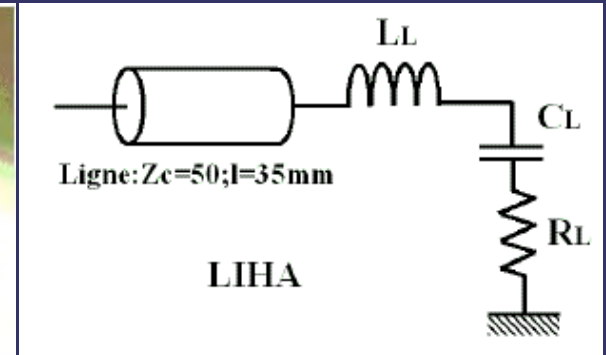
# Le système vu comme ensemble multiéchelles de réseaux couplés



travaux de samuel LEMAN  
Jan F. Broenink - Trente



thèse d'Enrique  
LAMOUREUX



System Theory and Analytical  
Techniques

Steven M. LaValle  
University of Illinois

**GERAC**  
ELECTROMAGNETISME

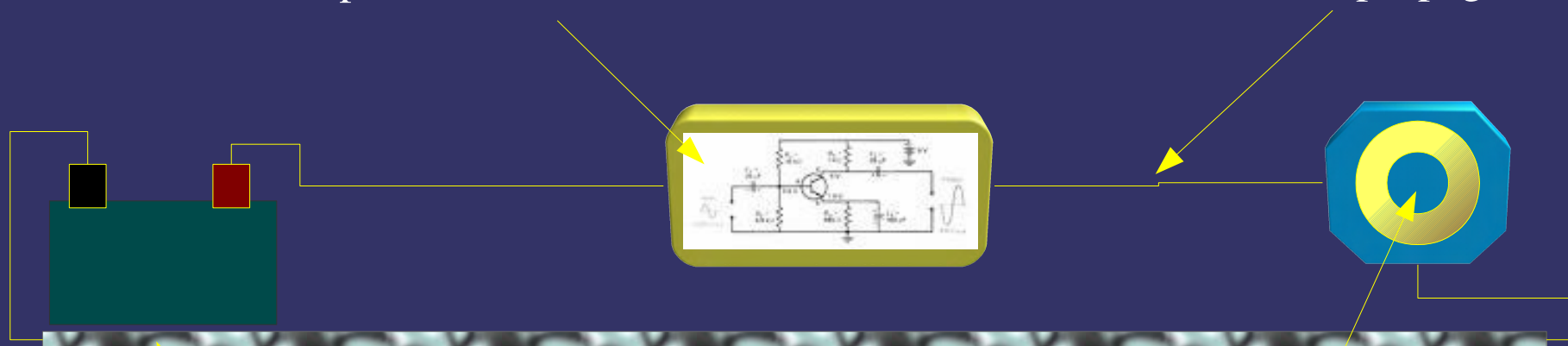


**RF&HYPER** 30 SEPTEMBRE, 1<sup>er</sup> & 2 OCTOBRE  
à PARIS-NORD VILLEPINTE  
EUROPE 2008

# Exemple des systèmes de puissance

Electronique de traitement et contrôle:  $\mu\text{C}$  – DSP: 1GHz,  
transistors de puissance: bruits de commutations, 1ns.

lignes de propagation



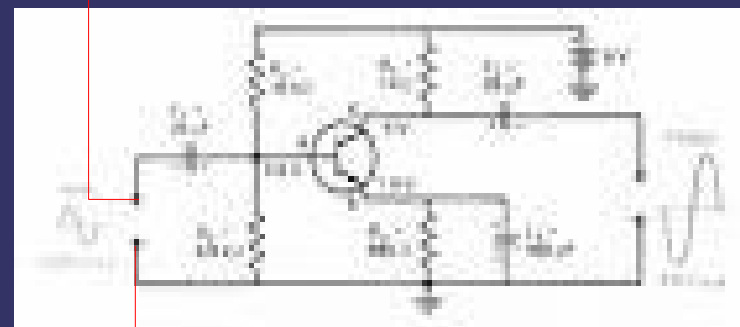
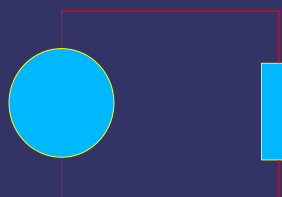
circulation de courants  
dans les structures, effet  
de peau à prendre en compte  
domaine de fréquences limité

machine électrique: mécanique,  
magnétostatique, ESD ( $\mu\text{s}$ auts de balais)  
bruit sur un large spectre



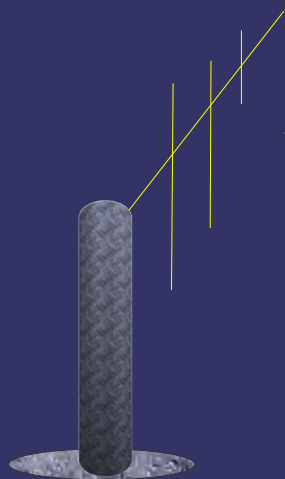
# Exemple des systèmes de puissance

rayonnement de la ligne  
dans une description par  
moments



circuit électronique:  
description dans l'espace  
des noeuds (méthode des  
noeuds: SPICE). Modèles  
comportementaux non  
linéaires.

connexion à la ligne  
par le modèle de  
Branin dans l'espace  
des mailles



# Rôle des connectivités

- ➔ Elles permettent de passer d'un espace de description à un autre.

espace des noeuds:  $\overset{\circ}{\mathbf{v}}_n = \bar{\mathbf{v}}_\alpha \mathbf{B}_n^\alpha \rightarrow \bar{\mathbf{v}}_\alpha = \overset{\circ}{\mathbf{v}}_n \mathbf{A}_\alpha^n$

connexions de branches:  $\bar{\mathbf{J}}^\beta = \mathbf{Y}^{\beta u} \left( \bar{\mathbf{v}}_{u.} + \bar{\mathbf{e}}_{u.} \right)$

mailles & moments:  $\mathbf{L}_a^b \check{\mathbf{J}}^a = \bar{\mathbf{J}}^b \quad \& \quad \mathbf{m}^y = \mathbf{S}_a^y \check{\mathbf{J}}^a$



# *Rôle des connectivités*

- ➔ Les connectivités reliant des espaces différents sont forcément matricielles;
- ➔ Dans le cas des machines ou de la gravitation, les connectivités sont attachées au champ par le biais des dérivations covariantes;
- ➔ elles permettent de traiter chaque réseau de chaque physique dans la description la plus appropriée et de relier ces descriptions entre elles;
- ➔ on peut aussi exploiter divers outils logiciels pour élaborer des modèles dans des descriptions différentes puis les intégrer dans une définition globale du système grâce aux connectivités.





# Rôle des connectivités

- ➔ Extraction d'une loi entre le champ sur une abscisse curviligne et le courant source (i) par un code méthode des moments

$$\bar{v}_b = \int_b d\vec{s}_b \cdot \vec{E}(i) \quad \overset{\circ}{v}_a = \bar{v}_b B_a^b$$

$$\overset{\circ}{v}_a = \int_b d\vec{s}_b \cdot \vec{E}(i) B_a^b$$

Connexion vers un espace des noeuds



**RF&HYPER** 30 SEPTEMBRE, 1<sup>er</sup> & 2 OCTOBRE 2008  
à PARIS-NORD VILLEPINTE



**GERAC**  
ELECTROMAGNETISME

# Analyse sur l'équation du système

- ➔ Le système est décrit par un ensemble d'équations tensorielles sur lequel on peut effectuer des calculs analytiques de dispersions, évolutions, optimisations, etc.

$$\begin{cases} \mathbf{W}_{ab} \mathbf{J}^b = \mathbf{e}_{a.} + \mathbf{T}_{ab} \mathbf{K}^b \\ \mathbf{f}_{a.} = \mathbf{t}_{ab} \mathbf{p}^b \\ \Delta_{a.} = \mathbf{R}_{ab} \delta_d^b \epsilon^d \end{cases}$$



# Validations

- ➔ Une fois une architecture électrique, électronique et mécanique choisie, on peut la valider partiellement par simulation et essais sur sous-systèmes, puis par des expérimentations sur prototypes



*Merci de votre attention*



**RF&HYPER**  
EUROPE 2008

30 SEPTEMBRE, 1<sup>er</sup> & 2 OCTOBRE 2008  
à PARIS-NORD VILLEPINTE



**GERAC**  
ELECTROMAGNETISME