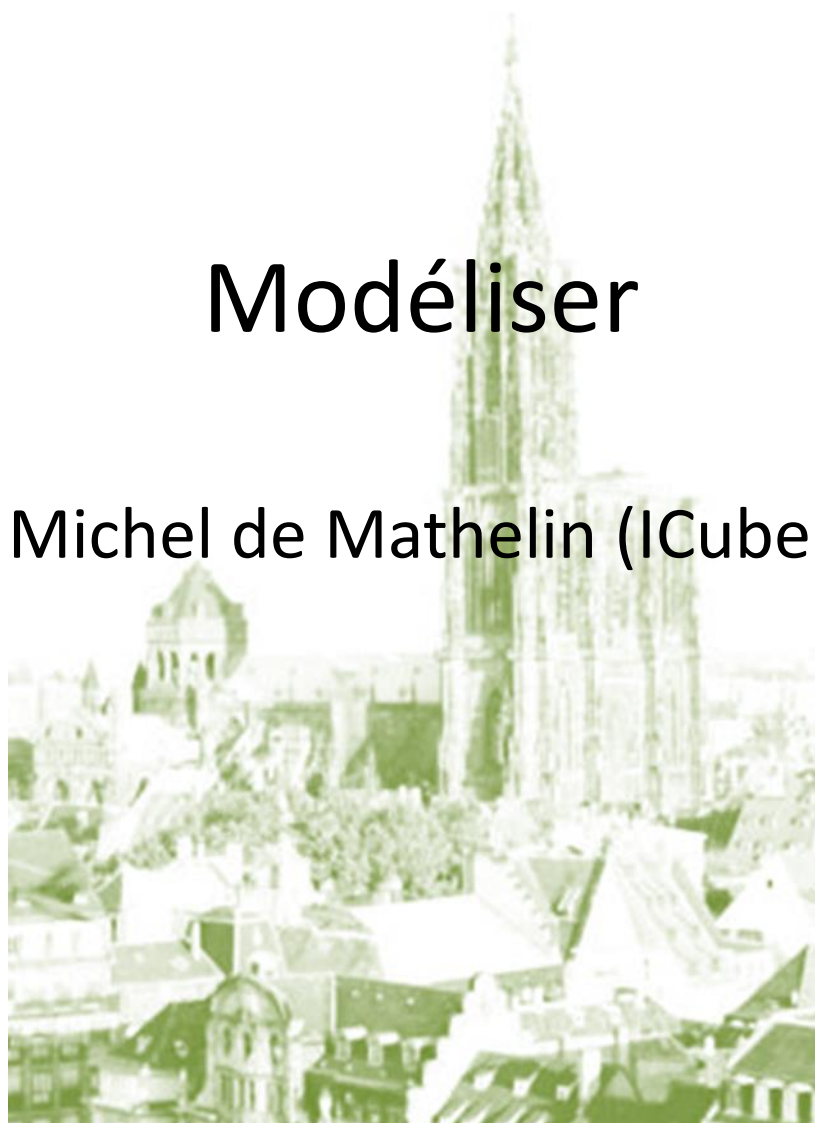




# Modéliser

Michel de Mathelin (ICube)





**Modéliser** : réaliser une modélisation, concevoir un modèle

Très grande diversité de modèles pertinents dans les technologies pour la santé :

- Modèles physiques
- Modèles mathématiques
- Modèles statistiques
- Modèles cinématiques
- Modèles géométriques/3D
- Modèles graphiques
- Modèles biomécaniques
- Modèles biologiques
- Modèles connexionnistes
- Modèles organisationnels
- Modèles cognitifs
- Modèles comportementaux
- Modèles de données
- Modèles socio-économiques
- Modèles animaux
- ...



## Pourquoi modéliser dans le domaine des technologies pour la santé ?

- Pour simuler
- Pour prédire
- Pour comprendre
- Pour diagnostiquer
- Pour planifier
- Pour commander/contrôler
- Pour assister
- Pour concevoir
- ...

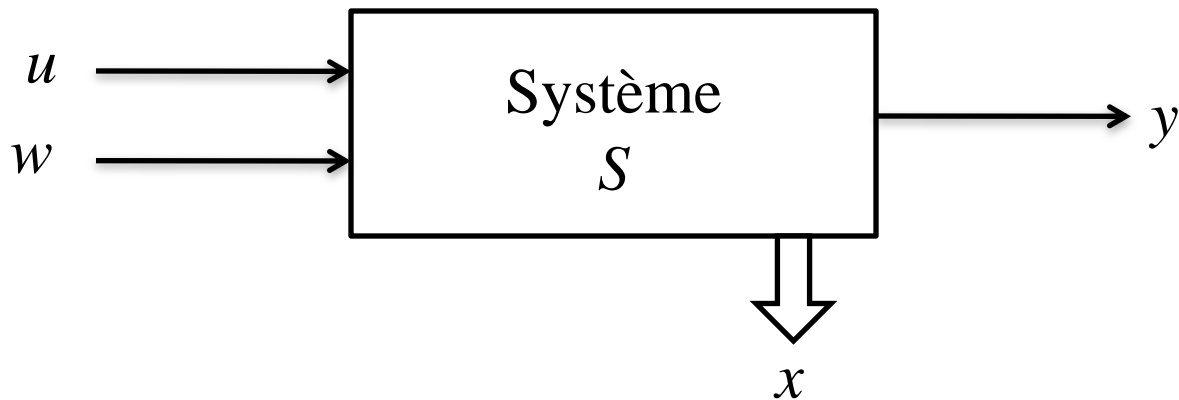


## Enjeux actuels de la modélisation dans le domaine des technologies pour la santé ?

- Simulation médicale est obligatoire dans les cursus médicaux
- Transformation numérique de l'hôpital
- Développement des outils numériques en santé à l'usage des particuliers
- Renforcement des procédures de certification des dispositifs suite aux scandales récents
- Tolérance de plus en plus faible des aléas thérapeutiques
- Politique de plus en plus exigeante de Réduction des modèles animaux (3R)
- (Re)-émergence des réseaux de neurones artificiels et de l'apprentissage profond grâce aux données massives et aux capacités des moyens de calculs
- Essor du prototypage rapide
- Arrivée des – omiques à l'hôpital
- Politiques de réduction des coûts des soins
- Développement de la médecine ambulatoire
- Disparité entre les systèmes de soin nationaux
- ...

# I Définitions (1)

- I.1 Système



$u$  = entrées de commande/contrôle (facultatif)

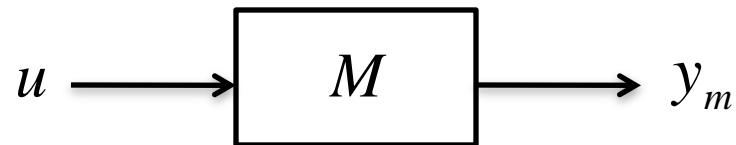
$y$  = sorties/mesures

$w$  = bruit + perturbations exogènes

$x$  = états internes (non mesurés)

# I Définitions (2)

- I.2 Modèle



Modèle Parallèle



Modèle Inverse

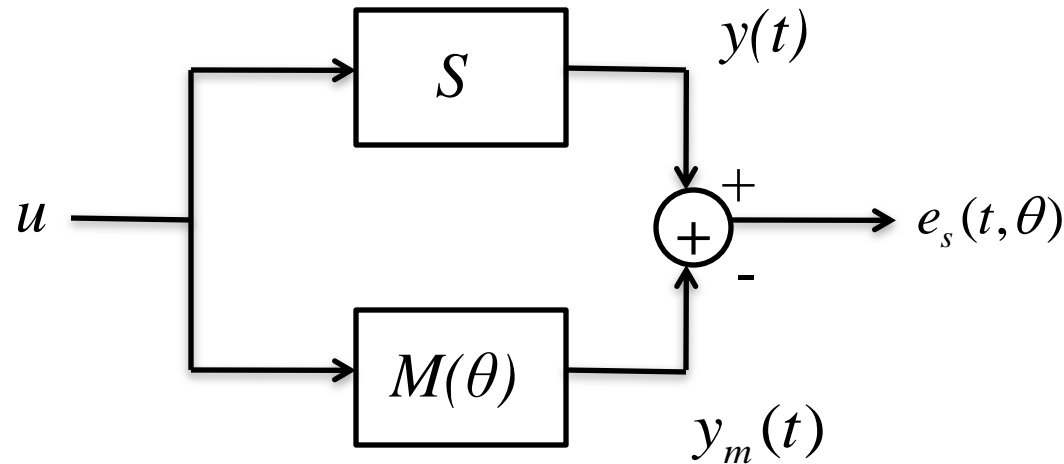
Paramètres de modélisation :  $\theta$

⇒ Modèle paramétrique :  $M(\theta)$

Structure de modèle :  $M(\cdot)$

# I Définitions (3)

- I.3 Critère



Erreur de sortie pour un modèle parallèle

$e_s(t, \theta) = y(t) - y_m(t, \theta)$  « aussi proche de zéro » que possible

Critère  $J(\cdot)$  à minimiser:

$M_1(\theta_1)$  « meilleur » que  $M_2(\theta_2)$  au sens du critère  $J$

$\Leftrightarrow J(M_1(\theta_1)) < J(M_2(\theta_2))$

# II Procédure de modélisation

1. Sélection de la structure de modèle
  - Plusieurs modèles possibles
2. Recueil des données expérimentales
  - Sélection des signaux d'entrée
  - Conditionnement des données mesurées
  - Données d'apprentissage et données de validation
3. Choix du critère
  - Sélection de  $J$
4. Calcul du « meilleur »  $\theta$  et quantification de l'incertitude
  - Choisir un algorithme d'optimisation et un outil de calcul
5. Validation
  - Tests pouvant invalider le modèle proposé

⇒ Modèle acceptable



# III. Sélection du modèle

## III.1 Modèles de connaissance et modèles de comportement

**Modèles de connaissance** (boîte blanche)

**Modèles de comportement** (boîte noir)

	<b>Modèles de connaissance</b>	<b>Modèles de comportement</b>
<b>Paramètres</b>	<b>Sens concret</b>	<b>Pas de sens concret</b>
<b>Simulation</b>	<b>Délicate</b>	<b>Facile</b>
<b>Information à priori</b>	<b>Prise en compte</b>	<b>Négligée</b>
<b>Domaine de validité</b>	<b>Étendu</b>	<b>Restreint</b>

=> **Modèles intermédiaires** (boîte grise) : modèles de connaissance + modèles de comportement

# IV. Principe de parcimonie (1)

Exemple : fonction de transfert d'un système linéaire

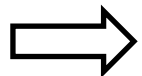
$$M_1(\theta_1) = \frac{b_1}{1 + a_1 s}$$

$$M_2(\theta_2) = \frac{b_1}{1 + a_1 s + a_2 s^2}$$

$$\Rightarrow M_1(\theta_1) \subset M_2(\theta_2)$$

Pour un jeu de données d'apprentissage  $M_2(\theta_2)$  « meilleur » que  $M_1(\theta_1)$

Mais pouvoir prédictif de  $M_1(\theta_1)$  éventuellement « meilleur » que  $M_2(\theta_2)$



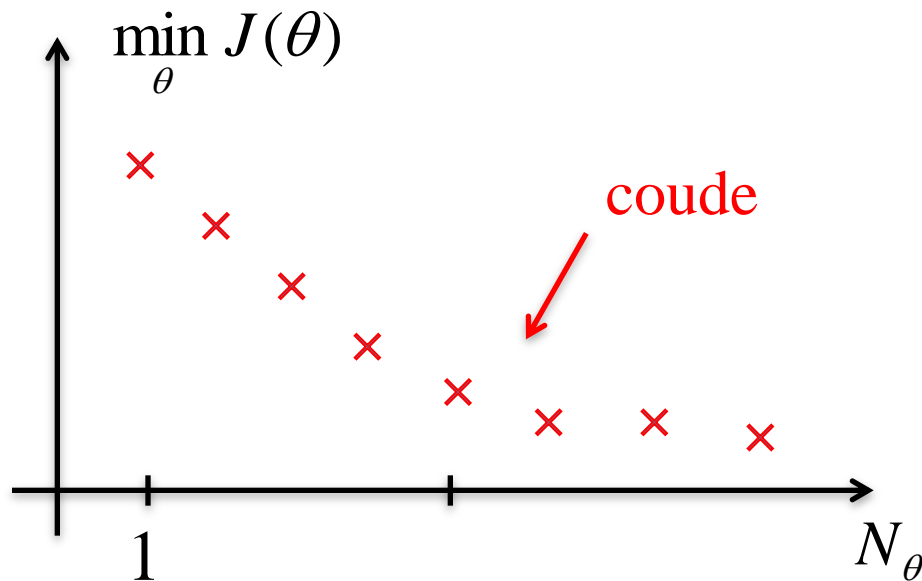
**Parcimonie** « le moins de paramètres possibles »

- Tester le pouvoir prédictif sur des données de validation indépendantes
- Pénaliser la complexité

# IV. Principe de parcimonie (2)

Augmenter progressivement la complexité

Observer l'évolution de  $\min_{\theta} J(\theta)$



$J(\theta)$  décroît mais généralement il y a un effet de « saturation »



## Verrous scientifiques de la modélisation dans le domaine des technologies pour la santé:

- Modélisation complète d'un « système médical » :  
dispositif+patient+soignant+environnement
- Absence de vérité terrain « absolue » en particulier pour les « systèmes biologiques »
- Elaboration de jeux de données « significatifs » validés/labellisés par des experts
- Modélisation de l'incertitude liée à l'écart entre le modèle et la vérité terrain
- Apprentissage non supervisé
- Analyse de risque pour un système utilisant un modèle dont l'état dépend des données d'apprentissage
- Analyse de la « robustesse » du modèle calculé
- Gestion de l'hétérogénéité entre les données
- Modélisation multi-physique
- Modélisation multi-échelle
- Modélisation de systèmes variant dans le temps
- Adaptation des modèles – modèles adaptatifs
- Optimisation multi-objectifs : gestion des compromis
- Simulation temps-réel de modèles complexes
- Modélisation cognitive



## Pourquoi modéliser dans le domaine des technologies pour la santé ?

- Pour simuler
- Pour prédire
- Pour comprendre
- Pour diagnostiquer
- Pour planifier
- Pour commander/contrôler
- Pour assister
- Pour concevoir

## Quelques exemples strasbourgeois ...