



INCERTITUDES DANS LES MODÈLES EDF 0D/1D : DES BESOINS DE PROPAGATION CLASSIQUE À L'ESTIMATION D'ÉTAT

IMdR – GT Incertitudes et Industries
Chatou, le 8 décembre 2016

audrey.jardin@edf.fr



SOMMAIRE

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF
2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES
3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »
4. LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES
PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
L'ESTIMATION D'ÉTAT
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

SOMMAIRE

- 1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF**
- 2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES**
- 3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »**
- 4. LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES**
 - PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
 - LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
 - LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
 - L'ESTIMATION D'ÉTAT
- 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF (1/2)

▪ Une communauté désormais bien établie...

□ Rassemblée autour de standards

- Modelica (langage)
- FMI (interfaçage de modèles)



□ Capitalisant une suite de bibliothèques métiers *SysPro

- ThermoSysPro pour les moyens de production
- BuildSysPro pour la thermique des bâtiments
- GridSysPro pour les réseaux électriques
- PlantSysPro et MixSysPro pour les réseaux de chaleur et les procédés industriels

□ Représentant une **centaine d'utilisateurs** dont 50 réguliers (hors partenaires)

- A la R&D : ENERBAT, STEP, EPI, MIRE, THEMIS, R&D Chine, ...
- Mais aussi à l'ingénierie : CNEPE, DTG, CNEN, EDF Fenice ...

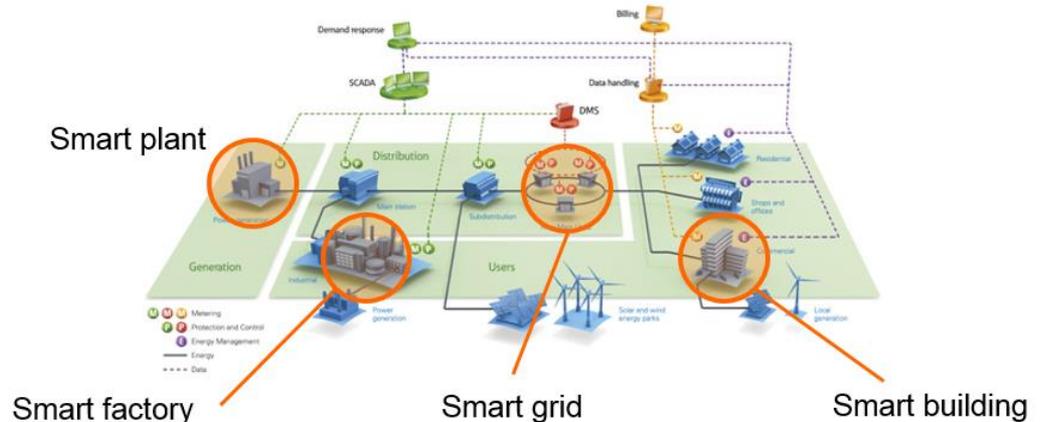
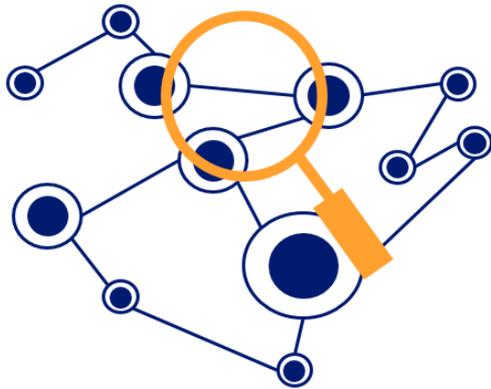
□ + env. 80 licences pour la partie transitoires électromagnétiques avec EMTP-RV

□ + des utilisateurs plus disparates autour d'outils spécialisés (SAM, AnyLogic ...) ou plus généralistes (Matlab/Simulink, Scilab/Scicos, Python, ...)

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF (2/2)

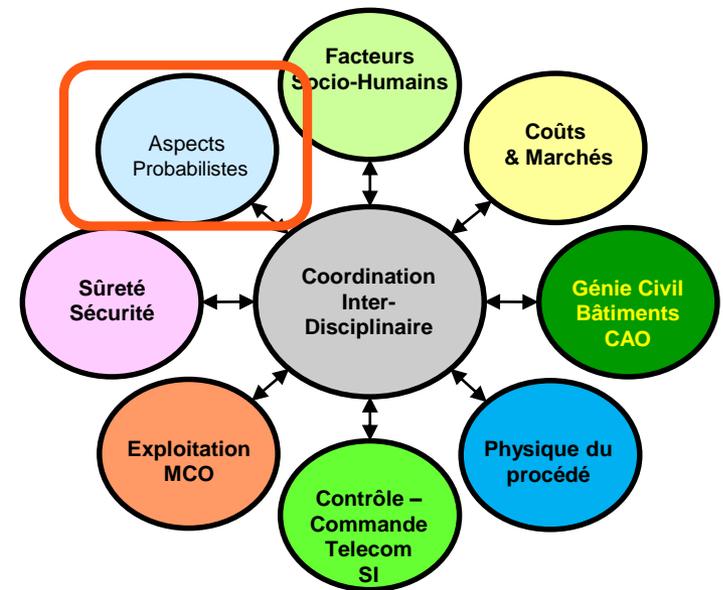
- ...et coordonnée à travers des projets internes transverses :
 - MOCA (2011-2015)
 - Et maintenant SIMSE (2016-2019)
dans l'objectif de renforcer les liens entre les équipes multi-métiers pour :

Modéliser, simuler et étudier le système énergétique de demain :
Des moyens de production aux bâtiments consommateurs
En passant par les réseaux (électricité, chaleur, télécoms)



1. DE NOUVEAUX BESOINS ...

- Avoir une démarche beaucoup plus intégrée
- Considérer le système non plus de manière isolée mais dans son environnement et dans ses interactions avec d'autres systèmes
- Ne pas se limiter aux aspects physiques et inclure les différents métiers
- Tout au long du cycle en V :
 - De la conception
 - A l'exploitation

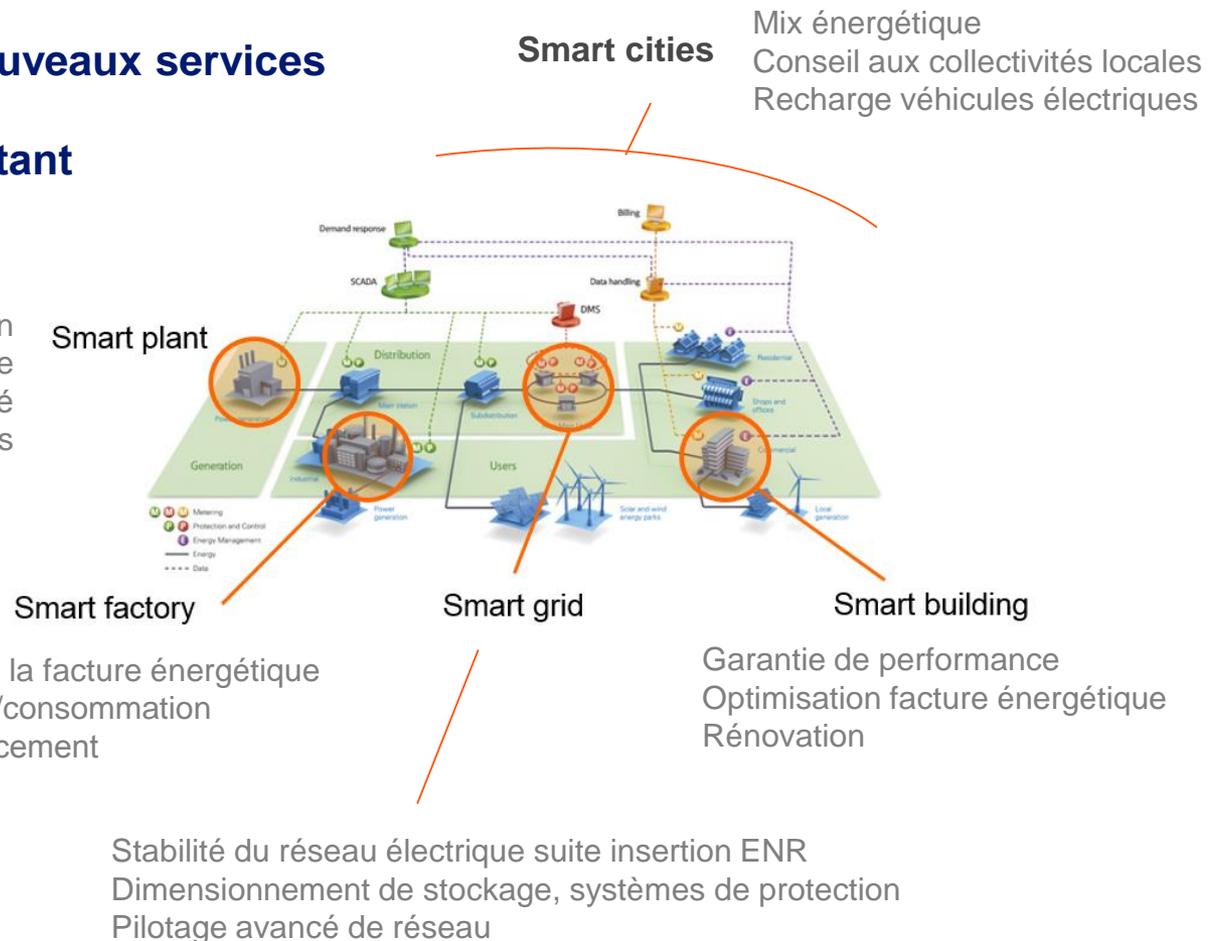


→ La prise en compte des aspects statistiques dans les modèles 0D/1D est un élément de réponse

1. POUR RÉPONDRE À DE NOUVEAUX ENJEUX

- Adaptation au changement de contexte (ENR, dérégulation des marchés, ...)
- Développement de nouveaux services
- Optimisation de l'existant

Pilotage de cogénération
Aide à la conduite
Etude de la manœuvrabilité
Vieillesse et performances



SOMMAIRE

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF
2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES
3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »
4. LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES
PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
L'ESTIMATION D'ÉTAT
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

2. POURQUOI GÉRER LES INCERTITUDES DANS NOS MODÈLES ?

En conception



- Garantir la sûreté de fonctionnement
- Vérifier les hypothèses, estimer les marges de dimensionnement
- Etudier la fiabilité et disponibilité
- Spécifier au mieux et de manière réaliste nos exigences auprès des fournisseurs
- Spécifier les tests de réception des composants

En exploitation



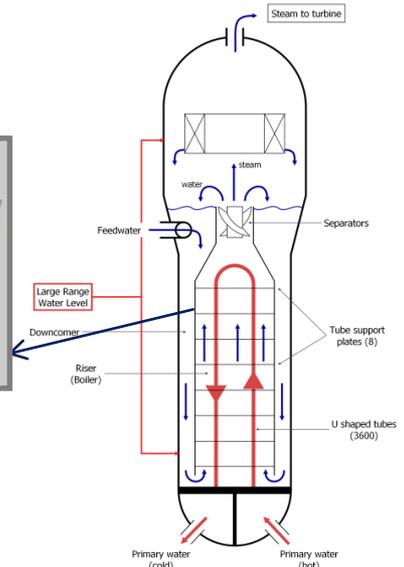
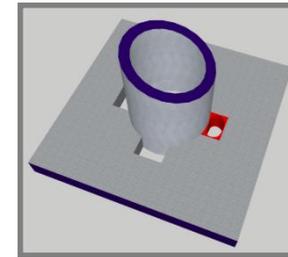
- Mettre en défaut des mesures, détecter des dérives de capteurs
- Initialiser et caler le modèle sur les mesures pour
 - Diagnostiquer au mieux l'état réel avec des indicateurs pertinents et quantifiés
 - Prévoir son évolution à la suite d'événements initiateurs (perturbations, dysfonctionnements)
- Optimiser l'exploitation et les décisions de maintenance

2. DÉJÀ QUELQUES SUCCÈS (1/3)

■ Estimation non intrusive du colmatage GV

■ Problématique

- Dépôt de magnétite dans les plaques entretoises
→ problème de performances, voire de sûreté si fonct. trop dégradé
- Besoin d'une évaluation plus précise et fréquente que les examens télévisuels locaux pendant les arrêts de tranche

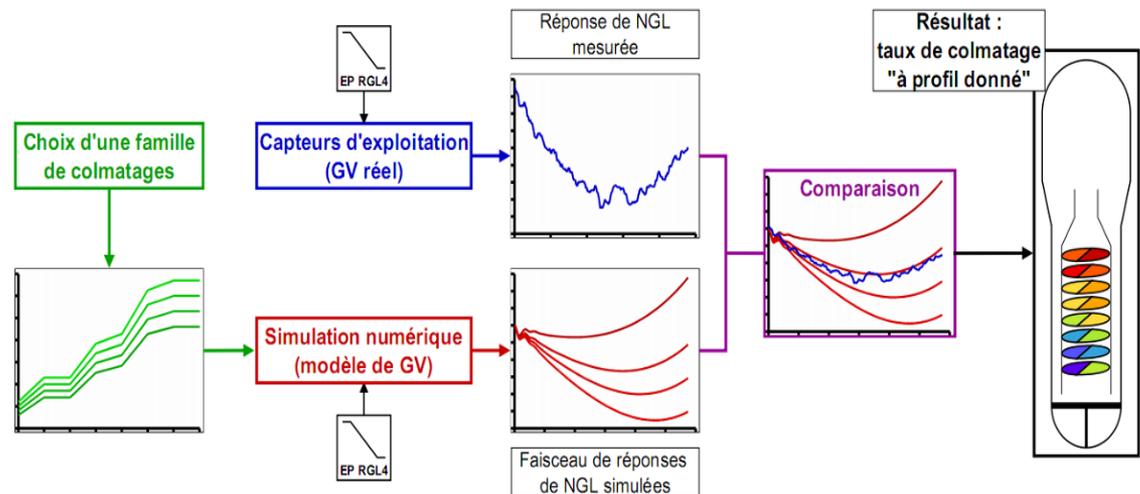


■ Méthode

- Modèle physique de GV confronté aux mesures
- Analyse en composantes principales

■ Valeur créée

- Validation de l'EP NGL comme indicateur du taux de colmatage
- Dévt d'une méthode statistique avancée pour mieux prendre en compte la chaîne d'acquisition des mesures



- Cas opérationnel : estimation sans attendre l'arrêt de tranche

2. DÉJÀ QUELQUES SUCCÈS (2/3)

■ Contrôle Economique de Fonctionnement

■ Problématique

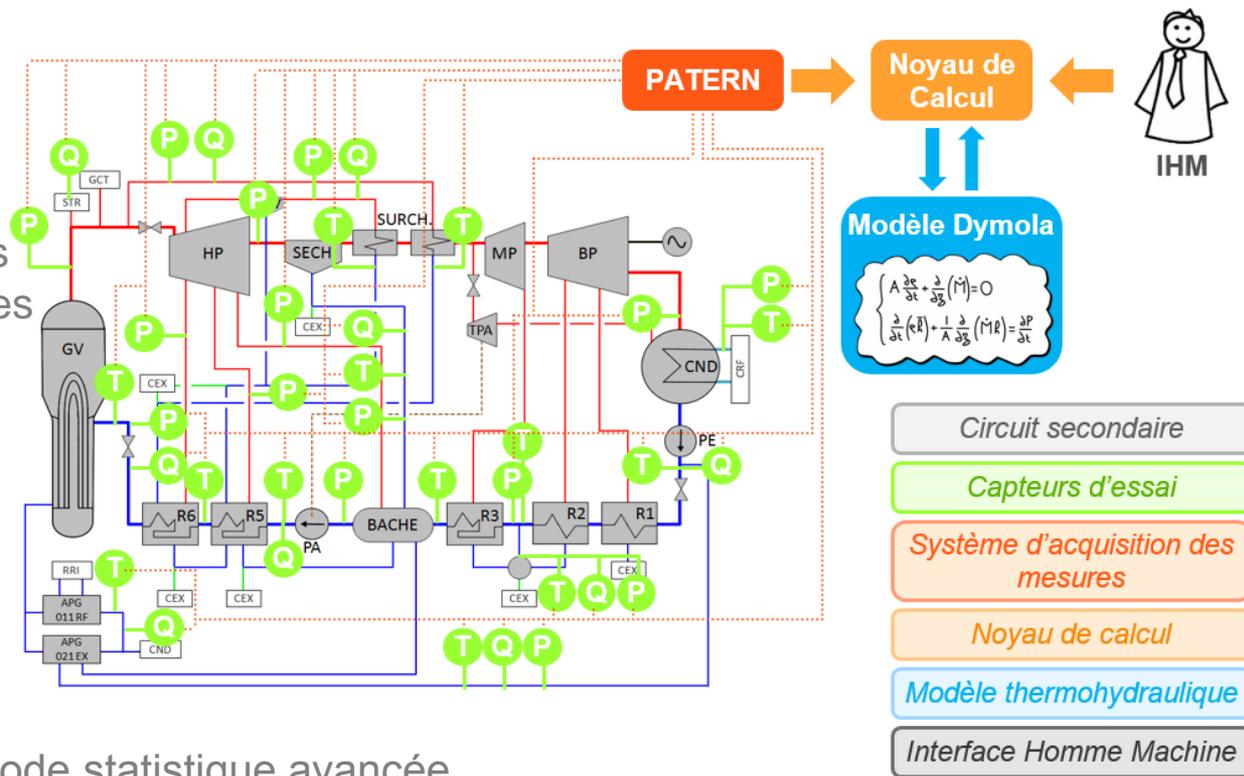
- Suivi du rendement et des pertes de MWe sur le circuit secondaire d'une centrale REP

■ Méthode

- Refonte du modèle physique CITER
- Modélisation de nouvelles causes de pertes possibles basées sur le REX site
- Analyse d'impact

■ Valeur créée

- Diminution des pertes inexplicables
- Meilleur diagnostic
- Dévt d'une nouvelle méthode statistique avancée



2. DÉJÀ QUELQUES SUCCÈS (3/3)

- **BIL100**

- **Problématique**

- Mesurer, surveiller et quantifier l'incertitude sur la puissance thermique du réacteur

- **Méthode**

- Modèle physique de circuit secondaire confronté aux mesures d'essai
- Réconciliation de données

- **Valeur créée**

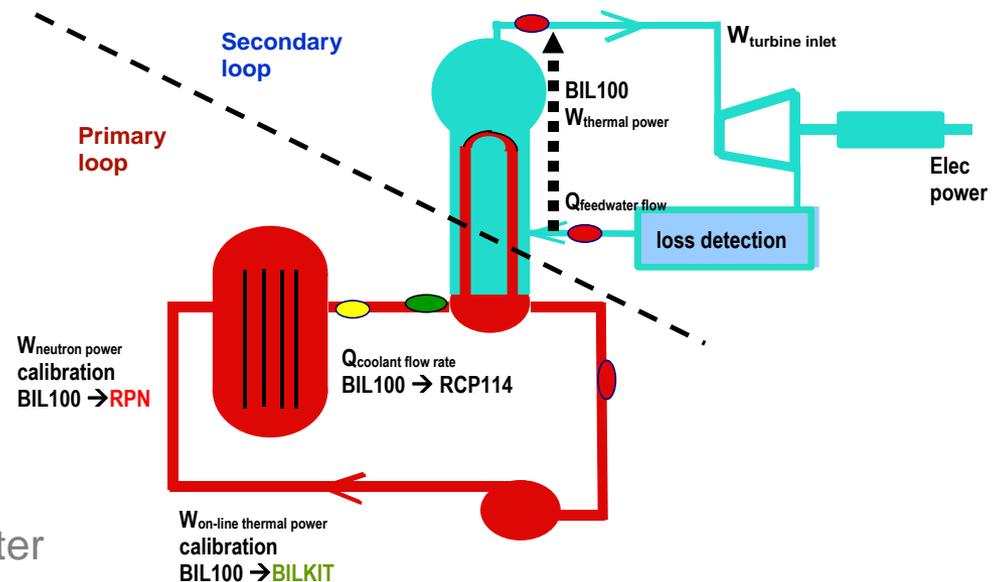
- Détection de dérives de capteurs
- Réduction de l'incertitude sur la mesure de débit ARE

- **Cas opérationnel**

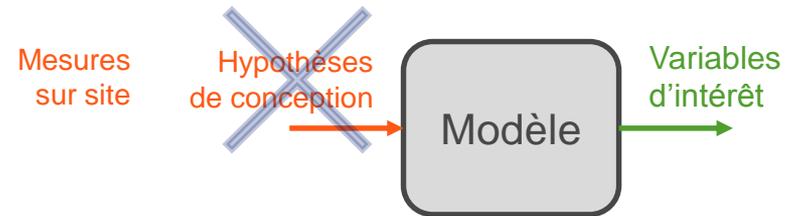
- Recalibrer les chaînes de capteurs neutroniques
- Utilisation de la méthode pour conforter les justifications auprès de l'ASN

$$W_{th,reactor} = \sum_{i=1}^{n_{loop}} W_{th,SG}^i - W_{th,primary}$$

$$W_{th,SG}^i = Q_{EE}^i \cdot (H_{SV}^i - H_{EE}^i) - Q_P^i \cdot (H_{SV}^i - H_P^i)$$



2. ...VERS UNE DÉMARCHE ET DES OUTILS PLUS INTÉGRÉS (1/2)



▪ Aujourd'hui

- Un certain nombre de modèles de fonctionnement existe mais sont mis au point en général sur des données de conception
- Plusieurs sources de mesures site sont disponibles dans plusieurs bases de données (ORLI, MOLENE pour les CNPE ...)
- En pratique, ces mesures sont utilisées comme données d'entrée des modèles et le recalage est fait :
 - Plus ou moins à la main
 - Sur un nombre souvent limité de jeux de mesures et de paramètres (-> limite la validation du modèle faute de temps ou de données disponibles)
 - Sans prendre en compte nécessairement les incertitudes

→ A défaut de passerelle plus ou moins automatisée avec des outils de statistiques chacun redéveloppe des scripts « maison » ad hoc ou pire doit redévelopper les modèles physiques dans des logiciels dédiés (cas de la réconciliation de données avec le logiciel VALI)

2. ...VERS UNE DÉMARCHE ET DES OUTILS PLUS INTÉGRÉS (2/2)



▪ Demain

→ Besoin d'un environnement plus intégré
pour tirer profit du maximum d'informations sur le système

- Afin de :
 - Estimer des grandeurs qui ne sont pas directement mesurables
 - Maîtriser leurs incertitudes et ce dès le début de la conception
 - Les diagnostiquer au mieux en phase d'exploitation
 - Et prévoir leur évolution

- En pratique, il faut faciliter le recours aux méthodes statistiques pour :
 - Propager des incertitudes, faire des analyses de sensibilité, réconcilier/assimiler des données, initialiser/caler le modèle sur l'état réel courant, ...

SOMMAIRE

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF
2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES
3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »
4. LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES
PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
L'ESTIMATION D'ÉTAT
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

3. LA MODÉLISATION 0D/1D (1/3)

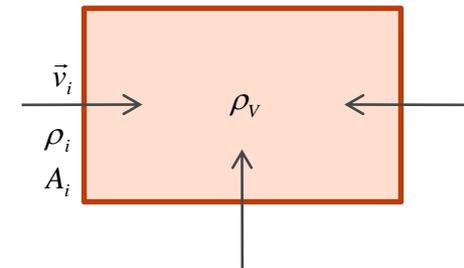
▪ Modélisation 0D/1D \approx modélisation physique à l'échelle "système/composant"

- Utilisation des lois de la physique
- En prenant en compte les modes logiques de fonctionnement/dysfonctionnement et le contrôle-commande

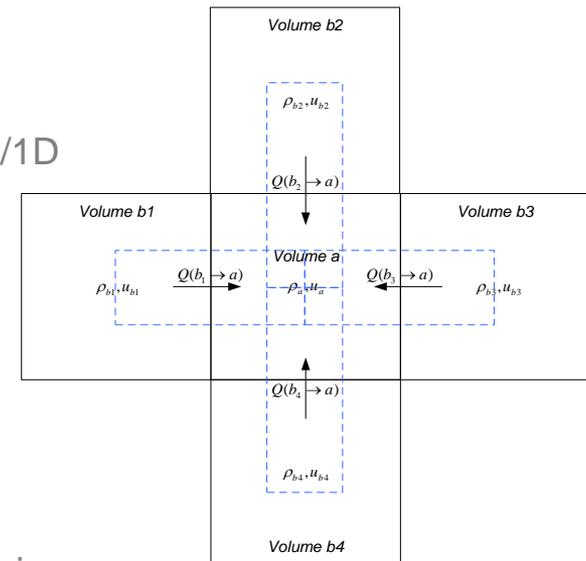
→ Systèmes dits hybrides (combinant continu et discret)

▪ Caractéristiques

- Lois physiques générales (non linéaires), non spécifiques au 0D/1D
- Formulation 0D obtenue en moyennant les grandeurs physiques sur des volumes de contrôle (approche "volumes finis")
- Formulation 1D obtenue en connectant des modèles 0D en respectant des règles de connexion strictes (ex: maillage décalé pour la thermohydraulique)
- Approche analogue au 3D mais géométriquement plus simple
- Résolution temporelle aussi fine que souhaitée et grands transitoires possibles puisque la résolution spatiale est grossière → calculs rapides même avec des PC bureautiques



Volume de contrôle



Maillage décalé

3. LA MODÉLISATION 0D/1D (2/3)

▪ Pour quoi faire ?

- Comprendre le fonctionnement de systèmes physiques complexes afin de les concevoir et les exploiter à l'optimum
→ couvre tout le cycle de vie à partir de la conception détaillée
- Dans les différents coeurs de métiers EDF :
 - Moyens de production
 - Thermique du bâtiment
 - Réseaux électriques
 - Réseaux de chaleur et procédés industriels

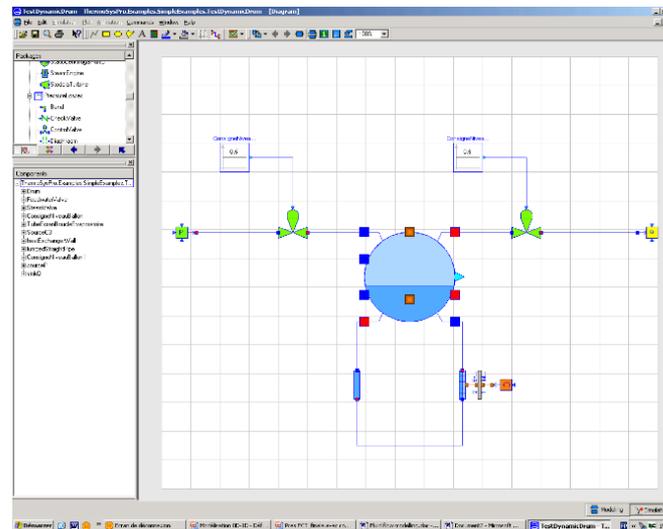
▪ Types d'études

- Statiques : étude d'un point de fonctionnement
 - Dimensionnement
 - Surveillance
- Dynamiques : étude d'un transitoire
 - Analyse dysfonctionnelle
 - Validation du contrôle-commande
 - Aides à la conduite, formation des opérateurs
 - ...

3. LA MODÉLISATION 0D/1D (3/3)

▪ En pratique

- Les modèles sont construits par assemblage de composants
- Ces composants sont capitalisés dans des bibliothèques métiers
- Ils peuvent être :
 - Simples ou maillés selon le type de volume considéré (vannes, pompes, turbines, échangeurs, ...)
 - Plus complexes si on en assemble plusieurs entre eux (générateurs de vapeur, ...)



Exemple : boucle évaporatoire construite à partir de ThermoSysPro

3. LE LANGAGE MODELICA (1/3)

1. Un langage équationnel pour la modélisation de systèmes multi-physiques

- Aide à se focaliser sur la physique
- Facilite la capitalisation du savoir-faire métier

2. Orienté objet permettant la construction de modèles par assemblage de blocs

- Vue technologique

3. Libre, non propriétaire



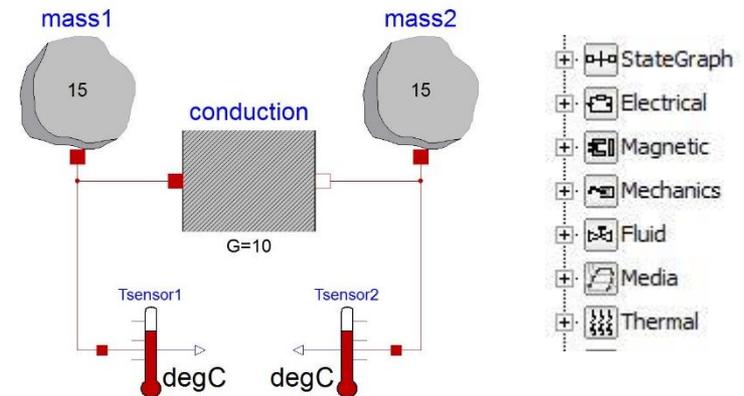
- Pas d'adhérence à un fournisseur particulier
- Supporté par tout un écosystème (éditeurs logiciels, prestataires, instituts de recherche, REX d'autres industriels)
- Promu via l'association Modelica

4. Acausal

$$G \frac{dT}{dt} = Q_{flow}$$

```
equation
  Q_flow - G*dT = 0;
```

```
equation
  G*dT = Q_flow;
```



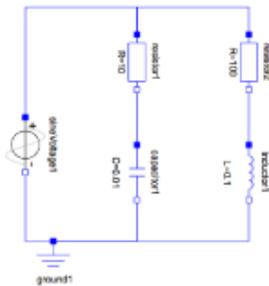
```
model ThermalConductor
  extends Interfaces.Element1D;
  parameter ThermalConductance G
  "Constant thermal conductance of
  material";
  equation
    Q_flow = G*dT;
end ThermalConductor;
```

3. LE LANGAGE MODELICA (2/3)

Component-Based

1. Drag and drop components.

2. Connect the components together.



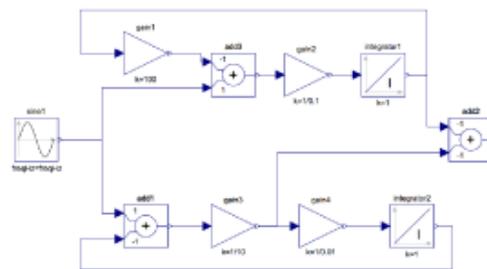
Block-Based

1. Decide on input and output signals for the system.

2. Set up the system of equations.

3. Derive the output as a function of the input.

4. Create the model.



$$u(t) = R_1 i_1(t) + \frac{1}{C} \int i_1(t) dt$$

$$u(t) = R_2 i_2(t) + L \frac{di_2(t)}{dt}$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t)$$

$$i_1(t) = \frac{1}{R_1} \left(u(t) - \frac{1}{C} \int i_1(t) dt \right)$$

$$i_2(t) = \int \frac{u(t) - R_2 i_2(t)}{L} dt$$

- Séparation entre modèle et solveur
- Réutilisation du modèle dans différents contextes
- Capitalisation via bibliothèques de composantes



3. LE LANGAGE MODELICA (3/3)

- **Exemple avec ThermoSysPro = Bibliothèque métier pour la modélisation 0D/1D des moyens de production**

- **Open source**

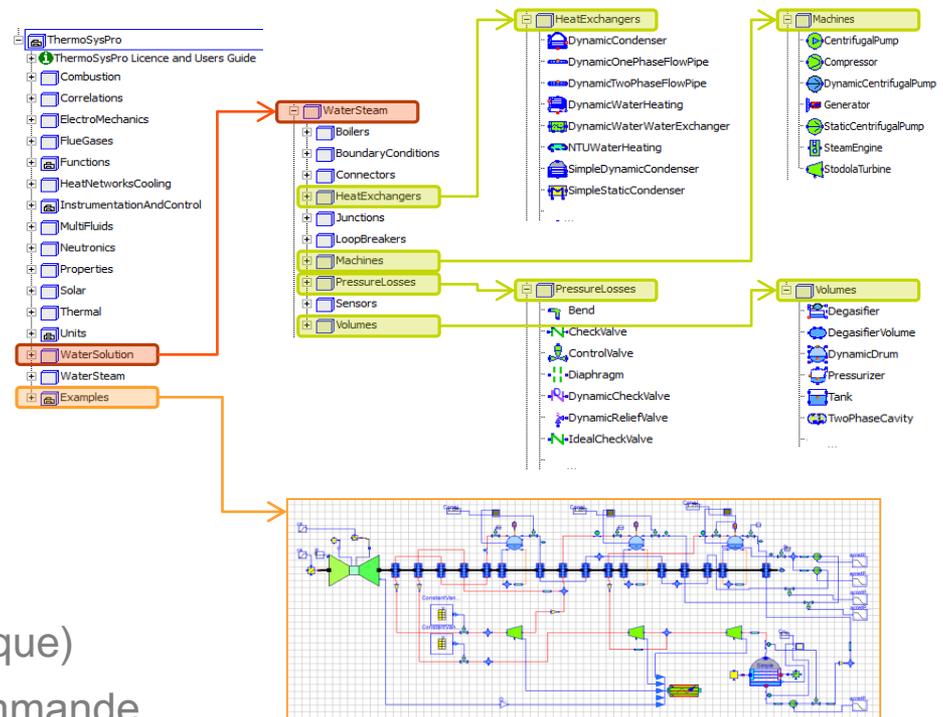
- **Supportée à 100% par Dymola et OpenModelica**

- **Multi-disciplinaire**

- Thermo-hydraulique (mono et diphasique)
- Neutronique, flux solaire, contrôle-commande, ...

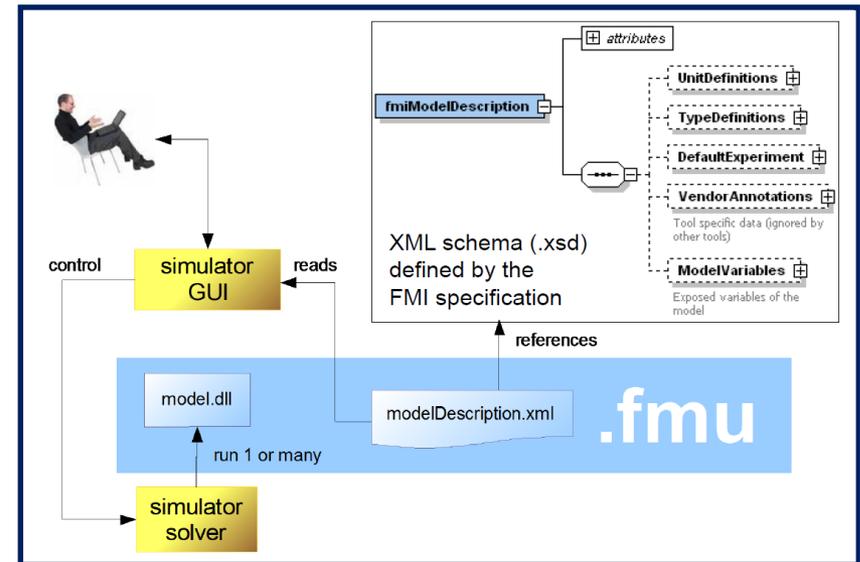
- **Multi-procédé**

- Nucléaire : REP, syst. élémentaires, GV, SMR
- Cycles combinés : Phu My, Bouchain, Rio Bravo
- Charbon : Q600, captage CO2
- Centrales d'énergies : Barkantine, biomasse, TAC, solaire à concentration, ...



3. LE STANDARD D'INTEROPÉRABILITÉ FMI

- **FMI = Functional Mockup Interface**
- **Format « normalisé »**
 - pour l'échange de modèles ou simulateurs
 - Codés/produits par des langages/logiciels différents
- **Deux versions**
 - FMI for Model Exchange (modèle seul)
 - FM for CoSimulation (modèle+solveur)→ Production dans les deux cas d'un fichier .xml de description des interfaces



- **Initialement développé pour les besoins de l'industrie automobile dans le cadre du projet ITEA Modelisar**
- **Devenu un standard de fait** car supporté par de nombreux logiciels (Dymola, AMESIM, Scade, ControlBuild, outils National Instruments et dSPACE, ...) et utilisateurs (BMW, Daimler, Dassault Aviation ...)

SOMMAIRE

1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF
2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES
3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »
4. **LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES**
PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
L'ESTIMATION D'ÉTAT
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4. LES ANALYSES DE FIABILITÉ

▪ Objectif de l'étude

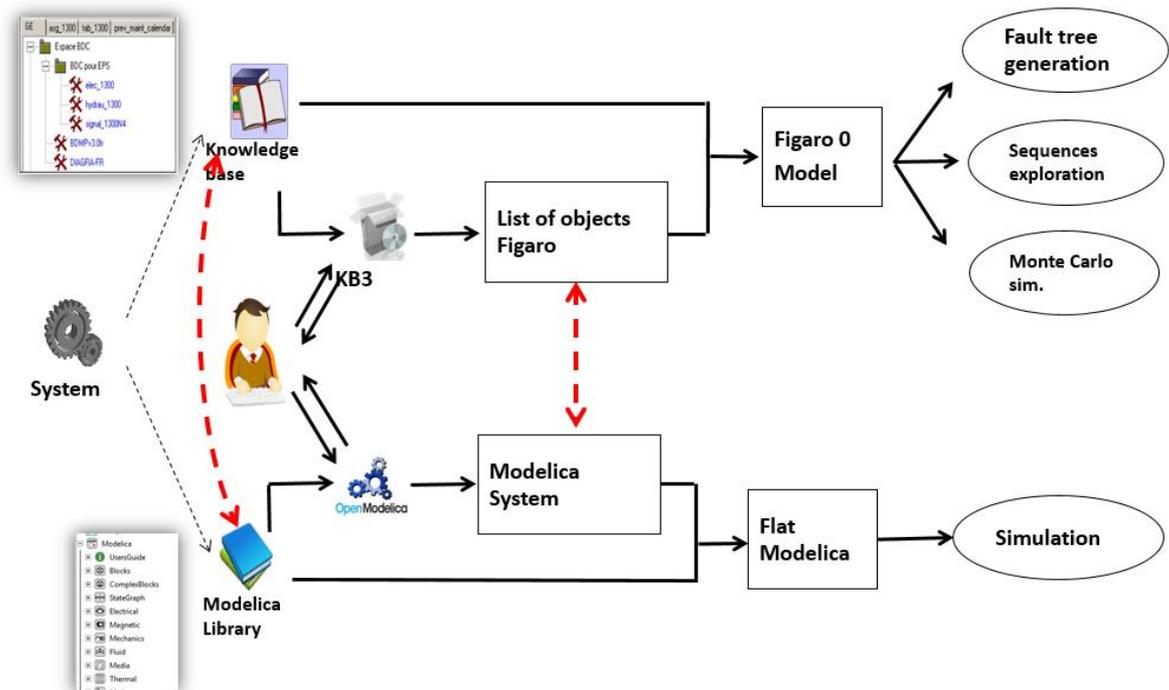
- Réutiliser les modèles 0D/1D pour mener des analyses de fiabilité

▪ Méthode

- Ajout d'annotations spécifiques dans le modèle Modelica
- Récupération de la topologie du modèle
- Production d'un code Figaro pour enchaîner ensuite : la génération d'arbre de défaillance, les simulations Monte Carlo, etc.

Mentionné ici à titre d'exemple
Mais non détaillé

Pour plus d'informations contacter
Marc Bouissou (EDF)



4. LA PROPAGATION D'INCERTITUDES (1/3)

▪ Objectif de l'étude

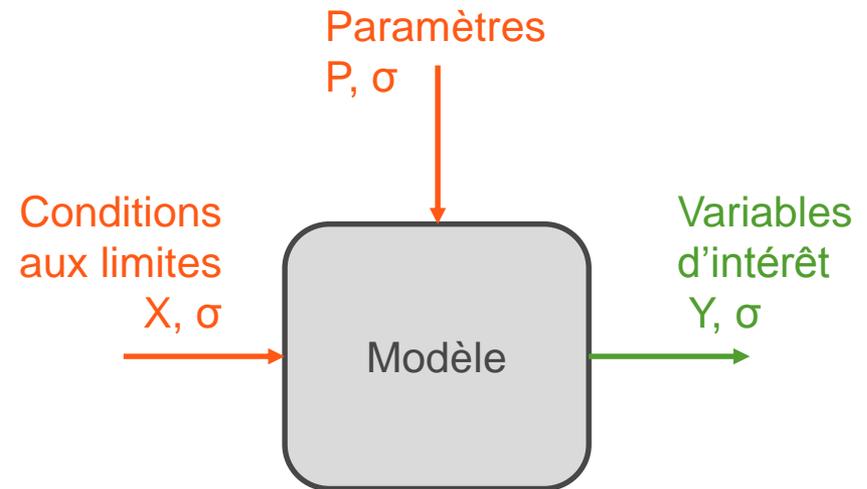
- Quantifier l'erreur sur les variables d'intérêt
- Le modèle étant figé
- Et supposant les incertitudes connues sur les données d'entrée et (éventuellement) les paramètres

▪ Sources d'incertitudes

- Conditions aux limites : hypothèses de fonctionnement, qualité de la chaîne de mesure
- Paramètres : marges de dimensionnement, données constructeurs

▪ Algorithme

- Propagation « basique » (au moins dans un premier temps) : cumul quadratique, simulation Monte Carlo
- Analyse de sensibilité

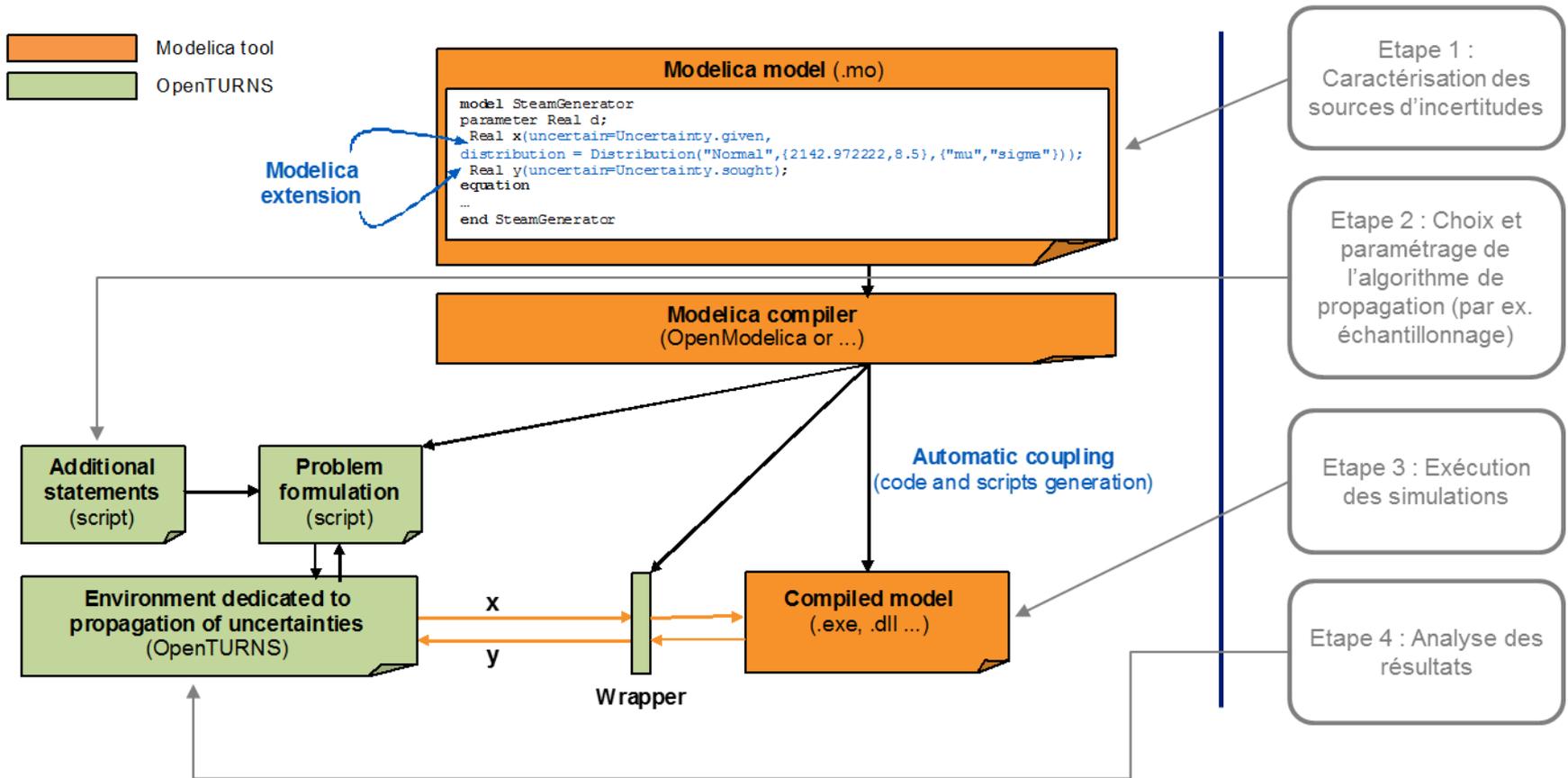


— données d'entrée connues

— données à estimer

4. LA PROPAGATION D'INCERTITUDES (2/3)

- **Réalisé** : Prototypage de couplage OpenModelica/OpenTURNS (projet ITEA OPENPROD avec support Université de Linköping)



4. LA PROPAGATION D'INCERTITUDES (3/3)

- **En cours** : Développement d'un module OTFMI (projet MOVIE avec support Phiméca)

- Extension de la classe « NumericalMathFunction » pour supporter l'import de modèles au format FMI
- Extension de l'IHM OpenTURNS en conséquence



- **En cours** : Poursuite sur l'intégration d'OpenTURNS dans OpenModelica (projet ITEA OPENCPS avec support Université de Linköping)

- Améliorations du prototype
- Passage au standard FMI
- Travail sur l'IHM pour une utilisation « quasi transparente » d'OpenTURNS depuis l'environnement de modélisation OpenModelica



4. LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES (1/4)

▪ Objectif de l'étude

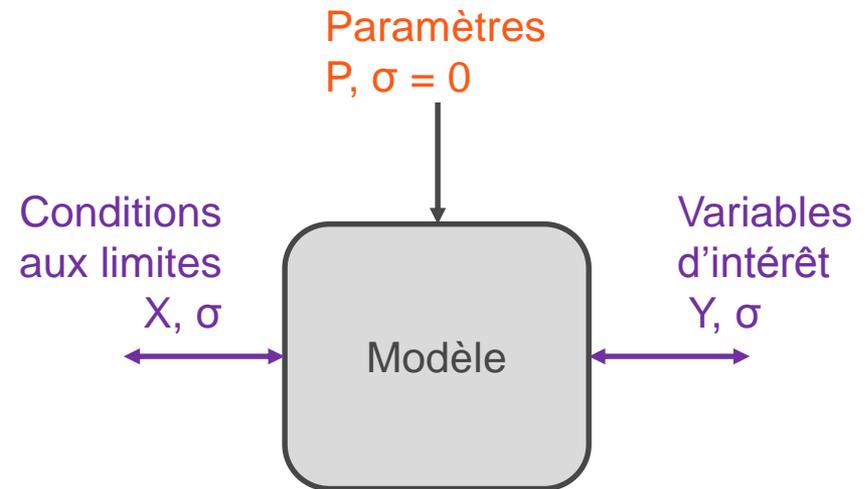
- Réduire l'incertitudes sur les mesures
- Détecter les dérives de capteurs (voire les failles du modèle)
- Supposant le modèle comme parfait et les mesures redondantes

▪ Sources d'incertitudes

- Conditions aux limites : qualité de la chaîne de mesure
- Paramètres : marges de dimensionnement, données constructeurs

▪ Algorithme

- Norme allemande VDI 2048
- Hypothèses de lois normales avec vérification a posteriori
- Optimisation de type « moindres carrés »



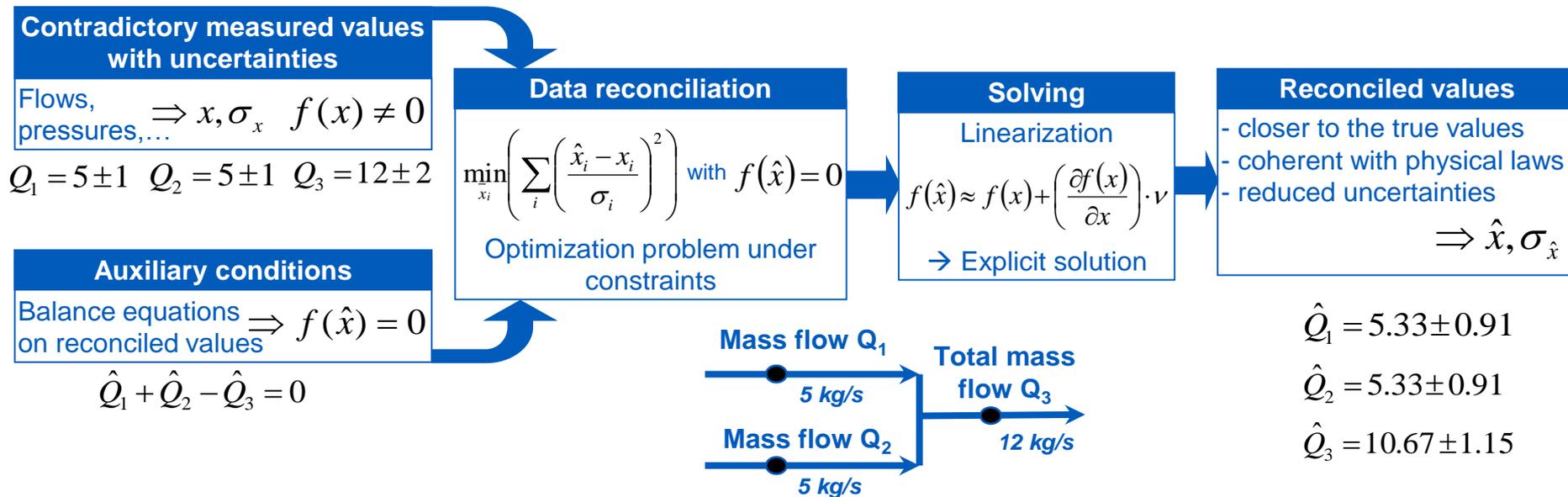
- données d'entrée connues
- données à estimer
- données d'entrée à réévaluer

4. LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES (2/4)

Principe de l'algorithme

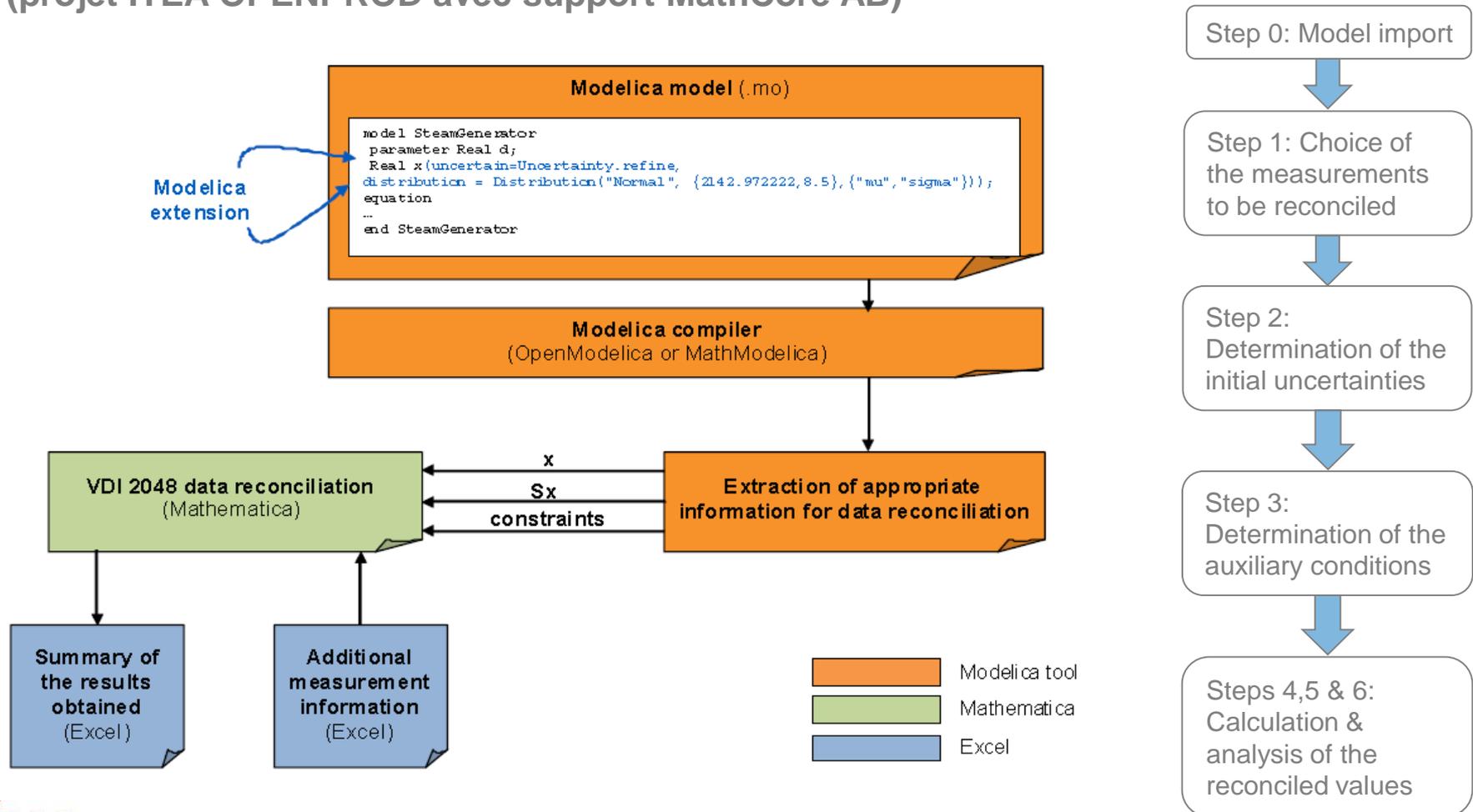
- Corriger les mesures de sorte qu'elles respectent les lois de la physique
- Tout en prenant en compte leurs incertitudes

- Hypothèses :** mesures redondantes
modèle statique linéarisable autour du point de fonctionnement mesuré



4. LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES (3/4)

- **Réalisé** : Prototype de réconciliation de données sur des modèles Modelica (projet ITEA OPENPROD avec support MathCore AB)



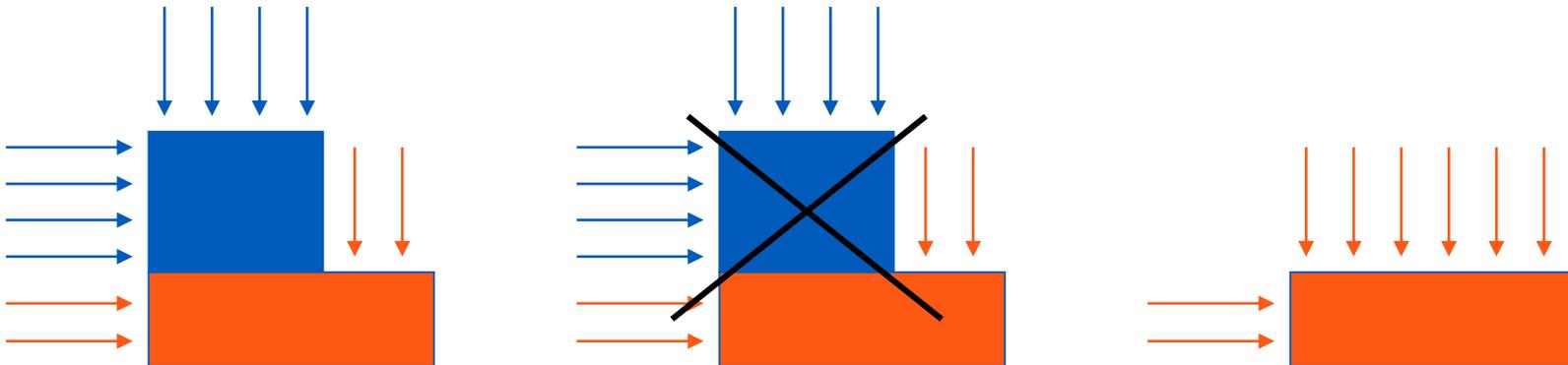
4. LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES (4/4)

- **En cours** : Refonte du prototype
(projet ITEA OPENCPS avec support Université de Linköping)
 - Revue de l'algorithme d'extraction pour ne conserver que les équations strictement nécessaires à la réconciliation

Suppression des conditions aux limites et des équations « incertaines »



Conservation uniquement des équations qui lient au moins 2 variables à réconcilier



- Refonte de l'architecture pour la baser uniquement sur des solutions open-source
 - OpenModelica pour l'extraction des contraintes
 - Python pour la réconciliation à proprement parler

4. L'ESTIMATION D'ÉTAT (1/2)

▪ Objectif de l'étude

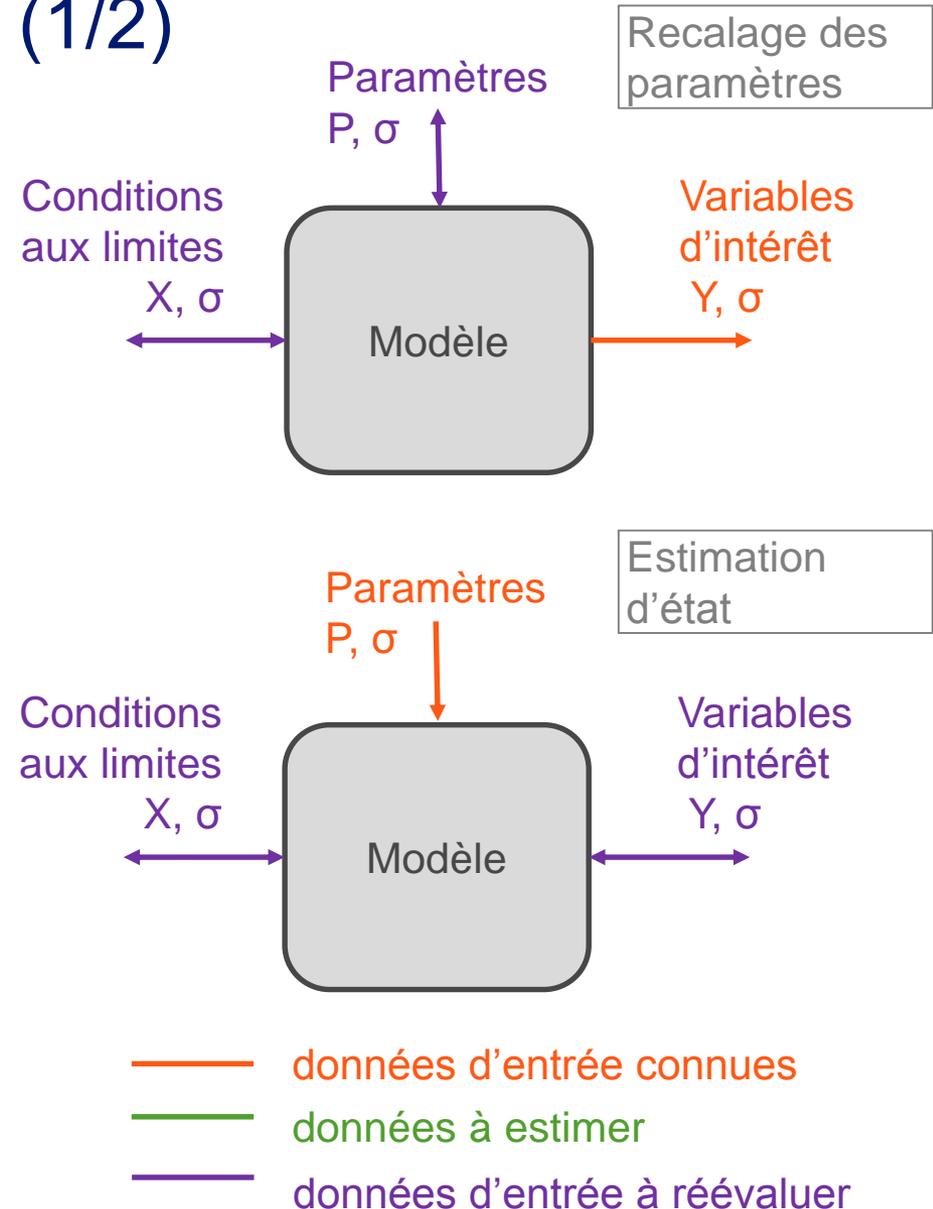
- Caler et initialiser le modèle au mieux sur des mesures
- Supposant le modèle et les mesures comme imparfaits
- Et éventuellement le nombre de mesures insuffisant

▪ Sources d'incertitudes

- Conditions aux limites : qualité de la chaîne de mesure
- Paramètres : marges de dimensionnement, données constructeurs

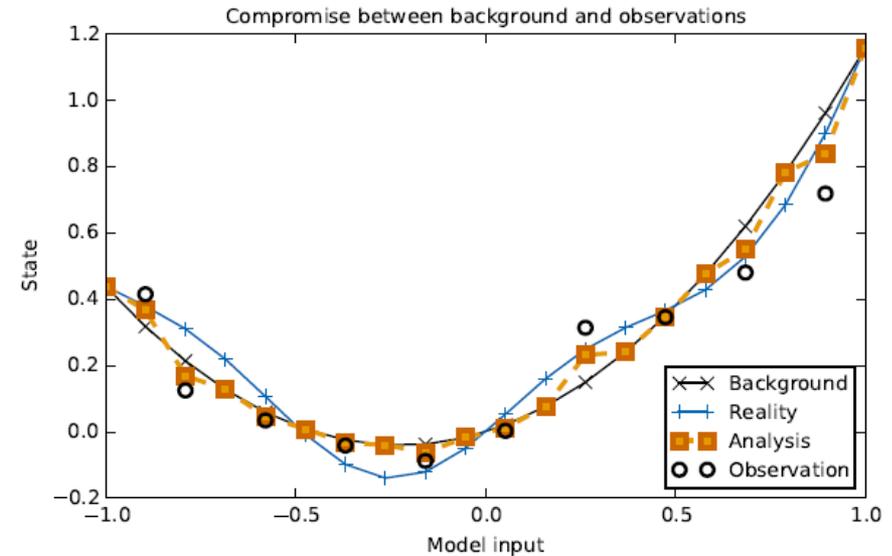
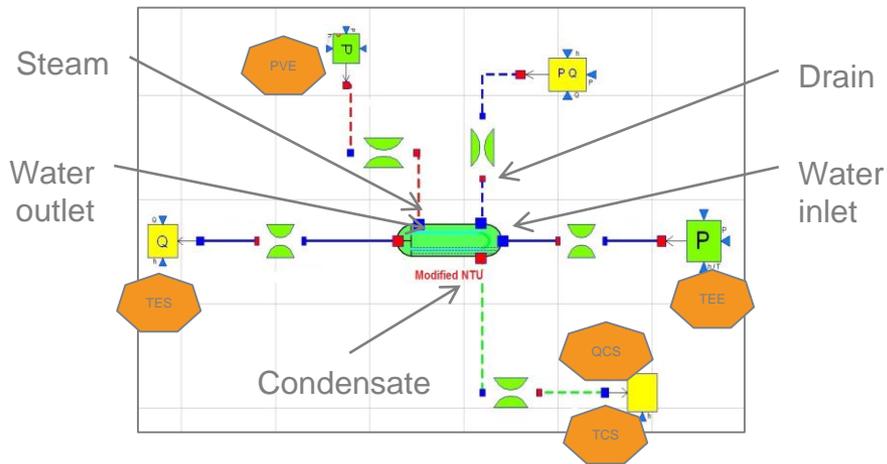
▪ Algorithme

- Généralisation de la méthode de réconciliation à la notion d'assimilation de données et plus largement d'estimation d'état
- Nombreux algorithmes (filtres de Kalman, 3DVar, ...) se ramenant tous à des problèmes d'optimisation



4. L'ESTIMATION D'ÉTAT (2/2)

- **Réalisé** : Mise en œuvre d'un algorithme BLUE à un modèle de réchauffeur (projet 5% IL MAD avec support Phiméca)
 - Codage de l'algorithme en Python
 - Utilisation de PyFMI pour importer le modèle Modelica dans Python



- **En cours** : Généralisation de la démarche notamment pour bien gérer le cas d'un modèle non linéaire (projet SIMSE)

SOMMAIRE

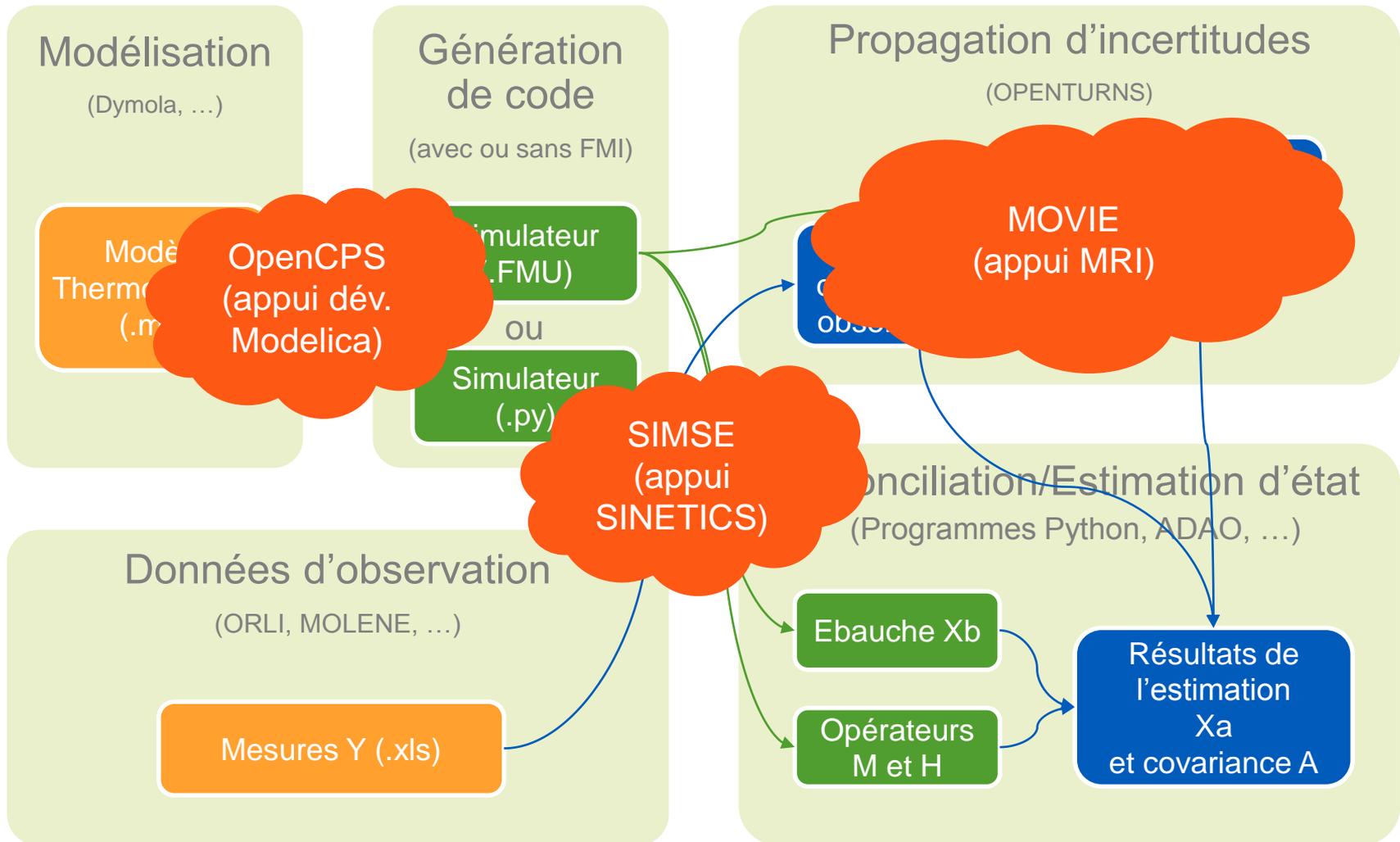
1. LA MODÉLISATION « SYSTÈME » À EDF
2. LES BESOINS EN TERME DE GESTION DES INCERTITUDES
3. LES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION PHYSIQUE « SYSTÈME »
4. LES TRAVAUX RÉALISÉS POUR CONCILIER CES OUTILS DE MODÉLISATION AVEC LES INCERTITUDES
PASSERELLE AVEC LES ANALYSES DE FIABILITÉ
LA PROPAGATION D'INCERTITUDE
LA RÉCONCILIATION DE DONNÉES
L'ESTIMATION D'ÉTAT
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES (1/4)

- **La prise en compte des incertitudes dans les modèles est un passage obligé pour maîtriser les systèmes de demain**
 - Tant dans leur phase de conception (lien avec les analyses de fiabilité/sûreté)
 - Que dans leur phase d'exploitation (outils de surveillance, diagnostic, voire de pronostic)
 - Et ce d'autant plus vu le contexte mouvant et incertain (insertion ENR, marchés, ...)
- **La modélisation à l'échelle système est désormais bien établie à EDF et a pris beaucoup d'ampleur ces dernières années (voir la suite de bibliothèques *SysPro)**
- **Des outils de statistiques existent (Crystal Ball, OpenTURNS, Figaro, ...)**
- **Mais il convient d'avoir une démarche « plus intégrée » pour faciliter le rapprochement des deux mondes**
- **Du point de vue d'utilisateur, un environnement unique serait l'idéal que ce soit :**
 - Pour la propagation d'incertitude
 - La réconciliation de données
 - Ou le recalage et l'estimation d'état

Car nécessite tous
la caractérisation des
sources d'incertitudes

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES (2/4)



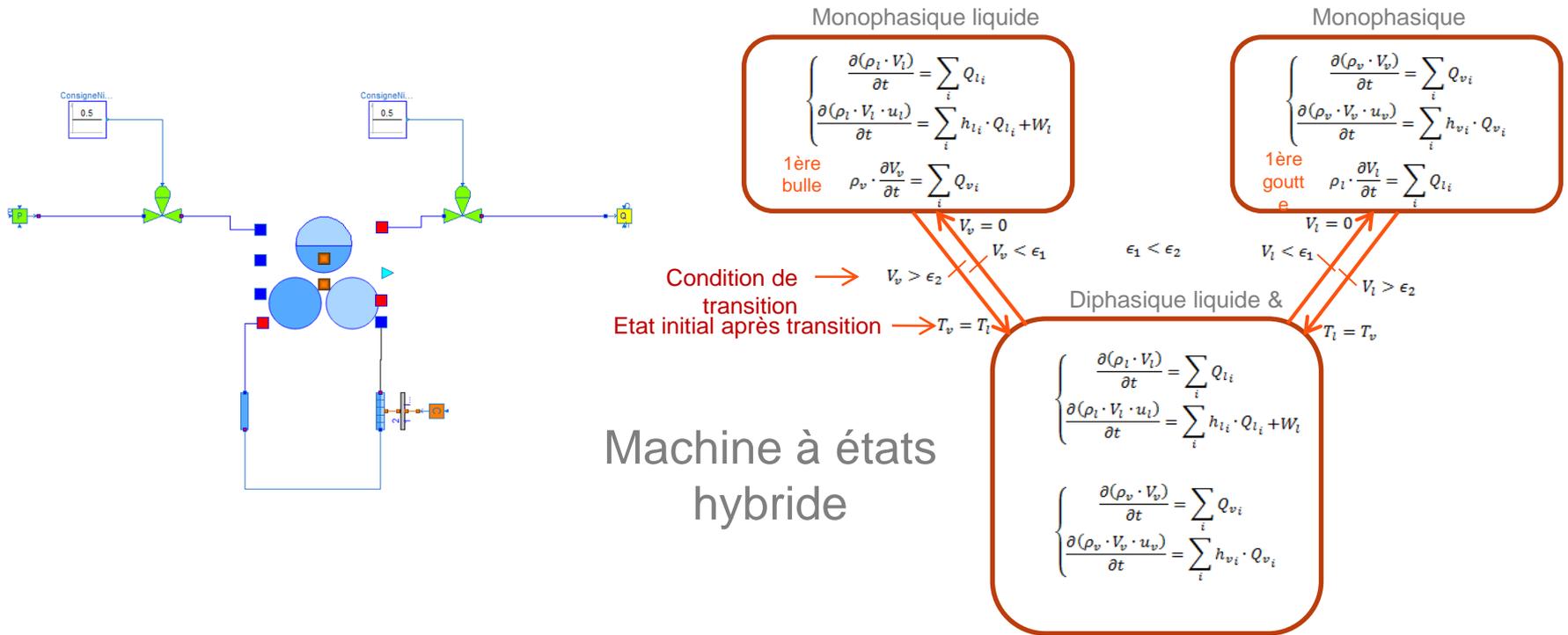
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES (3/4)

- **A court/moyen terme, plusieurs pistes d'amélioration sont investiguées**
 - Pour la partie propagation d'incertitudes : Compatibilité d'OpenTURNS avec le FMI
 - Pour la partie réconciliation de données et estimation d'état :
Adaptation des algorithmes d'estimation d'état au 0D/1D
-> capitalisation sous forme de bibliothèque ou « boîte à outils » pour le 0D/1D
 - Pour la partie « packaging » :
Extraction des équations Modelica
+ Intégration plus ou moins transparente des méthodes statistiques
dans l'IHM OpenModelica

- **A plus long terme, d'autres thématiques de fond devront également être traitées**
 - Axe 1 : Méthodologie de co-conception des modèles
pour embarquer toutes les facettes du système
 - Axe 2 : Méthode de co-simulation pour modéliser des systèmes de grande taille
(notion de systèmes de systèmes, géographiquement répartis et éventuellement reconfigurables)
 - Axe 3 [en lien avec les incertitudes] :
Estimation d'état de systèmes multi-modes et reconfigurables

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES (4/4)

- Exemple de modélisation multi-modes (prototype Dymola, projet ITEA MODRIO)



- Application à l'apparition / disparition de phases dans les volumes
- Notion de machine à états hybride à transition déterministe ou stochastique

MERCI