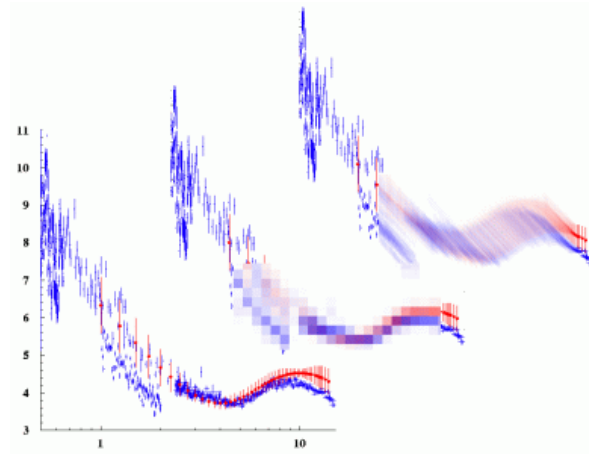
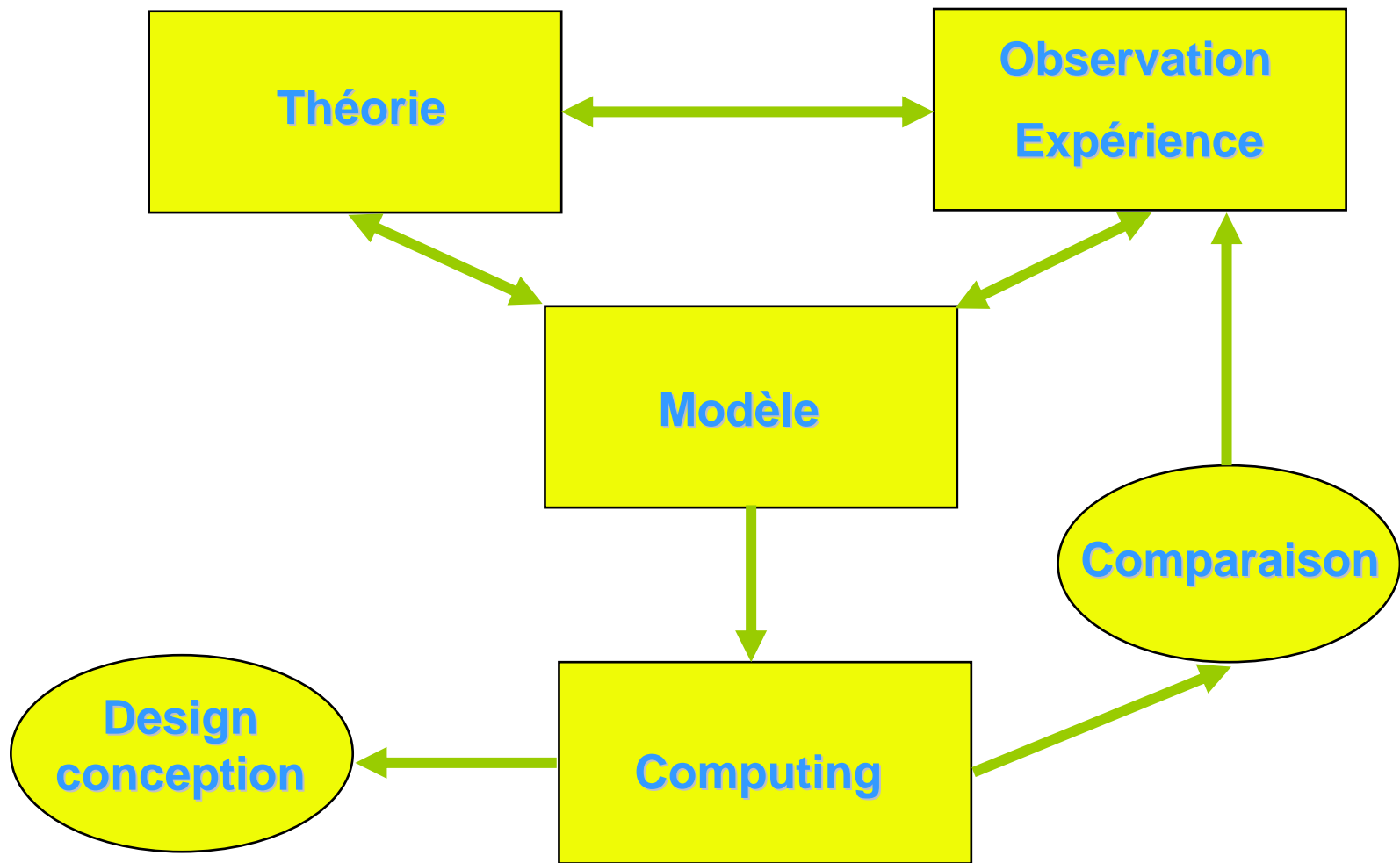


*Analyse des incertitudes dans la  
modélisation –  
une série de benchmarks organisée  
par l'OCDE*



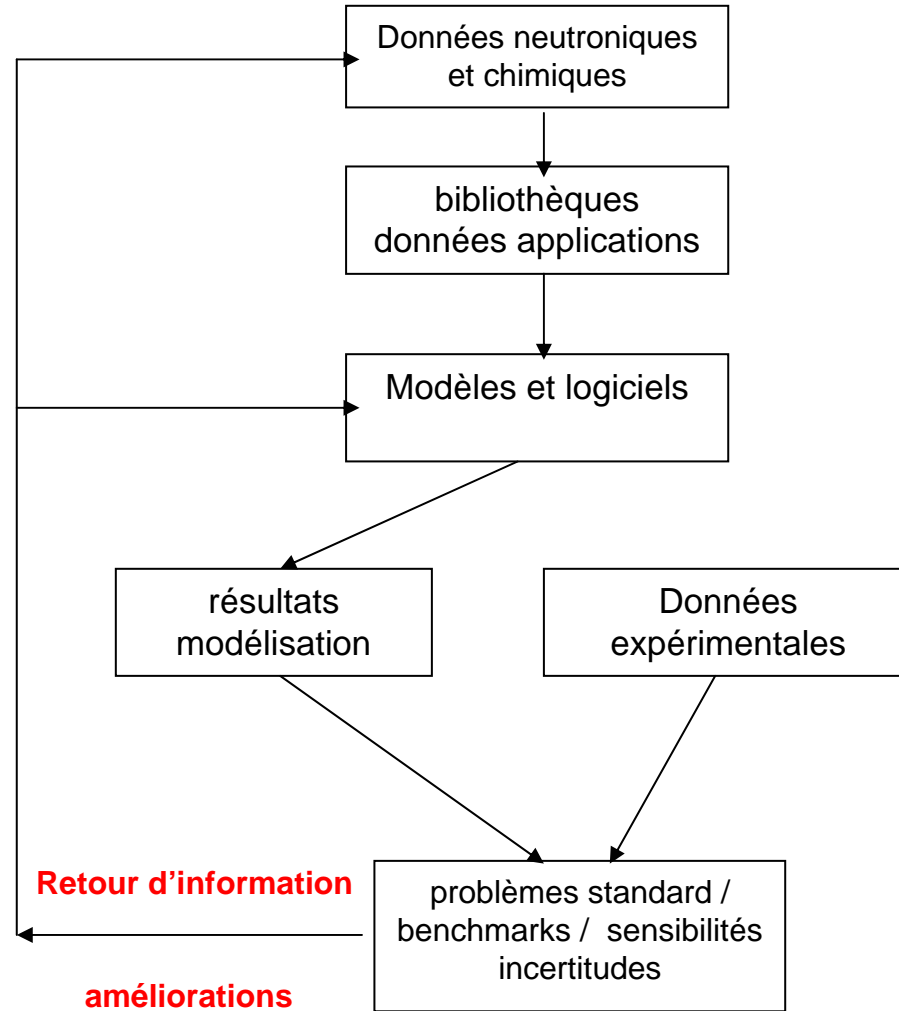
E. Sartori, OCDE/AEN Banque de Données



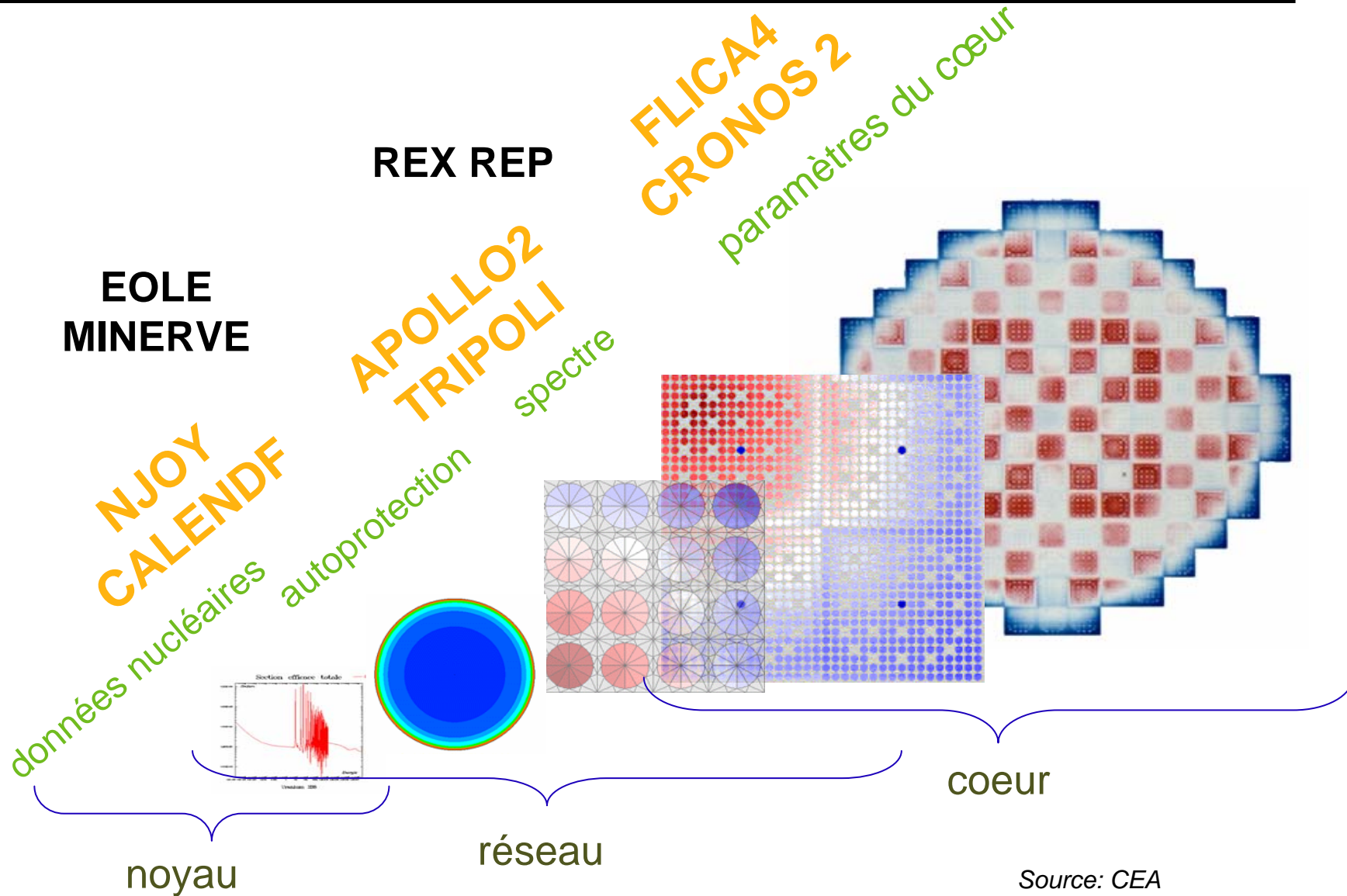
- *Mesures / Expériences*  
*les données sont le point de départ -*  
*le signal qui vient de la réalité -*  
*- c.a.d. du monde physique*
- *Modélisation:*  
*une question d'échelle / de dimensions*
- *Analyse de sensibilité:*  
*le guide pour construire des modèles*
- *Analyse des incertitudes:*  
*construire confiance dans le modèle et dans le*  
*résultats qu'il produit*
- *phénomènes microscopiques* ⇒  
*comportement macroscopique dans les applications*  
*technologiques*

# Outils, leurs relations et procédures dans la modélisation

---

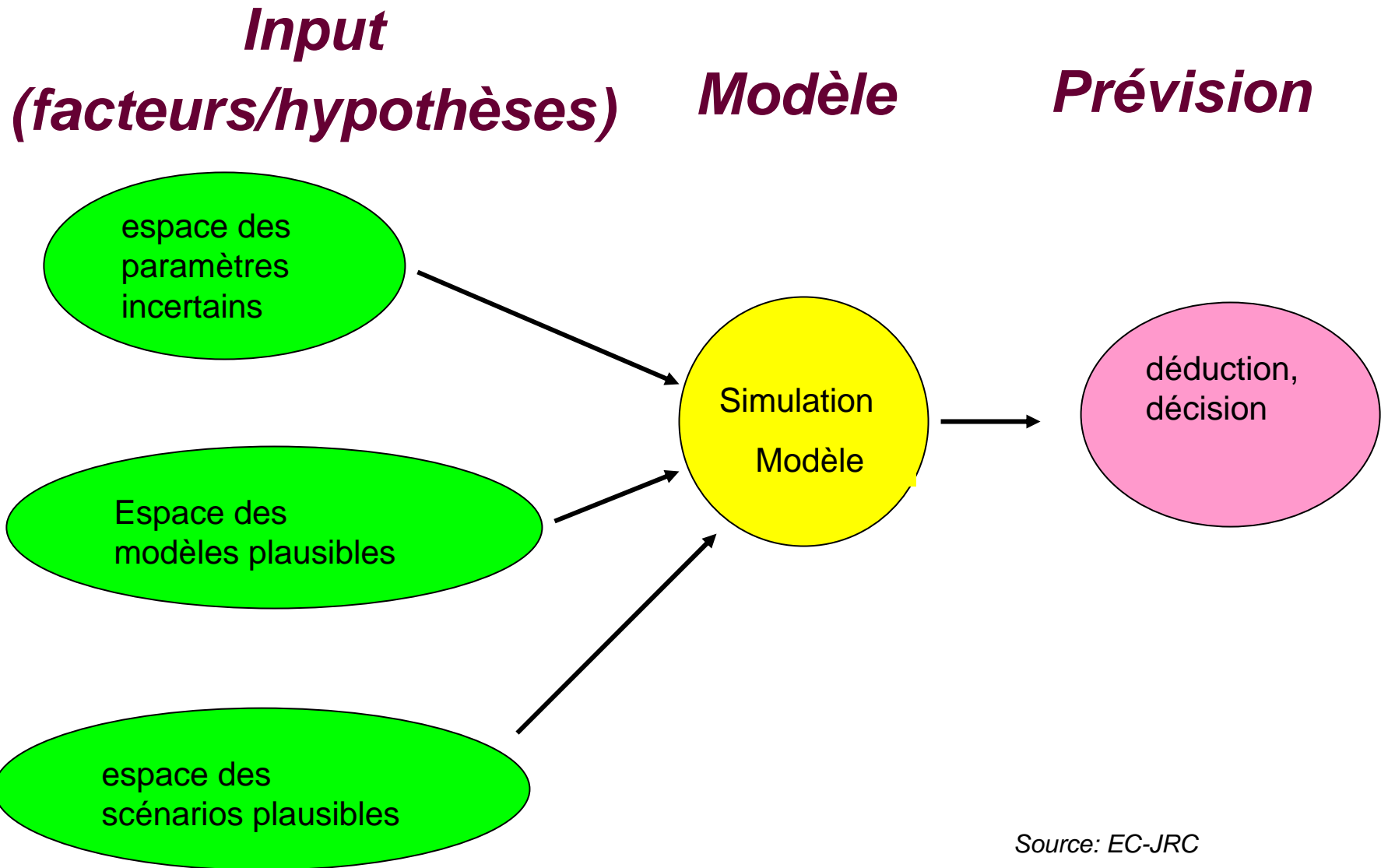


# expériences SIMULATION & PHYSIQUE REACTEUR



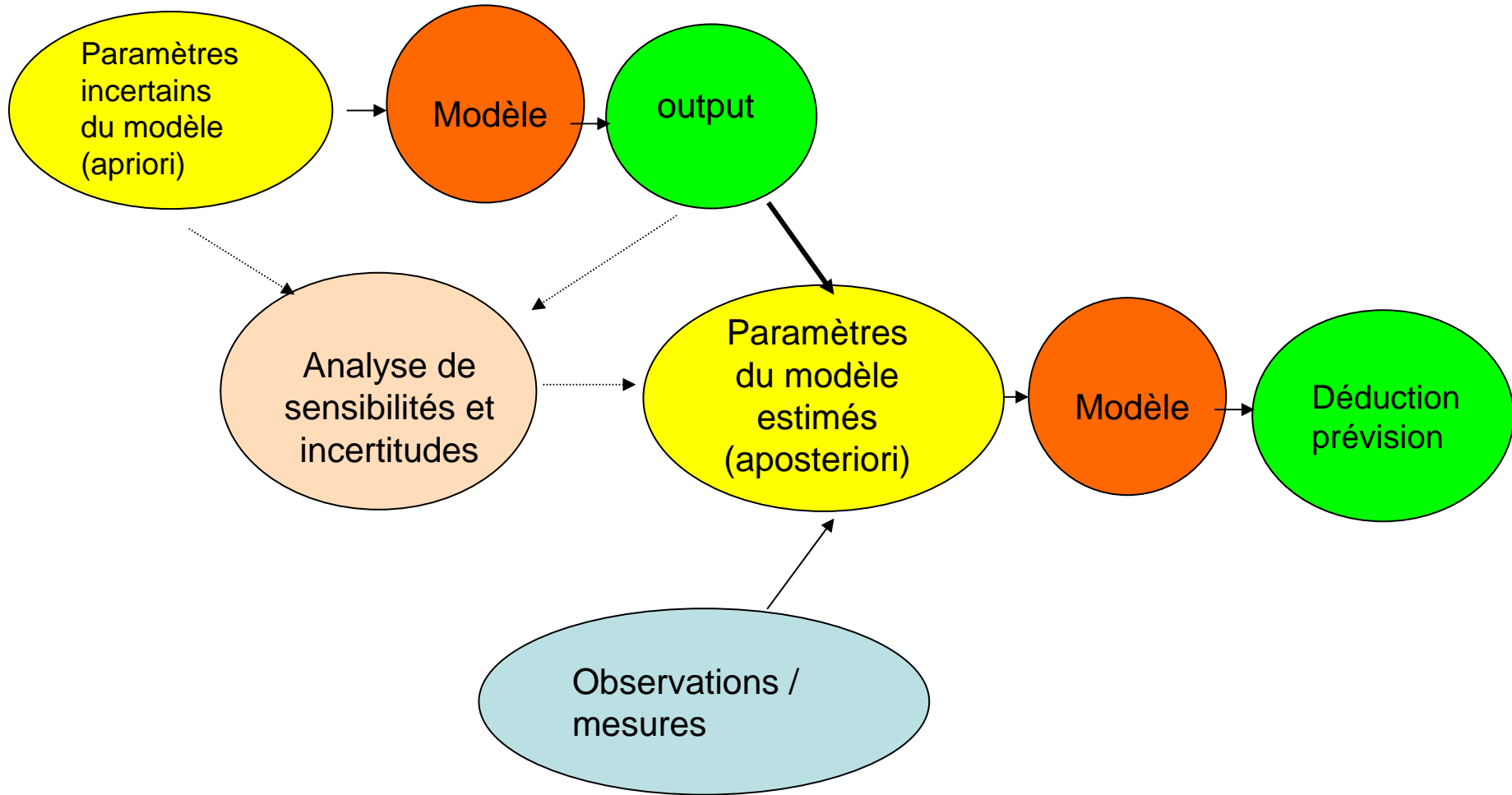
Source: CEA

# Modèles – analyse de sensibilité et Incertitudes



Source: EC-JRC

# Analyse des sensibilités pour l'estimation solide des paramètres, pour optimisation du modèle et prévision robuste



Source: EC-JRC

# Activités – sensibilités / incertitudes à l'OCDE/AEN (1/2)

---

- Données nucléaires de base
  - incertitudes des données de bases mesurés (EXFOR)
  - évaluation des données JEFF ENDFJENDL et autres
  - traitement des matrices de covariances
  - GANDR - Sensitivity-Based Global Assessment of Nuclear Data Requirements
- Groupes de travail (WP Evaluation Cooperation)
  - Nuclear Data Needs for Advanced Reactor Systems
  - Traitement des matrices de covariance



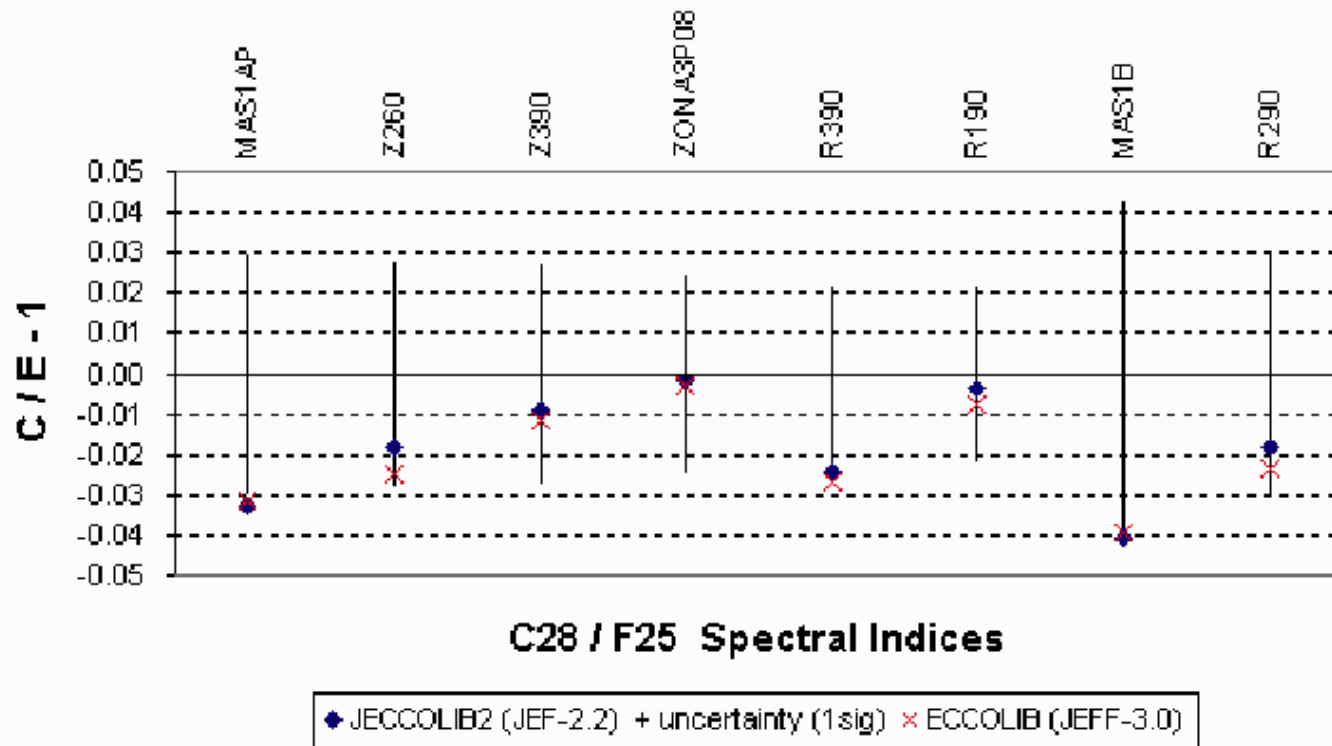
# Matrices des covariances / Données nucléaires évaluées

---

- BROND-2.2 (3 noyaux)
- CENDL-2.1 (10 noyaux)
- EFF-2.4 (16 noyaux)
- ENDF-VI.7 (46 noyaux)
- JEFF-2.2 (15 noyaux)
- JEFF-3.0 (26 noyaux)
- JENDL-3.3 (20 noyaux)

# Comparaison

$^{238}\text{U}(n,\gamma)$  under-prediction ?



# Besoins

---

- Estimation de la puissance résiduelle (détermination des inventaires isotopiques et leur incertitudes – qualification en utilisant des expériences faites dans OSIRIS)
- Estimation des incertitudes dans les systèmes du type GEN-IV. Peux au aucune maquette disponible, donc l'analyse des incertitudes dans les prévisions de leur comportement physique est essentielle, et le marges des sûreté

# Activités benchmarks à l' OCDE/AEN

---

- Sujets des benchmarks
  - Sections efficaces d'interaction et rendements
  - Physique des réacteurs
  - Transitoires Coeur et système
  - Comportement du combustible nucléaire
  - Blindage des radiations / radioprotection
  - Sûreté Criticité (*hors coeur*)

# Benchmarks blindage / dosimétrie

---

- benchmarks blindage des radiations
  - Blindage des réacteurs
  - Dosimétrie / fluence dans la cuve
  - Blindages des châteaux de transport
  - Effet 3D de canalisation des radiations dans les conduites
  - SINBAD (base de données expériences blindages)

# Benchmarks criticité

---

- Benchmarks criticité sûreté
  - stockage (en immersion ou sec)
    - Crédit burnup
  - transport – château de transport
    - burnup crédit (marges de sûreté, profiles burnup)
    - Combustible irradié REP, REB, MOX
  - masses critiques minimales
  - ICSBEP (manuel des expériences sûreté-criticité)

# Benchmarks Systèmes Réacteurs/ Sûreté

---

- Éjection d'une grappe à chaud en puissance nulle et pleine puissance (REP)
- Éjection d'une grappe dans un cœur MOX
- Injection d'eau froide et pressurisation (REB)
- Retrait de barre de commande sans contrôle à puissance nulle (REP)
- Stabilité REB - Ringhals1
- Séries Temporelles d'oscillation (REB) Forsmark 1 & 2
- Rupture de la canalisation principale de vapeur TMI-1 (MSLB) (REP)
- Transitoires relatifs aux arrêts d'urgence de la turbine (TT) (REB)
- Mixage du bore et déboration
- Démarrage de la pompe de refroidissement principale et mixage dans Kozloduy-6
- Transitoires dans un réacteurs à lit des boulets (PBMR-400)

# Activités – sensibilités / incertitudes à l'OCDE/AEN (2/2)

---

- **Physique des réacteurs**
  - Benchmarks en neutronique – (VENUS2, KRITZ, SNEAK-7A & 7B (Karlsruhe Fast Critical Facility), IRPhE Handbook
  - Évaluation d'expérience dans le domaine de la physique des réacteurs  
Systèmes critiques ICSBEP
  - Dosimétrie / blindage des radiations
- **Sûreté des réacteurs**
- Uncertainty and sensitivity analysis in Probabilistic System (Safety) Assessment
- BEMUSE Sûreté Nucléaire (probabiliste)
- **UAM** (multi-physique / multi-échelle) (physique réacteurs / sûreté)
- Enfouissement des déchets nucléaires (**migration d'espèces chimiques** avec isotopes radioactifs ou toxiques dans les couches géologiques)
- **Les outils mis à disposition par la Banque de Données**



# Introduction (1/3)

---

- Des méthodes d'analyse des incertitudes doivent être développés et qualifiées afin de pouvoir utiliser dans les procédures d'autorisation et analyses de sûreté les systèmes de codes couplés en mode « meilleure estimation »
- Évaluation fondamentale des incertitudes et de leur propagations à partir des données de base en appui des marges de sûreté est nécessaire
- Il y a besoins d'approches améliorés dans le domaine des sensibilités/incertitudes pour les simulations couplées multi-physiques

# Introduction (2/3)

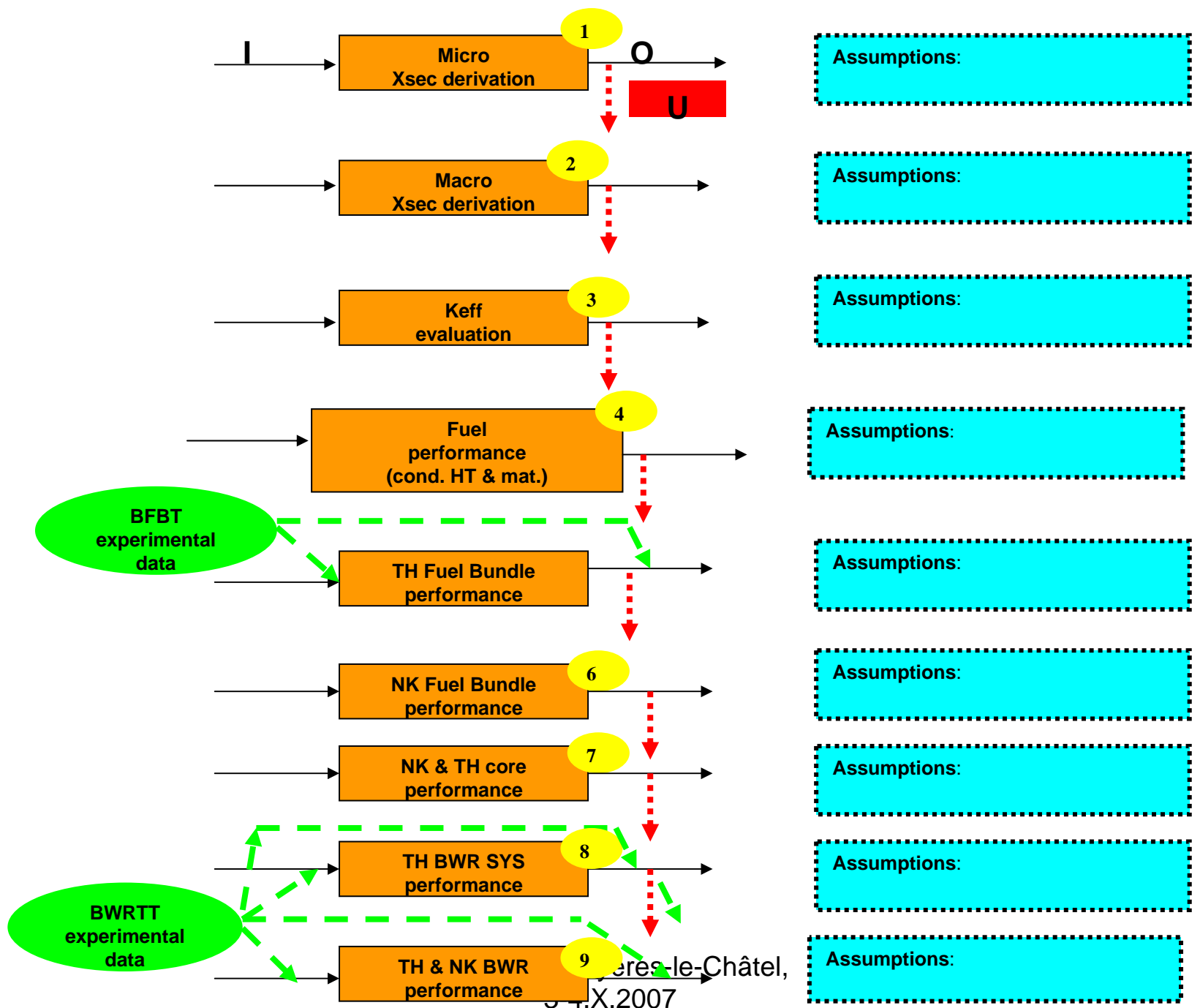
---

- Une demande croissante est faite par la recherche, industrie, sûreté et réglementation nucléaire pour réaliser des simulations et prévisions du type « meilleure estimation » avec les marges d'incertitude correspondantes
- En conséquence, après une discussion « approfondie » sur « analyse des incertitudes dans la modélisation » (UAM) du comité des sciences nucléaires de l'OCDE/AEN un groupe de travail internationale a été établi afin de définir des actions spécifiques et un programme de travail dans ce domaine.
- Pendant une session d'étude il a été proposé de préparer un le programme de travail concernant une séquence d'exercices nécessaires pour réaliser l'analyse des incertitudes dans la modélisation. Cette proposition intègre dans ses phases les différents propositions dans le cadre vaste de l'analyse des incertitudes dans les simulation multi-physique et multi-echelles.

# Introduction (3/3)

---

- Ce groupe d'experts utilise les résultats des benchmarks (basés sur des expérience qualifiés dans des centrales électronucléaires et des maquettes / réacteurs expérimentales) établis par d'autres groupe dans le couplage neutronique / thermo-hydraulique et couplage coeur-centrale et du groupe sur l'analyse et gestion des accidents.
- un intérêt certain a été exprimé par l'industrie, les organismes de réglementation, et les organisations de recherche. 15 pays y participent et contribueront aux activités benchmark. Les institutions françaises, seront bien représentés dans cet effort.



# Incertitudes dans des processus et systèmes nucléaires

---

- **Objectif:** Déterminer les incertitudes dans des processus / systèmes sélectionnés et dans leur combinaisons
- **Systemes de référence et scénarios:**  
PB BWRTT (ou d'autres si nécessaire, ex. MSLB-TMI-1, PWR-RIA-ATWS, Kalinin-3, VVER-1000, etc.)
- **L'idée:**
  - subdiviser le système / scénario complexe en différentes étapes,
  - Identifier input, output et hypothèses pour chaque étape,
  - Calculer l'incertitude à chaque étape;
  - Propager les incertitudes pour réaliser l'évaluation du système / scénario global.

# Programme de travail

---

- **Phase I 3 Exercices (Phase Neutronique ):**
  - **Exercice 1 (I-1): Dérivation des sections efficaces multi-groupe (données nucléaires, sélection de structure multi-groupe, leurs matrices de covariance etc.)**
  - **Exercice 2 (I-2): Dérivation de bibliothèques de sections efficaces et covariances associées à quelques macro-groupes (réduction de groupes énergétiques, homogénéisation spatiale, etc.**
  - **Exercice 3 (I-3): Criticité (état stationnaire) calculs neutroniques indépendants (calculs keff, taux de réactions, distribution de puissance, approximation de diffusion, etc.).**

# Objectifs en neutronique

---

- Évaluer l'état des codes pour l'analyse des sensibilités et incertitudes relatifs à la neutronique
- Concentration sur des codes utilisant des méthodes différentes et analyse de la cohérence dans l'estimation des sensibilités et incertitudes
- Des matrices de covariance des sections efficaces multi-groupe seront mises à disposition afin d'isoler les désaccords dans l'estimation des coefficients et profils de sensibilité

# Programme de travail

---

- **Phase II (Phase Coeur) :**
  - **Exercice 4 (II-4): propriétés thermiques du combustible d'importance pour le fonctionnement en régime transitoire**
  - **Exercice 5 (II-5): cinétique neutronique indépendante (données cinétiques, traitement de la dépendance dans l'espace et le temps, etc.)**
  - **Exercice 6 (II-6): comportement thermo-hydraulique d'une grappe de combustible**



# Programme de travail

---

- **Phase III (Phase Système) :**
  - Exercice 7 (III-7): performance du couplage neutronique / thermo-hydraulique du coeur (état stationnaire couplé, évolution des inventaire radioisotopiques couplés, transitoire du coeur avec condition aux limites)
  - Exercice 8 (III-8): performance de la thermo-hydraulique d'un système REB
  - Exercice 9 (III-9): cinétique neutronique couplé à la thermo-hydraulique d'un système REB (thermo-hydraulique mutli-phases)

# BEMUSE : Best-Estimate Methods – Uncertainty and Sensitivity Evaluation for a Large Break LOCA (accident de perte de fluide caloporteur)

Phase 1: définition générale des méthodes pour l'analyse des incertitudes

## **Partie 1: LOFT L2-5 (boucle thermo-hydraulique)**

- Phase 2: Calcul du type « meilleure estimation » de LOFT L2-5
- Phase 3: Analyse des sensibilités et incertitudes de LOFT L2-5

## **Partie 2: réacteur**

Description de la centrale Zion

- Phase 4: Calcul du type « meilleure estimation »
- Phase 5: Analyse des sensibilités et incertitudes
- Phase 6: conclusions générales

Source: CEA

# Codes disponibles

---

- SUSD-3D (1D, 2D, 3D transport déterministe, perturbation linéaire du 1er ordre)
- TSUNAMI (1D déterministe, 3D MC perturbation linéaire du 1er ordre)
- ERANOS (déterministe 1D, 2D, 3D diffusion/1D, 2D transport, perturbation linéaire du 1er ordre)
- MMKKENO (Monte Carlo multi-groupe dérivés)
- JAEA analyse des sensibilités (SAGEP, SAGEP-BURN, PSAGEP, ABLE, ACCEPT) déterministe diffusion 1D/2D
- Autres utilisant des échantillons corrélés (e.g. MCSEN)

# Observations (1/2)

---

- La terminologie pour les sensibilités est différente dans les approches déterministes et statistiques Les méthodes déterministes commencent d'abord à calculer les sensibilités (utilisées en suite pour propager les incertitudes des données d'entrée vers les données de sortie ou résultats) les méthodes statistiques calculent les incertitudes des réponses d'abord (et calcules les sensibilités en suite).
- Les méthodes déterministes livrent des sensibilités "locales", par contre les méthodes statistiques livrent plutôt des sensibilités globales, mais oublient parfois des points critiques importants tels que des maxima, minima et bifurcations. Il est donc important de combiner les deux méthodes à cause de leur complémentarité. Cela devrait également conduire à des méthodes standardisées.

# Observations (2/2)

---

- Les méthodes du calcul des sensibilités et incertitudes ont débuté dans la recherche nucléaire. Maintes de ces études sont tombées dans les oubliettes et ces experts sont à la retraite. Les développements ultérieurs se sont développés dans les domaines de la géophysique et du climat.
- Le progrès plus important a été réalisé dans l'assimilation des données, des procédures similaires aux procédures d'ajustement des données. Les méthodes d'assimilation de données aident à mieux estimer les incertitudes en utilisant des données dès qu'elles deviennent disponibles, en particulier des données mesurées. Il faudrait encourager l'introduction de telles méthodes dans les applications nucléaires.

# Conclusion

---

- Les activités benchmarks ont poussé le développement des codes 3D couplés en neutronique et thermo - hydraulique et de l'estimation des incertitudes
- Les méthodes et codes de type réaliste (best-estimate) (3D) peuvent être utilisés pour le pilotage du réacteur et l'analyse de sûreté – les investissements et efforts nécessaires afin d'obtenir des bons résultats en utilisant des méthodes simplifiées peuvent s'avérer majeurs qu'en utilisant des méthodes réalistes
- Est-ce que les méthodes empreinte de conservatisme sont conservatives pour tous les problèmes?

- Rien n'est aussi dangereux que la certitude d'avoir raison

Il y a nulle certitude dans les choses du monde

Un doute éclairé peut quelques fois servir de flambeau

Le doute est bien plus le résultat des lumières vagues que de l'ignorance

Le doute est le commencement de la sagesse

C'est avoir beaucoup avancé que d'avoir seulement appris à douter

Mieux est douter que croire

Se cacher la tête dans le sable des certitudes ...

.

Sans l'incertitude l'aventure n'existerait pas.

L'incertitude est l'essence même de l'aventure amoureuse.

Pour certains, le contraire du doute est la certitude ; pour d'autres, c'est la confiance.