

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Optimisation du pilotage d'un Réacteur à Eau Pressurisée dans le cadre de la transition énergétique à l'aide d'algorithmes évolutionnaires

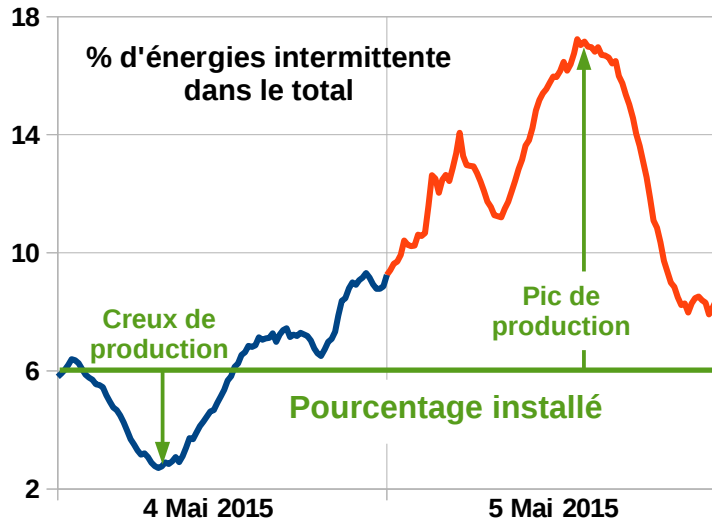
par **Mathieu Muniglia**

Thèse réalisée au DM2S/SERMA

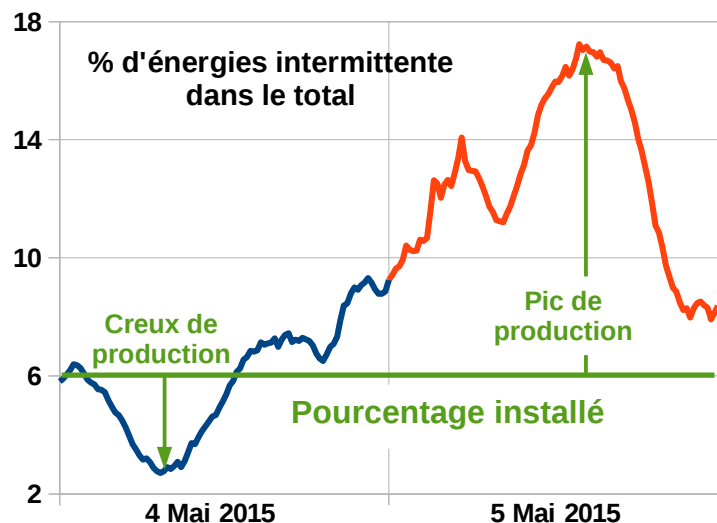
Directeurs : S. David (IPNO), S. Verel (ULCO)

Encadrement : J.C. Le Pallec, J.M. Do

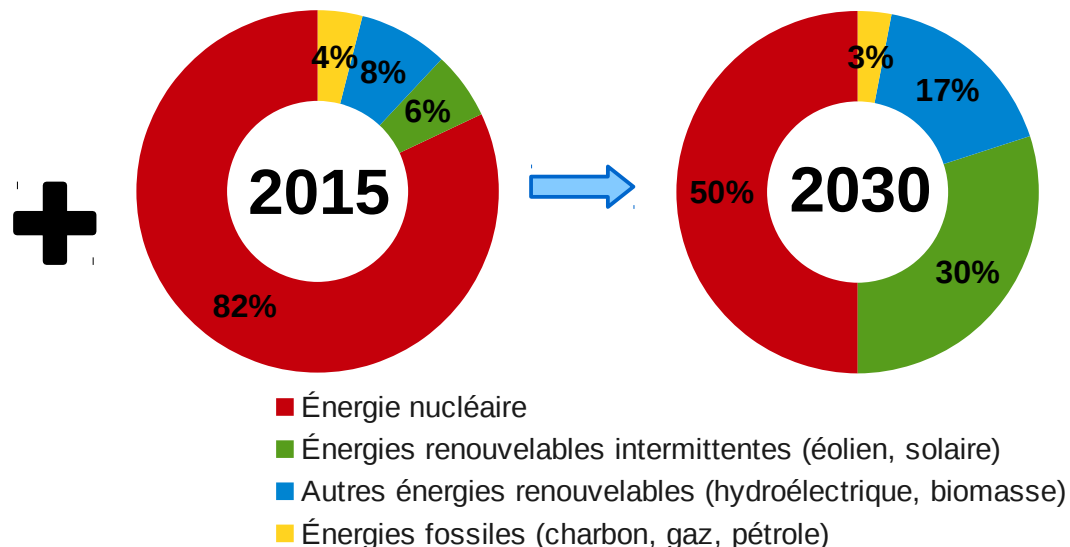




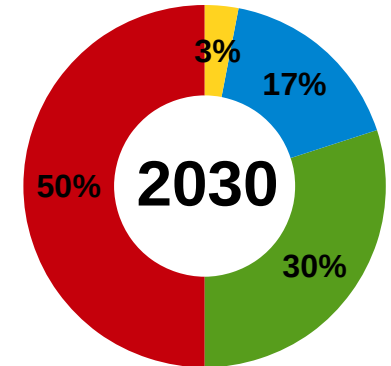
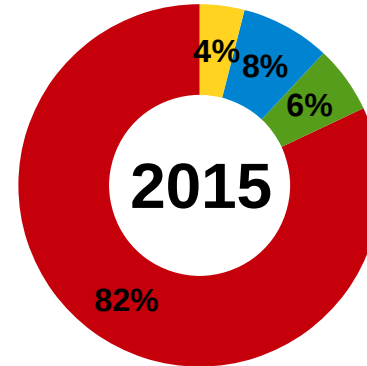
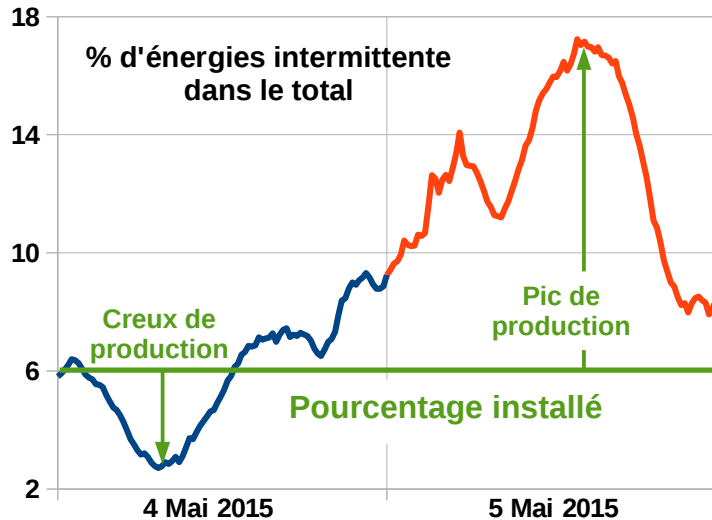
Taux de production **hautement fluctuant** (jusqu'à 3 fois la moyenne)



Taux de production **hautement fluctuant** (jusqu'à 3 fois la moyenne)



Introduction massive d'**énergies renouvelables intermittentes** en France



- Énergie nucléaire
- Énergies renouvelables intermittentes (éolien, solaire)
- Autres énergies renouvelables (hydroélectrique, biomasse)
- Énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole)

Taux de production **hautement fluctuant** (jusqu'à 3 fois la moyenne)

Introduction massive **d'énergies renouvelables intermittentes** en France

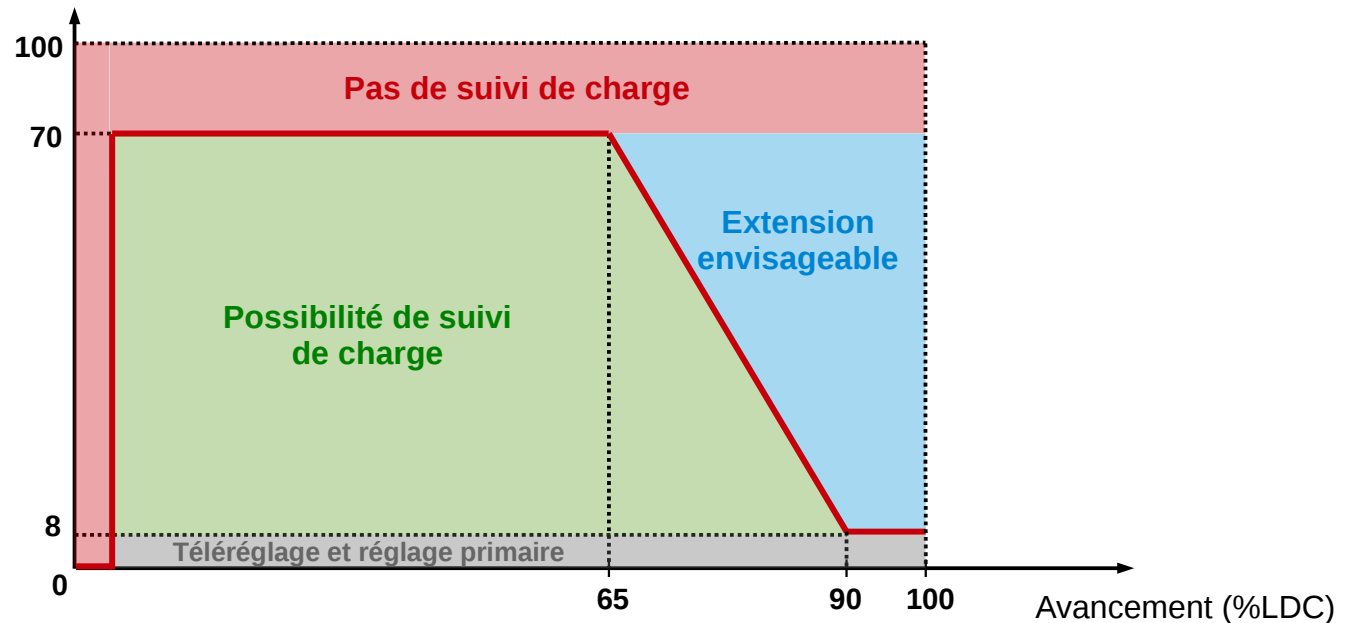
Augmentation des **déséquilibres** entre l'offre et la demande

- ↳ Amélioration des **capacités de stockage**
- ↳ Renforcement des **communications** entre les réseaux européens
- ↳ Augmentation des **sollicitations sur les centrales nucléaires**

- Augmentation des **vitesse de variation de puissance** admissibles
- Augmentation et allongement des **phases d'arrêt réacteur**

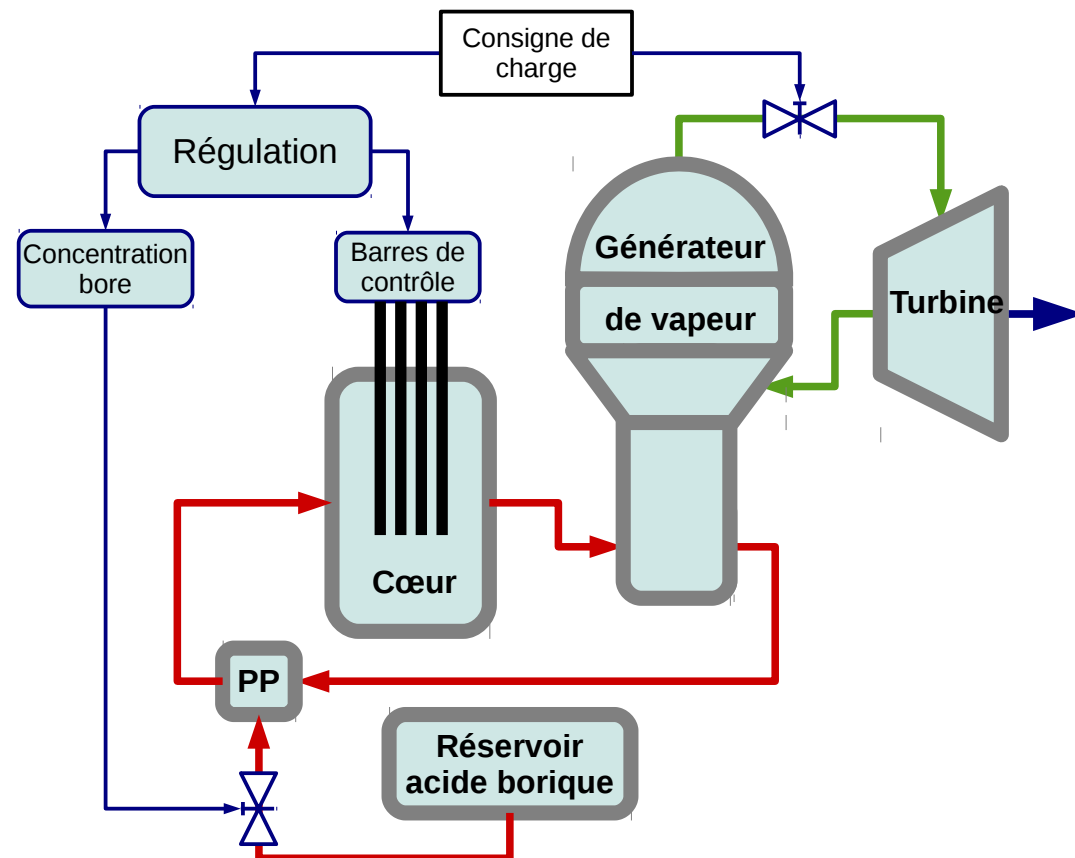
- Augmentation des **vitesse de variation de puissance** admissibles
- Augmentation et allongement des **phases d'arrêt réacteur**
- Augmentation de la **disponibilité en cours de campagne**

Amplitude de variation
de puissance (%PN)



1) Définition d'une **méthodologie de résolution**

2) **Modélisation multi-physique 3D** type simulateur d'un réacteur nucléaire dans APOLLO3®



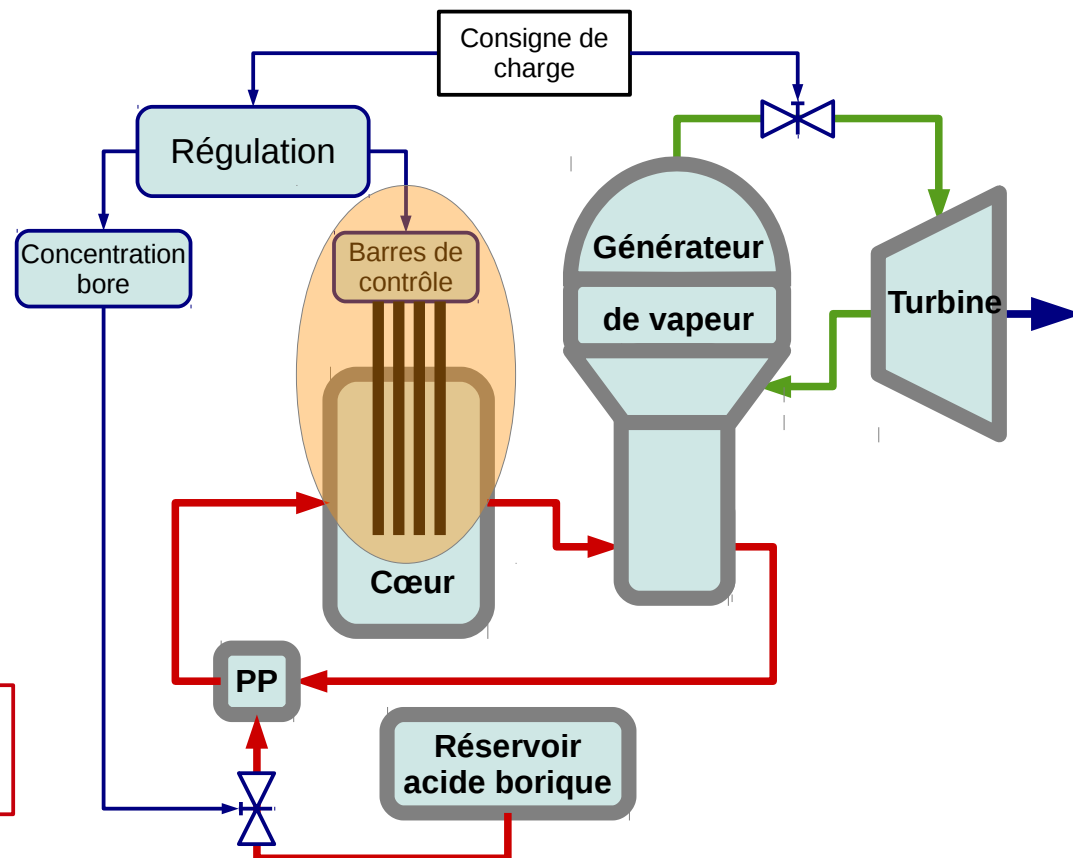
1) Définition d'une **méthodologie de résolution**

2) **Modélisation multi-physique 3D** type simulateur d'un réacteur nucléaire dans APOLLO3®

3) **Optimisation multiobjective** de la gestion des barres de contrôle de ce réacteur

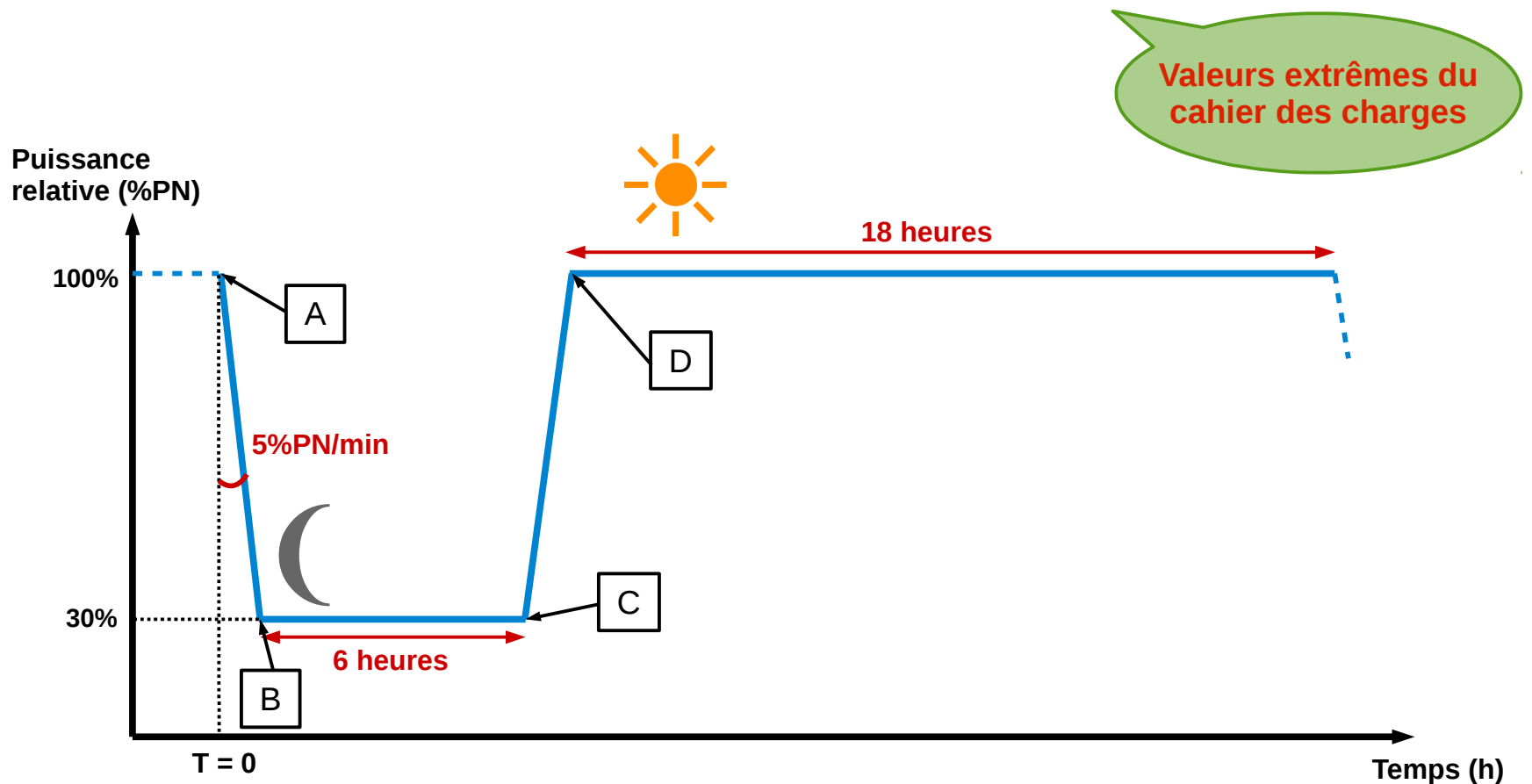
■ En début de cycle d'exploitation :
↳ gain sur la qualité du pilotage

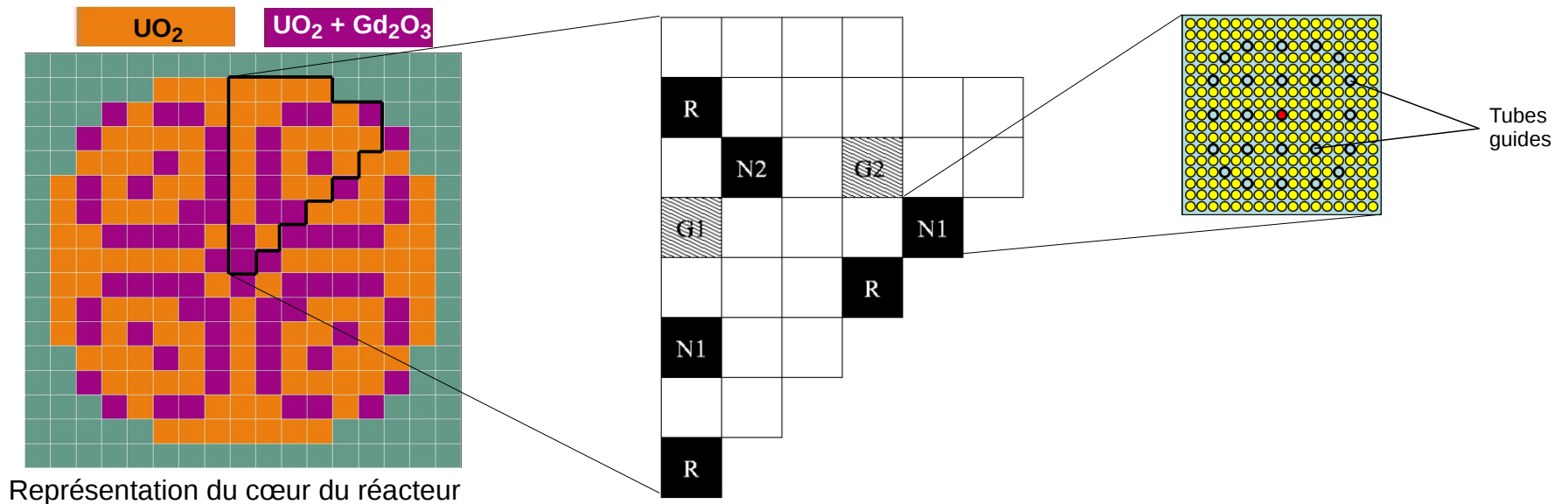
■ Pour différents épuisements du cœur :
↳ gain sur la disponibilité



Contrainte : pas de modification du mode de pilotage en cours de cycle

- Transitoire de type **suivi de charge** classique jour/nuit
- Palier bas à **30%PN** et variations de puissance à **5%PN/min**





■ Réacteur type **REP1300**, gestion **GEMMES**

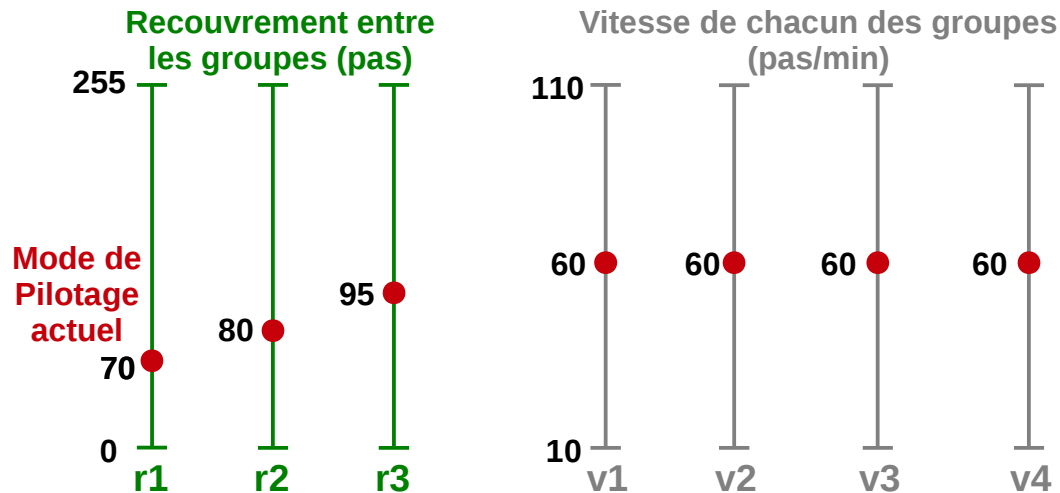
■ Deux familles de barres de contrôle :

- **Régulation de température** (GRT) correspondante au groupe R
- **Compensation de puissance** (GCP) constituée des groupes G1, G2, N1, N2

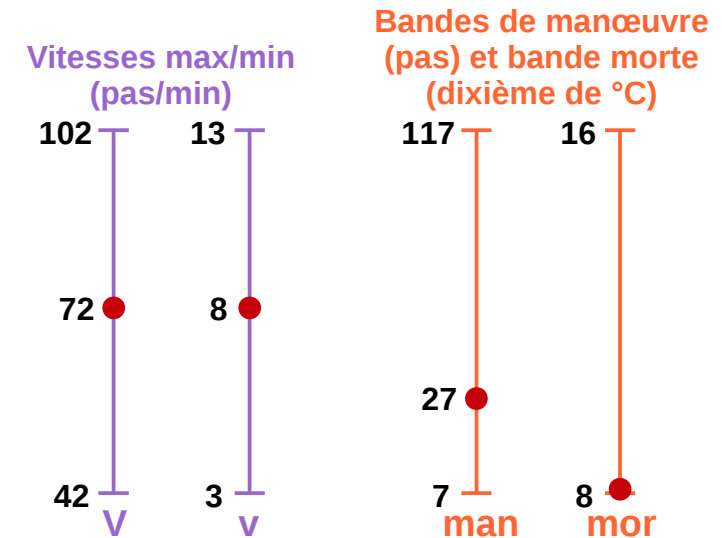
Paramètres de l'optimisation

Leviers d'optimisation

Compensation de puissance (GCP)



Régulation de température (GRT)



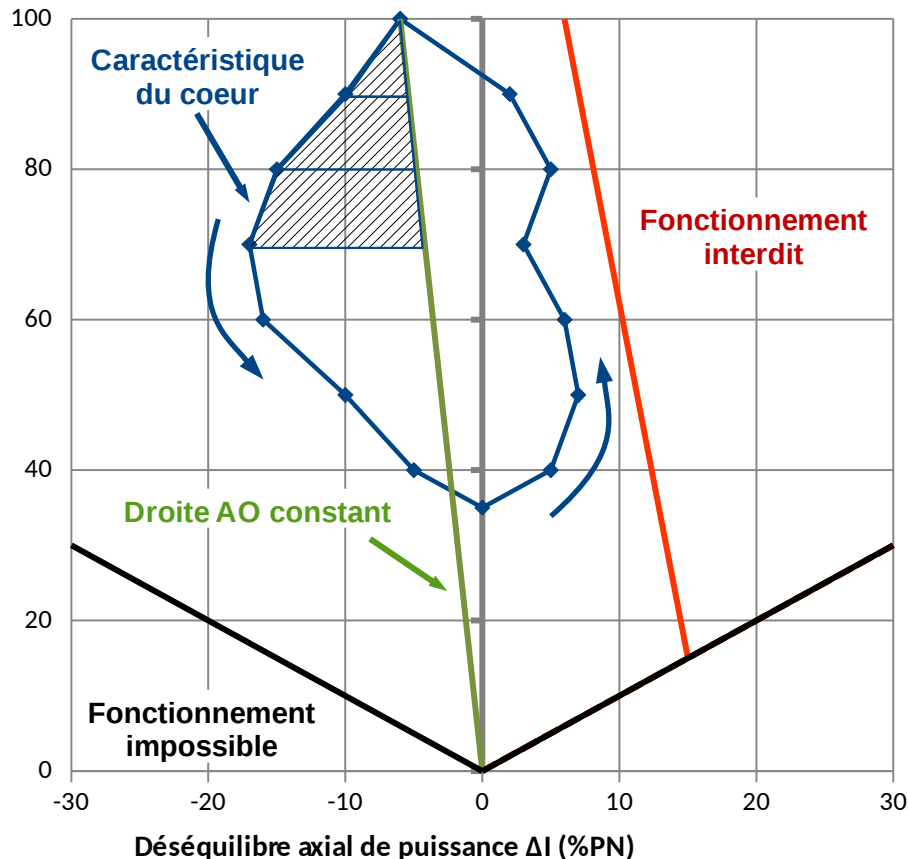
- Choix de leviers **discrets** permettant de rester **proche du mode de pilotage actuel**
- Intégration des **contraintes logiques et technologiques**
- Très grand nombre de solutions potentielles ($\approx 8 \cdot 10^{20}$)
- Résolution par essai/erreur:
 - Soit **intuitif** (long et nécessite une connaissance de l'objet)
 - Soit **automatisé** par un algorithme de recherche (générique)

Paramètres de l'optimisation Critères (grandeurs d'intérêt)

Mouvement de barres de contrôle
⇒ perturbations axiales et radiales

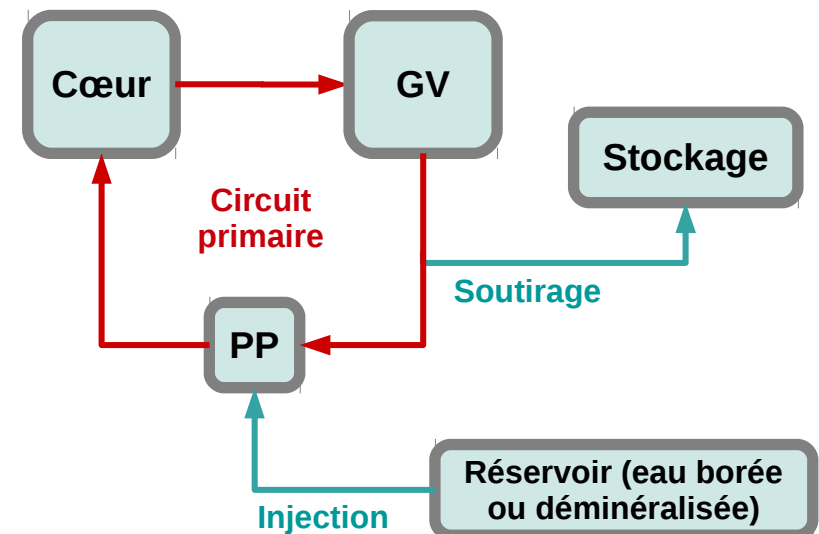
Objectif : réduction des perturbations axiales

Puissance relative (%Pn)

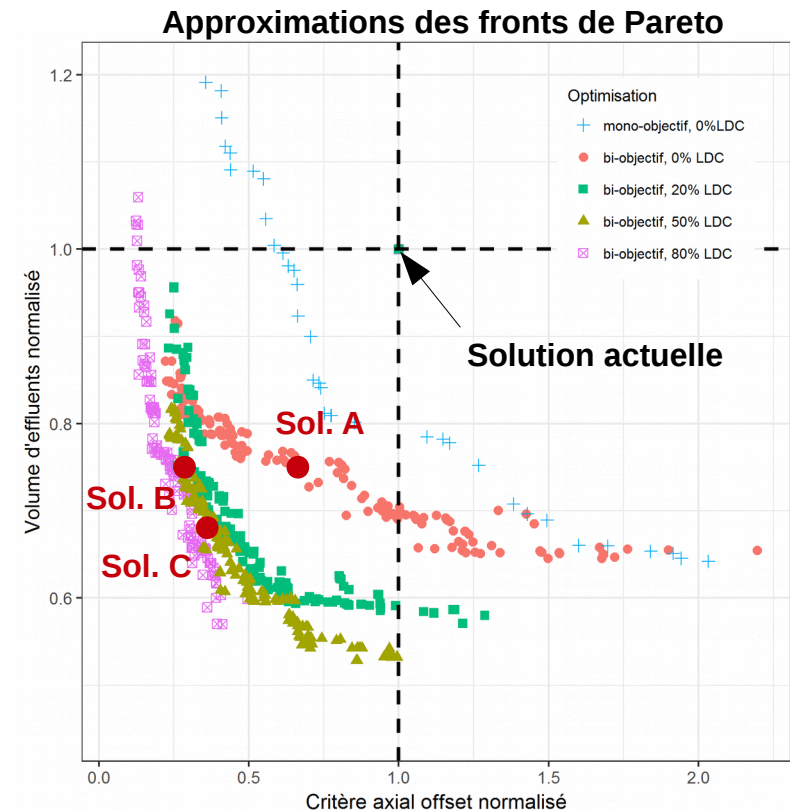


Utilisation du bore soluble
⇒ production d'effluents

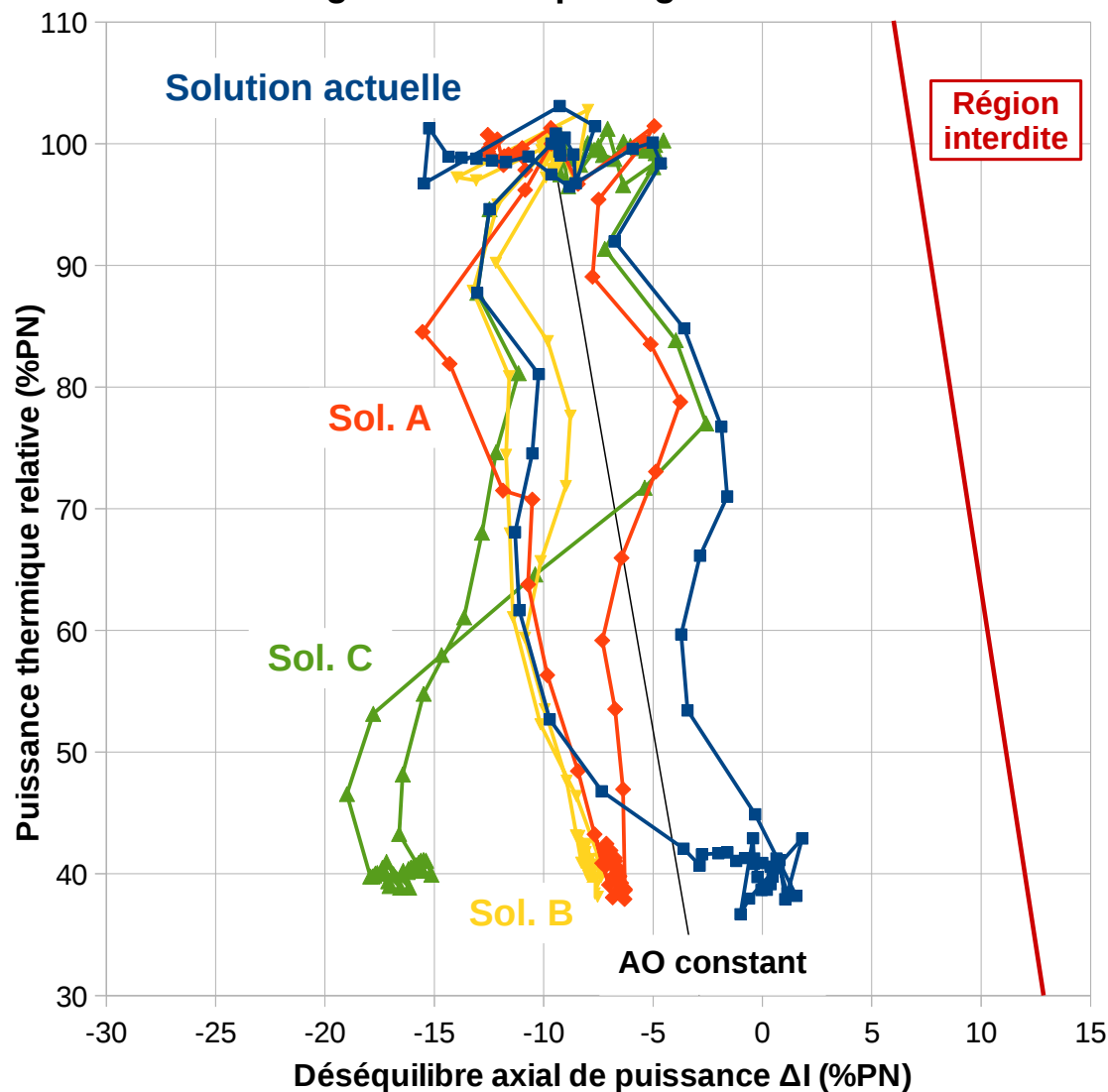
Objectif : réduction du volume d'effluents



- Principe : décomposition du problème en **sous-problèmes mono-objectifs**
↳ parallélisable
- Utilisation massive de ressources informatiques (TGCC) :
 - Architecture parallèle (3072 processeurs)
 - Temps de calcul de l'ordre de 24h
- Obtention de fronts de Pareto
(ensemble de solutions optimales)
↳ **aide à la décision**
- Identification de solutions **meilleures**
que la solution actuelle et qui le restent



Diagrammes de pilotage à 0% LDC

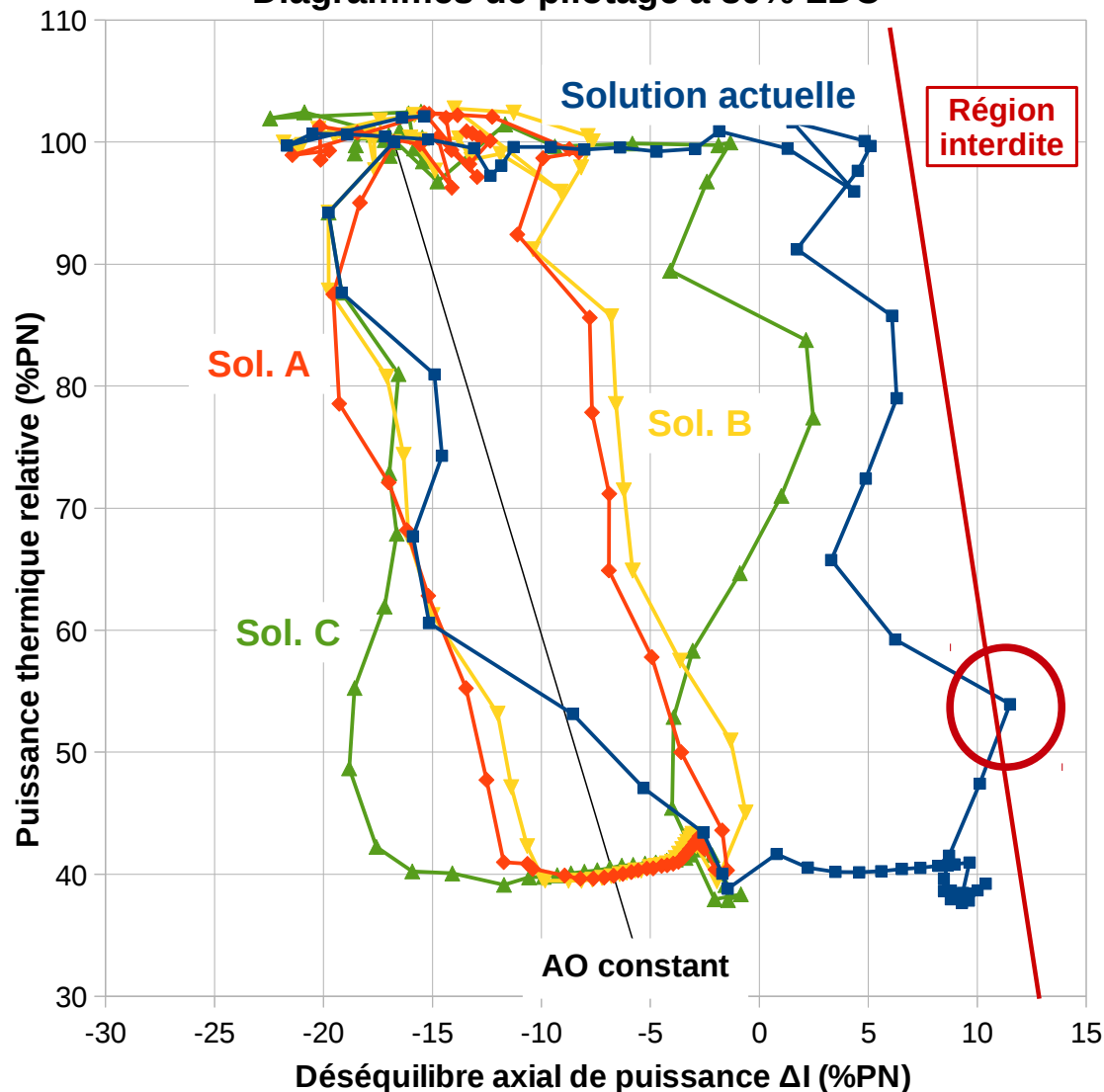


0 % LDC :

- Sol. A et B meilleures que la solution actuelle
- Sol. C comparable à la solution actuelle

Analyse physique des solutions obtenues

Diagrammes de pilotage à 80% LDC



0 % LDC :

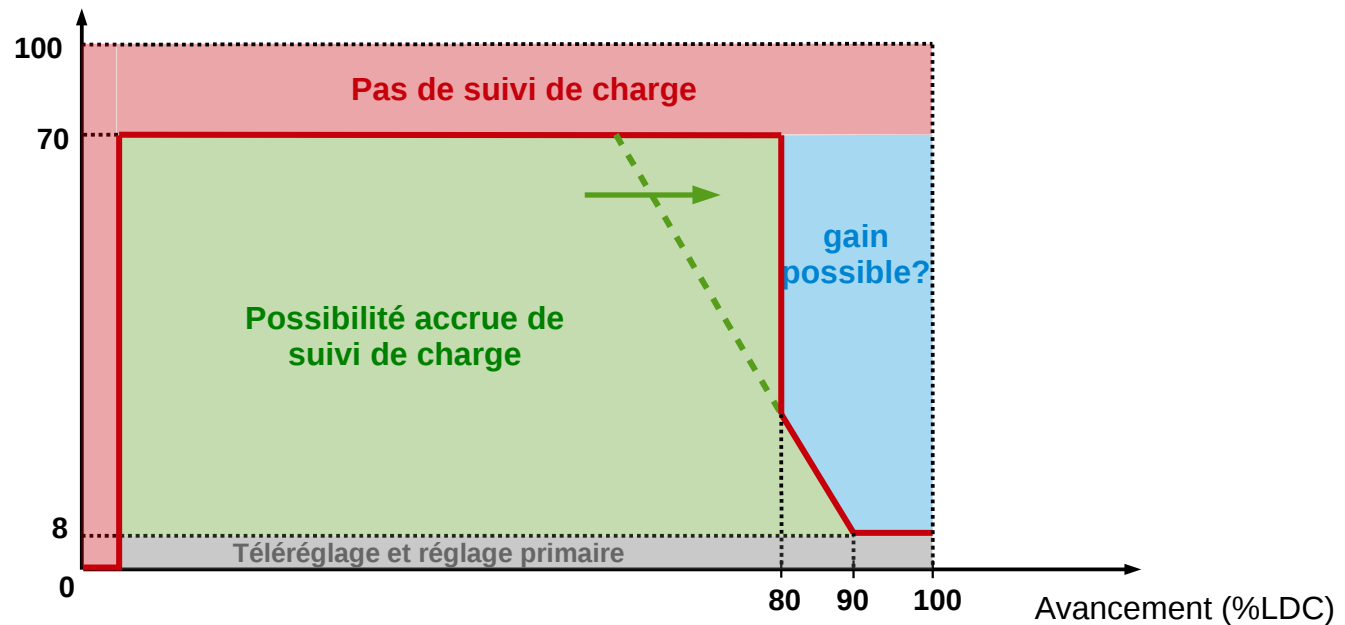
- Sol. A et B meilleures que la solution actuelle
- Sol. C comparable à la solution actuelle

80 % LDC :

- **Sortie du domaine autorisé** pour la solution actuelle
- Toutes sont meilleures que la solution actuelle
↳ **extension de la capacité de suivi de charge**

- L'algorithme utilisé est **performant pour le problème considéré**
- Des modifications mineures du mode de pilotage actuel permettent des **suivis de charge jusqu'à 80% LDC**

Amplitude de variation
de puissance (%PN)



- Modélisation :
 - **Enrichissement du modèle** (problématique IPG)

- Optimisation :
 - **Modèles de substitution** (réseaux de neurones, arbres de décision) pour accélérer la convergence des algorithmes
 - Autres **degrés de liberté** relatifs au contrôle des barres (nombre de groupes, ordre d'insertion, schéma d'implantation)
 - Autres **critères possibles** (oscillations xénon, critère IPG)

- Scénarios :
 - Simulation de l'introduction des EnR : **transitoires prospectifs ?**

- *A multi-physics PWR model for the load following*, M. Muniglia et. al. In the proceedings of ICAPP 2016
- *Design of an asynchronous parallel master/slave mono-objective $(1+\lambda)$ -EA applied to a nuclear reactor optimization*, M. Muniglia et. al. In the proceedings of GECCO 2017 (poster)
- *Design of a load following management for a PWR reactor using an optimization method*, M. Muniglia et. al. In the proceedings of M&C 2017
- *A fitness landscape view on the tuning of an asynchronous master-worker EA for nuclear reactor design*, M. Muniglia et. al. In the proceedings of EA 2017

Merci de votre attention