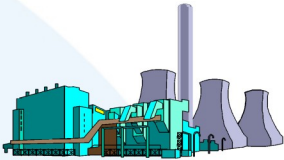


La gestion optimale de la
production électrique :

un exemple d'application
industrielle de l'algorithme
de point intérieur

S. Charousset, G. Vignal

Le portefeuille d'EDF



59 Tranches nucléaires

47 Tranches thermiques à flamme



48 Vallées, plus de 500 centrales hydrauliques

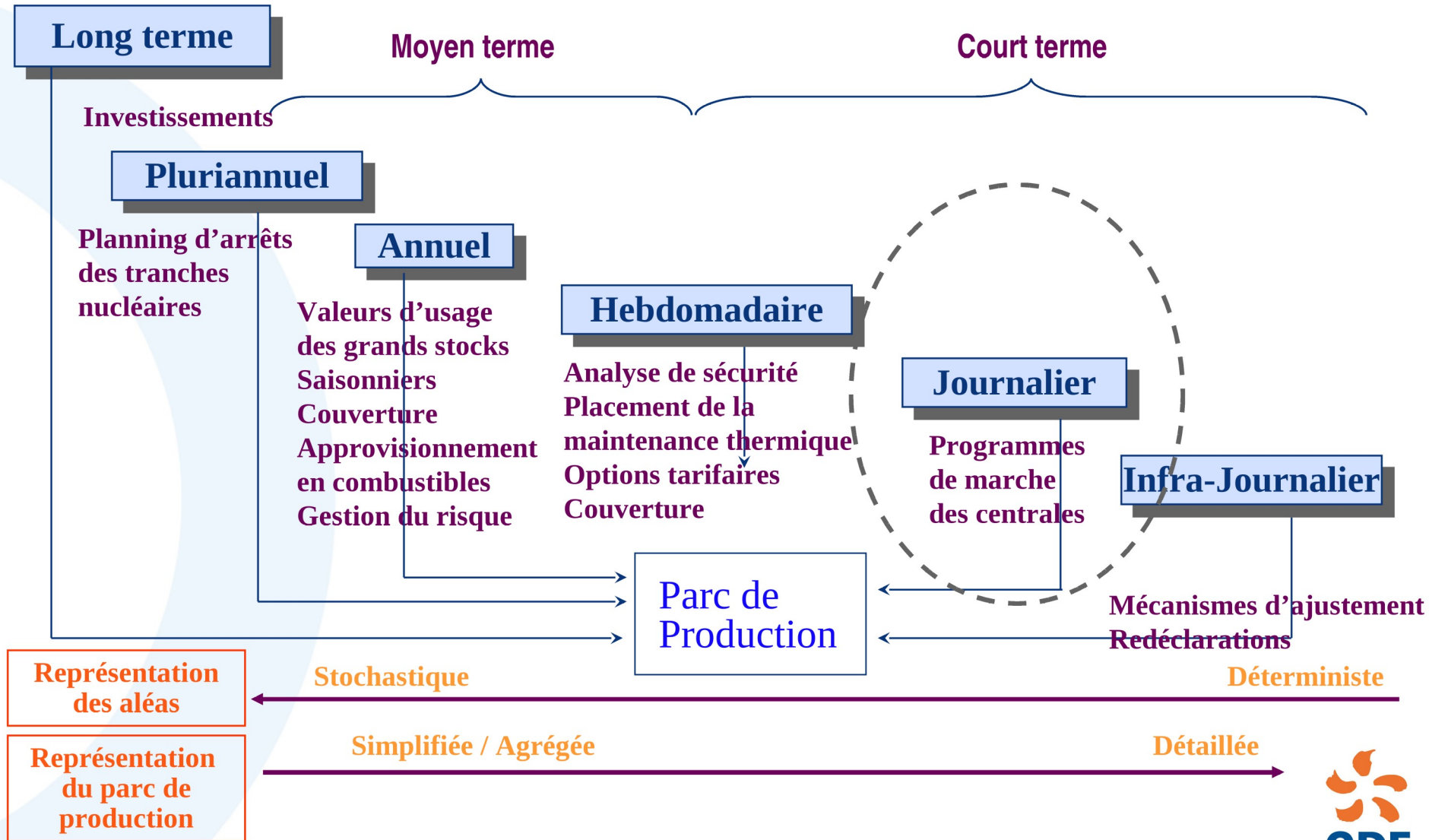
Obligations d'achats :
Cogénération & renouvelable

Effacements contractuels :
22 jours EJP, clauses négociées

Achats / ventes négociés
Autres producteurs

Achats / ventes marchés

Vue d'ensemble de la gestion de production à EDF





Les objectifs de la gestion journalière

- Construire les programmes de référence pour le lendemain
 - Programme d'appel
 - Offres pour le mécanisme d'ajustement
- De façon à satisfaire l'équilibre entre
 - La production
 - La demande des clients EDF + les échanges avec des acteurs externes
- Sur critère économique
 - Minimisation des coûts de production



Les caractéristiques du problème

- Un problème de grande taille (Horizon d'étude de 2 jours, pas de temps de 30 minutes => 96 pas de temps) :
 - Entre 200 000 et 300 000 variables
 - 500 000 contraintes à gérer dont certaines couplantes dans l'espace
- Un problème « mal posé » : non linéaire, non convexe, variables mixtes
- Des exigences très fortes à la fois sur l'optimalité (1% d'écart = plusieurs dizaines de ME /an) et la réalisabilité (tous les programmes doivent être réalisables)
- Un problème inséré dans un processus opérationnel très tendu

Formulation du problème

$$(P) \begin{cases} \text{Min} \sum_{i \in I} c_i(p_i) & \longrightarrow & \text{Minimisation du coût de production} \\ p_i \in D_i, \forall i \in I & \longrightarrow & \text{Contraintes de production (dynamiques)} \\ p^t \in S^t, \forall t = 1, 2, \dots, T & \longrightarrow & \text{Contraintes de demande et réserves} \end{cases}$$

I : ensemble des entités de production (thermiques et hydrauliques), marchés et options tarifaires (version 12 jours)

T : Nombre de pas de temps de la période d'étude

p_i^t : Production de l'entité $i \in I$ au pas de temps t

$p_i : (p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^T)$ vecteur de production pour la période d'étude

$p^t : (p_1^t, p_2^t, \dots, p_{|I|}^t)$ vecteur de production de toutes les unités à l'instant t

D_i : Contraintes locales de l'unité i

S^t : Contraintes couplantes (Consommation)

c_i : Coût de production de l'unité i sur toute la période d'étude

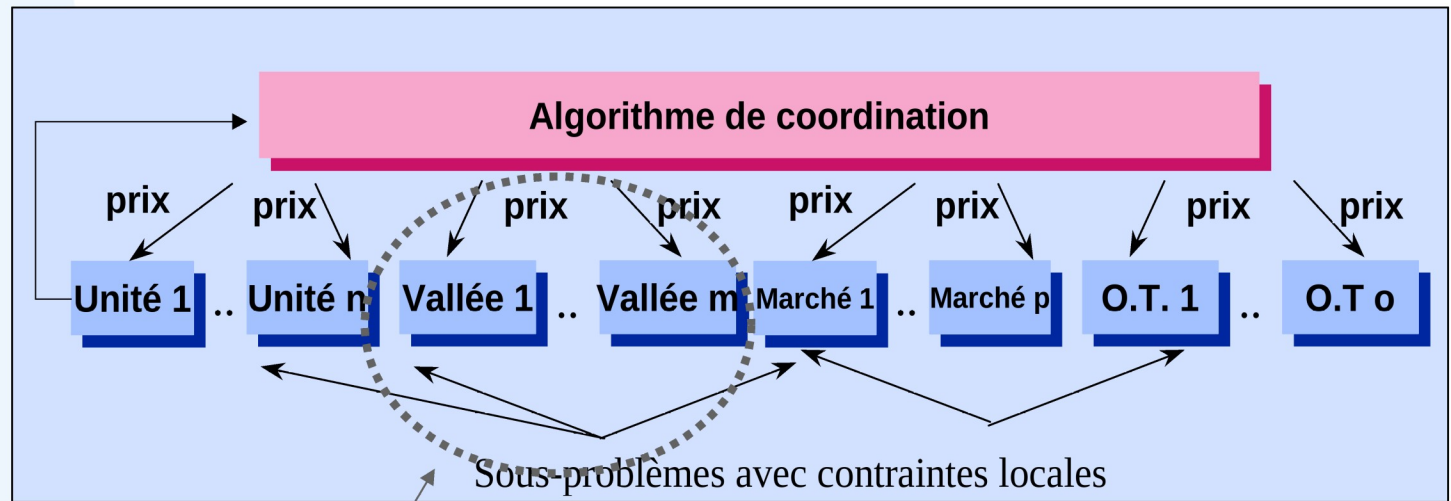


Schéma algorithmique général basé sur la relaxation lagrangienne (simple et augmenté)

Principe : la coordination envoie un jeu de prix, chaque unité minimise un bilan qui prend en compte ses propres coûts de production et la rémunération proposée

Algorithme itératif de **mise à jour des prix**

Programmes de production



Sous-problèmes hydrauliques résolus par point intérieur



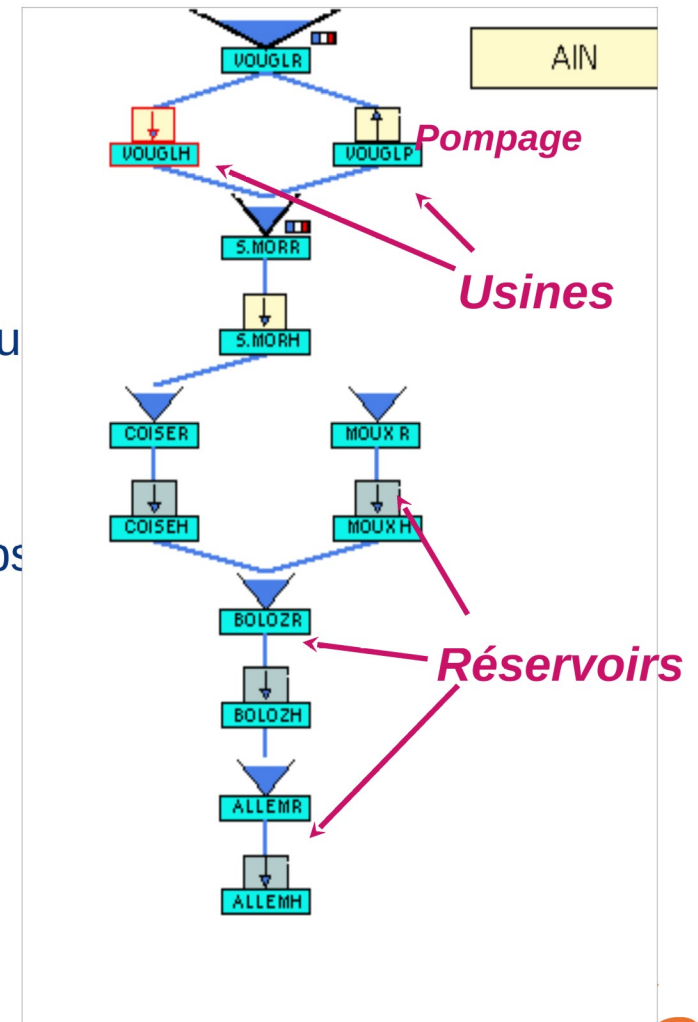


Une optimisation en deux étapes

- Première phase : Lagrangien simple (environ 500 itérations)
 - un minorant du coût de la solution
 - coûts marginaux
 - initialisation de la seconde phase
- Seconde phase : Lagrangien augmenté (environ 500 itérations)
 - plannings réalisables

Le sous-problème hydraulique

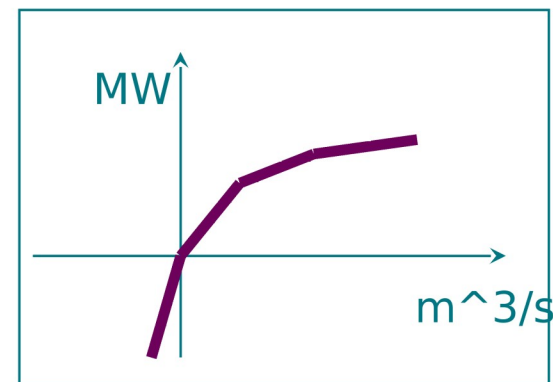
- Une vallée= un ensemble de réservoirs et usines interconnectés
- Contraintes de flots : l'eau turbinée par l'usine amont de retrouve dans le réservoir aval avec un délai de parcours
- Contraintes de bornes sur les débits et les volumes des réservoirs (variables dans le temps)
- Apports hydrauliques
- Gestion sur valeur de l'eau



Formulation du sous-problème hydraulique (1/2)

Avec une relaxation lagrangienne simple, la fonction objectif et les contraintes sont linéaires.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min} \sum_{r \in H} \omega_r (V_r^0 - V_r^T) - \sum_t \sum_u \lambda^t P_u^t \\ P_u^t = \sum_{g \in U} \rho_g^t D_g^t \\ V_r^t = V_r^{t-1} + \sum_{u \in \text{am}(r)} \sum_{g \in U} D_g^{t-\text{dam}(u,r)} - \sum_{u' \in \text{av}(r)} \sum_{g' \in U'} D_{g'}^{t+\text{dav}(r,g')} + \text{Apports}(t) \\ 0 \leq D_g^t \leq \bar{D}_g^t \\ \underline{V}_r^t \leq V_r^t \leq \bar{V}_r^t \end{array} \right.$$



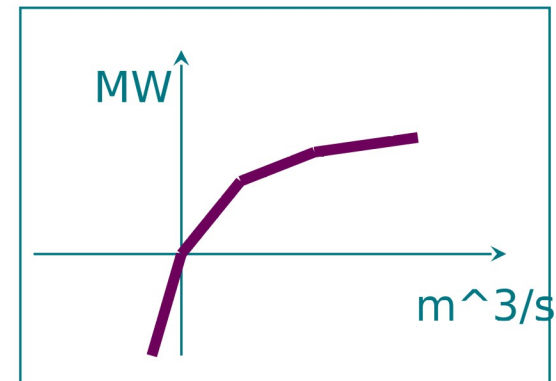
environ 1000 variables et 250
contraintes.



Formulation du sous-problème hydraulique (2/2)

Avec une relaxation lagrangienne augmentée, le fonction objectif est quadratique. Les contraintes restent linéaires.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } \sum_{r \in H} \omega_r (V_r^0 - V_r^T) - \sum_t \sum_u [(\lambda_{u,t}^k + c(P_{u,t}^k - P_{u,t}^S) - KP_{u,t}^k) P_{u,t} + \frac{K}{2} P_{u,t}^2] \\ P_u^t = \sum_{g \in U} \rho_g^t D_g^t \\ V_r^t = V_r^{t-1} + \sum_{u \in am(r)} \sum_{g \in U} D_g^{t-dam(u,r)} - \sum_{u' \in av(r)} \sum_{g' \in U'} D_{g'}^{t+dav(r,g')} + \text{Apports}(t) \\ 0 \leq D_g^t \leq \bar{D}_g^t \\ V_r^t \leq V_r^t \leq \bar{V}_r^t \end{array} \right.$$



environ 1000 variables et 250 contraintes.



Résolution du problème

- Utilisation d'un algorithme de point intérieur primal-dual avec prédicteur-correcteur (algorithme de Mehrotra)
 - ✓ Plus efficace et évolutif que l'ancienne méthode basée sur un gradient réduit
 - ✓ Robuste
 - ✓ Très rapide (moins de 1s)
 - ✓ Permet de traiter le cas quadratique
 - ✓ Permet d'envisager l'ajout de nouvelles contraintes de type additif
 - ✓ Permet d'implémenter des techniques de « hotstart »
- La factorisation matricielle est réalisée avec une méthode de Cholesky
- Quelques contraintes à respecter :
 - Il doit exister une solution admissible (point de départ)
 - Les contraintes de débit doivent être réalisables



Conclusion

Un algorithme de point intérieur mis en œuvre quotidiennement à EDF pour résoudre les sous-problèmes hydrauliques;

Des techniques de hot start implémentées pour réduire le temps calcul (seule la fonction objectif change d'une itération à l'autre);

Nombre maximal d'itérations de l'algorithme de point intérieur : 100;

Des variables d'écarts présentes (à coût prohibitif) pour limiter les cas de non-convergence.

Je vous remercie de votre attention

Sandrine.charousset@edf.fr