

Programme Gaspard Monge pour l'Optimisation et la recherche opérationnelle

Appel à Projets 2012



Sommaire / Summary

1. Introduction.....	3
1.1. Le sous-programme PRMO	3
1.2. Le sous-programme IROE	3
1.3. Animation du programme PGMO.....	4
1.4. Bourses de Master	4
2. Modalités de l'appel à projets.....	4
2.1. Agenda pour l'attribution des projets	4
2.2. Eléments de réponse à l'appel à projets.....	4
2.3. Physionomie des projets	4
2.4. Recommandations importantes	5
2.5. Contacts	6
3. Cadre scientifique de l'appel à projets.....	6
3.1. PRMO.....	6
3.2. IROE.....	6
3.2.1. Contexte : les grandes questions du Management d'énergie	6
3.2.2. Axes de recherche de l'appel à projets	7
Annexe 1 : Formulaire de soumission de projet	9
Annexe 2 : Cadre scientifique de l'IROE.....	10
1. Contexte : les grandes questions du Management d'énergie.....	10
1.1. Le contexte : gérer l'équilibre offre-demande	10
1.2. Les défis : gérer au mieux un portefeuille diversifié de très grande taille.....	11
2. Axes de recherche de l'appel à projets.....	12
2.1. Planification des arrêts du nucléaire.....	12
2.2. Calcul de stratégies	14
2.3. Calcul d'équilibres.....	14
2.4. Gestion des Risques et Incertitudes.....	15
2.5. Optimisation des programmes de marche des centrales	16
2.6. Optimisation combinatoire pour la production d'électricité	18
3. Références.....	19

1. Introduction

Le **Programme Gaspard Monge pour l'Optimisation et la recherche opérationnelle (PGMO)** a pour ambition de développer une communauté de recherche composée de scientifiques issus du monde universitaire et industriel, autour des thématiques de l'optimisation et de la recherche opérationnelle.

Le programme scientifique du PGMO comprend notamment les thématiques suivantes : modélisation, optimisation continue (convexe et non convexe, non différentiable...), optimisation de grands systèmes (méthodes de décomposition-coordination,...), optimisation combinatoire et recherche opérationnelle, optimisation dans l'incertain (stochastique, robuste, commande optimale stochastique...), optimisation globale (relaxation et approximation, programmation semi-algébrique, algorithmes stochastiques...) ainsi que les thèmes reliés : intelligence artificielle (apprentissage...), apprentissage statistique, gestion des risques, analyse et quantification des incertitudes...;

Aucune contrainte particulière de propriété intellectuelle ne s'applique aux travaux effectués dans le cadre du PGMO : les rapports, communications ou articles qui en sont issus seront publiés librement et les développements logiciels pourront être librement distribués à la communauté.

Le PGMO est organisé actuellement en deux sous-programmes (le premier plus généraliste et le deuxième plus spécialisé) :

- Les **Projets de Recherche Mathématique en Optimisation (PRMO)**
- L'**Initiative de Recherche « Optimisation et Energie » (IROE)**

1.1. Le sous-programme PRMO

Les projets de recherche mathématique en optimisation visent à soutenir les efforts de recherches dans le domaine de l'optimisation et de la recherche opérationnelle, à créer et animer une communauté scientifique dans ce domaine, tout en développant l'enseignement gradué dans ce domaine. Les projets s'inscriront dans le programme scientifique du PGMO (rappelé ci-dessus) dans un esprit de large ouverture scientifique. Seront particulièrement considérées les actions de recherche coopérative entre divers acteurs scientifiques et celles qui auront le souci des débouchés et des applications industrielles ou sociétales. Les projets sont ouverts à l'ensemble des chercheurs du monde académique sans exclusive de lieu ou de rattachement administratif.

1.2. Le sous-programme IROE

L'**Initiative de Recherche « Optimisation et Energie » (IROE)** traite de problématiques métier issues de l'Energie, principalement dans le domaine du management d'énergies. Sa vocation est de soutenir des actions collaboratives de recherche entre des équipes académiques et des chercheurs industriels pour lever des verrous scientifiques dans les domaines de l'optimisation utilisés dans le secteur de l'énergie.

Des groupes de travail seront proposés sur chaque thème, réunissant les équipes académiques engagées dans des projets et des ingénieurs-chercheurs issus de l'industrie, experts sur chaque thème. Deux groupes de travail, sur les thématiques de l'optimisation des dates d'arrêt pour les centrales thermiques et de l'optimisation des programmes de production court-terme ont déjà été lancés en mars et novembre 2011. D'autres groupes pourront être proposés dans le courant de l'année.

Des jeux de données réalistes seront mis à disposition pour la plupart des thèmes de l'appel à projets, et les équipes pourront s'appuyer sur les experts techniques EDF R&D dès le montage et pendant toute la durée des projets. Aucune contrainte particulière de propriété intellectuelle ne s'appliquera aux travaux effectués dans le cadre de l'IROE qui ont vocation à être publiés librement, mais un engagement de confidentialité concernant certaines données et connaissances métier d'EDF sera demandé.

Le sous-programme IROE est ouvert à l'ensemble des chercheurs du monde académique, sans exclusive de lieu ou de rattachement administratif.

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

1.3. Animation du programme PGMO

Le programme PGMO ayant pour vocation de fédérer une communauté d'excellence autour de l'optimisation et de la recherche opérationnelle, une animation permanente sera mise en place. Des groupes de travail seront constitués sur des thèmes précis.

Un séminaire mensuel sera organisé dans les locaux du PGMO sur le campus de Paris-Saclay. Ce séminaire donnera l'occasion aux chercheurs impliqués dans le programme de présenter l'avancée de leurs travaux et d'échanger avec les autres équipes. Ce séminaire sera ouvert à l'ensemble de la communauté de l'optimisation.

Quelques bureaux seront mis à la disposition des chercheurs impliqués dans le programme pour faciliter les travaux collaboratifs.

Des manifestations scientifiques (colloques, journées, cours spécialisés) seront soutenues.

Une réflexion sur l'enseignement et la formation doctorale en optimisation, en particulier dans le cadre du campus de Paris-Saclay, et plus généralement en région parisienne, sera mise en place. Des prix de thèse et de stage seront décernés annuellement aux meilleurs travaux effectués sur les thématiques du PGMO.

1.4. Bourses de Master

Des bourses de vie pour des étudiants de Master en optimisation seront créées par le PGMO. Un appel à candidatures aura lieu en même temps que celui pour les autres bourses de Master de la FMJH. Les titulaires de ces bourses seront encouragés à effectuer leurs stages dans le cadre du programme.

2. Modalités de l'appel à projets

La soumission de projets se fait par le formulaire disponible sur le site internet de la FMJH : <http://www.fondation-hadamard.fr/pgmo>. Les réponses pourront être en langue anglaise ou française. Ce formulaire est à envoyer par voie électronique à pgmo@fondation-hadamard.fr (prmo@fondation-hadamard.fr pour les projets concentrés sur PRMO, iroe@fondation-hadamard.fr pour les projets concentrés sur l'IROE) avant le 30 avril 2012.

2.1. Agenda pour l'attribution des projets

Une première évaluation des projets aura lieu par le Bureau du PGMO, en association avec son Conseil Scientifique. A l'issue de cette première évaluation, des recommandations de remaniement ou de regroupement de certains projets pourront être émises avant le 25 mai 2012.

La soumission finale des projets devra intervenir selon les mêmes modalités que ci-dessus (même formulaire à compléter et renvoyer) avant le 15 juin 2012.

Les projets retenus et leur financement seront arrêtés par le Comité de Pilotage du PGMO sur proposition du Conseil scientifique du PGMO début juillet 2012.

2.2. Eléments de réponse à l'appel à projets

Les projets pourront être d'une durée de un, deux ou trois ans. Les projets pluriannuels feront l'objet d'une évaluation annuelle qui pourra conduire à une révision du financement. Dans le cas des bourses de thèse, l'engagement vaudra pour les 3 années de la thèse.

Les réponses devront contenir les éléments décrits dans le formulaire de réponse en Annexe 1.

2.3. Physionomie des projets

Les projets doivent être construits autour de personnels de recherche financés par ailleurs (chercheur permanent, thésard, post-doctorant, autre cas...), de personnels recrutés spécifiquement (stagiaires de Master, étudiants en thèse et post-doctorants), ou de chercheurs invités. Etant donné les

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

différences de montants financés possibles, les projets sont classés en deux catégories selon leurs demandes.

Les projets de catégorie B, concernant le financement complet de bourses de thèse ou de contrats de post-doctorat, d'un nombre limité, seront attribués prioritairement à des équipes (ou regroupement d'équipes) présentes majoritairement sur le campus de Saclay. Les projets de catégorie A correspondront à la plus grande partie des projets financés et seront affectés sans considération de rattachement administratif ou géographique. On recommande aux équipes intéressées par les projets de catégorie B de proposer une voie alternative (basée sur un projet de catégorie A).

Catégorie A :

- **Bourse de stage de Master (pour 3 à 6 mois)**
- **Projets construits autour de personnels de recherche financés par ailleurs** (chercheur permanent, thésard, post-doctorant, autre cas...), par exemple:
 - Travaux de thèse, post-doctorat,... dont l'orientation correspond aux objectifs du PGMO. Le PGMO pourra financer des moyens complémentaires, qui peuvent inclure une prime de thèse correspondant à ce qui est proposé dans le cadre de l'activité de doctorant conseil ou de moniteur.
 - Travaux de recherche spécialisés pendant une durée déterminée sur des thématiques de l'IROE ou du PRMO, qui peuvent donner lieu à une aide financière ou à une gratification complémentaire pour des étudiants ou des post-doctorants.
- Frais de mission, matériel, invitations,...

Catégorie B :

- **Bourse de Thèse.** L'attention des proposant est attirée sur le fait que 2 bourses de thèse au maximum pourront être accordées chaque année, sur les thématiques de l'IROE exclusivement. La bourse de thèse pourra être accompagnée de moyens d'environnement (financement de missions, de moyens matériels...) dans la limite de 15 k€/an. Les proposant sont invités à réfléchir aux pistes alternatives de financement de la thèse et à les mentionner.
- **Contrat de Post-doctorat.** L'attention des proposant est attirée sur le fait que 2 ou 3 contrats de post-doctorat au maximum pourront être accordés chaque année. Le contrat de post-doctorat pourra être accompagné de moyens d'environnement (financement de missions, de moyens matériels...) dont une partie sera utilisable par le candidat, dans la limite de 5k€ par an. Les contrats de post-doctorat pourront être d'une durée de un an ou plus.
- **Chercheur invité.** L'attention des proposant est attirée sur le fait que seulement 6 mois de professeur invité pourront être accordés chaque année.

2.4. Recommandations importantes

Les proposant sont invités à prendre contact avec le bureau du PGMO (pgmo@fondation-hadamard.fr) qui pourra les aider à affiner leur projet lors de sa rédaction avant soumission.

Pour les projets soumis dans le cadre de IROE, il est conseillé de prendre contact avec le bureau de l'IROE (iroe@fondation-hadamard.fr) pour bénéficier dès la construction du projet de l'appui d'un expert technique EDF R&D.

Les proposant sont invités à réfléchir avant la soumission de leur projet aux possibles regroupements avec d'autres équipes travaillant sur des thématiques proches. Les projets fédérant plusieurs équipes de divers laboratoires sont encouragés afin de favoriser les échanges entre laboratoires sur des thématiques proches. Une participation importante de jeunes chercheurs est également souhaitée. Les aspects pluridisciplinaires sont particulièrement appréciés. Les projets fédérant plusieurs équipes sont placés sous l'égide d'un unique responsable.

Le programme s'inscrivant dans le cadre de la FMJH, elle même hébergée par la Fondation Campus de Saclay, il est souhaité que les projets contribuent à l'animation de la recherche sur le plateau de Saclay. Les moyens de catégorie B (bourses de thèse et contrats de post-doctorat) seront donc

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

attribués en priorité à des projets proposant une perspective d'animation de la recherche collaborative autour du campus de Paris-Saclay. Les autres types de projet pourront être basés partout en France.

Les équipes internationales sont également invitées à participer au programme. Néanmoins, elles devront s'associer avec au moins une équipe basée en France pour leur réponse à ce programme.

2.5. Contacts

Coordinateur du PGMO : Grégoire Allaire, gregoire.allaire@polytechnique.fr

Responsable de l'IROE : Sandrine Charousset, sandrine.charousset@edf.fr

3. Cadre scientifique de l'appel à projets

3.1. PRMO

Le cadre scientifique de l'appel à projets PRMO est généraliste et correspond au programme scientifique du PGMO décrit ci-dessus au début de la section 1.

Si les projets soumis au PRMO pourront porter sur n'importe quel thème de l'optimisation et de la recherche opérationnelle, ils devront néanmoins s'inscrire dans une au moins des catégories suivantes :

- projet de recherche porté par de jeunes chercheurs ou permettant d'attirer des étudiants ou de jeunes chercheurs vers l'optimisation,
- projet de recherche collaborative ou en réseau entre plusieurs équipes,
- projet pluridisciplinaire, notamment entre informatique et mathématiques,
- projet de recherche ayant des applications industrielles ou sociétales notables,
- projet de recherche explorant les interactions entre l'optimisation et d'autres domaines des mathématiques,
- projet d'enseignement en optimisation avec, par exemple, création de documents multi-media et d'outils logiciels pédagogiques adaptés.

En tout état de cause, la qualité scientifique sera un critère prédominant dans la sélection des projets.

3.2. IROE

Le cadre scientifique de l'IROE sera majoritairement consacré à la résolution des grands problèmes issus de la production et de la gestion d'énergies pour lesquels nous présentons ci-dessous le contexte et les grandes questions « métier » en découlant.

D'autres problématiques connexes pourront également être abordées.

3.2.1. Contexte : les grandes questions du Management d'énergie

Pour produire de l'électricité, on dispose d'un portefeuille d'actifs (l'offre, composée de centrales thermiques et hydrauliques, d'options tarifaires de type « effacements », de contrats d'échange avec d'autres producteurs et d'achats/ventes sur les marchés) afin de satisfaire la consommation des clients (la demande). L'électricité étant une énergie difficilement stockable, l'équilibre offre-demande instantané est un impératif pour éviter le risque de défaillance physique du système. La gestion de la production électrique a pour objet d'assurer cet équilibre au moindre coût.

De plus, de nombreux aléas (météo : température, apports hydrauliques, vent, ensoleillement,... indisponibilités des centrales, prix de marché...) impactent la gestion du parc de production.

L'objectif est de gérer le portefeuille d'actifs afin de minimiser les coûts et de prendre en compte les incertitudes et le risque.

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

Ce problème pris de façon globale n'est pas traitable, en l'état actuel des connaissances, en raison de sa très grande taille et de sa complexité mathématique. Il est donc décomposé en un ensemble de problèmes par horizons de temps :

- A l'horizon long terme (cinq à vingt ans), il s'agit de simuler l'évolution des prix des combustibles et de l'électricité, et de planifier les investissements en nouveaux moyens de production ;
- A l'horizon moyen terme (un à cinq ans), il s'agit de définir les plannings optimaux des arrêts pour rechargement du combustible des réacteurs nucléaires et des stratégies de gestion coordonnées pour l'ensemble des stocks ;
- A l'horizon court terme (quelques jours à quelques heures), il s'agit de planifier quotidiennement la production la veille pour le lendemain et d'ajuster en quasi-temps réel les plannings pour répondre à la demande réelle de la consommation électrique.

3.2.2. Axes de recherche de l'appel à projets

On explicite ci-dessous quelques-une des problématiques principales visées par l'IROE ; pour des détails techniques complémentaires on se reportera à l'annexe 2. Les projets soumis devront être en lien avec ces problèmes.

3.2.2.1. Planification des arrêts du nucléaire

La planification des arrêts des réacteurs nucléaires consiste à déterminer les dates d'arrêt, les quantités de combustible à recharger et les plannings de production de coût minimum de toutes les centrales pour satisfaire la demande. Les dates d'arrêt doivent satisfaire de nombreuses contraintes: bornes sur les niveaux de combustible résiduels au moment de chaque arrêt, espacements minimum ou recouvrements maximum entre arrêts, contraintes de ressources limitant le nombre d'arrêts se déroulant en parallèle...

La plupart des données (demande, disponibilité des centrales, durée des arrêts, prix de marchés...) ne sont pas connues avec certitude au moment de l'optimisation. Le planning prévisionnel est calculé sur cinq ans, et est ré-optimisé tous les mois pour tenir compte des aléas subis au fil du temps, et de la réactualisation des prévisions.

Ce très grand problème combinatoire stochastique a été proposé par EDF R&D comme sujet du challenge EURO/ROADEF 2010. Toutefois, la formulation du problème soumis n'incluait pas toute la difficulté du problème, en particulier les notions de robustesse et de stabilité des solutions.

3.2.2.2. Calcul de stratégies

L'objectif est de calculer une stratégie optimale de gestion de stocks au regard du critère économique considéré. Il s'agit de faire de la gestion dynamique d'un portefeuille composé d'actifs physiques constitués de réserves d'énergie, et d'actifs financiers constitués typiquement de contrats de couverture. La stratégie de gestion optimale est construite à partir de la résolution d'une équation de type programmation dynamique.

3.2.2.3. Calcul d'équilibres

L'objectif est la construction d'algorithmes et de schémas numériques pour le calcul d'équilibres économiques. Ces algorithmes peuvent être appliqués pour le calcul des stratégies d'offres des producteurs ainsi que pour calculer les stratégies d'investissement futurs.

3.2.2.4. Gestion des Risques

Certains problèmes de gestion de production à long, moyen ou court terme peuvent s'écrire sous la forme de minimisation d'une espérance de coût sous une contrainte en probabilité. Les problèmes métier visés sont principalement :

- l'optimisation de stratégies de gestion de stocks (hydraulique, émissions de polluants, effacements...) sous contraintes probabilistes de cotes ;
- l'optimisation sous contrainte (probabiliste) d'équilibre offre-demande ;

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- la minimisation de coûts d'investissements.

3.2.2.5. Optimisation journalière des programmes

Le problème consiste à calculer des programmes de marche pour toutes les centrales de manière à respecter l'équilibre offre demande à chaque instant, fournir une quantité suffisante de services systèmes (réserves) et satisfaire l'ensemble des contraintes opérationnelles, ceci à coût minimal.

Les problèmes qui en découlent sont :

- Le problème « traditionnel » journalier de « unit commitment » qui optimise demi-heure par demi-heure les programmes de chaque centrale la veille pour le lendemain, et sa variante incorporant des décisions de recours face aux aléas ;
- Le problème « infra-journalier » qui consiste à déterminer un programme réadapté aux aléas survenus en cours de journée, en ne changeant les programmes que pour quelques centrales ;

3.2.2.6. Optimisation combinatoire pour la production

- Réduire la combinatoire par apprentissage : l'idée est, pour les applications à forte combinatoire et pour lesquelles on dispose d'un corpus important de jeu de données et solutions associées, de modéliser des « règles métier » afin de réduire la combinatoire et de se diriger plus rapidement vers une bonne (ou la meilleure) solution, en utilisant par exemple des techniques d'apprentissage automatique ou supervisé, et d'analyse de données..
- Parallélisation et hybridation d'algorithmes d'optimisation

Annexe 1 : Formulaire de soumission de projet

Programme cible : IROE ou PRMO

Titre du projet :

Responsable du projet :

Nom :

Fonction :

Adresse :

Tel/Fax :

E-mail :

Durée du projet (de 1 à 3 ans) :

Participants du projet (liste des équipes et institutions de rattachement):

Fournir les Curriculum Vitae (max. 1 page) des membres de l'équipe (le cas échéant, lien vers les pages web des chercheurs participants). Pour chaque chercheur permanent, lister au plus 5 publications parmi les plus pertinentes par rapport au sujet proposé, avec si possible un lien vers un site où ces publications sont accessibles. Dans le cas où des candidats (stagiaires, thésards, post-doc) sont déjà identifiés, on demande de fournir leur CV.

Objectifs du projet (max 2 à 3 pages):

Préciser notamment :

- le contexte (travaux antérieurs) et les enjeux ; Si le projet est dans le cadre IROE, préciser les enjeux industriels et les replacer dans le contexte scientifique IROE ;
- l'originalité, les avancées espérées et les difficultés escomptées ;
- les éléments de faisabilité permettant de garantir l'atteinte des résultats escomptés.

Moyens demandés (par année) :

- Montant demandé :
- Affectation des fonds : thèse, stage, postdoc, accompagnement, missions, matériel, ...
- Dans le cas de demande de type « catégorie B », il est demandé également de proposer une alternative de type « catégorie A »

Moyens mis en œuvre :

Indiquer (par exemple sous forme d'un tableau) les acteurs scientifiques du projet, leur fonction et localisation.

Dans le cadre d'un projet IROE, préciser le correspondant EDF R&D.

Préciser l'équivalent temps-plein (ETP) des moyens humains : membres permanents, postdocs, thésards et stagiaires.

Réalisation du projet :

Recenser les tâches à accomplir et proposer un échéancier de réalisation décomposé en étapes, pour chaque étape préciser les livrables (logiciel, benchmarks, rapports techniques, publications, organisation de workshop ...)

Références bibliographiques :

Informations complémentaires (facultatif):

Annexe 2 : Cadre scientifique de l'IROE

Cette annexe a pour objectif de décrire en détail certains problèmes métier du management d'énergies, et de donner une idée des travaux déjà réalisés ou en cours sur ces problèmes, ainsi que des principales difficultés déjà rencontrées. Les pistes de recherche listées sont données à titre d'exemple. Les projets soumis pourront aborder d'autres problèmes que ceux listés ci-dessous ou envisager des méthodes de résolution différentes ou dans la continuité des travaux cités.

1. Contexte : les grandes questions du Management d'énergie

1.1. Le contexte : gérer l'équilibre offre-demande

Pour produire de l'électricité, on dispose d'un portefeuille d'actifs physiques et financiers hétérogène (l'offre) afin de satisfaire la consommation des clients, ayant chacun leurs caractéristiques de prix de fourniture et de consommation (la demande). L'électricité étant une énergie difficilement stockable, l'équilibre offre-demande instantané est un impératif pour éviter le risque de défaillance physique du système. La gestion de la production électrique a pour objet d'assurer cet équilibre au moindre coût.

1.1.1. Un système soumis à de multiples aléas

De nombreux aléas impactent de manière significative la gestion d'un parc de production tant du point de vue de la sûreté du système que du point de vue économique. Ces aléas sont essentiellement le climat (la température –qui influe fortement sur la demande en électricité–, les apports hydrauliques, le vent, la nébulosité, l'ensoleillement), les indisponibilités des centrales, les prix sur les marchés de l'énergie, les productions renouvelables (éolien et photovoltaïque), ... Ces aléas sont de plus fortement corrélés entre eux.

1.1.2. Un parc de production diversifié

L'offre physique est la production du portefeuille d'actifs physiques :

- **Le parc thermique**, composé de centrales nucléaires et de centrales thermiques classiques : charbon, fioul, turbines à gaz, CCG. Chaque centrale est soumise à un ensemble de contraintes (plages de production, durées minimales d'arrêt ou de marche, courbes de démarrage, stock de combustible éventuellement commun à plusieurs centrales...) et est caractérisée par une structure de coûts complexes (coûts fixes ou dépendant de la quantité de combustible, coûts de démarrage...);
- **Le parc hydraulique**, composé d'usines hydrauliques réparties en vallées. Les éléments à considérer sont des durées de parcours de l'eau, des contraintes sur les réservoirs (stocks min/max, valeurs de l'eau) et sur les usines (limitations de puissance ou turbiné, points de fonctionnement discrets...).

1.1.3. Des contrats

Cette offre physique est complétée par :

- Des « options tarifaires » ou « effacements », ie. la possibilité d'inciter un client à ne pas (ou moins) consommer pendant un laps de temps donné en échange d'un tarif avantageux hors période d'effacement ;
- Des contrats d'échange auprès d'autres producteurs ;
- Les marchés de l'électricité et des combustibles (marchés spot et à terme sur lesquels de nombreux produits sont disponibles, marchés d'options...)

1.1.4. Des contraintes environnementales

L'ensemble des dispositions et directives initiées par l'Union Européenne, visant à favoriser une démarche générale de lutte contre le changement climatique et de protection de l'environnement a un fort impact sur la gestion de l'équilibre offre-demande des producteurs d'énergies :

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- maîtrise des émissions de gaz à effet de serre : gestion de stocks d'émission de polluants ;
- prise en compte de l'augmentation du parc de production « ENR » (éolien, photovoltaïque...), induisant un fort aléa.

1.2. Les défis : gérer au mieux un portefeuille diversifié de très grande taille

L'objectif est donc de gérer le portefeuille (parc de production et contrats) dans un objectif de minimisation des coûts et de prise en compte des incertitudes.

Ce problème, pris de façon globale, n'est pas traitable, en l'état actuel des connaissances, en raison de sa très grande taille et de sa complexité mathématique. Il est donc décomposé en un ensemble de problèmes par horizons de temps selon le principe suivant : aux horizons de temps les plus lointains, les aléas les plus importants (aléas météo, aléas sur le fonctionnement des centrales, aléas de marché...) sont représentés de façon très fine (en pratique sous forme de processus aléatoires ou d'un très grand nombre de scénarios), alors que les moyens de production sont décrits sommairement, et inversement aux horizons de temps proches (les moyens de production sont décrits très précisément, avec toutes leurs contraintes de fonctionnement). Chaque horizon fournit un ensemble d'indicateurs aux horizons plus courts, de façon à leur donner une certaine vision du futur et à garder une cohérence d'ensemble.

A chaque horizon de temps, les problèmes restent toutefois de très grande taille, d'où une problématique particulière liée au temps de calcul, le processus opérationnel étant soumis à de fortes contraintes de planning.

1.2.1. La gestion à Long Terme du portefeuille

A l'horizon long terme (cinq à vingt ans), il s'agit de :

- **simuler l'évolution des prix des combustibles et de l'électricité**, ce qui repose sur le calcul des fondamentaux sous-jacents, i.e., une modélisation de l'équilibre production-consommation sur un ensemble de zones géographiques interconnectées ;
- **planifier les investissements en nouveaux moyens de production**, ce qui repose toujours sur une minimisation du coût d'équilibre offre-demande, tout en déterminant la répartition optimale des technologies afin de subvenir aux différents besoins en base et en pointe et en assurant une certaine robustesse aux aléas (aléas physiques, économiques et réglementaires).

1.2.2. La gestion à Moyen Terme de la production

A l'horizon moyen terme (un à cinq ans), il s'agit de :

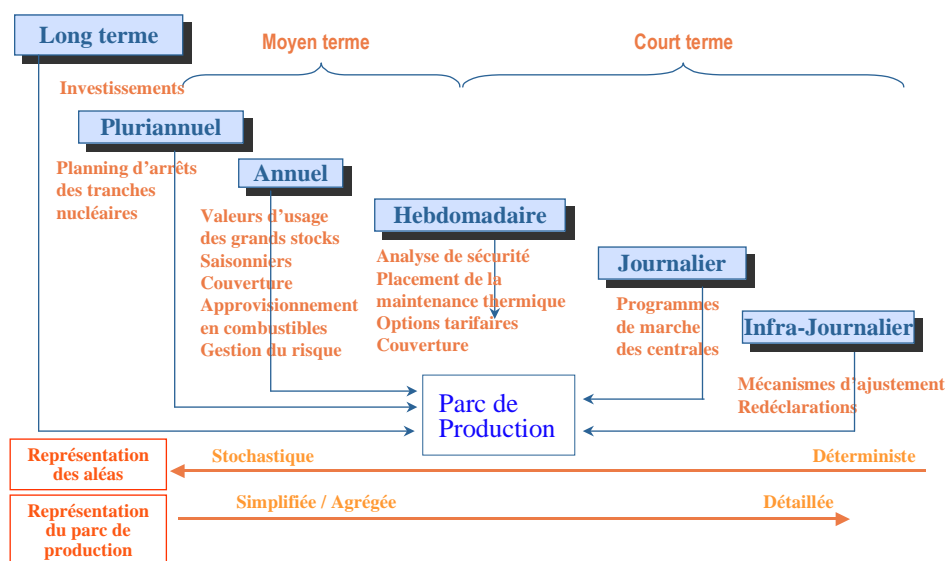
- **définir les plannings optimaux des arrêts pour rechargement du combustible des réacteurs nucléaires**, de façon à minimiser les coûts de production, tout en satisfaisant un grand nombre de contraintes relatives à la production et à la dynamique des tranches ainsi qu'aux dates d'arrêts elles-mêmes (dates au plus tôt/tard, espacements/recouvrements minimum/maximum entre arrêts...), le tout en univers aléatoire ;
- **Définir des stratégies de gestion coordonnées pour un ensemble de stocks (lacs, stocks de combustibles, stocks d'effacements, stocks d'émission de polluants) :** l'objectif est de calculer des stratégies optimales adaptatives à l'aléa (feedback, boucle fermée, modèle "multi-stage" avec recours, ...). Une des principales problématiques relève de l'optimisation conjointe de l'ensemble des stocks. Actuellement, des difficultés apparaissent au-delà de trois stocks en raison des limites des techniques utilisées (programmation dynamique). De plus, la dynamique des aléas n'étant généralement pas connue explicitement (à l'instar des dynamiques des variables de décision), la prise en compte de ces données dans l'état du système soulève de nombreuses questions, comme celle de l'identification des dynamiques cachées.

1.2.3. La gestion à Court Terme de la production

A l'horizon court terme (quelques jours à quelques heures), il s'agit de planifier quotidiennement la production la veille pour le lendemain et d'ajuster en quasi-temps réel les plannings pour répondre à la demande réelle de la consommation électrique. Les principales problématiques sont :

- **Construire des plannings de production pour le lendemain**, à coût minimum, respectant l'ensemble des contraintes sur les groupes de production, et satisfaisant la contrainte de demande (en puissance et réserves), en avenir aléatoire avec possibilité de recours ;
- **Optimiser les redéclarations à l'Infra-Journalier** : le producteur doit, en infra-journalier, redéclarer un certain nombre de programmes de centrales (nombre limité) afin de réduire en temps réel les écarts production-consommation dus à certains aléas (demande, disponibilité).

La hiérarchisation des décisions prises est représentée dans le graphique ci-dessous :



2. Axes de recherche de l'appel à projets

2.1. Planification des arrêts du nucléaire

L'arrêt d'un réacteur nucléaire peut conduire à lui substituer d'autres types de centrales dont le coût de production est plus élevé. La planification des arrêts des réacteurs nucléaires est ainsi un problème majeur de la chaîne d'optimisation de la production. Il consiste à déterminer les dates d'arrêts, les quantités de combustible à recharger et un planning de production de coût minimum de toutes les centrales, pour satisfaire la demande. Les dates d'arrêt doivent satisfaire de nombreuses contraintes : bornes sur la quantité de combustible restant au moment de l'arrêt, espacements minimum ou recouvrements maximum entre arrêts, contraintes de ressources limitant le nombre d'arrêts se déroulant en parallèle...

Compte tenu de l'horizon pluriannuel de planification, la plupart des données ne sont pas connues avec certitude au moment de l'optimisation. C'est le cas de la demande à satisfaire à chaque instant, de la disponibilité des unités de production, de la durée des opérations de maintenance pendant les arrêts des réacteurs, des prix et des capacités d'échange sur les marchés de l'électricité. Le planning prévisionnel est calculé sur cinq ans, et est ré-optimisé tous les mois pour tenir compte des aléas subis au fil du temps, et de la réactualisation des prévisions.

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

Ce très grand problème d'optimisation combinatoire stochastique a été proposé comme sujet du challenge EURO/ROADEF 2010 [ROAD2010]. Les solutions proposées par les meilleures équipes se sont révélées très performantes. Ces travaux, approfondis lors d'un workshop mené en mars 2011, ont montré qu'il est possible de trouver en 1 heure de « bonnes » solutions au problème. Les principales conclusions concernant les méthodes sont d'une part qu'il paraît difficile de résoudre le problème sans le décomposer (la plupart des méthodes performantes le font) et d'autre part que la Recherche Locale (amélioration progressive de la solution par exploration de voisinages de la solution courante) permet d'obtenir rapidement de bonnes solutions, mais sans garantie de distance à l'optimum.

Toutefois, la formulation du problème soumis au challenge n'incluait pas toute la difficulté du problème, en particulier les notions de robustesse et de stabilité des solutions. L'objectif de recherche actuel est donc d'étendre la formulation [ROAD2010] selon les axes suivants:

- **Affiner la modélisation des unités de production :**
 - **Mieux modéliser la modulation :** baisser la production d'un réacteur (éventuellement l'arrêter complètement), permet d'allonger la longueur de son cycle de production (en économisant du combustible). L'écart à l'énergie produite à puissance maximale est appelé la modulation. Ce levier d'optimisation –la modulation- est soumis à un certain nombre de contraintes : durée minimale d'arrêt pour modulation, durée maximale de fonctionnement au minimum technique, nombre maximal de baisses de production par jour... L'ensemble de ces contraintes était, dans [ROAD2010], agrégé en une contrainte de borne maximale sur la modulation par cycle de production. Les contraintes détaillées sont en cours de modélisation : par exemple, comme dans [DBS2011], la description compacte du polytope "min up-min down" avec coûts de démarrage telle que définie par [RT2005] permet de les modéliser.
 - **Intégrer les contraintes de réserves :** à chaque instant on doit répartir une bande de production disponible, nécessaire pour assurer l'équilibre du réseau (cf [DBS2011]). Cela peut influencer l'optimisation des arrêts et des recharges par le biais des décisions de modulation.
 - **Prendre en compte le reste du parc :** dans [ROAD2010], seul le parc thermique est pris en compte ; on souhaite optimiser les plannings d'arrêts en tenant également compte des autres stocks d'énergie (usines hydrauliques...), afin d'analyser l'impact de la gestion conjointe de ces stocks sur les plannings d'arrêts des réacteurs.
- **Mieux modéliser les aléas.**
 - Une première faiblesse du modèle [ROAD2010] est son caractère anticipatif : deux scénarios identiques sur les premiers pas de temps peuvent aboutir à des décisions de production différentes, alors que la différence entre les scénarios n'est pas encore apparue.
 - Une seconde faiblesse du modèle [ROAD2010] est que des aléas influençant la faisabilité du planning ne sont pas considérés : par exemple la durée des arrêts est aléatoire, en raison de prolongations fortuites dues à des retards de maintenance. Pour ces derniers aléas, on recherchera une robustesse des plannings d'arrêts, garantissant la faisabilité pour toute réalisation d'un aléa dans un domaine d'incertitude considéré. La garantie de robustesse n'est pas souhaitable pour les plannings de production, car ils seront réoptimisés à l'horizon journalier. Cela conduit à une modélisation robuste avec recours, similairement à [ThSBS2011] et [ThRA2007].
- **Prendre en compte la réoptimisation des plannings.** Dans le processus opérationnel, le planning des arrêts est réoptimisé tous les mois sur un horizon glissant pluriannuel. Le planning courant sert de référence pour contractualiser des opérations de maintenance. De ce fait, le planning réoptimisé doit rester stable, i.e. suffisamment proche du planning initial, et ce particulièrement pour les dates d'arrêt situées au début de la période d'étude. Un coût de désorganisation lié au déplacement d'un arrêt peut par exemple être ajouté. Ce terme supplémentaire ne permettra cependant pas d'assurer la stabilité compte tenu des modifications des données d'une part et de l'utilisation d'un horizon glissant d'autre part. Une possibilité est d'introduire un terme de pénalité sur l'écart de planning. Une alternative

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

intéressante serait de prévoir des recours sur les dates d'arrêt, ce qui conduit à un problème robuste avec recours.

Une des approches de résolution envisagées pour la résolution est de combiner des méthodes de programmation mathématique de type génération de coupes et de colonnes, avec des métaheuristiques, en tirant profit des possibilités du calcul parallèle, dans le cadre d'une thèse démarrée en juin 2011.

Malgré les évolutions de modélisation, les travaux de recherche pourront toujours s'appuyer sur les jeux de données utilisés lors du challenge ROADEF [ROAD2010], moyennant quelques adaptations.

2.2. Calcul de stratégies

L'objectif est de calculer une stratégie optimale de gestion de stocks au regard du critère économique considéré. Il s'agit de faire de la gestion dynamique d'un portefeuille composé d'actifs physiques constitués de réserves d'énergie, et d'actifs financiers constitués de contrats de couverture. La stratégie de gestion optimale est construite à partir de la résolution d'une équation de type programmation dynamique.

Pour la structure classique consistant à coordonner plusieurs stocks couplés par une contrainte d'équilibre offre demande, quelques solutions existent. Pour des structures plus complexes, en cascade par exemple lorsqu'il s'agit de coordonner toutes les réserves d'une vallée hydraulique, des méthodes efficaces restent encore à définir. Voir [ThGE2008], [ThAL2008], [ThKB2004], [ThAD2006], [CCD2009], [PDG2011], [VP2011], [RS2011].

Une approche numérique développée à EDF dans le cadre de [ThPG2010] propose une résolution numérique de ce type de problème en combinant des méthodes de décomposition avec une méthode de programmation dynamique (voir aussi [BCG2010]).

Des jeux de données ainsi qu'une structure informatique permettant de tester différentes méthodologies sur des problèmes type seront mis à disposition.

2.3. Calcul d'équilibres

L'objectif est la construction d'algorithmes et de schémas numériques pour le calcul d'équilibres économiques. Ces algorithmes peuvent être appliqués pour le calcul des stratégies d'offres des producteurs ainsi que pour calculer les stratégies d'investissement futurs.

2.3.1. Formalisation et détermination des offres d'un producteur : problème d'équilibre de Nash avec jeu de Stackelberg

L'électricité se stockant difficilement, la production doit correspondre à tout instant à la demande. Toutefois, cette dernière n'est jamais parfaitement connue. Chaque producteur doit proposer un programme journalier de production correspondant à une estimation de la demande de ses clients. Le gestionnaire de réseau et de transport (GRT) doit assurer l'équilibre entre la demande et la production globale de sa zone de responsabilité au travers d'un mécanisme d'ajustement. Ce mécanisme prévoit que chaque producteur doit en plus de son programme offrir toute sa production disponible, appelée aussi marge de production. Les offres correspondent chacune à un volume de puissance (un niveau de puissance pendant une certaine période) associé à un prix. Le gestionnaire de réseau doit assurer l'équilibre entre l'offre et la demande en activant ces offres suivant la présence économique, hors contraintes de congestion réseau.

Le problème vu du GRT, est de déterminer la répartition de la puissance appelée sur chaque producteur, sachant que les offres de chaque producteur sont supposées connues. Le problème vu du producteur est de déterminer les paramètres de son offre, compte tenu de ses coûts de production et d'une connaissance partielle de la puissance demandée par le GRT et de l'offre des autres producteurs.

D'un point de vue formalisation, ce problème peut être vu comme une généralisation du problème d'équilibre de Nash et un modèle de jeu de Stackelberg, où plusieurs « leaders » et « followers » peuvent intervenir. Le jeu « multi-leader-follower game » qui en découle est particulièrement étudié pour les marchés de l'électricité. Il correspond à la situation où aucun acteur ne peut améliorer ses gains en changeant sa stratégie unilatéralement. Un certain nombre de difficultés apparaissent

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

comme la perte de convexité et le non respect de conditions de qualification de contraintes. Différentes classes de ce problème ont été étudiés dans la littérature, en particulier en se ramenant à des problèmes d'équilibre de Nash ordinaires et à des inégalités variationnelles (cf. [MF2011], [ACM2011], [CCM2011]).

C'est principalement le problème vu du GRT qui est considéré dans l'état de l'art, même si dans le jeu les 2 problèmes sont représentés. L'objectif de recherche est donc de considérer le problème « vu d'un producteur ».

2.3.2. Equilibres pour les problèmes d'investissements

La question des investissements vise à déterminer les technologies dans lesquelles on devra investir dans le futur afin de répondre à la demande énergétique. De par la nature des investissements en question (construction d'une usine, modification du réseau,...), il est nécessaire d'anticiper suffisamment les choix à effectuer. Autrement dit il est nécessaire de prendre en compte toutes les données utiles au bon dimensionnement du parc de production à l'horizon 15-20 ans telles que : l'évolution du prix des fondamentaux (prix des combustibles...), l'évolution de la demande énergétique, voire des hypothèses liées à la politique énergétique, en Europe.

Le modèle mathématique associé à ces questions est celui d'un problème d'équilibre économique à l'échelle de l'Europe, chaque pays ayant pour enjeu de minimiser ses coûts, tout en participant à l'équilibre énergétique. Les variables duales associées seront alors autant d'indicateurs de prix de l'énergie électrique.

La minimisation des coûts dans chaque pays relève notamment de la programmation dynamique stochastique, d'où un lien fort avec la problématique de gestion de stocks interconnectés.

On pourra se référer à [ThIA2012], [ABGM2011] pour plus de détail et une description de travaux déjà réalisés sur ce sujet.

2.4. Gestion des Risques et Incertitudes

Certains problèmes de gestion de production à long, moyen ou court terme peuvent s'écrire sous la forme de minimisation d'une espérance de coût sous une contrainte en probabilité :

- **Optimisation de stratégies de gestion de stocks (hydraulique, émissions de polluants, effacements...) sous contraintes probabilistes de cotes** : Ces contraintes peuvent être gérées soit en formalisant un problème d'optimisation sous contrainte en probabilités, soit en introduisant des jalons dans les problèmes d'optimisation, ie « points de passage » obligatoires dans les trajectoires permettant d'éviter la violation de la contrainte en probabilité, cette dernière technique pouvant s'apparenter à une approche robuste, la difficulté étant reportée sur le calcul des « jalons ».
- **Optimisation sous contrainte (probabiliste) d'équilibre offre-demande**. Cette contrainte n'est classiquement pas abordée sous sa forme probabiliste, mais par des heuristiques. Cependant les progrès théoriques récents réalisés dans ce domaine doivent permettre de la traiter de façon plus directe et probablement plus efficace.
- **Minimisation de coûts d'investissements** en vue d'atteindre un mix énergétique cible (i.e. avec une proportion d'ENR et d'énergie fossile cible) sous contrainte d'équilibre offre-demande probabilisée. Une première étude visant à tester et comparer une approche par dualisation et l'approche par cible stochastique, sur un cas simplifié, est en cours.

Les principales approches proposées pour adresser ce type de problème consistent à :

- résoudre le problème lorsque c'est possible dans le cadre de la programmation convexe (de façon exacte dans le cas gaussien ou de façon approchée en général) ;
- dualiser la contrainte ;
- transformer le problème en la maximisation d'une utilité espérée (ce qui revient à une dualisation) ;
- résoudre un problème de cible stochastique par programmation dynamique avec une variable d'état supplémentaire représentant le niveau de risque.

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

Le problème de contrôle avec contrainte en probabilité (ou plus généralement contrainte de risque) est un problème générique d'optimisation sur lequel d'importants progrès théoriques ont été effectués ces dernières années, tant pour les problèmes en « boucle ouverte » [ThLA2004], [VAHMZ2010] et [VAHMZ2011] que pour les problèmes en « boucle fermée », dans le domaine du temps continu [BET2010] ou du temps discret [CCC2011].

Les principales approches qui ont été abordées sont :

- **La programmation convexe**, appliquée à des problèmes en boucle ouverte avec certaines propriétés (e.g., cadre gaussien, aléas liées à travers des copules, ...). Une méthode de résolution exacte a été proposée dans [VAHMZ2010] en utilisant la méthode des plans sécants et testée numériquement sur un problème linéaire. Une approche basée sur une méthode des faisceaux appliquée à une fonction auxiliaire appelée « improvement function », plus performante numériquement, a été proposée récemment dans [VAHS2012]. Enfin, dans [ZVA2011], une méthode approchée consistant à borner les contraintes en probabilités par des inégalités de grande déviation permet de traiter le cas d'aléas indépendants avec des lois non gaussiennes à domaines bornés.
- **La dualisation de la contrainte par méthode Lagrangienne**, puis minimisation dans le dual (par exemple par l'algorithme d'Uzawa). Cette approche pose le problème de l'existence éventuelle d'un saut de dualité. Dans la thèse [A2012], débutée en 2010, elle est appliquée pour la prise en compte de contraintes probabilistes de cotes sur des réserves hydrauliques. Cette approche a donné lieu à des résultats numériques encourageants sur un cas simplifié.
- **L'ajout d'une variable d'état** représentant le niveau de risque autorisé et la résolution du problème de cible stochastique résultant par programmation dynamique. Cette approche a été proposée dans des contextes différents et indépendamment dans [BET2010] et [CCC2011]. Elle n'a pas encore donné lieu à de véritables tests numériques.
- **Les fonctions d'utilité**. La contrainte de risque est intégrée dans une fonction de coût modifiée prenant en compte une « aversion au risque ». La difficulté principale est de relier le choix de la fonction d'utilité et de ses paramètres au type et niveau de contrainte de risque considérés dans le problème initial. Le lien entre des mesures de risque usuelles et certaines familles de fonctions d'utilité paramétrées a été établi dans [ThBS2008], mais n'a pas pu être réellement exploité car il conduit à un problème d'optimisation où la contrainte de risque est dualisée et remplacée par un infimum sur les utilités espérées.

2.5. Optimisation des programmes de marche des centrales

Le problème de « Unit Commitment » consiste à trouver des programmes de fonctionnement à coût minimum pour l'ensemble des centrales en :

- Fournissant suffisamment de services systèmes ;
- Assurant l'équilibre offre-demande à chaque instant ;
- Satisfaisant les contraintes opérationnelles.

Les difficultés principales de ce problème proviennent de :

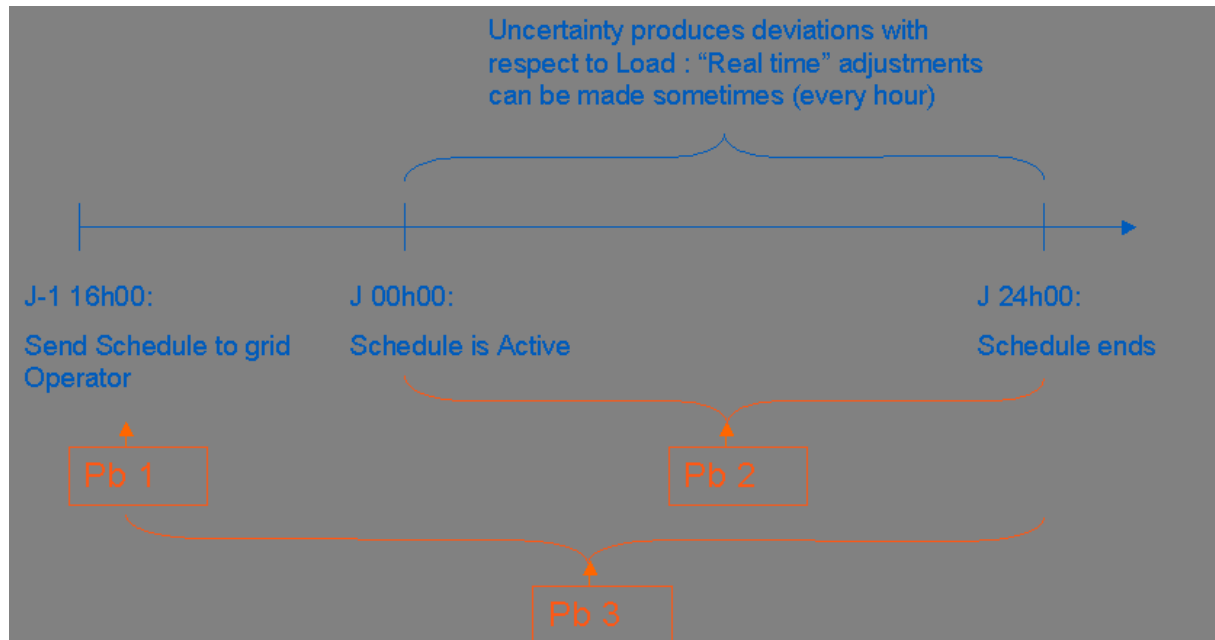
- Sa grande taille ;
- La présence de contraintes couplantes ;
- La présence de contraintes opérationnelles de types très divers, induisant des fortes non-convexités et des éléments combinatoires ;
- En raison de contraintes pesant sur le processus opérationnel, le temps de calcul doit être très faible eu égard à la taille du problème.

Trois sous-problèmes peuvent être formalisés :

- **[TUC] : Le problème «traditionnel» de « Unit-Commitment »** dont l'objectif est de déterminer le programme de production optimal en minimisant les coûts (coûts de production et de démarrage), et en satisfaisant exactement l'ensemble des « demandes » (consommation, capacité de réserve et services systèmes). Les contraintes opérationnelles concernent les centrales thermiques et hydrauliques. La résolution de ce problème déterminera un planning de référence la veille pour le lendemain. Le problème est abordé en déterministe.

- **[IUC] : Le problème “infra-journalier”** est une variante du problème ci-dessus. L’objectif est de déterminer un programme de production qui s’écarte « peu » du programme de référence en s’adaptant à la survenue d’aléas. La contrainte d’écartement minimum consiste à ne modifier les programmes que pour un nombre limité de centrales (ou groupes de centrales). Ce problème doit être résolu à chaque heure de la journée.
- **[RRUC] : Le problème de recours.** Une fois le programme de référence déterminé, des décisions de recours peuvent être prises. Ces recours risquent d’être coûteux. Des prévisions de réalisation des aléas étant parfois disponibles, il s’agira d’adapter le calcul du programme de référence de manière à minimiser le coût des décisions de recours.

Le graphe ci-dessous montre les liens entre les trois sous-problèmes :



Ce problème étant connu de longue date, des travaux de recherche ont déjà été réalisés, en particulier sur le [TUC]. La solution actuelle est une combinaison de dualisation lagrangienne, de décomposition par les prix et d’algorithmes de faisceaux (Voir [LS1994]), permettant d’obtenir un premier programme qui sera ensuite adapté à l’aide d’une technique de lagrangien augmenté combinée avec l’utilisation du principe du problème auxiliaire pour obtenir le programme de référence. Voir [CZ1984], [BR1992], [MS1983], [DGL2005].

Cependant, le souhait de modéliser de plus en plus finement les contraintes opérationnelles rend ce problème de plus en plus complexe. En particulier, les vallées hydrauliques correspondent maintenant à des grands problèmes combinatoires qu’on ne sait pas résoudre de façon exacte. En ce qui concerne le thermique, l’apparition de nouveaux types de centrales a conduit à devoir modéliser des contraintes couplantes entre certaines unités de production, rendant l’utilisation de la programmation dynamique ou de la PLNE délicate. L’impossibilité de résoudre de façon exacte les sous-problèmes liés à chaque unité de production perturbe le schéma de décomposition lagrangienne. Une méthode de Faisceaux admettant la résolution inexacte des sous-problèmes existe (voir [K2006, ES2009]) et permet de garantir la convergence du schéma de décomposition par les prix. En revanche, en ce qui concerne la résolution par lagrangien augmenté rien n’est encore fait.

Le problème [IUC] hérite des difficultés inhérentes au [TUC], avec en plus l’apparition d’une nouvelle contrainte liée au nombre maximal de centrales (environ 30 parmi 150) pour lesquelles le programme de référence peut être modifié. Cette contrainte étant couplante et combinatoire, des méthodes heuristiques ont été envisagées : le problème est décomposé en une phase de choix des centrales dont le programme sera modifié (utilisant des méthodes d’apprentissage statistique) puis une phase d’optimisation des programmes de ces centrales.

Enfin, le problème [RRUC] adresse la question du traitement de l’incertain, qui peut être vue sous deux aspects :

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- Les incertitudes sur la demande, les pannes, la production intermittente et les apports hydrauliques sont précisées progressivement, après le calcul du programme de référence. L'idée est de rendre le programme de référence robuste face à ces incertitudes, sans inclure de décisions de recours.
- Des décisions de recours peuvent intervenir sur le programme de référence, la robustesse étant ainsi vue comme le calcul d'un programme pour lequel les recours sont à coût minimal.

Des travaux ont été menés sur la robustification sans décisions de recours, cf. [ThSBS2011], [ThRA2007], [VAHMZ2011].

Un workshop «Advanced Optimisation methods and their applications to unit commitment in energy management », a été organisé à EDF R&D, Clamart, en novembre 2011. Les pistes de recherche qui en sont ressorties sont:

- Améliorations et stabilisation de la méthode de décomposition, prise en compte du bruit issu de la résolution non exacte des sous-problèmes ;
- Combinaison de techniques de relaxation lagrangienne et de PLNE ;
- Approches heuristiques pour garantir la faisabilité des solutions ;
- Reformulation des sous-problèmes pour tirer le meilleur avantage de la puissance des solvers ;
- Approches robustes, description efficace des ensembles d'incertitudes [BVA2010], [M2011].

Les problématiques suivantes sont jugées d'un grand intérêt :

- Trouver des formulations approchées efficaces afin de calculer des bonnes solutions initiales (presque-)réalisables ;
- Calculer une solution réalisable en partant d'un point initial (issu par exemple d'une dualisation lagrangienne). Impact de la résolution inexacte des sous-problèmes ;
- Traiter le cas des contraintes couplantes non-linéaires, en particulier la contrainte des "30 parmi 150" du modèle infra-journalier ;
- Résultats de stabilité des algorithmes ;
- Modèles d'optimisation robustes, en particulier robustesse induit par une modélisation avec une contrainte en probabilité. On s'intéresse également à la « dualité » naturelle entre cette approche et une approche robuste au sens Ben-Tal-Nemirovski ou Bertsimas-Sim.
- ...

2.6. Optimisation combinatoire pour la production d'électricité

De nombreux problèmes d'optimisation dans le domaine de la production présentent la caractéristique suivante : ils impliquent une très forte combinatoire et entraînent des utilisations fréquentes des outils sur des jeux de données toujours différents mais relativement proches (typiquement le parc de production évolue très peu ou pas du tout d'une session à l'autre, alors que la demande en énergie, les opérations de maintenance, le contexte environnemental -quotas d'émission de polluants, contraintes techniques- varient significativement). On se trouve alors face à un double enjeu, d'une part tirer parti des historiques d'exécution pour réduire la combinatoire, et d'autre part accélérer la résolution en tirant profit des moyens de calculs massivement parallèles.

2.6.1. Réduire la combinatoire par apprentissage

Dans le domaine de la production d'énergie, comme dans d'autres domaines, les applications industrielles en optimisation combinatoire présentent souvent les deux caractéristiques suivantes :

- d'une part elles impliquent une combinatoire extrêmement importante, qui entraîne l'abandon de l'exigence d'optimalité : on se contente en pratique d'une solution approchée dont on peut estimer dans le meilleur des cas la distance à l'optimum ;

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- d'autre part, les applications ayant été développées et mises en service il y a plusieurs années, nous disposons d'un corpus important de jeux de données d'entrée, et des solutions correspondantes.

L'idée est alors de tirer parti de cette masse d'information, en apprenant en quelque sorte des « règles métier » qui permettent de réduire la combinatoire et se diriger plus rapidement vers une bonne (ou la meilleure) solution. Techniquement, l'approche peut se décomposer en deux phases. D'abord il convient d'étudier les liens entre données d'entrée et valeurs affectées aux variables de décision en sortie. Ensuite il faut tenter de généraliser ces relations de causalité. Pour ce faire on pourra envisager l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique ou supervisé, ainsi que des techniques d'analyse de données. Concrètement, les règles métier ainsi obtenues pourront soit se traduire par un ensemble de règles expertes mises en œuvre lors de la construction du modèle, soit directement sous la forme de contraintes ajoutées au dit modèle. Cette approche est par essence empirique et donc a priori plus simple que la découverte de bonnes propriétés dans la modélisation mathématique du problème par des méthodes de démonstration de théorème.

Voir [F1996] et [HBGD1995] par exemple.

2.6.2. Parallélisation et hybridation de méthodes d'optimisation

Les moyens de calcul massivement parallèle devenant de plus en plus facile d'accès, la question de leur utilisation efficace pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation combinatoire devient cruciale. Il s'agit en effet soit de pouvoir résoudre des problèmes que leur complexité mettait hors de notre portée jusqu'à présent, soit de résoudre mieux ou plus vite des problèmes que nous savions traiter imparfaitement.

Parmi les méthodes de résolution de problèmes combinatoires, certaines sont connues pour se paralléliser relativement aisément, par exemple, la programmation dynamique, les méthodes de gradient (méthodes de descente avec leur variantes du type liste tabou, recuit simulé...), les algorithmes génétiques, les algorithmes gloutons aléatoires ([ThTVL2011]). D'autres n'ont fait l'objet à notre connaissance que de peu de recherche dans ce domaine, par exemple les méthodes de propagation de contraintes avec énumération arborescente. D'autres enfin ont fait l'objet d'investigations plus poussées, comme le branch and bound.

Nous nous intéressons ici aux deux premiers types de méthodes, pour lesquelles il semble exister un gisement d'efficacité dans leur mise en œuvre parallèle et/ou dans leur mise en concurrence sur le problème à résoudre, et plus précisément sur les nombreux sous-problèmes que l'on est amené à résoudre lors de la résolution d'un problème global.

L'idée sous-jacente est une utilisation optimale de l'ensemble des processeurs de calcul disponibles, sans temps d'attente de processeurs partiellement inutilisés, tout en maîtrisant les temps de communication entre processeurs.

Pour ces deux thématiques, des cas tests possibles pourront être les arrêts du nucléaire et la gestion court-terme.

3. Références

[ThIA2012] Abada I., Modélisation des marchés du gaz naturel en Europe en concurrence oligopolistique. Le modèle GAMMES et quelques application, Thèse de doctorat, 2012.

[ABGM2011] Abada I., Briat V., Gabriel S.A., Massol O., Generalized Nash-Cournot Model for the North-Western European Natural Gas Markets with a Fuel Substitution Demand Function: The GaMMES Model, University of Paris West - Nanterre la Défense, EconomiX Working Papers, 2011-8, <http://econpapers.repec.org/paper/drmwpaper/2011-8.htm>

[A2012] Alais J.C., Risque et optimisation pour le management d'énergies – Application à la gestion de l'hydraulique, Rapport d'avancement de thèse, 2012

[ThLA2004] Andrieu L., Optimisation sous contrainte en probabilité, Thèse de doctorat, ENPC, 2004, <http://uma.ensta-paristech.fr/files/publis/2004/2004-these-uma114-Laetitia.Andrieu.pdf>

[ThRA2007] Apparigliatto R., Règles de décision pour la gestion du risque : Application à la gestion hebdomadaire de la production électrique, thèse de doctorat, Ecole Polytechnique, 2007, <http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseApparigliatto.pdf>

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- [ACM2011] Aussel D., Correa R., Maréchal M., Gap Function for Quasivariational Inequalities and Generalized Nash Equilibrium Problems, Journal of Optimization Theory and Applications, Vol 151, 3, pp 474-488, 2011
- [BVA2010] Babonneau F., Vial J.P., Apparigliato R., Robust Optimization for Environmental and Energy Planning, Int. Series in O.R. and Management Sciences, Springer, vol 138 (2010), pp 79-126, 2010
- [ThKB2004] Barty K., Contributions à la discrétisation des contraintes de mesurabilité pour les problèmes d'optimisation stochastique, Thèse de doctorat, ENPC, 2004, <http://uma.ensta-paristech.fr/files/publis/2004/2004-these-uma111-Kengy.Barty.pdf>
- [BCG2010] Barty K., Carpentier P., Girardeau P., Decomposition of stochastic optimal control problems. RAIRO Operations Research, 2010, 44, 167-183
- [BR1992] Batut J., Renaud A., Daily Scheduling with transmission constraints: A new class of Algorithms, IEEE Transactions on Power Systems, Vol 7-3(1992), pp982-989, 1992
- [ThSBS2011] Ben Salem S., Gestion robuste de la production électrique à horizon court-terme, thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, 2011, <http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseBenSalem.pdf>
- [BET2010] Bouchard B., Elie R., Touzi N., Stochastic Target Problems with Controlled Loss. SIAM Journal on Control and Optimization, 48, 5, pp. 3123-3150, 2010
- [CCC2011] Carpentier P., Chancelier J.-Ph., Cohen G., Optimal control under probability constraint, COPI'11, Clamart, 2011, COPI-11@edf.fr
- [CCD2009] Carpentier P., Cohen G., Dallagi A., Particle Methods For Stochastic Optimal Control Problems, 2009, Submitted, <http://arxiv.org/abs/0907.4663>
- [CCM2011] Cervinka M., Correa R., Maréchal M., On Electricity day-ahead Market with transmission losses, COPI'11, Clamart, 2011, COPI-11@edf.fr
- [CZ1984] Cohen G., Zhu D.L., Decomposition coordination methods in large scale optimization problems. The nondifferentiable case and the use of augmented Lagrangians. In: J.B. CRUZ (Ed.), Advances in Large Scale Systems, Vol. I, pp. 203-266, JAI Press, Greenwich, Connecticut, 1984
- [ThAD2006] Dallagi A., Méthodes particulières en commande optimale stochastique, Thèse de doctorat, Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2006, <http://cermics.enpc.fr/theses/2007/dallagi.pdf>
- [D2011] Dritsas I. (Eds), Stochastic Optimization - Seeing the Optimal for the Uncertain, <http://www.intechopen.com/books/show/title/stochastic-optimization-seeing-the-optimal-for-the-uncertain>, INTECH, p 491, ISBN 978-953-307-829-8, 2011
- [DGL2005] Dubost L., Gonzalez R., Lemaréchal C., A primal-proximal heuristic applied to French Unit commitment problem, Mathematical Programming, Volume 104-1, pp 129-151, 2005
- [DBS2011] Dupin N., Bendotti P., Simovic T., Problème d'ordonnancement de la production d'électricité des centrales thermiques, modélisation PLNE, in Proc. ROADEF, 2011
- [ThGE2008] Emiel G., Méthodes d'optimisation non différentiable pour la résolution de grands problèmes. Application à la gestion à moyen-terme de la production, thèse de doctorat, Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2008, <http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseEmiel.pdf>
- [ES2009] Emiel G., Sagastizabal C., Incremental like bundle methods with applications to energy planning, Computational Optimization and Applications, 46 (2), p 305-332, 2009
- [F1996] Fuchs M., Experiments in the Heuristic use of past proof experience, Lecture Notes in Computer science, Volume 1104/1996, pp 523-537, 1996
- [ThPG2010] Girardeau P., Résolution de grands problèmes en optimisation stochastique dynamique et synthèse de lois de commande, Thèse de doctorat, ENPC, 2010 <http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseGirardeau.pdf>

PGMO	Appel à projets 2012	Février 2012
------	----------------------	--------------

- [HBGD1995] Humphrey T., Bramanti-Gregor A., Davis H.W., Learning while Solving Problems in single agent search : Preliminary results, Proceedings of the 4th Congress of the Italian Association for Artificial Intelligence (AI*IA 1995), LNCS, vol. 992, Springer, pp. 56–66, 1995
- [K2006] Kiwiel K.C., A proximal bundle method with approximate subgradient linearizations, SIAM Journal on Optimization, 16 (4), p 1007-1023, 2006
- [LS1994] Lemaréchal C., Sagastizàbal C., An approach to Variable Metric Bundle Methods, Lecture Notes in Control and Information Science, System Modeling and Optimization Vol 197, pp 144-162, 1994
- [ThAL2008] Lenoir A., Méthodes et algorithmes pour la planification de la production à moyen terme en environnement incertain : Application de méthodes de décomposition proximale, thèse de doctorat, Université Blais Pascal – Clermont II, 2008, <http://innovation.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseLenoir.pdf>
- [MS1983] Merlin A., Sandrin P., A new method for unit commitment at Electricité de France, IEEE Transactions Power App. Syst., PAS-102-5, pp 1218-1225, 1983
- [MF2011] Ming H., Fukushima M., Variational Inequality Formulation of a Class of Multi-Leader-Follower Games, Journal of Optimization Theory and Applications, Vol 151, 3, pp 455-473, 2011
- [M2011] Minoux M., A Robust Optimization Model for Daily Electric Power Production Management, Workshop on Advanced Optimization Methods for Unit Commitment Problem, Clamart, sept 22nd, 2011
- [PDG2011] Philpott A.B., Dallagi A., Gallet E., On cutting plane algorithms and dynamic programming for hydroelectricity generation" , 2011, <http://www.epoc.org.nz/papers/MORGANEvsDOASA.pdf>
- [ROAD2010] Porcheron M., Gorge A., Juan O., Simovic T., Dereu G., Challenge ROADEF/EURO 2010 : a large-scale energy management problem with varied constraints. EDF R&D, 2010, <http://challenge.roadef.org/2010/files/sujetEDFv22.pdf>
- [RT2005] Rajan D., Takriti S., Min-Up/Down Polytopes of the Unit Commitment Problem with Start-Up Costs, Citeseer, 2005, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.61.5420&rep=rep1&type=pdf>
- [RS2011] Ralph D., Smeers Y., EPECs as models for electricity markets, preprint <http://www.eng.cam.ac.uk/~dr241/Papers/Ralph-Smeers-EPEC-electricity.pdf>
- [ThBS2008] Seck B., Optimisation stochastique sous contrainte de risque et fonction d'utilité. Thèse de doctorat, ENPC, 2008, <http://pastel.paristech.org/4576/>
- [VAHMZ2010] Van Ackooij W., Henrion R., Möller A., Zorgati R., On probabilistic constraints induced by rectangular sets and multivariate normal distributions. Mathematical Methods of Operations Research No 3, Vol 71, p. 535-549, 2010.
- [VAHMZ2011] Van Ackooij W., Henrion R., Möller A., Zorgati R., Chance Constrained Programming and Its Applications to Energy Management. Chapter 13 in [D2011]
- [VAHS2012] Van Ackooij W., Henrion R., Sagastizabal C., Bundle Methods for Hydro Reservoir Management with Joint Chance Constraints, SIAM OP11, 2011
- [ThTVL2011] Van Luong T., Métaheuristiques parallèles sur GPU, thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologie de Lille 1, 2011, <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00638820/>
- [VP2011] Villumsen J.C., Philpott A.B., Investment in electricity networks with transmission switching, 2011, <http://www.epoc.org.nz/papers/VillumsenEJORv42.pdf>
- [ZVA2011] Zorgati R., Van Ackooij W., Optimizing Financial and Physical Assets With Chance-Constrained Programming in the Electrical Industry, Optimization and Engineering, No 1, Vol 12, p. 237-255, 2011