



HAL
open science

Faire de l'électricité un vecteur complet et efficace pour l'accessibilité de l'énergie - La R&D stratégique à Hydro-Québec

Raouf Naggar

► **To cite this version:**

Raouf Naggar. Faire de l'électricité un vecteur complet et efficace pour l'accessibilité de l'énergie - La R&D stratégique à Hydro-Québec. 21ème Congrès mondial de l'énergie, Sep 2010, Montréal, Canada. hal-01906606

HAL Id: hal-01906606

<https://hal.science/hal-01906606v1>

Submitted on 27 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Faire de l'électricité un vecteur complet et efficace pour l'accessibilité de l'énergie *La R&D stratégique à Hydro-Québec*

Raouf Naggar
Hydro-Québec – IREQ
Canada
naggar.raouf@ireq.ca

Sommaire

Dans un contexte énergétique dominé par l'évolution des besoins, la disponibilité des ressources et le respect de l'environnement, l'électricité jouera un rôle de plus en plus important pour rendre accessibles la plupart des ressources énergétiques qui sont captées en temps réel et qui ne sont pas déjà sous une forme stockable et transportable. Cependant, pour devenir un vecteur d'accessibilité complet et efficace, elle devra encore relever plusieurs défis au niveau du développement, de l'exploitation, de la maintenance et des échanges commerciaux. L'institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) a entrepris plusieurs projets de R&D stratégique visant à relever ces défis.

Mots clés : Électricité, Recherche, Accessibilité

1 Contexte et Introduction

L'électricité sera appelée à jouer un rôle de plus en plus important pour rendre accessibles la plupart des ressources énergétiques qui sont captées en temps réel et qui ne sont pas déjà sous une forme stockable et transportable. Le rayonnement solaire, le vent, la force des eaux ou la chaleur de la terre sont difficiles à transporter sur de longues distances. La possibilité de transformer ces énergies en électricité et de profiter des infrastructures électriques pour les rendre accessibles aux utilisateurs sera sans aucun doute l'une des options les plus intéressantes au cours des prochaines années.

L'augmentation substantielle de ces nouvelles sources d'énergie, sachant qu'elles se situeront à divers endroits du territoire, proches ou loin des lieux d'utilisation, et qu'elles seront exploitées à diverses échelles, grandes centrales ou micro-production, posera d'importants défis aux compagnies d'électricité.

Hydro-Québec et son Institut de recherche, l'IREQ, se préparent à répondre adéquatement à ce nouvel enjeu. Plusieurs avancements scientifiques et technologiques seront requis pour trouver des solutions efficaces aux nombreuses difficultés découlant d'une utilisation accrue,

ⁱ Raouf Naggar est chef, Développement stratégique à Hydro-Québec – Institut de recherche (IREQ)

non conventionnelle et désordonnée des réseaux électriques, tout en assurant une fiabilité adéquate et un respect de l'environnement et du développement durable.

Cet article présente la problématique générale de l'accessibilité de l'énergie, le rôle que peut y jouer l'électricité et les travaux de R&D stratégique réalisés à l'IREQ dans le but de contribuer à faire de l'électricité un vecteur complet et efficace répondant adéquatement aux besoins futurs.

Ce défi colossal ne peut être réalisé en vase clos. L'IREQ entend le relever en harmonie avec les efforts menés par les différents acteurs du domaine dans le monde et avec un réseau de partenaires partageant ses préoccupations et complétant ses expertises.

2 Les perspectives énergétiques

2.1 Facteurs déterminants

L'avenir énergétique¹ de la planète est dominé par trois facteurs déterminants :

- L'évolution des besoins

Les besoins en énergie au niveau planétaire seront croissants surtout dans les pays émergents. Dans les pays développés, cette croissance est plus lente mais demeure présente. Elle pourra être influencée à la hausse ou à la baisse par les changements climatiques, par les changements d'habitudes de vie et par les développements technologiques.

- La disponibilité des ressources

Les ressources en énergie les plus courantes actuellement sont limitées. Le stock de ressources fossiles est appelé à s'épuiser à plus ou moins long terme selon le niveau de consommation et les découvertes réalisées. Certains gisements seront coûteux à exploiter. Les énergies renouvelables sont aussi limitées dans leur potentiel de développement. Dans plusieurs pays, le potentiel hydro-électrique est déjà complètement développé. Il en sera de même des autres sources d'énergies renouvelables au fur et à mesure qu'elles seront mises à profit. Aussi, les coûts iront grandissant au fur et à mesure que les meilleurs sites auront été utilisés.

- Le respect de l'environnement

L'influence du secteur énergétique sur l'équilibre planétaire est importante. Son impact sur les changements climatiques et sur la qualité de l'environnement est majeur. L'impact environnemental, le développement durable, la gestion des matières résiduelles et l'analyse de cycle de vie environnemental seront des paramètres de plus en plus importants et influenceront directement ou indirectement les choix énergétiques et les coûts de l'énergie.

Ces facteurs combinés contribueront à transformer le marché de l'énergie autant au niveau des sources d'énergie qu'au niveau de leur distribution et de leur utilisation. Les sources et les formes d'énergie seront de plus en plus diversifiées et la petite et la moyenne production se juxtaposeront aux moyens de production traditionnels centralisés. L'efficacité énergétique aura une valeur croissante.

2.2 Processus et enjeux liés à l'accessibilité de l'énergie

2.2.1 Processus générique

Le processus permettant l'accès à l'énergie comporte les activités suivantes (qui ne sont pas nécessairement consécutives ou toujours présentes dans le processus) :

- Captation ou extraction : L'énergie est captée là où elle se trouve
- Transformation : L'énergie est transformée en une autre forme plus propice aux activités subséquentes
- Stockage : L'énergie potentielle est conservée pour être utilisée subséquemment
- Déplacement : L'énergie est déplacée d'un lieu à un autre
- Utilisation : L'énergie est consommée et crée de la valeur

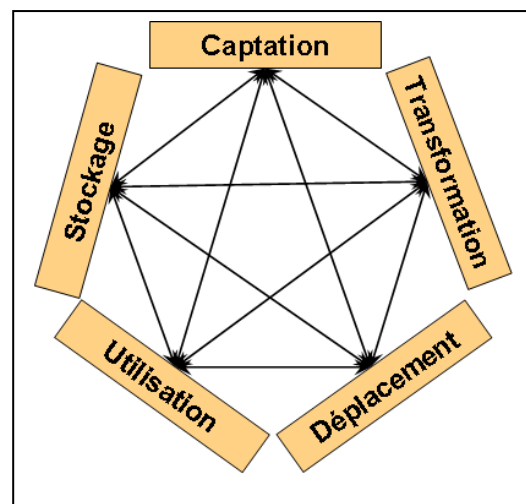


Figure 1 - Activités du processus d'accès à l'énergie

2.2.2 Captation ou extraction

Les gisements d'énergie, qu'ils soient fossiles, hydrauliques, éoliens, thermiques ou autres sont situés géographiquement à des endroits précis et doivent y être extraits ou captés.

Cette activité requiert des investissements importants et peut être réalisée avec une efficacité variable selon le rendement des procédés et équipements utilisés et le taux de captation obtenu.

Les enjeux pour cette activité sont :

- Le choix de gisements à exploiter : Qualité et quantité, rendement, accessibilité, coût, etc.
- L'efficacité de la captation : Utilisation de moyens permettant de maximiser l'exploitation de la ressource
- L'impact environnemental et le développement durable : évaluation sur le cycle de vie des risques et des impacts et de l'acceptabilité sociale

2.2.3 Transformation

La transformation de l'énergie est effectuée dans le but :

- d'en faire une énergie potentielle pouvant être stockée,
- de la rendre déplaçable,
- de la rendre utilisable pour un besoin donné.

On peut donc transformer une eau courante en un réservoir, un rayonnement en de la chaleur, un mouvement mécanique en de l'électricité, de la lumière en électricité, de l'électricité en hydrogène, du soleil en biocarburant, de la chaleur en mouvement, un gradient salin en une force mécanique, etc.

Les enjeux pour cette activité sont :

- L'efficacité et le coût de chaque procédé de transformation
- L'efficacité globale du cycle complet de transformations de la production à l'utilisation
- L'impact environnemental des transformations et la gestion des sous-produits générés.

2.2.4 Stockage

Le stockage est une activité essentielle pour assurer l'adéquation en temps réel entre l'offre et la demande. Il est important de pouvoir utiliser l'énergie à un autre moment que quand elle est produite, surtout quand la source de production est variable ou non modulable. Il est aussi nécessaire de disposer de suffisamment de puissance pour répondre aux besoins énergétiques en périodes de pointe.

Le stockage peut s'effectuer à toutes les étapes du processus selon la forme de l'énergie dont on dispose. L'énergie doit être une énergie potentielle. Si elle est sous une forme déplaçable, elle peut être stockée à tout endroit propice. L'énergie fossile, l'hydrogène, les batteries, les biocarburants font partie de cette catégorie. Si elle n'est pas déplaçable, comme les réservoirs des centrales hydro-électriques, elle doit être stockée sur place.

Les enjeux pour cette activité sont :

- La capacité de stockage et les coûts associés
- La gestion des stocks : fiabilité et rentabilité
- Les impacts et les risques environnementaux

2.2.5 Déplacement

Le déplacement de l'énergie requiert des réseaux complexes pouvant satisfaire l'ensemble des flux résultant des transactions entre l'offre et la demande, compte tenu des localisations géographiques et de la variabilité des quantités dans le temps.

Ce réseau doit être optimisé et exploité en temps réel.

Les enjeux associés à cette activité sont :

- Le développement et l'optimisation des infrastructures requises pour répondre aux besoins

- L'efficacité des déplacements, leurs coûts et les pertes d'énergies associées
- La fiabilité de la livraison de l'énergie et la sécurité du réseau
- L'impact environnemental et l'acceptabilité sociale des infrastructures et de leur exploitation

2.2.6 Utilisation

L'utilisation de l'énergie dans le but de créer de la valeur est la finalité de tout le processus. Celle-ci est utilisée pour le chauffage, la climatisation, les transports, l'éclairage, les procédés industriels, etc.

Les enjeux pour ces activités sont :

- L'adéquation du type d'énergie utilisé avec le besoin
- L'efficacité du procédé énergétique utilisé
- La minimisation et la gestion des pertes
- L'impact environnemental et le développement durable

3 L'électricité, vecteur d'accessibilité

3.1 Une réponse possible aux besoins d'accessibilité

L'électricité est déjà présente dans chacune des activités du processus d'accès à l'énergie et est déjà confrontée à plusieurs des enjeux énoncés :

- Elle capte et extrait son énergie de sources fossiles, nucléaires, hydrauliques, éoliennes, solaires, etc.
- Elle résulte de la transformation de ces énergies thermique, mécanique, chimique, lumineuse en énergie électrique par des procédés de plus en plus efficaces.
- Elle est difficilement stockable en grandes quantités sous forme électrique mais elle tire profit de ses barrages pour gérer des stocks à la source ou pour constituer des réserves pompées.
- Elle possède des réseaux alimentant la totalité des utilisateurs en des lieux fixes et maîtrise des technologies permettant le transport de grandes quantités d'énergie.
- Elle peut être utilisée pour le chauffage, l'éclairage, les moteurs et de nombreuses électro-technologies.

De plus, elle se conforme déjà à plusieurs exigences environnementales et de développement durable.

Pour ces raisons, l'électricité sera sans doute l'un des véhicules les plus utilisés pour assurer l'accessibilité de l'énergie.

3.2 Plusieurs défis à relever

Face à la perspective de voir l'électricité devenir la plaque tournante des échanges énergétiques, plusieurs défis doivent être relevés pour répondre adéquatement aux besoins et enjeux énoncés. Ces défis sont présentés à la figure 2 et sont numérotés pour en faciliter l'identification.

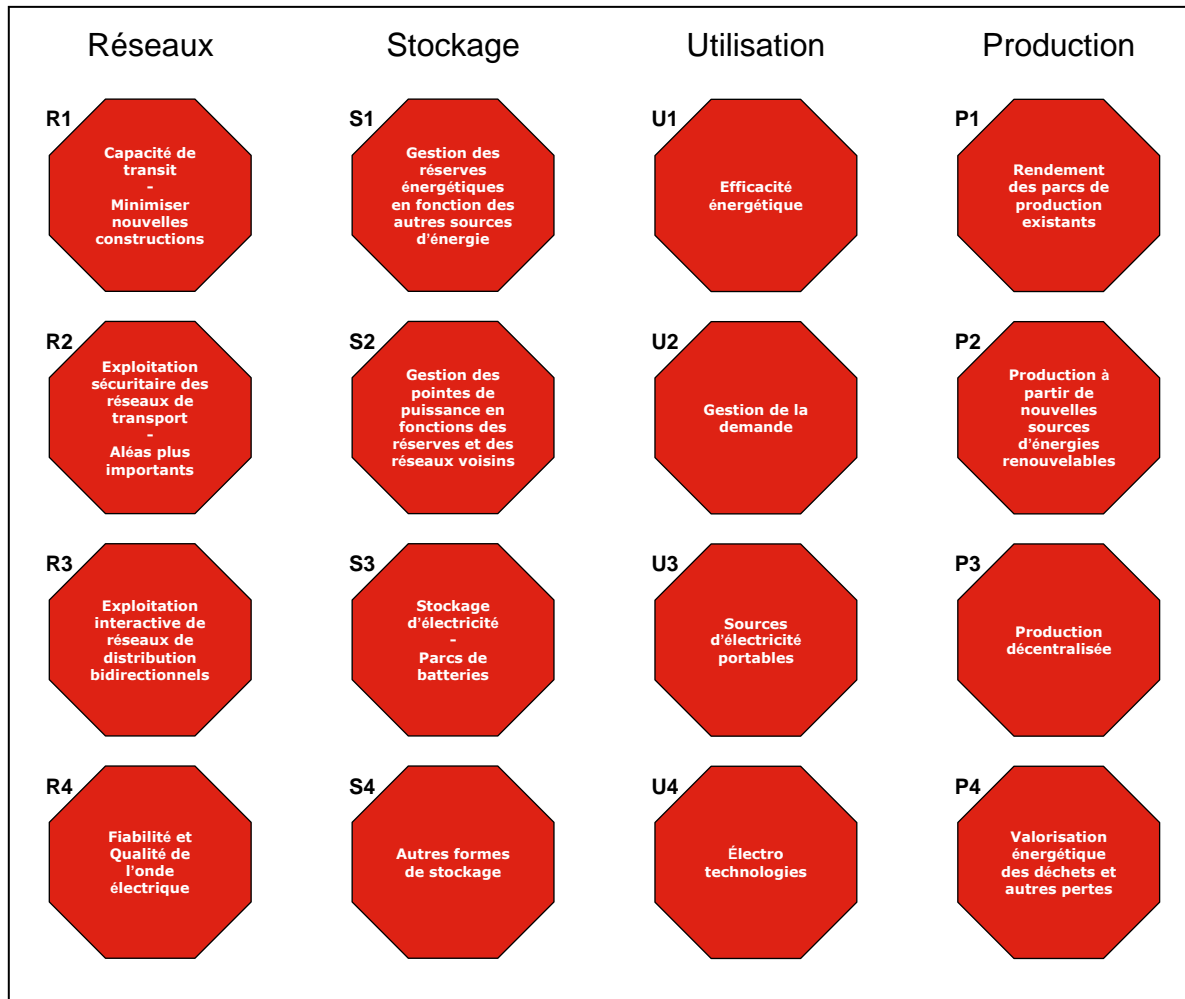


Figure 2 - Les défis

Le défi le plus important se situe au niveau des réseaux électriques. Ceux-ci seront de plus en plus sollicités et devront augmenter leur capacité de transit tout en minimisant la construction de nouvelles lignes [R1]. Ils devront donc être exploités de façon sécuritaire au maximum de leur capacité tout en étant exposés à des aléas beaucoup plus importants, tant au niveau de la demande que de la production [R2]. Au niveau de la distribution, les réseaux devront devenir bidirectionnels et s'adapter rapidement aux fluctuations de la consommation et de la production décentralisée en assurant la qualité de l'onde électrique [R3]. De plus, la dépendance accrue envers l'électricité imposera une plus grande fiabilité d'alimentation. Aussi, dans un contexte de changements climatiques, les infrastructures

pourraient être exposées à des aléas climatiques qui n'étaient pas prévus au moment de leur construction [R4].

Un second défi sera le stockage et la gestion des stocks. Plusieurs nouvelles sources d'énergies renouvelables sont de nature variable ou non modulable et requièrent donc du stockage pour pallier les périodes de faible production. D'autres sources sont continues et requièrent une valorisation de leur production en périodes de faible consommation. Le stockage sert donc autant à assurer le fiabilité énergétique que la fiabilité en puissance. Actuellement, cette fonction est assurée par la gestion des réservoirs, par les échanges entre les réseaux et par l'accès à des centrales de pointe de sources hydrauliques ou fossiles. L'optimisation de cette gestion pourra éviter des investissements importants et minimiser les impacts environnementaux de l'utilisation de sources fossiles [S1,S2]. La nouvelle perspective de disposer d'un stockage dispersé à l'aide de batteries ou d'autres moyens, dans les centres de production ou chez les clients, doit être prise en considération [S3,S4].

Le défi de l'utilisation de l'électricité n'est pas à négliger. Actuellement, la principale faiblesse de l'énergie électrique est qu'elle n'est disponible qu'en un point fixe. La possibilité de la rendre disponible pour des utilisateurs en mouvement permettra d'augmenter sa gamme d'utilisation et de remplacer des utilisations actuellement réservées aux énergies fossiles ou nucléaires (transport terrestre, aérien ou maritime) [U3]. De plus, l'introduction de procédés électriques moins énergivores ou de nouveaux procédés utilisant l'électricité à des fins d'efficacité énergétique, de gestion de la demande ou de valorisation des pertes énergétiques sera d'un grand intérêt [U1,U2,U4].

Finalement, la production d'électricité à partir de nouvelles sources d'énergies renouvelables doit faire l'objet de travaux de recherche importants [P2,P3,P4]. Aussi, la production même d'énergie électrique peut être augmentée par l'amélioration de la captation et de la transformation de l'énergie source [P1]. Cette augmentation de rendement permettra une exploitation plus optimale de chaque site, diminuant ainsi les coûts et augmentant le potentiel total exploitable.

4 Les travaux de R&D stratégique d'Hydro-Québec

4.1 Hydro-Québec, ses actifs et son expérience

Hydro-Québec est la compagnie d'électricité qui dessert le Québec². Elle regroupe trois grandes divisions :

- HQ Production produit de l'électricité pour le marché québécois et commercialise ses surplus sur les marchés de gros. Elle exploite un parc de 36000 MW comportant 59 centrales hydro-électrique totalisant 34000 MW, 27 centrales thermiques et une centrale nucléaire.
- HQ TransÉnergie exploite le réseau de transport d'électricité le plus le étendu d'Amérique du Nord au bénéfice de clients au Québec et hors-Québec. Elle exploite un réseau de 33000 km dont 11400 km à 735 kV et une ligne multi-bornes à 450 kV CC de 1200 km. Le réseau comporte de la compensation shunt

dynamique et de la compensation série. 15 interconnexions le relient à quatre réseaux voisins.

- HQ Distribution assure l'approvisionnement fiable en électricité à la population du Québec. Elle exploite 110 000 km de lignes dont 10% sont souterraines. Elle dessert 3,9 millions de clients dont 3,6 millions du secteur résidentiel et agricole pour une consommation moyenne de 17 MWh/année. Elle s'approvisionne auprès de HQ Production et elle a accès à 7000 MW provenant d'autres producteurs. Actuellement, la quantité d'électricité devant provenir de source éolienne est planifiée à 4000 MW.

Hydro-Québec, en raison des particularités de ses activités, a développé une grande expertise dans plusieurs secteurs dont principalement : le développement et l'exploitation d'un vaste parc hydro-électrique et de grandes réserves d'énergie; le développement et l'exploitation d'un réseau de transport complexe, étendu et transitant de grandes quantités d'énergie dans des conditions géographiques et climatiques variées, nécessitant un effort constant pour en assurer la sécurité dynamique; le développement et l'exploitation d'un réseau de distribution étendu; l'intégration de nouvelles sources d'énergie variables ou non modulables et la gestion de flux d'énergie importants avec les réseaux voisins.

De plus, son accès privilégié à de grandes sources d'électricité hydro-électrique renouvelable l'a incitée à promouvoir le chauffage électrique, à développer de nombreuses électro-technologies et être active dans le domaine de l'électrification du transport terrestre.

4.2 L'institut de recherche, ses expertises, ses travaux

Hydro-Québec est la seule entreprise d'électricité en Amérique du Nord à posséder un centre de recherche important : l'IREQ³. Elle est l'une des 20 entreprises canadiennes qui investissent plus de 100 M\$ par année en R&D (près de 1 % de leur chiffre d'affaires) et, au Québec, elle assume plus de 60 % des investissements en innovation technologique dans le secteur de l'énergie.

L'IREQ possède deux sites. Le site de Varennes est principalement dédié à la R&D touchant les réseaux et la production d'électricité. Le site de Shawinigan (LTE) est centré sur les technologies de l'utilisation de l'énergie.

L'IREQ possède de grands laboratoires d'essais et œuvre dans les domaines d'expertise suivants : Équipement électriques, Science des matériaux, Robotique, Civil, Mécanique, Métallurgie, Hydro-éolien, Systèmes de mesure et d'information, Réseaux électriques, Mathématiques et Utilisation de l'énergie.

Les projets d'innovation technologique visent à réaliser de la recherche appliquée répondant aux besoins actuels d'Hydro-Québec. Ils se répartissent en quatre portefeuilles : Production, Transport, Réseau de distribution, Clientèles.

Le portefeuille de R&D stratégique a pour objectif de faire évoluer les connaissances et les expertises maîtrisées par l'IREQ afin qu'elles puissent répondre aux enjeux futurs.

4.3 L'accessibilité de l'énergie au cœur du portefeuille de R&D stratégique

La plupart des projets de l'IREQ contribuent directement ou indirectement à relever les défis liés à l'accessibilité de l'énergie via l'électricité.

Cependant, c'est dans le portefeuille stratégique que l'on explore différentes avenues scientifiques et technologiques qui permettront de transformer le domaine de l'électricité afin de relever les défis les plus exigeants et de répondre aux enjeux les plus contraignants. Évidemment, ces travaux n'ont pas la prétention de couvrir l'ensemble des problématiques identifiées. L'effort est mis en priorité sur les sujets les plus pertinents pour Hydro-Québec et sur les créneaux dans lesquels l'IREQ a choisi de développer ses compétences.

Nous présentons ici la stratégie adoptée et certains des projets les plus alignés avec la problématique de l'accessibilité.

4.3.1 Vue d'ensemble

4.3.1.1 Prémises

Le contexte dans lequel évoluera l'entreprise à l'horizon long terme sera influencé par quelques courants majeurs ⁴ :

- *La conquête de l'infiniment petit* qui ouvrira des horizons tant au niveau de la caractérisation des matériaux et des phénomènes qu'au niveau de la miniaturisation.
- *Les nouveaux matériaux* qui donneront naissance à des équipements dont les propriétés seront différentes de celles que l'on connaît d'aujourd'hui.
- *L'essor du calcul haute performance et les progrès en intelligence artificielle et en simulation* permettront de passer graduellement du jugement à l'analyse dans de nombreux domaines.
- *Les progrès dans le domaine de l'information* permettront d'espérer minimiser les risques associés à la plupart des décisions.
- *Les changements climatiques* qui auront un impact sur la production, sur la charge et sur les intempéries affectant le réseau.

4.3.1.2 Grandes activités

L'évolution du domaine de l'électricité s'effectuera dans le cadre des quatre grandes activités caractéristiques de toutes les entreprises de services publics :

- Le développement des systèmes (ou infrastructures)
- L'exploitation des systèmes
- La maintenance des systèmes
- Les échanges commerciaux

C'est au niveau du développement des systèmes que l'on devra optimiser le déploiement d'infrastructures pour répondre aux nouveaux besoins. Ceci nécessitera la conception de systèmes plus performants qui se traduira par la construction ou le remplacement d'infrastructures et par la mise à niveau d'infrastructures existantes. Exemples : Évolution

des moyens de production, des appareillages de réseaux, des types de lignes, des automatismes de protection, des infrastructures d'information et de commande, des moyens de stockage fixes ou mobiles, etc.

C'est au niveau de l'exploitation des systèmes que l'on devra optimiser le rendement des infrastructures dont on disposera pour répondre aux nouveaux besoins. Ceci nécessitera l'évolution des stratégies d'exploitation afin de bien répondre aux aléas grandissants de l'offre et de la demande tout en respectant les exigences de qualité de l'onde et de sécurité physique et dynamique des réseaux. Exemples : Augmentation des limites de transit, gestion plus serrée des réserves, gestion des stocks, régulation de la tension, gestion des pertes, etc.

C'est au niveau de la maintenance des systèmes que l'on devra optimiser la disponibilité des infrastructures dont on disposera pour répondre aux nouveaux besoins. Ceci nécessitera l'évolution des stratégies et des moyens permettant d'intervenir sur les infrastructures aux moments les plus appropriés et d'y effectuer efficacement les travaux les plus pertinents. Exemples : Suivi et diagnostic de l'état et de la vie résiduelle des équipements à distance ou in situ, critères de décision évolués, moyens d'intervention robotisés, maintenance sans interruption, etc.

C'est au niveau des échanges commerciaux que l'on devra optimiser le bénéfice pour l'entreprise résultant de la multiplicité des fournisseurs et des clients. Ceci nécessitera une évolution des stratégies d'approvisionnement et des stratégies tarifaires. Exemples : Tarification variable ou en temps réel, gestion de la production et du stockage décentralisés, télégestion des charges, etc.

4.3.1.3 Axes d'intervention en R&D

De façon générique, toute activité (et a fortiori les grandes activités du domaine) fait appel à des ressources permettant d'atteindre la finalité recherchée. Ces ressources se classent parmi quatre types de systèmes : les systèmes opérants, les systèmes de décision, les systèmes d'information et les systèmes de connaissances⁵. C'est selon ces types de systèmes que sont présentés les axes d'intervention en R&D de l'IREQ :

- Les systèmes opérants interviennent physiquement dans la réalisation des activités. Ce sont les équipements, appareils, robots, ressources humaines, etc.
- Les systèmes de décision permettent de déterminer les interventions requises en fonction des critères définis et des informations disponibles.
- Les systèmes d'information permettent de capter des données, de les transmettre et de les interpréter pour fournir aux systèmes de décision les informations dont ils ont besoin.
- Les systèmes de connaissances permettent de raisonner. Ils fournissent les connaissances permettant la conception des systèmes opérants, et le fonctionnement des systèmes d'information et de décision.

4.3.2 Les projets

4.3.2.1 Axe Systèmes de connaissances

Les projets de l'axe *Systèmes de connaissances* visent à *observer, analyser, comprendre, modéliser et simuler* les phénomènes dont fait l'objet le système électrique.

À cet effet, l'IREQ s'est doté de deux équipements importants :

- Le *centre de calcul haute performance (CASIR)* offre aux différents projets une puissance de calcul formidable. De plus, l'IREQ développe des connaissances scientifiques dans le domaine et explore des solutions avancées ou émergentes à fort potentiel d'implantation à Hydro-Québec.
- Un puissant *microscope à transmission* permet d'observer et caractériser la variation des structures nanométriques des matériaux sous différentes contraintes externes afin de comprendre leurs modes de vieillissement. Ces connaissances sont des intrants importants à la conception, à l'exploitation et à la maintenance des équipements.

Plusieurs projets sont en cours pour modéliser et simuler des comportements systémiques complexes dont la connaissance peut être déterminante pour le rendement obtenu des infrastructures :

- Le projet *Changements climatiques*⁶ vise à évaluer l'impact des changements climatiques sur la demande d'électricité et sur la disponibilité des ressources hydriques. Il fonde ses analyses sur la modélisation et la simulation de projections climatiques. Ces projections sont évaluées dans le cadre de la participation de l'IREQ au consortium Ouranos. Ces connaissances permettront de développer des stratégies d'adaptation dans les domaines de la prévision de la demande, de la prévision des apports, de la gestion de la production et de la planification ainsi que de la conception de nouveaux équipements. – Contribution aux défis R4 S1 P1 de la figure 2.

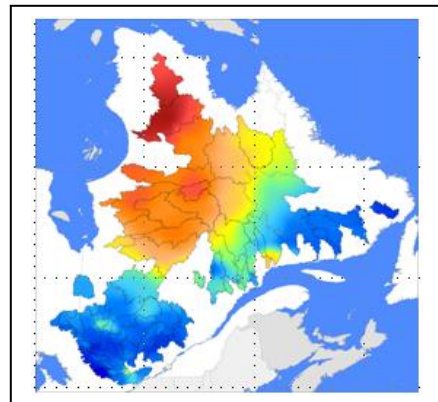


Figure 3 – Exemple de projection climatique

- Le projet *SAMH (Simulations numériques appliquées aux machines hydrauliques)* vise à développer les connaissances et la technologie requises pour être en mesure de modéliser les comportements hydraulique, mécanique et électrodynamique des groupes turbines-alternateurs ainsi que leurs interactions, sur l'ensemble de la plage de fonctionnement. Ces connaissances permettront d'augmenter le rendement de ces équipements par une exploitation optimisée, d'y apporter des modifications augmentant leurs performances et de mieux comprendre les mécanismes pouvant en limiter l'exploitation ou conduire à des bris. – Contribution au défi P1 de la figure 2.

- Le projet *Performance et potentiel de résilience des ouvrages en remblai* vise à comprendre, modéliser et simuler numériquement les phénomènes générés par l'écoulement de l'eau au travers d'un barrage en remblai tant pour une situation d'exploitation normale que lors des épisodes de crues. L'approche retenue s'attache à mettre en place un outil de génération virtuelle des sols pour l'étude des phénomènes hydrodynamiques dont ils sont le siège. Ces connaissances permettront d'évaluer la possibilité d'augmenter la capacité des réservoirs sans affecter la sécurité des ouvrages de retenue et donc d'éviter des déversements non-productibles. Elles permettront également d'améliorer la conception des ouvrages en remblai en vue de la diminution des coûts de construction. Elles contribueront aussi à l'amélioration des plans d'urgence. – Contribution au défi P1 de la figure 2.
- Plusieurs projets regroupés sous la bannière *Maîtrise du vieillissement* visent à développer de façon structurée les connaissances et technologies de base qui permettront d'améliorer les méthodes de diagnostic, prolonger la vie utile et supporter la prise de décision quant au remplacement ou la réhabilitation des actifs. – Contribution aux défis R1 R4 P1 de la figure 2.

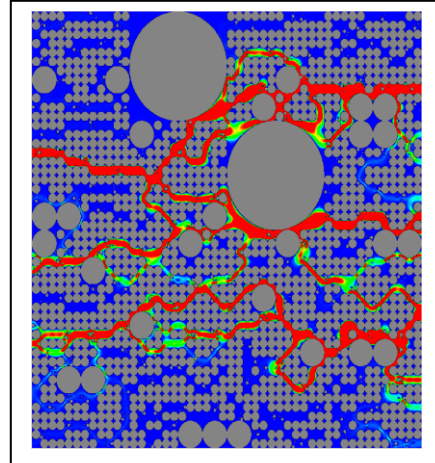


Figure 4 – Visualisation d'un écoulement au travers d'un sol généré virtuellement
(Bleu : Vitesse nulle et Rouge : Vitesse max.)

4.3.2.2 Axe Systèmes d'information

Les projets de l'axe *Systèmes d'information* visent à faire évoluer les entreprises d'électricité d'une situation où elles gèrent leurs systèmes en fonction de risques liés à une certaine ignorance de ce qui s'y passe vers une situation où elles en optimisent la gestion à partir d'une information fiable, utile à la prise de décision et disponible à l'endroit et au moment requis.

À cet effet, l'IREQ se dote en 2010 d'un *Centre d'expérimentation de l'infrastructure informationnelle interactive (CE3i)*⁷, s'inscrivant dans le contexte des réseaux intelligents, afin de réaliser :

- L'évaluation et l'adaptation de technologies émergentes aux besoins spécifiques et au contexte propre aux réseaux électriques
- La vérification de « bout en bout » de l'interopérabilité des différents éléments d'une application en développement
- Le développement plus facile de nouvelles applications du réseau intelligent

Plusieurs projets de R&D sont en cours pour que l'accès aux informations requises devienne possible.

- Les projets regroupés sous la bannière *3i (Infrastructure informationnelle interactive)* s'intéressent aux problématiques liées aux capteurs de données, aux

réseaux d'accès permettant aux données de rejoindre les réseaux de télécommunications et à l'interopérabilité des applications utilisant ces données. À terme, on vise à disposer d'une infrastructure « plug and play » où chaque équipement du réseau est en mesure d'être identifié, localisé et mis en communication avec les applications pour lesquelles il est pertinent. Ces activités sont réalisées en harmonie avec les groupes de travail internationaux sur le sujet. – Contribution aux défis R2 R3 R4 U2 P3 de la figure 2.

Plusieurs projets de R&D s'appliquent à développer des méthodes d'interprétation des données brutes obtenues pour en tirer les informations nécessaires à la planification, à l'exploitation et à la maintenance :

- Les travaux sur la *Simulation de réseaux plus rapide que temps réel* réalisés dans le cadre du projet *GAEL (Gestion active et limites de réseaux)* permettront de connaître le comportement qu'aurait le réseau dans l'éventualité de différents événements compte tenu de son état courant. Ces informations précises assureront des décisions minimisant les erreurs de jugement et permettant l'exploitation du réseau très proche de ses limites. – Contribution aux défis R1 R2 de la figure 2.
- Avec l'ajout de la filière éolienne au portefeuille d'approvisionnement, le distributeur, le transporteur et le producteur requièrent une caractérisation et une prévision de la production éolienne autant pour la planification que pour l'exploitation du réseau. Le projet *Caractérisation et prévision de la production éolienne*⁸ vise donc le développement d'un système de prévision de la production éolienne, d'une méthodologie de reconstitution historique de la production éolienne, et des méthodes de modélisation physique et statistique nécessaires. Réalisé en collaboration avec Environnement Canada, il permettra d'améliorer les prévisions numériques de la météo en améliorant les modèles de simulation atmosphérique et en augmentant lorsque nécessaire leur résolution spatiale, passant actuellement d'une échelle de 15 km à 2,5 km, afin de tenir compte des effets locaux tels ceux de la topographie autour des centrales éoliennes. En support aux outils modernes de gestion du système électrique, sur cette base les travaux s'orienteront également vers l'émission de prévisions probabilistes. L'expertise acquise dans ce projet sera enfin généralisée à l'ensemble des besoins de prévision fondés sur la météorologie, notamment la prévision de la demande et la prévision d'autres sources de production (hydraulique, solaire...) ainsi que l'exploitation et la maintenance des réseaux de transport et de distribution – Contribution aux défis R1 R2 R3 S1 P1 P2 P3 de la figure 2.

4.3.2.3 Axe Systèmes de décision

Les projets de l'axe *Systèmes de décision* visent à moderniser les approches de prise de décision afin de les adapter aux nouveaux contextes caractérisés par la disponibilité d'informations, de connaissances et de moyens de calcul qui n'étaient pas disponibles auparavant, et de répondre aux nouveaux enjeux.

- Le projet *GAEL (Gestion active et limites de réseaux)*⁹ vise à développer les concepts qui, en permettant d'exploiter le réseau et de l'adapter en temps réel aux besoins du moment, éviteront de recourir à des marges d'exploitation conservatrices

caractéristiques des réseaux actuels. Ceci permettra non seulement d'augmenter la capacité de transit en diminuant les marges mais aussi à apporter au réseau la flexibilité requise pour répondre aux fluctuations associées à la production variable ou non modulable et à l'ouverture des marchés. Ces concepts comprennent :

- Les automatismes adaptatifs permettant d'assurer la sécurité du réseau à l'aide de mécanismes de décision fondés sur la reconnaissance de situations d'instabilité et des meilleures solutions à appliquer.
- La gestion probabiliste de la fiabilité opérationnelle basée sur le calcul du risque, permettant de définir en temps réel les limites de transit.
- La conduite automatisée du réseau permettant de minimiser l'intervention humaine dans l'ajustement du réseau aux conditions changeantes dans le temps, à l'aide d'outils de décision éprouvés assurant un ajustement fin et une optimisation des états de résidence du réseau tenant compte de plusieurs facteurs tels que les pertes, les profils de tension, la vulnérabilité, etc.

Contribution aux défis R1 R2 R4 de la figure 2.

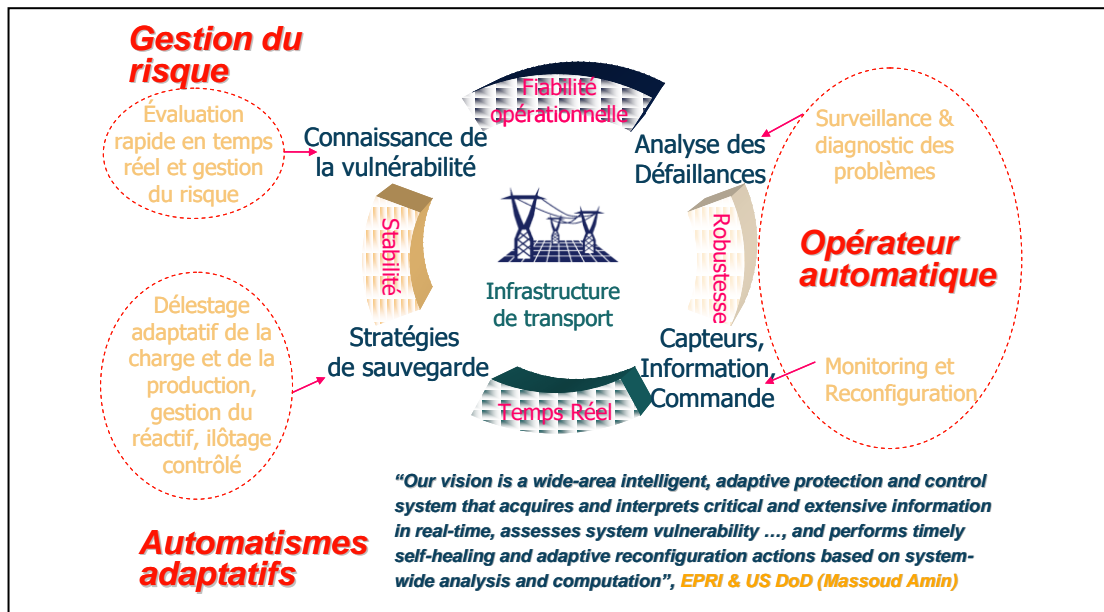


Figure 5 - Vision d'une conduite automatisée et optimisée du réseau de transport d'électricité

- Le projet *Provisions pour aléas*¹⁰ vise à développer le concept de calcul dynamique des provisions pour aléas. Ces provisions, actuellement prédéterminées selon la saison, permettent de maintenir disponible une partie de la production pour répondre aux aléas de la demande, des apports hydrauliques et des pannes d'équipements auxquels les exploitants du réseau doivent faire face. Le calcul dynamique des provisions permettra de mieux prendre en compte les aléas qui seront croissants avec l'introduction sur le réseau de nouvelles sources d'énergie variables ou non modulables, notamment la production éolienne. – Contribution au défi S1 de la figure 2

4.3.2.4 Axe Systèmes opérants

Les projets de l'axe *Systèmes opérants* visent à explorer et développer des concepts permettant de modifier physiquement les infrastructures du réseau afin de mieux répondre aux besoins du futur.

- Le projet *Énergies renouvelables* vise à étudier de nouvelles filières de production d'énergie. Actuellement, les efforts se portent sur les filières suivantes :
 - Les hydroliennes utilisent l'énergie cinétique des courants de rivières ou de marées pour produire de l'énergie électrique propre et dont la production est prévisible¹¹.
 - L'énergie osmotique utilise la différence de salinité entre l'eau douce et l'eau salée disponibles à l'embouchure de rivières qui se jettent dans un estuaire marin pour produire une énergie mécanique convertie en de l'énergie électrique propre et dont la production est sans intermittence¹². De par sa géographie favorable, le Québec recèle un potentiel osmotique unique pas encore exploité.
 - La géothermie profonde EGS (Enhanced Geothermal System)¹³ vise la création de réservoirs géothermiques souterrains permettant l'exploitation de quantités gigantesques de chaleur présentes sous la surface du sol. La production d'électricité est réalisée en surface à l'aide de la chaleur extraite. L'EGS produit de l'énergie électrique propre et sans intermittence.

Pour toutes ces sources d'énergie renouvelable, des études sont en cours pour :

- Caractériser le potentiel de production sur le territoire québécois
- Évaluer les aspects technico-économiques et maîtriser les paramètres clés des technologies
- Estimer l'empreinte environnementale et la pérennité des installations

Contribution au défi P2 de la figure 2

- Le projet *Technologies Lithium-Ion pour le transport et le stockage d'énergie* est un projet d'envergure qui vise à rendre les technologies de batteries Lithium-Ion d'Hydro-Québec de plus en plus performantes en accroissant leur sécurité et leur autonomie et en abaissant leurs coûts¹⁴. Déjà utilisées dans plusieurs applications, ces technologies contribueront à accélérer la pénétration de l'électricité dans les

transports et leur utilisation pour le stockage de l'électricité à plus grande échelle. – Contribution au défi S2 S3 U3 la figure 2

- Le projet *Technologies supraconductrices*¹⁵ vise à démontrer par simulation le rôle que la supraconductivité pourrait jouer chez Hydro-Québec et à déterminer les domaines prioritaires où elle pourrait s'imposer à l'horizon 2015 et plus. La réponse d'un supraconducteur aux courants de transports est très non-linéaire. En dessous un certain seuil – le courant critique – la résistance est essentiellement zéro, mais au-dessus ce seuil la résistance croît rapidement. Ceci peut être très bien exploité pour créer des limiteurs de courant et fusibles supraconducteurs, potentiellement des équipements nouveaux pour des réseaux électriques. Les applications possibles seraient :

- Générateurs et machines tournantes supraconductrices
- Limiteurs de courants et fusibles supraconducteurs
- Câbles et courtes liaisons cryogéniques et supraconducteurs
- Équipements compacts et d'urgence : transformateurs, générateurs, limiteurs/fusibles
- Opportunités pour l'intégration de systèmes supraconducteurs avec la production éolienne

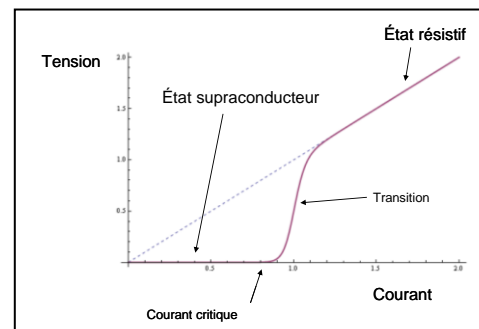


Figure 6 - Exemple de transition de l'état supraconducteur à l'état résistif, définie par le courant critique

Ces technologies contribueront principalement à augmenter la capacité de transit des réseaux – Contribution au défi R1 de la figure 2.

- Plusieurs projets regroupés sous la bannière *Environnement* visent à répondre aux besoins d'innovation en environnement des différentes divisions d'Hydro-Québec, afin de les aider à répondre aux différents enjeux rencontrés et à préparer l'entreprise aux défis à venir. Le projet *Environnement* permet d'assurer la concertation des efforts de R&D dans ce domaine à l'IREQ et compte des activités relatives aux enjeux technologiques suivants:
 - Sites contaminés
 - Matières résiduelles et matières résiduelles dangereuses
 - Gaz à effets de serre (incluant le cas particulier du SF₆)
 - Études d'impact et suivis environnementaux

De plus, ce projet compte des activités qui visent à maintenir ou développer l'expertise de l'IREQ dans les deux domaines stratégiques suivants:

- Impact des champs électromagnétiques
- Intégration du concept de cycle de vie au processus d'innovation (éco-innovation)

Ces activités contribueront à minimiser l'empreinte environnementale de l'industrie électrique et répondent à l'engagement maintes fois renouvelé d'Hydro-Québec à poursuivre ses activités dans le respect des principes du développement durable.

4.4 Synthèse

Le tableau suivant présente la synthèse de la contribution du portefeuille de R&D stratégique d'Hydro-Québec aux principaux défis que doit relever l'électricité pour devenir un vecteur complet et efficace pour l'accessibilité de l'énergie.

Axes de R&D	Défis															
	Réseaux				Stockage				Utilisation				Production			
	R1 – Capacité de transit R2 – Exploitation vs aléas R3 – Réseaux interactifs R4 – Fiabilité & Qualité				S1 – Gestion des réserves S2 – Gestion des pointes S3 – Stockage batteries S4 – Autres stockages				U1 – Efficacité énergétique U2 – Gestion de la demande U3 – Électricité portable U4 – Électro technologies				P1 – Production existante P2 – Énergies nouvelles P3 – Production décentralisée P4 – Valorisation pertes			
	R1	R2	R3	R4	S1	S2	S3	S4	U1	U2	U3	U4	P1	P2	P3	P4
Systèmes de connaissances	X			X	X								X			
Systèmes d'information	X	X	X	X	X					X			X	X	X	
Systèmes de décision	X	X		X	X											
Systèmes opérants	X					X	X				X			X		

On peut constater que la plupart des défis sont couverts, à des intensités variables, par le portefeuille de R&D stratégique. On notera que le domaine de l'utilisation qui semble moins couvert fait plutôt l'objet de projets d'innovation technologique, notamment pour l'efficacité énergétique, la gestion de la demande (qui comprend des moyens de stockage thermique à petite échelle) et les électro-technologies ainsi que pour la valorisation des rejets thermiques des industries et la production d'électricité à partir de biomasse.

5 Conclusion

Pour devenir véritablement un vecteur complet et efficace d'accessibilité à l'énergie, l'électricité doit encore relever plusieurs défis. Hydro-Québec et son Institut de recherche y travaillent activement. Les travaux entrepris visent à :

- Augmenter l'efficacité de la production d'électricité d'origine hydraulique et développer de nouvelles énergies renouvelables sous forme d'électricité.
- Intégrer les nouvelles sources d'énergie tout en minimisant le recours à de nouvelles lignes en augmentant la capacité de transit des réseaux de transport d'électricité. Cette augmentation est obtenue en ayant recours à de nouvelles façons d'exploiter le réseau très proche de ses limites par une gestion des risques, par des automatismes adaptatifs et par une automatisation de la conduite.
- Intégrer la production décentralisée et gérer l'offre et la demande à l'aide de réseaux de distribution intelligents.
- Maximiser la disponibilité des équipements par une maintenance efficace fondée sur une connaissance des mécanismes de dégradation et de défaillance.
- Mettre à profit les capacités de stockage des réservoirs pour équilibrer la variabilité de la demande et de l'offre provenant de toutes sources.
- Accélérer le recours au stockage de l'électricité dans des batteries performantes et multiplier les usages efficaces de l'énergie par des procédés électriques notamment pour les véhicules et le transport terrestre.

Références bibliographiques

- ¹ Ngô, C., *Analyse et perspectives énergétiques mondiales*, Techniques de l'ingénieur (Référence BE8515), octobre 2009
<http://www.techniques-ingenieur.fr/book/be8515/analyse-et-perspectives-energetiques-mondiales.html>
- ² Site internet Hydro-Québec
<http://www.hydroquebec.com/profil/index.html>
- ³ Site internet IREQ
<http://www.hydroquebec.com/technologie/index.html>
- ⁴ Naggar, R., *La R&D stratégique à Hydro-Québec*, RTE Seminar - Prospective & Research Studies for High Voltage Networks, Paris - La Défense, Avril 2009
- ⁵ Ermine J.L., *Les systèmes de connaissances - 2ème édition*, Éditions Hermès, 2000.
- ⁶ VESCOVI, L., BARIL, P., DESJARLAIS, C., MUSY, A., ROY, R. (2009), *Water and Climate Change in Quebec*, Scientific Paper published in the Side publication series of the World Water Assessment Programme of UNESCO, 12pp.
- PACHER, G., MINVILLE, M., FRIGON, A., ROY, R., SLIVITZKY, M. (2009), *Climate change and water resources: an approach to adaptive Management*, The Role of Hydrology in Water Resources Management. IAHS Publ. 327.
- ROY, R., PACHER, ADAMSON, P., G., ROY, L., SILVER, R. (2008), "Adaptive Resources Management for Water Resources Planning and Operations". Scientific and Technical Report requested by the World Bank.
- FRIGON, A., SLIVITZKY, M., CAYA, D., ROY, R. (2007), *Construction of hydro-climatic projections and first-order estimation of their associated uncertainties from Regional Climate Model simulations : Application to water management of hydropower reservoirs in Quebec*. La Houille Blanche, no. 6 , 97-103.
- ⁷ S. Riendeau, B. Agba, H. Bertrand, J. Béland, "Création d'un Centre d'expérimentation en télégestion", rapport IREQ 2009-011, mars 2009
- ⁸ Forcione, A. et Roberge, G., (2006) « Towards Wind Forecasting at Hydro-Quebec », CIGRÉ Canada, Conference on Power Systems, Montreal.
- ⁹ Kamwa, I., Lefebvre, S., Guillon, S. *Orientations de R&D relatives à la gestion active du réseau de transport*, Rapport IREQ-2009-0200, octobre 2009
- 10 N. Menemenlis, M. Huneault, J. Bourrert, A. Robitaille, "Calculation of Balancing Reserves Incorporating Wind Power into the Hydro-Québec System over the Time Horizon of 1 to 48 Hours", Proceedings of 8th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 14-15 Octobre, 2009, Bremen, Allemagne.
- ¹¹ "The emerging ocean energy opportunity" 26 pages, Décembre 2009, présentation OREG (Ocean Renewable Energy Group) au Energy Council de la Colombie Britannique
<http://www.oreg.ca/presentations.html>
- ¹² "Review and Analysis of Ocean Energy Systems Development and Supporting Policies", A report by AEA Energy & Environment on the behalf of Sustainable Energy Ireland for the IEA's Implementing Agreement on Ocean Energy Systems, 60 pages, Juin 2006
http://www.iea-oceans.org/fich/6/Review_Policies_on_OES_2.pdf
- ¹³ Massachusetts Institute of Technology, 2007 - *The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems on the United States in the 21st Century*, MIT Press
http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf
- ¹⁴ Site internet Hydro-Québec
<http://www.hydroquebec.com/electrification-transport/materiaux-batteries.html>
- ¹⁵ J.R. Cave and V.K. Sood, *Modeling of HTS applications using EMTP with flux-pinning scaling models for practical HTS superconductors*, Advances in Cryogenic Engineering Materials, Vol. 54, Ed. U. Balachandran, Page 516, 2008.