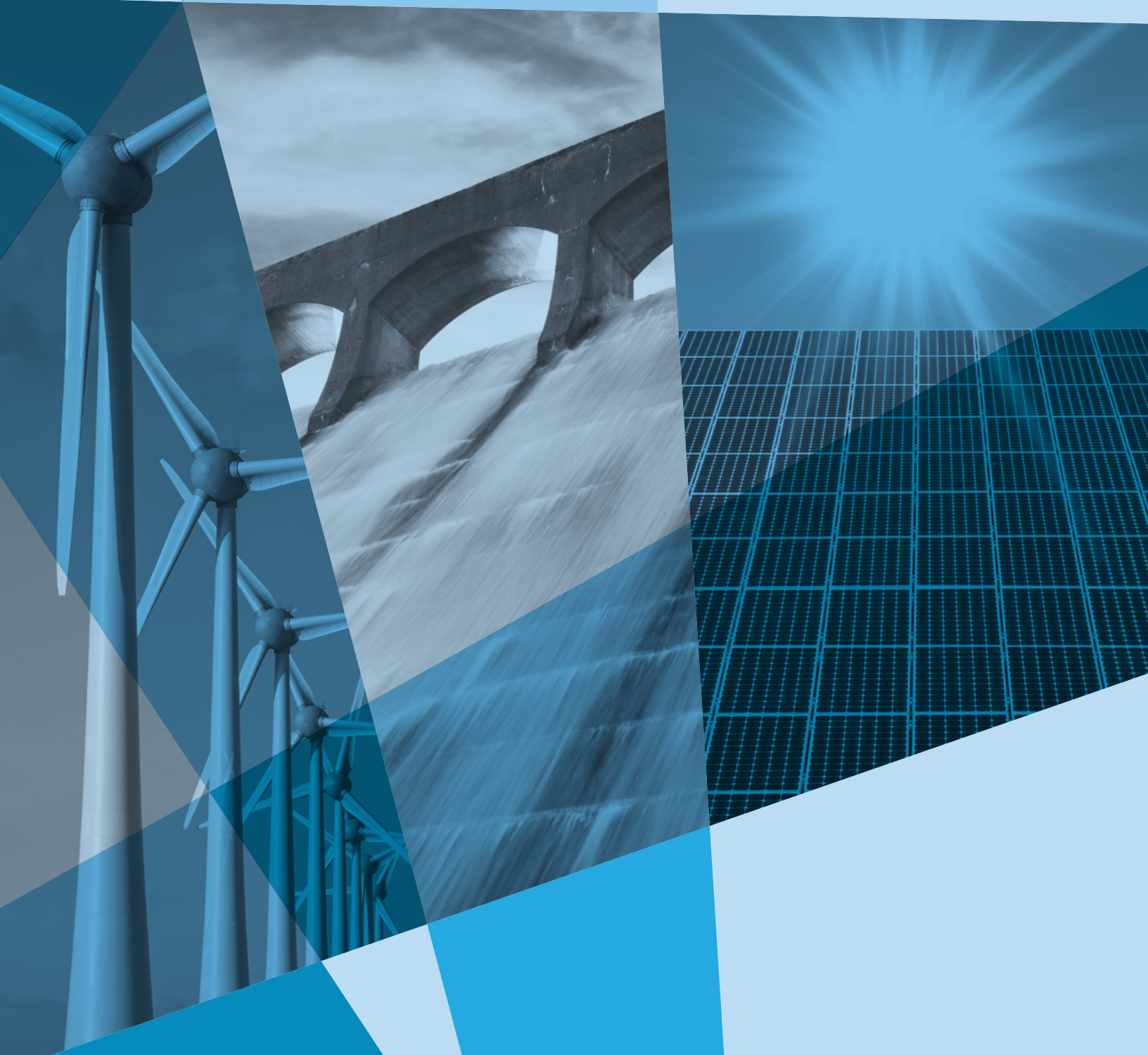


# RAPPORT ANNUEL 2017-2018



# SOMMAIRE

- 01 Historique**
  - Mission**
- 02 Mot du directeur académique**
  - Équipe de l'IET
- 03 Gouvernance**
- 04 Axes stratégiques**
- 05 Activités 2017-2018**
  - 07 Le climat, l'État et nous
- 08 Programme de subventions à la recherche**
  - 09 Étude du phosphore noir : un nouveau matériau pour la conversion d'énergie
  - 10 Conception des systèmes géothermiques pour puits à colonne permanente
  - 11 Développement de réseaux de chaleur de 4<sup>e</sup> génération pour des quartiers durables
  - 12 Métafenêtres intelligentes
- 13 Projet intégrateur**
- 14 Bourses**
  - 12 Bourses Trottier
  - 14 Bourses UPIR
- 16 Programmes d'études supérieures**
- 17 Revue de presse**

Le rapport annuel 2017-2018 de l'Institut de l'énergie Trottier rend compte des activités réalisées pendant l'exercice s'échelonnant du 1<sup>er</sup> mai 2017 au 30 avril 2018.

# HISTORIQUE

La création de l'Institut de l'énergie Trottier (IET) a été rendue possible, en 2013, grâce à un don exceptionnel de la Fondation familiale Trottier à Polytechnique Montréal, dans le cadre de la grande campagne de financement de Campus Montréal.

L'énergie est l'un des créneaux d'excellence de Campus Montréal. Plus d'une douzaine de départements de HEC Montréal, de Polytechnique Montréal et de l'Université de Montréal sont actifs dans ce domaine.

Rassembleur, l'IET s'est donné le mandat d'enrichir et de consolider cette expertise. Son statut particulier lui permet d'ailleurs d'utiliser une approche systémique et globale prenant en compte les dimensions techniques, sociales et économiques des enjeux énergétiques.

En plus de travailler avec un bassin de professeurs et de chercheurs issus des trois établissements de Campus Montréal, l'IET mène des travaux en collaboration avec le *Trottier Institute for Sustainability in Engineering and Design (TISED)*, à l'Université McGill.



Lorne Trottier, le grand philanthrope derrière la création de l'IET, en conversation avec des étudiants de Polytechnique.

# MISSION

**L'Institut de l'énergie Trottier a pour mission :**

## La formation

d'une nouvelle génération d'ingénieurs, de scientifiques et d'innovateurs ayant une compréhension systémique et transdisciplinaire des enjeux énergétiques;

## La recherche

de solutions durables qui permettront d'assurer l'avenir énergétique, en appuyant la génération de connaissances et l'innovation dans le domaine énergétique;

## La diffusion

des connaissances liées à l'énergie pour ainsi contribuer à hausser le niveau des débats sociaux sur les questions énergétiques.

# MOT DU DIRECTEUR ACADÉMIQUE

Je suis très heureux de le souligner : 2017-2018 a été riche en actions. Diffusion de publications pour appuyer la transition énergétique, représentations multiples auprès des gouvernements, lancement d'une grande démarche visant à repenser l'action publique en environnement, poursuite de projets de recherche innovants : nous avons de quoi être fiers du travail des membres de l'Institut.

En cinq ans, l'IET est devenu incontournable, tant au Québec qu'au Canada, quand on pense transition énergétique et lutte aux changements climatiques. Notre voix, qui se veut indépendante, fondée sur la science et posée, apporte une contribution nécessaire aux débats sur ces questions fondamentales pour notre société.

Cette réflexion ne se déroule pas à huis clos. Poursuivant une approche établie par son premier directeur Miguel Anjos, l'IET a continué d'élargir son réseau de collaborateurs, issus autant des entreprises privées, que du secteur public et du milieu militant, afin d'assurer des travaux de plus haut niveau. Nous leur en sommes reconnaissants.

Je tiens, tout particulièrement, à remercier tous ceux et celles qui ont soutenus l'initiative *Le climat, l'État et nous*, l'événement-phare de la dernière année pour l'IET. Ce projet, mariant réflexion scientifique, dialogue citoyen et action politique qui se déroule sous l'œil intéressé de représentants de partis politiques et gouvernementaux, a fait valoir toute l'importance d'une collaboration ouverte pour proposer une gouvernance environnementale efficace à l'État québécois. La Déclaration commune ayant découlée de cette initiative met de l'avant des principes-clés à respecter pour que le Québec se développe durablement. Ses signataires, institutionnels, associatifs et individuels, représentent plus d'un million de Québécois.

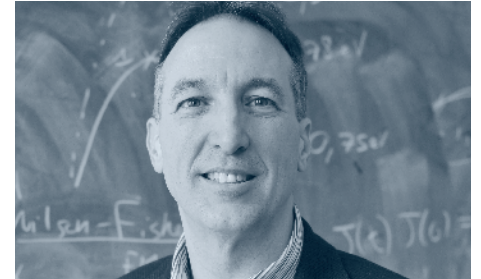
Ces travaux publics s'appuient sur la recherche fondamentale et la formation des étudiants qui poursuivront la transformation du système énergétique québécois, canadien et mondial ; ce sont des activités moins visibles, mais essentielles. Et, encore une fois, les projets appuyés par l'IET cette année se démarquent par leur qualité et leur pertinence.

Le temps ne s'arrête pas, bien sûr. Et, déjà, toute l'équipe est à l'œuvre pour s'assurer que la sixième année de l'IET apporte encore plus que la dernière. Ce regard en arrière nous offre toutefois l'occasion de présenter une image intégrée de nos efforts et succès. Toutes les personnes associées à l'IET doivent être fières du travail accompli depuis cinq ans. Sans elles et eux, sans vous, ce n'aurait pas été possible.



**Normand Mousseau**

## ÉQUIPE DE L'IET



**Normand Mousseau**  
Directeur académique



**Louis Beaumier**  
Directeur exécutif



**Guy Marleau**  
Coordonnateur des programmes d'études supérieures en génie énergétique



**Audrey Rondeau**  
Conseillère en communications

# GOVERNANCE

## CONSEIL DE DIRECTION

**Lorne Trottier**

Président de la Fondation familiale Trottier

**Sylvie Trottier**

Directrice de la Fondation familiale Trottier

**Guy Lefebvre**

Vice-recteur, Université de Montréal

**François Bertrand**

Directeur général adjoint et Directeur de la formation et de la recherche, Polytechnique Montréal

**Pierre-Olivier Pineau**

Professeur titulaire, Sciences de la décision, HEC Montréal

## COMITÉ DE GESTION

### UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**Normand Mousseau**

Directeur académique de l'IET et professeur titulaire, Physique

**Erick Lachapelle**

Professeur adjoint, Science politique

**Dominic Rochefort**

Professeur titulaire, Chimie

### POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

**Michel Bernier**

Professeur titulaire, Génie mécanique

**Michel Gendreau**

Professeur titulaire, Mathématiques et génie industriel

**François Guibault**

Professeur titulaire, Génie informatique et génie logiciel

**Guy Marleau**

Coordonnateur des programmes d'études supérieures en génie énergétique, professeur titulaire, Génie physique

**Philippe Pasquier**

Professeur agrégé, Génies civil, géologique et des mines

**Oumarou Savadogo**

Professeur titulaire, Génie chimique

**Frédéric Sirois**

Professeur agrégé, Génie électrique

**Alberto Teyssedou**

Professeur titulaire, Génie physique

# AXES STRATÉGIQUES

La mission de l'IET s'articule autour de trois axes stratégiques :

## FORMATION

- ▶ Administrer les programmes de bourses d'études de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles, liées au domaine de l'énergie;
- ▶ Agir comme centre de référence pour intégrer un point de vue systémique dans le contenu universitaire sur l'énergie de Polytechnique Montréal;
- ▶ Offrir à la communauté polytechnicienne un environnement intellectuel et scientifique propice à éveiller et à nourrir l'intérêt pour les questions énergétiques;
- ▶ Favoriser le maillage entre les étudiants qui consacrent leur projet intégrateur aux thématiques énergétiques et des spécialistes de divers horizons;
- ▶ Collaborer à promouvoir la culture d'excellence du génie énergétique à Polytechnique Montréal afin d'attirer la relève dans ce champ d'activités porteur d'avenir.

## RECHERCHE

- ▶ Créer un milieu favorable au démarrage de nouveaux projets de recherche transdisciplinaires portant sur l'énergie. La transdisciplinarité est encouragée, afin d'inscrire les projets dans une approche systémique de résolution de problème allant au-delà de la seule discipline de l'ingénierie;
- ▶ Établir et maintenir des partenariats pour consolider les réseaux régionaux, nationaux et internationaux de Polytechnique Montréal;
- ▶ Jouer un rôle actif dans la recherche de financement, dans les circuits gouvernementaux et privés, afin d'appuyer la recherche, notamment la recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire sur des thématiques, des problématiques ou des projets précis.

## DIFFUSION

- ▶ Soutenir la création d'événements transdisciplinaires comme tribune de discussion sur les questions énergétiques;
- ▶ Favoriser et soutenir la présence médiatique des différents experts en énergie de Polytechnique;
- ▶ Encourager la participation des professeurs, des chercheurs et des étudiants, aux événements scientifiques – régionaux, nationaux ou internationaux – liés aux questions énergétiques;
- ▶ Appuyer la participation aux événements scientifiques de Polytechnique pertinents à la mission de l'Institut;
- ▶ Agir comme un lieu privilégié d'accès à l'expertise et de diffusion de la recherche et de la formation en énergie, tant à l'échelle du campus qu'aux échelles nationale et internationale;
- ▶ Faire preuve de leadership en matière d'énergie auprès de la communauté universitaire et scientifique, ainsi que du public;
- ▶ Être un intervenant incontournable pour la classe politique, de même qu'une source d'information pour la société en général.

# ACTIVITÉS 2017-2018

## PARTICIPATION AU CONGRÈS DE L'AQME

Le 31<sup>e</sup> Congrès de l'Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie (AQME) consacrait une journée entière au bâtiment. C'est dans ce contexte que le professeur Michaël Kummert, chercheur de l'Institut de l'énergie Trottier, a présenté le projet de recherche qu'il dirige sur les réseaux de chaleur de 4<sup>e</sup> génération. À titre d'initiative locale porteuse, ce projet s'inscrit dans la mouvance des villes résilientes qui privilégient une approche collective sur un territoire dense.

## SEMAINE ÉNERGIE

L'IET s'est associé au club étudiant Poly Énergies dans l'organisation de la Semaine Énergie 2018. Au total, sept conférences prononcées par des experts issus des milieux industriel, gouvernemental et académique ont eu lieu à Polytechnique Montréal. Ouverts à tous, ces rendez-vous avaient un message commun : les ingénieurs de demain devront développer des sources d'énergies renouvelables et trouver des façons de consommer optimales et efficaces. Les experts des milieux de l'électricité, du bâtiment, des transports ont fait état des travaux actuels pour repenser la façon de produire, de convertir et d'utiliser l'énergie.

## SÉMINAIRE PUBLIC SUR LES POLITIQUES EN TRANSPORT ET SUR LE CLIMAT

L'Institut de l'énergie Trottier a accueilli un séminaire public sur le transport et le climat, en collaboration avec le consulat général des États-Unis, le Département de science politique de l'Université de Montréal et l'Institut québécois du carbone.

Organisé dans le cadre de l'atelier du *Joint Clean Climate Transport Research Partnership* (JCCTRP), le séminaire a réuni des experts provenant du Québec, de la Californie, de l'Ontario et du Vermont. Ceux-ci ont présenté les efforts locaux en lien avec le transport et le climat. Les politiques de transport, les règlements et les systèmes de plafonnement et d'échange d'émissions de ces juridictions ont été décortiqués.

Le JCCTRP est un partenariat de recherche conjointe réunissant des économistes, des politologues, des experts et des professionnels en politiques publiques issus du Canada et des États-Unis. L'objectif du partenariat est de créer un pôle de recherche sur les politiques en transport et sur les changements climatiques, ainsi que de mettre en place une collaboration en matière de méthodes de recherches.

## L'IET INVITE LE CANADA À SE TOURNER VERS UNE EXPERTISE INDÉPENDANTE EN MATIÈRE DE POLITIQUES CLIMATIQUES



Conjointement avec le *Canadian Energy Systems Analysis Research Initiative* (CESAR) de l'Université de Calgary, l'IET a émis une série de recommandations pour le gouvernement canadien afin que l'élaboration et la mise en œuvre des politiques climatiques soient plus efficaces. Ces recommandations, contenues dans le rapport *Pour de l'analyse et des avis experts indépendants* pointent entre autres vers la création d'une nouvelle organisation pancanadienne, indépendante des influences politiques. Provisoirement nommé *Institut canadien du changement climatique et de la croissance propre*, ou Institut C4P, cette entité formée de personnel hautement qualifié, serait responsable de produire des outils de modélisation utiles à une prise de décision éclairée.

# ACTIVITÉS 2017-2018

## PRODUCTION D'UN LIVRE BLANC EN FAVEUR DE LA MODÉLISATION DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES AU PAYS

Le gouvernement fédéral canadien consent des efforts limités pour établir des perspectives énergétiques pertinentes. Parallèlement, des inquiétudes sont soulevées en ce qui concerne la transparence des analyses commandées à des sociétés d'experts-conseils ayant le mandat de réaliser une grande partie de la modélisation des systèmes énergétiques au Canada. Voilà des constats inquiétants qui se dégagent d'un livre blanc produit par l'Institut de l'énergie Trottier en collaboration avec l'IQcarbone. Intitulé *Pour une initiative permanente de modélisation des systèmes énergétiques canadiens*, ce document presse l'administration publique d'agir.

## PARTICIPATION AU RAPPORT *REBÂTIR LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE CANADIEN*

Normand Mousseau, directeur académique de l'IET, est l'un des auteurs principaux du rapport *Rebâtir le système énergétique canadien : vers un avenir sobre en carbone*, commandé par l'organisme fédéral Ressources naturelles Canada et rendu public le 26 mai 2017. Porté par *Dialogues pour un Canada vert*, une entité réunissant des chercheurs universitaires canadiens, ce rapport rend compte d'un point de vue scientifique indépendant. Il presse le Canada de transformer ses vastes ressources d'énergie renouvelable en moteur économique et d'appuyer ses décisions sur des données probantes.

## MÉMOIRE DÉPOSÉ AUPRÈS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE QUÉBEC

L'IET a déposé un mémoire dans le cadre de la consultation lancée par Transition énergétique Québec (TEQ), en amont de l'élaboration de son premier plan directeur. Intitulé *Le rôle de l'université dans la stratégie de transition énergétique*, le document présente les recommandations du directeur académique et du directeur exécutif de l'IET, Normand Mousseau et Louis Beaumier, en vue de favoriser l'atteinte des cibles énergétiques définies par le gouvernement. Notamment, ils exposent en quoi bâtir des ponts avec le monde universitaire québécois s'avérera un facteur clé de succès de la transformation de société que doit mener TEQ.

## PARTICIPATION AU PROJET *PAR NOTRE PROPRE ÉNERGIE*

L'IET s'est activement impliqué dans le projet *Par notre propre énergie*, lancé par les conseils régionaux de l'environnement (CRE) du Québec, ainsi que leur regroupement (RNCREQ). Dédié à la mobilisation et à la concertation des acteurs locaux autour des enjeux et des solutions propres à chaque région, ce projet a donné lieu à plusieurs rendez-vous à travers le Québec. Les directeurs exécutif et académique de l'IET, Louis Beaumier et Normand Mousseau, ont prononcé différentes conférences dans le cadre de quatre rencontres (Laurentides, Mauricie, Lanaudière et Chaudière-Appalaches). Parmi les sujets traités, ils ont abordé la transition énergétique, la mobilité durable, les actions politiques pour une meilleure gouvernance environnementale, ainsi que les stratégies d'entreprises dans un contexte d'adaptation et de lutte aux changements climatiques.

## LA MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU CANADA EN VISITE À L'IET



L'honorable Catherine McKenna, ministre canadienne de l'Environnement et du Changement climatique, était de passage à Polytechnique Montréal le 18 janvier 2018, afin de rencontrer l'équipe de l'IET. Un tour d'horizon des projets en cours lui a été offert, en plus d'un arrêt au laboratoire du professeur Sébastien Francoeur mettant en lumière ses travaux de caractérisation et d'optimisation du phosphore noir 2D, un matériau dont les propriétés promettent d'accroître l'efficacité des panneaux solaires. L'équipe de l'IET a profité du passage de la ministre pour la sensibiliser à des outils prospectifs pour répondre aux défis énergétiques, plaidant en faveur de la mise en place d'une initiative permanente de modélisation des systèmes énergétiques canadiens.



# LE CLIMAT, L'ÉTAT ET NOUS



## LE CLIMAT L'ÉTAT ET NOUS

Repenser l'action publique en environnement

Lancé en septembre 2017, le projet *Le climat, l'État et nous* a été lancé par un groupe de 24 experts universitaires. Soutenus par l'Institut de l'énergie Trottier, le scientifique en chef du Québec, Rémi Quirion, et l'Institut du Nouveau Monde, ceux-ci se sont unis afin de lancer une réflexion visant à repenser l'action publique en environnement.

Issus de divers domaines tels que l'eau, l'énergie, l'économie et les sciences sociales, ces spécialistes ont d'abord dressé le bilan du Québec, avant d'esquisser une nouvelle structure de gouvernance. En février, le modèle alternatif qu'ils ont imaginé pour aborder plus efficacement les défis du développement durable est soumis au débat public, au moyen d'une plateforme en ligne. Plus de 700 personnes y ont

donné leur avis, révélant au passage un consensus clair : les critères pris en compte dans les politiques environnementales québécoises doivent être revus.

En avril, une soixantaine d'invités du monde des affaires, du monde syndical, des municipalités, du gouvernement et de la société civile ont participé à un forum national, à l'Université de Montréal. Cette rencontre plaçait la nature du problème et la nature des solutions au cœur des discussions. Devant les constats mis sur la table par le groupe d'experts, ainsi que les idées et les préoccupations formulées par les citoyens ayant participé à la démarche en ligne, les participants ont établi les conditions de succès pour que le Québec se développe durablement.

Leur travail a inspiré le texte d'une Déclaration commune, publiée en campagne électorale. Celle-ci invitait les partis politiques du Québec à s'engager à revoir le modèle de gouvernance environnementale et à mettre en pratique cinq principes clés : une vision à long terme, un dialogue avec la population, un mandat fort de coordination interministérielle, un processus d'évaluation indépendant, ainsi que la prise en compte de données scientifiques et des savoirs traditionnels.

Depuis sa publication, la Déclaration a récolté l'appui de centaines de résidents du Québec, ainsi que d'experts, d'associations citoyennes et professionnelles, de groupes d'affaires, de centrales syndicales et d'organisations écologiques. Touchant une corde sensible, le message qui y est contenu a beaucoup circulé, et ce, tant dans l'espace médiatique que public. De fait, les signataires représentent plus d'un million de Québécois, dont 660 à titre individuel.

[climat-etat-nous.org](http://climat-etat-nous.org)



# PROGRAMME DE SUBVENTIONS À LA RECHERCHE

L'IET subventionne des projets de recherche dans le domaine énergétique, conduits par des professeurs de Polytechnique Montréal.

Présenté chaque automne sous forme d'appel à projets, les récipiendaires du programme se voient accorder un financement maximal de 150 000 \$ par projet, réparti sur trois ans.

Trois projets recevaient du financement durant l'année 2017-2018.

En plus du développement de nouvelles connaissances scientifiques et technologiques dans le domaine de l'énergie, le programme vise certains objectifs en lien avec la mission de l'IET, à savoir :

## Appuyer le développement de solutions durables

### Contribuer à assurer l'avenir énergétique de la planète

### Favoriser la compréhension systémique des enjeux énergétiques

---

« Il s'agit d'une bonne année tant en termes de contributions scientifiques que de financement reçu pour nos études sur le phosphore noir. Le projet IET aura été pour nous un excellent levier. »

**Sébastien Francoeur**, chercheur principal du projet de recherche sur le phosphore noir

« Nos travaux ont confirmé le potentiel important des puits à colonne permanente pour le chauffage des bâtiments. La subvention de l'IET a été inestimable, car elle a permis d'accélérer le démarrage de l'unité de recherche en géothermie et d'intéresser des partenaires industriels aux travaux de nos étudiants. »

**Philippe Pasquier**, chercheur principal du projet sur les puits à colonne permanente

« Le financement de l'IET nous a permis de mettre en place une équipe de recherche multidisciplinaire et de nouer des contacts avec des acteurs dans les communautés ciblées. Les étudiantes et étudiants progressent dans leur discipline respective, mais sortent également de la logique du travail en silo grâce à des collaborations concrètes sur des cas d'étude communs. »

**Michaël Kummert**, chercheur principal du projet sur les réseaux de chaleur de 4<sup>e</sup> génération

« Le financement de l'IET nous permet de développer l'énorme potentiel des métasurfaces électromagnétiques pour le contrôle du rayonnement thermique. »

**Christophe Caloz**, chercheur principal du projet sur les métafenêtres intelligentes

PROJET FINANCÉ (début du financement : hiver 2016)

# ÉTUDE DU PHOSPHORE NOIR : UN NOUVEAU MATÉRIAU POUR LA CONVERSION D'ÉNERGIE

## CHERCHEURS

### Sébastien Francoeur

Génie physique, Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Richard Martel

Chimie, Université de Montréal

### Oussama Moutanabbir

Génie physique, Polytechnique Montréal

### Thomas Szkopek

Génie électrique, Université McGill

---

**Les objectifs de ce projet sont de développer des techniques de croissance et de dopage du phosphore noir, de le caractériser et d'optimiser ses propriétés pour la fabrication de dispositifs de conversion d'énergie solaire ou thermique en électricité.**

---

## PRÉSENTATION DU PROJET

L'hypothèse de départ est que l'utilisation du phosphore noir a le potentiel d'améliorer l'efficacité d'opération des technologies photovoltaïque et thermoélectrique. Ceci aurait un impact majeur sur plusieurs enjeux de sociétés comme l'électrification des transports, la dépendance aux énergies fossiles et les changements climatiques.

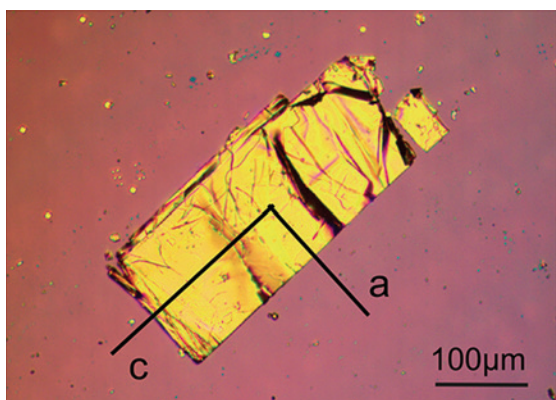
## AVANCEMENT DES TRAVAUX

Durant la deuxième année de ce projet, l'équipe de recherche a progressé dans le développement de ce nouveau matériau 2D.

D'abord, la compréhension du transport de charge dans le phosphore s'est grandement affinée. Cette notion est essentielle à l'optimisation de l'efficacité des dispositifs de conversion de l'énergie.

Les propriétés du matériau continuent d'ailleurs de surprendre. Par exemple, les travaux du professeur Szkopek démontrent que la diffusion des porteurs est, dans certaines conditions, similaire à celle observée dans des systèmes quasi unidimensionnels. Puisque les hétérojonctions sont nécessaires pour la fabrication de dispositifs de conversion de l'énergie, l'équipe du professeur Moutanabbir étudie quant à elle la croissance des éléments appartenant à la même colonne du tableau périodique que le phosphore noir (As, Sn, Bi). Au cours de la dernière année, les chercheurs ont documenté la croissance de l'arsenic et l'antimonène ainsi que les formes bidimensionnelles de l'arsenic et de l'antimoine.

Enfin, il est à noter que la fabrication d'échantillons de très grande qualité demeure un défi. Afin de guider les efforts d'optimisation, les équipes des professeurs Francoeur et Martel ont démontré que la spectroscopie des phonons de 2<sup>e</sup> ordre étaient sensibles à la présence de défauts, d'impuretés, de dopants et de toute autre influence sur la structure de bande électronique du phosphore noir. Cette technique permettra aux nombreuses équipes partout dans le monde d'accélérer le développement du phosphore noir pour toutes ses applications, sans que celles-ci soient limitées aux dispositifs de conversion de l'énergie.



PROJET FINANCÉ (début du financement : printemps 2016)

# CONCEPTION DES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES POUR PUIITS À COLONNE PERMANENTE

## CHERCHEURS

### Philippe Pasquier

Génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Paul Baudron

Génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal

### Florent Barbecot

Sciences de la Terre et de l'atmosphère,  
UQAM

### Benoît Courcelles

Génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal

### Denis Marcotte

Génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal

---

**Ce projet de recherche étudie la conception et l'opération des systèmes géothermiques à puits à colonne permanente (PCP). La réduction envisagée des coûts de construction de cette technologie accélérera son adoption et contribuera à réduire l'empreinte environnementale des bâtiments canadiens.**

---

## PRÉSENTATION DU PROJET

Au Québec, plus de la moitié de la consommation électrique d'une résidence est dévolue au chauffage et à la climatisation. Alors que l'utilisation de pompes à chaleur géothermiques permet de réduire significativement cette consommation d'énergie, l'investissement requis pour aménager les puits en boucle fermée dissuade les promoteurs immobiliers. C'est à ce besoin de diminuer les coûts de construction et d'opération des systèmes géothermiques que veut répondre ce projet de recherche en améliorant la conception d'une technologie prometteuse : les puits à colonne permanente (PCP).

Cette technologie a le potentiel de se démarquer positivement de celle des puits en boucle fermée puisqu'elle s'intègre plus facilement à des bâtiments existants en milieu urbain à haute densité. En effet, elle nécessite un seul puits profond creusé dans le roc pour accéder à l'eau souterraine. L'efficacité thermique de cette méthode peut atteindre le triple de celle des puits en boucle fermée.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

Pour accélérer le déploiement des puits à colonne permanente, il faut notamment développer des séquences de contrôle des pompes adaptées à un climat froid, tel que celui du Canada. Une étudiante à la maîtrise y travaille et présentera ses observations à une conférence internationale en décembre 2018.

Parallèlement, une étudiante au doctorat poursuit ses démarches pour valider expérimentalement un modèle thermo-hydraulique. La première partie des travaux menés en ce sens a été présentée à un congrès international de géothermie en septembre 2018 et l'article présenté fut sélectionné pour une publication regroupant les 10 meilleures conférences.

La vérification des stratégies de traitement de l'eau pour puits à colonne permanente est en cours, avec l'appui d'un étudiant sous la direction du professeur Benoît Courcelles. Initialement à la maîtrise, l'étudiant a effectué un passage au doctorat 2018, ce qui permettra d'affiner le travail.

Finalement, un étudiant de doctorat a commencé en janvier 2018 ses travaux sur la vérification expérimentale du modèle thermo-hydro-géochimique. Il développe une approche de traçage isotopique permettant de caractériser l'impact des variations de la température sur la qualité de l'eau souterraine. Les premiers résultats obtenus confirment la pertinence de l'approche originale qui est développée.



PROJET FINANCÉ (début du financement : hiver 2017)

# DÉVELOPPEMENT DE RÉSEAUX DE CHALEUR DE 4<sup>E</sup> GÉNÉRATION POUR DES QUARTIERS DURABLES

## CHERCHEURS

### Michaël Kummert

Génie mécanique, Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Daniel Pearl

Faculté de l'aménagement,  
École d'architecture,  
Université de Montréal

### Lisa Bornstein

School of Urban Planning,  
Université McGill

**Le projet a pour but de mettre au point des réseaux de chaleur de 4<sup>e</sup> génération, c'est-à-dire un système de partage et de récupération de chaleur à la fois performant, rentable et éthique. L'objectif à long terme est de réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle des villes, en redéfinissant les approches de développement urbain et en créant des quartiers durables qui seront mixtes, compacts, diversifiés et efficaces.**

## PRÉSENTATION DU PROJET

En 2014, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) identifiait le secteur des bâtiments comme celui présentant les meilleures opportunités pour réduire les émissions de GES de manière économiquement viable.

Selon les chercheurs impliqués dans ce projet, les réseaux de partage de chaleur représentent la clé pour accélérer l'intégration des énergies renouvelables et rendre possible le partage et la récupération de chaleur. Ils travailleront donc à inventer et à mettre en œuvre une 4<sup>e</sup> génération de réseaux de chaleur. À terme, c'est tout un quartier qui pourrait bénéficier d'un chauffage communautaire alimenté en partie à même les rejets thermiques des activités aux alentours.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

L'équipe de recherche (trois professeurs, ainsi que six étudiants issus de l'Université McGill, de l'Université de Montréal et de Polytechnique Montréal) a étudié le potentiel de trois quartiers de Montréal, en utilisant des indicateurs multidimensionnels inspirés par ceux de l'Agence de l'Écologie Urbaine de Barcelone. Pour les aspects énergétiques, le travail a consisté à récolter des données géoréférencées sur les bâtiments existants et à établir des archétypes de bâtiments afin de quantifier les besoins en chauffage et en climatisation. L'équipe a également cartographié des indicateurs de mobilité et de qualité de vie, en plus de définir différents indicateurs sociaux et de durabilité tels que les espaces verts ou la canopée.

Grâce à cette cartographie, certaines mesures ont été proposées, afin, notamment, d'améliorer le transport, l'accessibilité des espaces publics et les effets d'îlots de chaleur.

Le volet énergétique a déjà fait l'objet d'une publication dans le cadre d'une collaboration avec le MIT, lequel développe un logiciel de modélisation énergétique à l'échelle urbaine auquel Polytechnique Montréal contribue.

Pour l'étude de cas à venir, un quartier de Rosemont a été sélectionné comme le plus prometteur à court terme.



Source : travail des étudiants impliqués dans le projet,  
Google Maps pour le fond de carte.

# MÉTAFENÊTRES INTELLIGENTES

## CHERCHEURS

### Christophe Caloz

Génie électrique,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

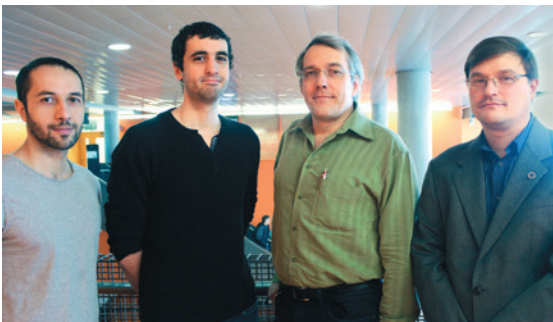
### Maksim Skorobogatiy

Génie physique,  
Polytechnique Montréal

---

**Ce projet de recherche vise le développement de fenêtres thermiquement optimales, dites métafenêtres. Il promet de révolutionner la technologie des fenêtres, en augmentant considérablement leur efficacité énergétique.**

---



## PRÉSENTATION DU PROJET

La chaleur peut se propager de trois façons distinctes : par convection, par conduction ou par rayonnement électromagnétique. Grâce à l'utilisation de calfeutrage ou de double vitrage empli de gaz, les pertes de chaleur par convection et par conduction sont déjà habilement endiguées.

Ici, c'est le phénomène du rayonnement qui intéresse l'équipe de recherche. N'ayant encore jamais été intégrée dans les technologies de fenêtrage, la maîtrise de ce type de transfert thermique pourrait conduire à des économies en chauffage et en climatisation de plus de 20 %. Car si les fenêtres standards présentent déjà d'intéressantes qualités isolantes, les métafenêtres ne se limiteront pas à la simple rétention de la chaleur à l'intérieur : elles en puiseront à partir de l'extérieur.

Les chercheurs convoitent en effet un réservoir d'énergie propre, jusqu'ici inexploité. Ce réservoir tire sa source d'un rayonnement électromagnétique, appelé rayonnement du corps noir. Lié à la température des objets, ce dernier comprend une importante quantité d'énergie dans l'infrarouge. Il provient essentiellement du soleil ainsi que des masses physiques environnantes, telles que les personnes, les animaux, les habitations et la végétation.

L'innovation de ce projet s'appuie sur le développement de nouvelles métasurfaces, à savoir des matériaux artificiels bidimensionnels. Parmi les propriétés de ces matériaux, un potentiel de contrôle du rayonnement thermique naturel a été observé, et ce, avec un raffinement sans précédent. Constituée de petites particules résonantes, l'architecture de ces matériaux permet en effet de diriger les ondes électromagnétiques émises par des corps chauds.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

L'équipe de recherche se donne trois ans pour parfaire la conception de verres sophistiqués pouvant être traversés par le rayonnement du corps noir. Quant aux fenêtres existantes, les chercheurs projettent de développer un métafilm qui, une fois appliqué sur celles-ci, capterait cette énergie.

Pour que l'échange de chaleur entre les environnements externe et interne soit efficace, le défi résidera dans la gestion fine de ce rayonnement. En hiver, la métafenêtre devra attirer l'énergie thermique du soleil et des autres corps, tout en ne laissant pas s'échapper les ondes émises entre ses murs. À l'inverse, en été, la métafenêtre devra laisser sortir la chaleur accumulée à l'intérieur et bloquer toute entrée de rayonnement solaire.

Les membres de l'équipe de recherche sont optimistes quant à l'atteinte de ces objectifs et se réjouissent de l'appui de l'Institut de l'énergie Trottier. Ils contemplent par ailleurs l'idée d'étendre les applications de ce projet au bénéfice des véhicules et des serres alimentaires.

# PROJET INTÉGRATEUR

## APPUI FINANCIER POUR UN PROJET INTÉGRATEUR MULTIDISCIPLINAIRE

Pour une première fois en 2017-2018, l'IET a accordé des fonds pour soutenir un projet intégrateur. Multidisciplinaire, ce projet réunissait autour d'un même objectif des étudiants au baccalauréat (en génie mécanique – Polytechnique Montréal, en design – Université de Montréal et en marketing – HEC Montréal).

Il s'inscrivait dans une volonté de la Société québécoise des infrastructures (SQI) de trouver et de mettre en œuvre des solutions à la crise du logement au Nunavik, et ce, dans une optique de développement durable.

Les étudiants ont donc travaillé à l'élaboration de concepts d'habitations nordiques écoénergétiques, adaptées au mode de vie inuit. Si les étudiants de Polytechnique Montréal ont mis à profit leurs connaissances en construction durable, les aspects sociaux ont également été pris en compte dans les plans d'aménagement. Les espaces de vie proposés ont été pensés en fonction du bon déroulement des activités traditionnelles.

L'appui de l'IET, à hauteur de 3 000 \$, couvrait les dépenses associées au prototypage et aux tests en laboratoire, effectués entre autres pour les structures de fenêtre et les joints de murs.



Crédits image : Samuel Boulay, Anne-Marie Mayer-Dalphon et Jasmine S. Berthiaume, Faculté d'aménagement, École de design industriel, Université de Montréal.

# BOURSES

## BOURSES TROTTIER

C'est dans le cadre du volet formation de sa mission que l'IET a mis en place le programme des Bourses Trottier. Il est destiné aux étudiants des trois institutions de Campus Montréal (Polytechnique Montréal, HEC Montréal, Université de Montréal) qui amorcent un programme d'études aux cycles supérieurs – maîtrise de recherche ou doctorat – dans un domaine de recherche compatible avec la mission de l'IET, à savoir le développement de solutions durables permettant d'assurer l'avenir énergétique de notre société.

- ▶ Maîtrise de recherche : 25 000 \$ / 2 ans
- ▶ Doctorat : 48 000 \$ / 3 ans

## LAURÉATS

Durant l'année 2017-2018, neuf étudiants profitaient d'une aide de l'IET. Les projets des lauréats se démarquent tant par leur qualité scientifique que par leur intérêt sociétal.

[Cliquez sur le nom des lauréats de la première page pour une présentation vidéo de leur projet.](#)

## BOURSES DOCTORALES 2015



**Maxime Berger**

Génie électrique – Polytechnique Montréal

Directeur : Ilhan Kocar

Développement d'un convertisseur d'alimentation auxiliaire de haute efficacité pour métro



**Aravindan Sridharan**

Génie physique – Polytechnique Montréal

Directeur : Stéphane Kéna-Cohen

Contrôle du transport de charges dans les cellules solaires organiques-inorganiques

## BOURSES DOCTORALES 2016



**Samuel Pelletier**

Administration – HEC Montréal

Directeurs : Gilbert Laporte et Ola Jabali

Résolution d'un modèle mathématique pour optimiser la performance des véhicules électriques destinés à la livraison de colis en milieu urbain



**Carole Brunet**

Génie industriel – Polytechnique Montréal

Directeur : Oumarou Savadogo

Identification des conditions nécessaires pour favoriser l'utilisation de l'énergie solaire en Afrique, dans une perspective de développement durable



## BOURSES DOCTORALES 2017

---



**Abdelaziz Gouda**

Génie physique – Polytechnique Montréal

Directrice : Clara Santato

Stockage électrochimique d'énergie avec l'aide du biopigment eumelanine



**Arunprabakaran Subramanian**

Génie chimique – Polytechnique Montréal

Directeur : Fabio Cicoira

Synthèse d'électrodes transparentes pour cellule photovoltaïque à base de nanofibre de cuivre et de nanotubes de carbone par méthode d'électrospinning



**Siavash Fadaeeraeni**

Génie chimique – Polytechnique Montréal

Directrice : Daria Camilla Boffito

Procédés synergiques d'intensification avec ultrasons

## BOURSES DE MAÎTRISE 2017

---



**Alexandre Couture**

Génie mécanique – Polytechnique Montréal

Directeur : Frédérick Gosselin

Étude de la stabilité d'une aube de turbine hydroélectrique reconfigurable passivement



**Étienne Bouthillier**

Génie physique – Polytechnique Montréal

Directeur : Oussama Moutanabbir

Croissance et fabrication des nanodiodes électroluminescentes à base de nanofils semi-conducteurs du groupe IV

# PROGRAMMES D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

## GÉNIE ÉNERGÉTIQUE

Polytechnique Montréal propose des cursus intégrés dans le domaine de l'énergie sous forme de maîtrise modulaire (45 crédits) ou de DESS (30 crédits).

L'objectif est de former des diplômés qui auront une compréhension globale des problématiques liées à l'avenir énergétique de la planète, ainsi que des technologies disponibles pour relever les défis auxquels la société aura à faire face, au cours des prochaines décennies.

Cinq options sont offertes, dont les hyperliens présentent le programme complet.



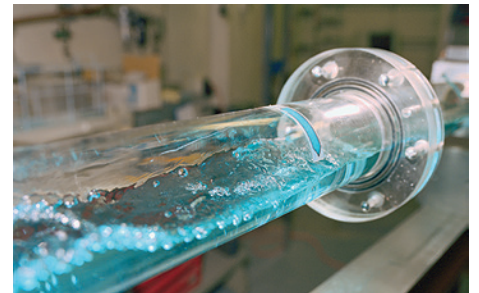
**EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE  
DANS LES BÂTIMENTS**



**SYSTÈMES ET RÉSEAUX  
ÉNERGÉTIQUES INTELLIGENTS**



**ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE**



**GÉNIE NUCLÉAIRE**



**ÉNERGIES RENOUVELABLES**

# REVUE DE PRESSE

Cliquez sur les titres des mentions pour consulter les clips médiatiques auxquels ils réfèrent.

## L'IET DANS L'ACTUALITÉ

### 2017

#### Mai

La Presse / Québec ratera ses objectifs de réduction des GES

Radio-Canada / Changements climatiques : Trudeau doit passer de la parole aux actes

CRE-Montréal / Au-delà de l'auto-solo pour une réelle transition énergétique en transport

La Tribune / L'exportation vers les É-U est périlleuse pour Hydro ?

La Presse / Exporter notre électricité, c'est payant ou pas ?

#### Juin

Agence Science-Presses et Le Devoir / La géothermie chauffe à l'énergie citoyenne

#### Juillet

Québec Science / Le solaire pointe au Québec

Le Soleil / Bourse du carbone : le PQ exige des consultations

La Presse / ePrix : beaucoup d'argent "qui pourrait être mieux investi"

Radio-Canada / Le climat de Montréal en 2067

Le Devoir / Gaz Métro financé par le Fonds vert

98,5 FM – Actualités / La gestion du Fonds vert ne s'est pas améliorée

Radio-Canada / Fin du pétrole sur Anticosti

Journal de Montréal / L'industrie pétrolière fait "une campagne de peur"

#### Août

Radio-Canada / Rapport accablant sur le changement climatique

Radio-Canada / Fin de l'aventure pétrolière à Anticosti

#### Septembre

La Presse / Climat : des universitaires veulent mieux organiser les efforts québécois

#### Octobre

Radio-Canada / Des politiques éclairées par la science

Québec Science / Hélium : un marché volatil

Radio-Canada / Abandon du projet d'oléoduc Énergie Est

Journal de Montréal / La menace du gaz de schiste est de retour

Télé-Québec / Table ronde sur l'environnement

The Globe and Mail / Hydro-Quebec building dams to solve U.S. nuclear woes

Le Devoir / La construction du complexe de la Romaine était-elle une erreur ?

98,5 FM / Rouler avec une voiture à hydrogène, rêve ou arnaque ?

Radio-Canada / Le monde toujours plus pollué au CO<sub>2</sub>

#### Novembre

Agence Science-Presses / Élections municipales : les enjeux du transport

Radio-Canada / La croissance est-elle possible avec les énergies propres ?

### 2018

#### Janvier

Le Devoir / Le pari trop audacieux d'un monorail entre Montréal et Québec ?

Journal de Québec / L'auto à hydrogène roulera au Québec

Radio-Canada / Trump peut-il vraiment ranimer l'industrie du charbon ?

FM 93 / Notre électricité à partir d'un panneau solaire

Agence Science-Presses / Miser sur la réduction des gaz à effet de serre n'est pas suffisant

La Presse / Québec rêve d'hydrogène... et laisse les experts perplexes

#### Février

Le Nouvelliste / Forum sur les perspectives d'actions

Radio-Canada / Rejet du projet Northern Pass par le New Hampshire

Radio-Canada / Le projet d'Hydro-Québec Northern Pass rejeté

Journal de Montréal / Réduction des GES : des scientifiques veulent de nouvelles structures

Journal Métro / La gouvernance en environnement est à revoir

L'Actualité / Fini le bordel durable ?

La Presse / Des experts proposent un brassage de structures

Le Devoir / Des experts appellent à la refonte du ministère de l'Environnement

Radio-Canada / Réduction de GES : un groupe d'experts veut aider le Québec

National Observer / Scientists urge Quebec to get its climate act together

Radio-Canada : Le climat, l'État et nous

La Presse / Pour des maisons moins énergivores

La Presse / Rapport de l'IET : combattre autrement les changements climatiques

#### Mars

La Presse / GES : Québec renonce au système de redevance-remise pour l'auto

RDI / Budget du Québec : quoi de neuf en transport ?

#### Avril

RDI / Peut-on concilier environnement et économie ?

 [iet.polymtl.ca](http://iet.polymtl.ca)  
 @EnergieTrottier  


**Publié par l'Institut de l'énergie Trottier**  
Coordination et rédaction : Audrey Rondeau, Louis Beaumier  
Conception graphique : Épicentre  
Révision : Constance Forest