

RAPPORT ANNUEL  
2019-2020

# SOMMAIRE

- 01 Historique**  
**Mission**
- 02 Mot du directeur scientifique**  
Équipe de l'IET
- 03 Gouvernance**
- 04 Axes stratégiques**
- 05 Activités 2019-2020**
- 07 Initiative de modélisation énergétique**
- 09 Programme de subventions à la recherche**
  - 10 Métafenêtres intelligentes
  - 11 Réduction de l'empreinte carbone de l'agriculture
  - 12 L'île virtuelle – Modèle énergétique urbain de l'île de Montréal
  - 13 Développement écoresponsable d'une batterie graphène-soufre
- 14 Boursiers Trottier**
- 16 Programmes d'études supérieures**
- 17 Revue de presse**

Le rapport annuel 2019-2020 de l'Institut de l'énergie Trottier rend compte des activités réalisées pendant l'exercice s'échelonnant du 1<sup>er</sup> mai 2019 au 30 avril 2020.

# 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.

L'IET compte aussi sur un large réseau de collaborateurs dont font partie des professeurs et des chercheurs de Campus Montréal, le *Trottier Institute for Sustainability in Engineering and Design* (TISED) de l'Université McGill, ainsi que des experts de divers horizons.

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..



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 alimenter le dialogue sociétal sur les questions énergétiques.

# MOT DU DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

L'équipe de l'Institut de l'énergie Trottier conclut une nouvelle année bien remplie.

Parmi les réalisations importantes de cette année, je désire d'abord souligner l'attribution de bourses à des étudiantes et des étudiants brillants qui travaillent à la transition énergétique, ainsi que le financement de deux nouveaux projets de recherche, à des échelles très différentes, qui montrent la richesse des compétences dont nous disposons.

En parallèle avec ces actions directes, nous avons déployé d'importants efforts pour aider à éclairer la prise de décisions en matière énergétique au Québec et au Canada. Chacune de nos interventions, tant auprès de l'industrie que des différents paliers gouvernementaux, ont cherché à démontrer l'étendue du potentiel que recèle la transition énergétique, en plus d'attirer l'attention sur les avenues à privilégier pour agir avec efficacité.

Parmi nos activités, notons le pilotage de l'Initiative de modélisation énergétique (IME) qui avait pour objectif d'aider à structurer la communauté canadienne de modélisation énergétique afin qu'elle puisse mieux répondre aux besoins des décideurs, tant au gouvernement que dans l'industrie. Ce mandat, décerné à l'IET par Ressources naturelles Canada et piloté par Louis Beaumier, Madeleine McPherson (Université de Victoria) et moi-même, impliquait l'organisation d'une série d'événements (ateliers de travail à Victoria, Ottawa (2) et Fredericton ainsi qu'un grand forum national à Montréal), la constitution d'un inventaire de la modélisation énergétique au Canada, la production d'un rapport démontrant la valeur et l'importance de la modélisation, ainsi que l'élaboration d'une proposition à long terme pour une initiative de modélisation durable. Les efforts investis ont permis de tracer la voie de l'amélioration de la mobilisation, de la coordination et de l'échange d'information entre les chercheurs, les modélisateurs et les intervenants.

L'IET a également été l'un des partenaires principaux d'une coalition à l'origine de la création de l'Institut canadien pour des choix climatiques (ICCC), un organisme fondé par suite d'un appel de propositions d'Environnement et Changement climatique Canada, et dont le mandat est d'appuyer le gouvernement fédéral dans son atteinte des objectifs climatiques. En plus de ces grands projets, l'IET a continué à soutenir les échanges entre le monde universitaire, le secteur industriel et les services publics en organisant, en mode collaboratif, une série d'ateliers de travail sur des grands thèmes liés à la transition énergétique.

Avant de conclure, je souhaite souligner le départ à la retraite du professeur Guy Marleau qui a dirigé avec grand dynamisme le programme en génie énergétique. Son leadership a permis d'offrir un riche cursus et d'attirer des étudiants issus d'un large spectre de spécialisations. Son legs à Polytechnique est immense et nous l'en remercions sincèrement. C'est le professeur Frédéric Sirois qui reprend le flambeau à titre de coordonnateur des programmes d'études supérieures en génie énergétique. Reconnu pour ses travaux dans le domaine de la supraconductivité appliquée aux systèmes énergétiques, sa recherche s'étend à tout ce qui touche aux propriétés électriques, magnétiques et thermiques des matériaux utilisés dans les procédés industriels (électrotechnologies) et dans l'électrification des transports. Il est présentement le représentant du Canada au comité de l'Agence internationale de l'énergie, qui s'occupe de mieux faire connaître les technologies supraconductrices aux décideurs gouvernementaux et du secteur privé. L'IET se réjouit de pouvoir travailler à ses côtés afin de soutenir la formation des étudiants qui contribueront à la transformation du système énergétique québécois, canadien et mondial.

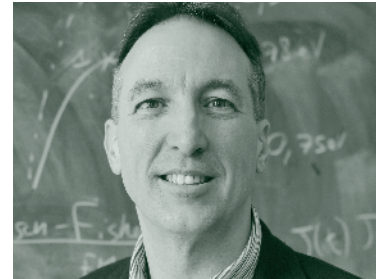
Vous pourrez prendre toute la mesure de notre implication dans les pages qui suivent. N'hésitez pas à communiquer avec nous si vous avez des questions ou commentaires.

Énergétiquement vôtre,



**Normand Mousseau**

## ÉQUIPE DE L'IET



**Normand Mousseau**  
Directeur scientifique



**Louis Beaumier**  
Directeur exécutif



**Frédéric Sirois**  
Coordonnateur des programmes  
d'études supérieures  
en génie énergétique



**Audrey Rondeau**  
Conseillère en communications

# GOVERNANCE

## CONSEIL DE DIRECTION

### **Lorne Trottier**

Président, Fondation familiale Trottier

### **Sylvie Trottier**

Directrice, Fondation familiale Trottier

### **Laurent J. Lewis**

Vice-recteur associé, Recherche, découverte, création et innovation, Université de Montréal

### **François Bertrand**

Directeur général adjoint, directeur, Formation et recherche, Polytechnique Montréal

### **Louise Millette**

Professeure agrégée, directrice, Génies civil, géologique et des mines, Polytechnique Montréal

### **Pierre-Olivier Pineau**

Professeur titulaire, Sciences de la décision, HEC Montréal

## COMITÉ DE GESTION

### UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

#### **Normand Mousseau**

Directeur scientifique, IET, professeur titulaire, Physique

#### **Erick Lachapelle**

Professeur agrégé, 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**

Professeur titulaire, Génie physique

#### **Elmira Hassanzadeh**

Professeure adjointe, Génies civil, géologique et des mines

#### **Oumarou Savadogo**

Professeur titulaire, Génie chimique

#### **Frédéric Sirois**

Professeur titulaire, coordonnateur des programmes d'études supérieures en génie énergétique, Génie électrique

#### **Oussama Moutanabbir**

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 2019-2020



## ÉCOLE D'ÉTÉ – AFTER OIL

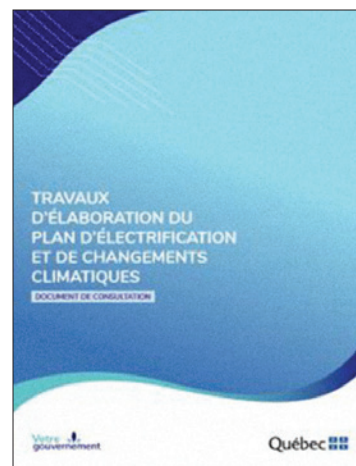
L'IET a participé à l'animation de la deuxième école d'été du projet After Oil de l'Université d'Alberta. Cette école d'été réunissait une quarantaine de chercheurs, d'étudiants, d'activistes et de praticiens internationaux pour trois jours de réflexion et de collaboration intensives sur les défis et les possibilités d'une transition sociale vers des systèmes énergétiques et des communautés organisées autour de l'énergie solaire.

## CRÉATION DE L'INSTITUT CANADIEN POUR DES CHOIX CLIMATIQUES (ICCC)

La Coalition pancanadienne d'organisations expertes, dont fait partie l'IET, a remporté le concours d'appel à propositions pour la création d'un nouvel institut indépendant sur le climat. L'examen rigoureux effectué par Environnement et Changement climatique Canada des nombreuses propositions reçues dans le cadre de l'Initiative pour la mobilisation d'experts a révélé une très haute concentration de savoirs, ainsi qu'un fort potentiel structurant dans le projet présenté par la Coalition. Réunissant une quinzaine d'organisations diversifiées et réputées de partout au pays, cette coalition s'est engagée à mettre sur pied un institut national indépendant, sans but lucratif et axé sur les politiques, la croissance propre et les changements climatiques. Plusieurs membres de l'IET, entre autres, siègent au conseil d'administration et à divers comités de l'ICCC.

## ATELIER DE TRAVAIL SUR L'ÉLECTRIFICATION ET LA RÉPONSE À LA DEMANDE DANS LES SECTEURS RÉSIDENTIEL ET COMMERCIAL

Le laboratoire CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada et l'IET ont organisé un atelier d'une journée sur le défi de la décarbonisation par l'électrification et le rôle que la réponse à la demande peut y jouer. Réunissant une cinquantaine de participants, les séances de discussions ont porté sur 1) le potentiel d'électrification, 2) les coûts et opportunités et 3) la prochaine génération du réseau. Plusieurs présentations d'experts ont enrichi la programmation de la journée



## CONTRIBUTION AU PLAN D'ÉLECTRIFICATION ET DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Michel Bernier, membre du comité de gestion de l'IET, et Normand Mousseau, directeur scientifique de l'IET, ont été nommés par le gouvernement du Québec à l'un des cinq groupes de travail dédiés à soutenir les objectifs québécois de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils ont siégé au groupe de travail Électrification, qui est responsable de développer des recommandations dans le cadre de l'élaboration du Plan d'électrification et de changements climatiques (PECC). Par ailleurs, Viviane Aubin, boursière Trottier, a été nommée au groupe de travail Jeunesse.



## CONFÉRENCE – SOMMET ÉNERGIE

Le directeur exécutif de l'IET, Louis Beaumier, a offert la présentation d'ouverture en plus d'animer la huitième édition de la conférence Sommet Énergie, du Groupe Les Affaires. Elle réunissait quelque 150 personnes œuvrant dans le secteur de l'énergie au Québec. Cette conférence était principalement axée sur la gouvernance énergétique, notamment en ce qui concerne la gestion des programmes gouvernementaux associés à la transition énergétique du Québec et des sommes disponibles dans le nouveau Fonds d'électrification et de changements climatiques.

# ACTIVITÉS 2019-2020

## LANCEMENT DU PROGRAMME DE SOUTIEN AUX COLLABORATIONS ET À LA DIFFUSION

Afin d'encourager l'échange d'expertises, l'IET a lancé le programme de soutien aux collaborations et à la diffusion. Ce programme offre un appui financier aux membres du corps professoral, ainsi qu'aux chercheurs de Polytechnique Montréal, de HEC Montréal ou de l'Université de Montréal qui souhaitent contribuer au dialogue sociétal sur un enjeu énergétique faisant l'objet d'un projet de collaboration les impliquant.



Le premier projet appuyé est celui des Chemins de transition, mené par l'Université de Montréal et Espace pour la vie. La démarche vise à engager la communauté scientifique, aux côtés des citoyens et citoyennes et des autres forces vives de la société, dans le débat nécessaire sur la transition écologique au Québec. Il s'agit d'identifier collectivement les chemins porteurs pour assurer un futur souhaitable.

## MÉMOIRE – PROJET DE LOI 44

Le mémoire *Projet de loi 44 : une révision essentielle pour assurer l'atteinte des objectifs* a été déposé par l'IET dans le cadre des consultations particulières et des auditions publiques sur le projet de loi n°44, intitulé *Loi visant principalement la gouvernance efficace de la lutte contre les changements climatiques et à favoriser l'électrification*. Il aborde les principes d'une gouvernance efficace et rappelle les recommandations de l'initiative *Le Climat, l'État et nous*. Les auteurs y commentent également les points les plus importants du projet de loi et fournissent des avis qui permettraient de renforcer l'efficacité de la gouvernance climatique.

## ATELIER – HYDROGÈNE DÉCARBONÉ

L'IET a fourni un appui logistique et financier à l'atelier sur l'hydrogène tenu à Polytechnique, et animé par le chercheur Oumarou Savadogo. L'atelier a traité du rôle que l'hydrogène, un vecteur énergétique, peut jouer dans la transition énergétique au Québec. Les travaux organisés autour de cinq thèmes ont abordé une série de questions sur les axes de recherche pour soutenir le développement de la production et de l'utilisation de l'hydrogène au Québec.

L'Accélérateur  
de transition



## ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITION

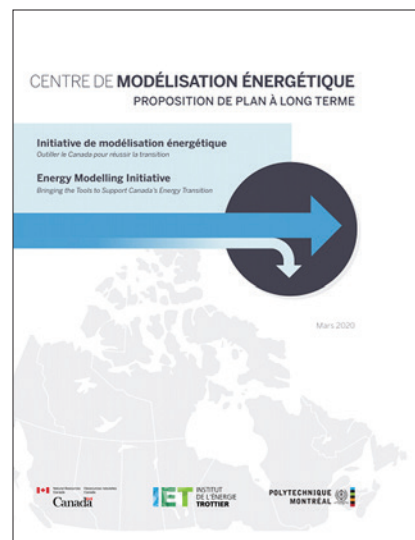
L'IET est un partenaire de la première heure de l'Accélérateur de transition. Financé par des fondations philanthropiques, ce nouvel organisme national a pour objectif d'aider à concevoir et à déployer des trajectoires de transition adaptées aux grands secteurs économiques du Canada, en s'attaquant de manière stratégique à des problèmes commerciaux ou sociaux majeurs. Les deux premiers secteurs visés par l'Accélérateur sont le secteur du transport lourd, dont la décarbonisation, particulièrement dans l'ouest du pays, passe par l'hydrogène, et celui de la mobilité comme service (MaaS). Le démarrage de cette nouvelle entité a d'ailleurs permis à l'équipe de l'IET de s'agrandir avec l'arrivée de Florian Pedroli. Il agit à titre de chargé de projets liés à l'Accélérateur, en ciblant particulièrement la mobilité comme service hors des grands centres urbains.





# INITIATIVE DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

*Favoriser les synergies et la collaboration*



À la suite d'un mandat attribué par Ressources naturelles Canada (RNCan), l'IET a structuré et mis en œuvre l'Initiative de modélisation énergétique (IME). C'est lors d'une visite à Polytechnique Montréal que la députée d'Outremont, Rachel Bendant, a annoncé l'investissement fédéral de 500 000 \$.

Le projet est mené par Madeleine McPherson, professeure à l'Université de Victoria et membre du Sustainable Energy Systems Integration and Transitions Group, ainsi que par Normand Mousseau et par Louis Beaumier, de l'Institut de l'énergie Trottier.

Plus précisément, cette initiative vise à rassembler la communauté de la modélisation énergétique afin de faciliter le dialogue entre les intervenants et, de renforcer ainsi la capacité canadienne de modélisation et d'analyse relatives à l'électricité requise pour planifier un avenir propre.

Le démarrage de cette initiative a permis à deux nouveaux membres de se joindre à l'équipe de l'IET durant plus de 8 mois : Moe S. Esfahlani, pour la coordination et la gestion de projet, ainsi que Marie-Maude Roy aux communications.

## ATELIER DE TRAVAIL SUR LA MODÉLISATION DES DONNÉES EN ÉNERGIE ET LA CONTRIBUTION DU CCIE

Un atelier visant à jeter les bases de la collaboration entre la communauté de la modélisation et le Centre canadien d'information sur l'énergie (CCIE) de Statistique Canada a été organisé à Ottawa. S'inscrivant dans le cadre de l'Initiative de modélisation énergétique et réunissant une soixantaine de participants, cette activité avait pour but de développer une vision commune de la manière dont les activités liées à la modélisation énergétique peuvent s'intégrer au CCIE. La rencontre a permis d'établir une compréhension commune du processus de modélisation énergétique et des capacités de collecte et de conservation de données qu'offre Statistique Canada.

## RAPPORT – CENTRE DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE : PROPOSITION DE PLAN À LONG TERME

Le mandat initial se terminant le 31 mars 2020 a culminé avec la publication de la proposition de création d'un Centre de modélisation énergétique (CME) à long terme. Cette proposition s'appuie sur une année de consultations, d'enquêtes, de conventions et d'échanges soutenus au sein du milieu canadien de la modélisation, ainsi qu'un large éventail de parties prenantes. Elle s'ajoute au rapport publié faisant état de la pertinence et de la valeur de la modélisation.

L'Initiative a été reconduite pour une année.

# INITIATIVE DE MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

Forum national



## CONVOQUER LE RÉSEAU NATIONAL DE L'ÉNERGIE

Réunissant une centaine de personnes, un forum national sur la modélisation des systèmes électriques tenu les 17 et 18 décembre 2019 à Montréal a permis de présenter les projets de modélisation financés par l'entremise de l'Initiative de modélisation énergétique (IME) et de discuter de la façon de préparer une première vision des modélisateurs canadiens pour 2030-2050. Les participants ont été invités à réagir à la première ébauche de proposition de l'initiative pour la construction d'une communauté de modélisation durable capable d'informer les gouvernements et les parties prenantes sur l'avenir électrifié.

Le forum national s'est appuyé sur les riches conversations amorcées au cours des ateliers régionaux, pour approfondir la réflexion sur la valeur de la modélisation énergétique et les exigences à long terme de façon à soutenir le Réseau canadien de modélisation énergétique. Les résultats des trois ateliers régionaux ont donc été discutés. De plus, les résultats des projets de modélisation retenus pour le financement ont été présentés avec l'idée d'exposer leur pertinence politique.

Cet événement a permis de tirer des conclusions afin de structurer le Réseau canadien de modélisation énergétique et identifier les exigences infrastructurelles d'un plan à long terme pour établir une capacité durable de modélisation énergétique au Canada.

Un [rapport de synthèse](#) de cet atelier est disponible. Il identifie le type d'activités de modélisation nécessaires à l'élaboration de politiques judicieuses pour réussir la transition énergétique.



# 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.

Quatre projets recevaient du financement durant l'année 2019-2020.

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**

---

# MÉTAFENÊTRES INTELLIGENTES

## ÉQUIPE

### Christophe Caloz

Génie électrique,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

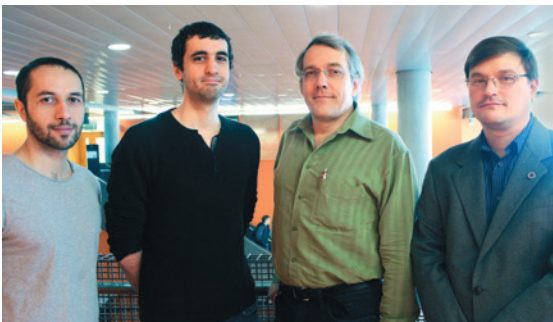
### Maksim Skorobogatiy

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. 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 %. 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.

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.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

Au terme de la deuxième année du projet, l'équipe du professeur Skorobogatiy a continué de se pencher sur les métafenêtres dites de première génération, c'est-à-dire des métasurfaces purement passives. Celles-ci représentent l'option de métasurfaces la plus réaliste à utiliser dans un contexte de marché de masse à court terme. D'un point de vue théorique, l'équipe a approfondi le modèle physique précédent, en plus de développer un code numérique pour l'analyse de fenêtres intelligentes multicouches couplées passivement à des refroidisseurs radiatifs passifs. D'un point de vue expérimental, l'équipe a développé la fabrication des matériaux structurés partiellement transparents dans le visible et à transmission fortement asymétrique dans l'infrarouge moyen.

En parallèle, l'équipe du professeur Caloz a concentré ses efforts sur l'étude de métafenêtres dites de seconde génération, c'est-à-dire de métasurfaces nonréciproques, plus sophistiquées et potentiellement plus performantes. L'utilisation de ces dernières est envisagée dans un horizon commercial éloigné et un marché ciblé. L'équipe a établi les conditions requises pour la réalisation des métasurfaces nonréciproques, tant en réflexion qu'en transmission, qui offrent à la fois des propriétés d'isolation (passage et blocage de la chaleur dans les directions perpendiculaires et à surface) et de circulation (essentiellement, extension de l'isolation à des directions obliques).

# RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE DE L'AGRICULTURE

## ÉQUIPE

### Étienne Robert

Génie mécanique,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Klas Engvall

Génie chimique,  
KTH Stockholm, Suède

### Jamal Chaouki

Génie chimique,  
Polytechnique Montréal

### Philippe Pasquier

Génies civil, géologique et des mines,  
Polytechnique Montréal

---

**Ce projet de recherche se consacre à la réduction de l'empreinte carbone de l'agriculture, notamment par la conversion de la biomasse résiduelle en carburant pour la machinerie agricole.**

---

## PRÉSENTATION DU PROJET

Plusieurs tâches en milieu agricole sont associées à une forte demande en énergie, telles que le chauffage des serres, le séchage des grains ou l'utilisation de machinerie. À l'heure actuelle, la majorité de ces besoins est comblée par l'utilisation de combustibles fossiles. Paradoxalement, les ressources en énergie renouvelable sont abondantes en milieu agricole, dont la biomasse résiduelle et l'énergie solaire. En considérant que les grandes cultures (maïs ou céréales à paille) génèrent entre 5 et 20 tonnes/ha/an de biomasse résiduelle, l'agriculture peut faire plus que combler ses propres besoins. Pour maximiser l'impact de cette ressource énergétique renouvelable, il est nécessaire de la convertir afin qu'elle réponde à des besoins, par exemple en chaleur pour le chauffage ou en hydrocarbures liquides (HC) pour le transport.

Le projet vise le développement d'outils décentralisés pour la conversion thermo-chimique de la biomasse résiduelle en hydrocarbures liquides adaptés au transport, par exemple en alcool ou en DME (diméthyléther). L'approche privilégiée dans ce projet est polyvalente en termes d'intrants et de combustible produit. Il s'agit de la gazéification de la biomasse, suivi du nettoyage du gaz de synthèse produit et par la conversion catalytique en HC liquide. Les études réalisées dans le cadre d'implantation couplées à des serres révèlent également un potentiel pour la production de chaleur, de CO<sub>2</sub> et d'électricité. Pour cette raison, les installations de conversion d'énergie considérées ici sont dites de polygénération.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

En cette première année du projet, une approche de simulation a été développée pour évaluer la performance thermo-chimique des différentes techniques de conversion d'énergie considérées pour la conception des systèmes de polygénération décentralisés. Le logiciel Aspen+ a été utilisé, tandis que la production simultanée d'un alcool (méthanol), d'électricité et de CO<sub>2</sub> pour l'enrichissement de l'atmosphère des serres et de chaleur ont été considérés. Les systèmes étudiés incluent l'utilisation de piles à combustible réversibles, pour produire soit de l'électricité, soit de l'oxygène et de l'hydrogène, ce qui permet tout à la fois d'éviter l'utilisation d'air pour l'étape de gazéification et l'ajustement du ratio H/C en amont de la formation du méthanol.

Des systèmes basés sur une pression modeste de 30 bars permettent de convertir approximativement 5 % de l'énergie chimique contenue dans la biomasse en méthanol, 20 % en électricité et 60 % en chaleur, en plus de fournir suffisamment de CO<sub>2</sub> pour subvenir aux besoins d'une serre de grande dimension.

Parmi les avancements significatifs, deux montages expérimentaux sont maintenant fonctionnels et permettent l'injection de contaminants : un brûleur 1D unique et un brûleur avec rotation. Ce dernier permet l'étude de l'efficacité de combustion des mélanges de gaz rencontrés aux différentes étapes de conversion du système de polygénération.



PROJET FINANCÉ (début du financement : hiver 2020)

# L'ÎLE VIRTUELLE – MODÈLE ÉNERGÉTIQUE URBAIN DE L'ÎLE DE MONTRÉAL

## ÉQUIPE

### Michaël Kummert

Génie mécanique,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Christoph Reinhart

Architecture,  
Massachusetts Institute of Technology

### Timur Dogan

Architecture,  
Cornell University

Ce projet de recherche vise à développer un modèle dynamique géoréférencé de tous les bâtiments de l'île de Montréal sur lequel pourront s'appuyer des scénarios de décarbonisation.

## PRÉSENTATION DU PROJET

Alors que la moitié de la population mondiale vit dans les grands centres urbains, ce sont plus de 70 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui y sont générées. Conscientes de leur impact, les grandes villes se sont regroupées au sein de l'organisation C40 pour unir leurs efforts dans la lutte aux changements climatiques. Montréal veut jouer un rôle de leader dans ce groupe; c'est ainsi que la mairesse Valérie Plante a annoncé au sommet des Nations Unies pour le climat une cible de réduction de 55 % des émissions de GES en 2030 (par rapport à 1990).

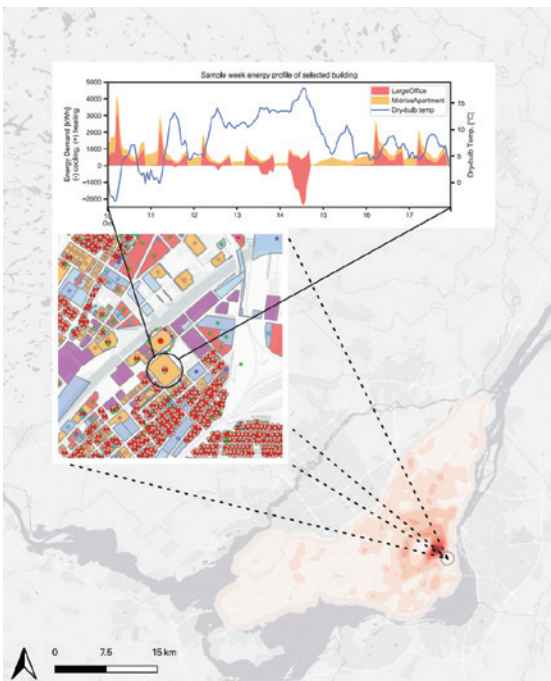
Les bâtiments des secteurs résidentiel, commercial et institutionnel représentent 28 % des émissions de GES de l'agglomération montréalaise, et ce chiffre passe à 48 % si l'on inclut les bâtiments du secteur industriel. À côté de l'électrification des transports, la décarbonisation de l'environnement bâti représente donc l'une des pistes principales pour atteindre les objectifs que la ville s'est fixés. Cependant, il est impossible d'évaluer la faisabilité et l'impact de différentes mesures pour atteindre cette cible sans un modèle détaillé qui permet de quantifier les besoins dynamiques des bâtiments dans un contexte qui évolue rapidement.

## TRAVAUX PRÉVUS

À l'heure actuelle, les approches de modélisation des stocks de bâtiments sont essentiellement basées sur des statistiques nationales ou provinciales. Elles ignorent les aspects dynamiques et géospatiaux des profils de consommation. À l'échelle de la collectivité montréalaise, les bâtiments chauffés au gaz ou au mazout ne sont pas répertoriés. L'administration n'a donc aucun moyen d'évaluer quel serait l'impact sur le réseau s'ils passaient au chauffage électrique. Elle ignore également quels bâtiments pourraient facilement être alimentés en chaleur par des rejets d'une industrie locale ou d'un centre de données.

L'équipe se donne donc trois ans pour combler cette lacune, en développant un modèle dynamique géoréférencé de tous les bâtiments de l'île de Montréal.

L'outil développé fournira aux décideurs politiques et aux différentes parties prenantes une base de modélisation solide sur laquelle fonder des scénarios de décarbonisation de l'environnement bâti à l'échelle de l'île de Montréal.



PROJET FINANCÉ (début du financement : été 2020)

# DÉVELOPPEMENT ÉCORESPONSABLE D'UNE BATTERIE GRAPHÈNE-SOUFRE

## ÉQUIPE

### Alain Rochefort

Génie physique,  
Polytechnique Montréal  
(chercheur principal)

### Richard Martel

Chimie,  
Université de Montréal

### Mickaël Dollé

Chimie,  
Université de Montréal

**Ce projet de recherche vise à développer les connaissances requises à la fabrication de batteries lithium-ion peu coûteuses, transportables et largement fondées sur l'utilisation de matériaux dérivés de manière durable à partir de sources naturelles facilement disponibles.**

## PRÉSENTATION DU PROJET

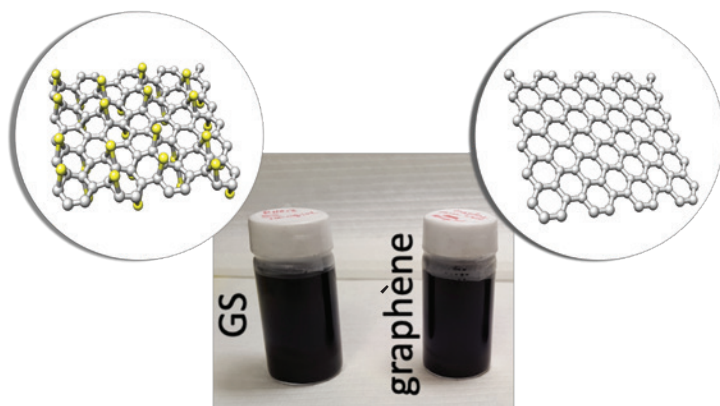
Les dispositifs de stockage de l'énergie occuperont une place prépondérante dans le processus de transformation énergétique et serviront de moteurs technologiques pouvant assurer une transition réaliste vers une réduction massive des gaz à effet de serre. Les dispositifs actuels de stockage d'énergie (batteries au Pb, Li-ion, Ni-Cd, etc.) sont toutefois chargés d'ingrédients toxiques, coûteux et produits selon des procédés énergivores. Ces derniers nécessitent souvent des éléments lourds ou peu abondants dans la croûte terrestre.

Par conséquent, il existe un besoin de plus en plus urgent pour développer de nouvelles générations de batteries performantes pouvant être fabriquées de manière écoresponsable avec des matériaux légers, abondants et peu dommageables pour l'environnement. Ce projet mise sur la découverte récente d'un matériau, le graphène-soufre (GS), et vise à élaborer un programme de recherche original sur le stockage d'énergie avec ce composé.

## AVANCEMENT DES TRAVAUX

Les trois prochaines années seront consacrées à développer les connaissances sur les propriétés redox du GS lithié et à créer un prototype de batterie avec des électrodes de GS, selon une architecture standard semblable à celle des dispositifs Li-ion rechargeables. Cette batterie sera dotée d'électrodes de travail séparées par un électrolyte liquide ou polymère.

Il existe un bon nombre de travaux sur les batteries Li-S, car celles-ci démontrent des avantages importants pour le stockage d'énergie. La batterie Li-S rencontre toutefois des problèmes importants de stabilité liés à la solubilité du soufre lithié dans l'électrolyte de la batterie. Malgré plusieurs années de recherche, il n'existe jusqu'ici aucune solution viable à ces problèmes de stabilité. L'aspect original de ce projet repose sur l'usage du GS comme agent stabilisant des complexes de soufre lithié. En stabilisant l'électrode avec du GS, il sera possible de maintenir les avantages reconnus de batteries Li-S tout en réglant les problèmes de stabilité liés au soufre.



# BOURSIERS 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-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-recherche : 27 000 \$ / 2 ans
- ▶ Doctorat : 51 000 \$ / 3 ans

## LAURÉATS

Durant l'année 2019-2020, 10 étudiants profitaient d'une aide de l'IET. Les projets des lauréats se démarquent tant par leur qualité scientifique que par leur intérêt sociétal.

## BOURSES DOCTORALES 2017

---



**Abdelaziz Gouda**

Génie physique – Polytechnique Montréal

Directrice : Clara Santato

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

## BOURSE DE MAÎTRISE 2018

---



**Viviane Aubin**

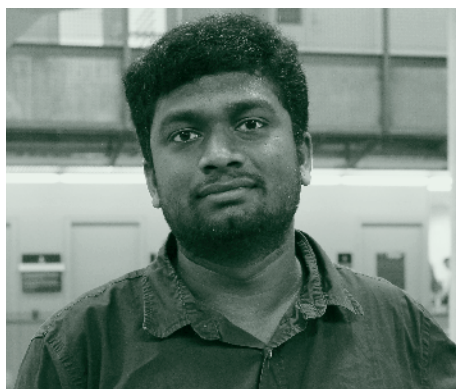
Génie énergétique – Polytechnique Montréal

Directeur : Miguel Anjos

Optimisation de ressources hydroélectriques dans le contexte de l'intégration des énergies renouvelables

## BOURSES DOCTORALES 2018

---



**Arunprabakaran Subramanian**

Génie chimique – Polytechnique Montréal

Directeur : Fabio Cicoira

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



**Mona Azimi**

Génie chimique – Polytechnique Montréal

Directeur : Fabio Cicoira

Cellules solaires flexibles et extensibles exemptes d'oxyde d'étain d'indium



**BOURSES DOCTORALES (suite)**  
2018

---



**Elsa Briqueleur**

Chimie – Université de Montréal

Directeur : Mickaël Dollé

Preuve de concept d'une photobatterie organique

**BOURSE DOCTORALE**  
2019

---



**Elie Antar**

Génie mécanique – Polytechnique Montréal

Directeur : Étienne Robert

Conversion thermochimique de la biomasse pour agriculture carboneutre

**BOURSES DE MAÎTRISE (suite)**  
2019

---



**Annie Pike**

Génie énergétique – Polytechnique Montréal

Directeur : Michaël Kummert

Solutions durables et résilientes pour l'autonomie énergétique dans les communautés isolées

**BOURSES DE MAÎTRISE**  
2019

---



**Guillaume Lavigne**

Génie électrique – Polytechnique Montréal

Directeur : Christophe Caloz

Développement de métafenêtres intelligentes



**Mina Abbasipour**

Génie chimique – Polytechnique Montréal

Directeur : Fabio Cicoira

Développement d'un nanogénérateur hybride portable à base de nanofibres électrofilées



**Zaynab Grofti**

Génie mécanique – Polytechnique Montréal

Directeurs : Rachid Boukhili, François Trochu

Fabrication de pales d'éolienne en composites pour les milieux nordiques

# 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 :



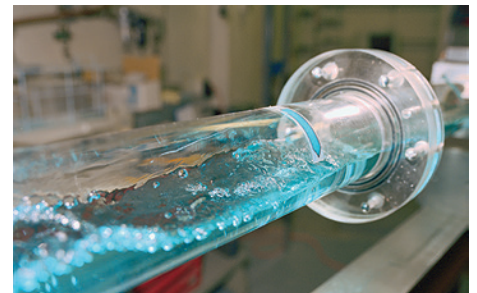
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE  
DANS LES BÂTIMENTS



SYSTÈMES ET RÉSEAUX  
ÉNERGÉTIQUES INTELLIGENTS



ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE



GÉNIE NUCLÉAIRE



ÉNERGIES RENOUVELABLES

# REVUE DE PRESSE

[L'Actualité / Branchée ! Hydro-Québec et le futur de l'électricité](#)

[La Presse / Cryptomonnaie une \(autre\) occasion ratée par la Régie de l'énergie](#)

[Radio-Canada / Éliminer les fournaises au mazout d'ici 10 ans](#)

[Le Devoir / GNL Québec demande l'appui financier de l'État](#)

[Radio-Canada / Hydroélectricité pour réduire la dépendance au pétrole](#)

[Le Devoir / La CAQ peut-elle vraiment tenir ses promesses vertes?](#)

[Le Soleil / Pas facile d'intégrer la science dans les décisions de l'État](#)

[CTV News Montreal / Most of electric cars' batteries will be recycled, Quebec consortium promises](#)

[Qub Radio / Le projet gazier GNL Québec serait " incompatible " avec la lutte contre les changements climatiques](#)

[TVA Nouvelles / Les hausses d'Hydro pourraient être plus élevées après 2020, disent des experts](#)

[Radio-Canada / Trans Mountain et le plan vert conservateur](#)

[Radio-Canada / Intégrer le Fonds vert au ministère de l'Environnement, " c'est l'échec garanti "](#)

[Radio-Canada / La fin du Fonds vert](#)

[CBC News / CAQ overhauls Green Fund, promises to move on electrification](#)

[Radio-Canada / Réforme du Fonds vert : " Un choix antiscience "](#)

[Le Devoir / Charette sème la grogne en s'appropriant le Fonds vert](#)

[Radio-Canada / Le gaz naturel liquéfié serait-il le nouveau charbon?](#)

[Radio-Canada / Les autobus au propane, une solution écologique?](#)

[RDI Économie / Du pétrole de l'Alberta carboneutre?](#)

[RDI Économie / Annonce de Canadian Natural Resources](#)

[Électricité Plus / Dossier 75<sup>e</sup> anniversaire d'Hydro-Québec. Une histoire marquée par des pionniers audacieux et visionnaires](#)

[Le Devoir / Le gouvernement du Québec continue de se chauffer au gaz naturel](#)

[La Presse / Environnement : une tache d'huile sur le bilan libéral](#)

[La Presse / Dix stratégies pour décarboniser le Canada](#)

[Journal de Montréal / Le prix de l'essence pourrait grimper cette semaine](#)

[Radio-Canada / La destruction de deux sites pétroliers en Arabie saoudite](#)

[Radio-Canada / Les prix du pétrole s'envolent dans la foulée de l'attaque en Arabie saoudite](#)

[98,5FM / Les cours du pétrole se sont envolés](#)

[Journal de Québec / Rejet quasi unanime du projet de loi sur les tarifs d'électricité](#)

[106,9 FM / Au bout du pétrole](#)

[Unpointcinq / Duel de GES](#)

[TVA Nouvelles / Hausse du prix de l'essence : conséquence des attaques ou pure spéculation?](#)

[Radio-Canada / Réchauffement climatique : il faut transformer l'économie](#)

[98,5 FM / Faut-il augmenter la taxe sur l'essence?](#)

[RDI Économie / Émissions de GES : un bon plan?](#)

[Radio-Canada / Grands émetteurs de CO<sub>2</sub> : la réforme de la CAQ suscite de vives réactions](#)

[Le Délit / Les limites de la taxe carbone](#)

[Le Devoir / Un Canada carboneutre, objectif ou véritable plan des libéraux?](#)

[La Presse / Le Canada peut-il devenir carboneutre d'ici 2050?](#)

[L'Acadie nouvelle / L'appétit d'Irving pour l'or noir saoudien](#)

[Radio-Canada / Le regard du professeur Normand Mousseau sur les manifestations pour le climat](#)

[Radio-Canada / La Vérif : le Canada peut-il être autosuffisant en pétrole?](#)

[La Pige / Les scientifiques réagissent à l'étude de la Chaire en éco-conseil](#)

[RCI / Ce que les Canadiens pensent des promesses électorales](#)

[Le Soleil / Projet de loi 34 : au-delà de la question des tarifs](#)

[Le Journal de Montréal / Fonds vert : les automobilistes québécois ont payé pour une réserve de gorilles au Gabon](#)

[Canal Savoir / L'apocalypse arrive, on fait des enfants?](#)

[La Presse / Des erreurs " grossières " dans un livre " pour les nuls "](#)

[Radio-Canada / Transmission](#)

[La Presse / Réforme de la gouvernance climatique : transparence et indépendance à risque](#)

[98,5FM / Craignez-vous une hausse du prix de l'essence](#)

[Le Droit / Une autre conférence sur le climat](#)

[Radio-Canada / Les petites centrales nucléaires](#)

[Radio-Canada / Centrales solaires d'Hydro-Québec](#)

[RDI Économie / Plan stratégique d'Hydro-Québec](#)

[UdeM Nouvelles / Aimer Hydro en flirtant avec le soleil](#)

[Radio-Canada / La place de l'hydrogène au Québec](#)

[TVA nouvelles / Joyeux Noël des pétrolières](#)

[Radio-Canada / Le chauffage de nos maisons doit-il passer par l'électrification?](#)

[Le Devoir / Projet Énergie Saguenay, des prévisions qui restent à démontrer](#)

[Radio-Canada / Le nouveau Fonds vert ratera-t-il sa cible?](#)

[Huffington Post / Être carboneutre, ça veut dire quoi?](#)

[Radio-Canada / La transition énergétique](#)

[98,5FM / Produire du diesel sans pétrole?](#)

[La Presse / Gaz naturel renouvelable : fiasco économique à l'horizon](#)

[Radio-Canada / L'industrie des sables bitumineux à un tournant selon l'Institut Pembina](#)

[RDI économie / Chute en bourse : la faute du pétrole?](#)

[Radio-Canada / Guerre du pétrole](#)

[Revue Relations / Une transition sans gouvernance](#)

[Connaissance des énergies / Canada : quelle approche de la tarification carbone?](#)

[Radio-Canada / Le budget du Québec est-il vert?](#)

[Journal Métro / Energir subventionne le passage de l'hydroélectricité au gaz naturel](#)

[Les Affaires / Le Québec ne dort pas au gaz vert](#)

[Radio-Canada / Chute importante du prix du pétrole](#)

[Le Quotidien / Crédits carbone compensatoires : une fuite de capitaux vers la Californie](#)

[Protégez-vous / Fournisseurs de compensation carbone évalués](#)

[Radio-Canada / Commentaires sur Planet of the Humans](#)

[Radio-Canada / Pétrole : nettoyage de puits orphelins et le baril dans le négatif](#)

[Journal de Québec / Quatre principes pour encadrer une relance indissociable de la crise climatique](#)

[Le Quotidien / Un protocole de séquestration du pétrole attendu depuis 7 ans](#)

 [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