



**CIRAIG**<sup>MC</sup>

Centre international de référence sur le  
cycle de vie des produits, procédés et services



**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE



Le génie pour l'industrie

## Minimisation des émissions de gaz à effet de serre d'un bâtiment intelligent grâce à l'apprentissage machine

Antoine Langevin, Thomas Dandres, Ana Carolina Riekstin, Ghyslain  
Gagnon et Mohamed Cheriet

*La science des données au service du développement durable!*

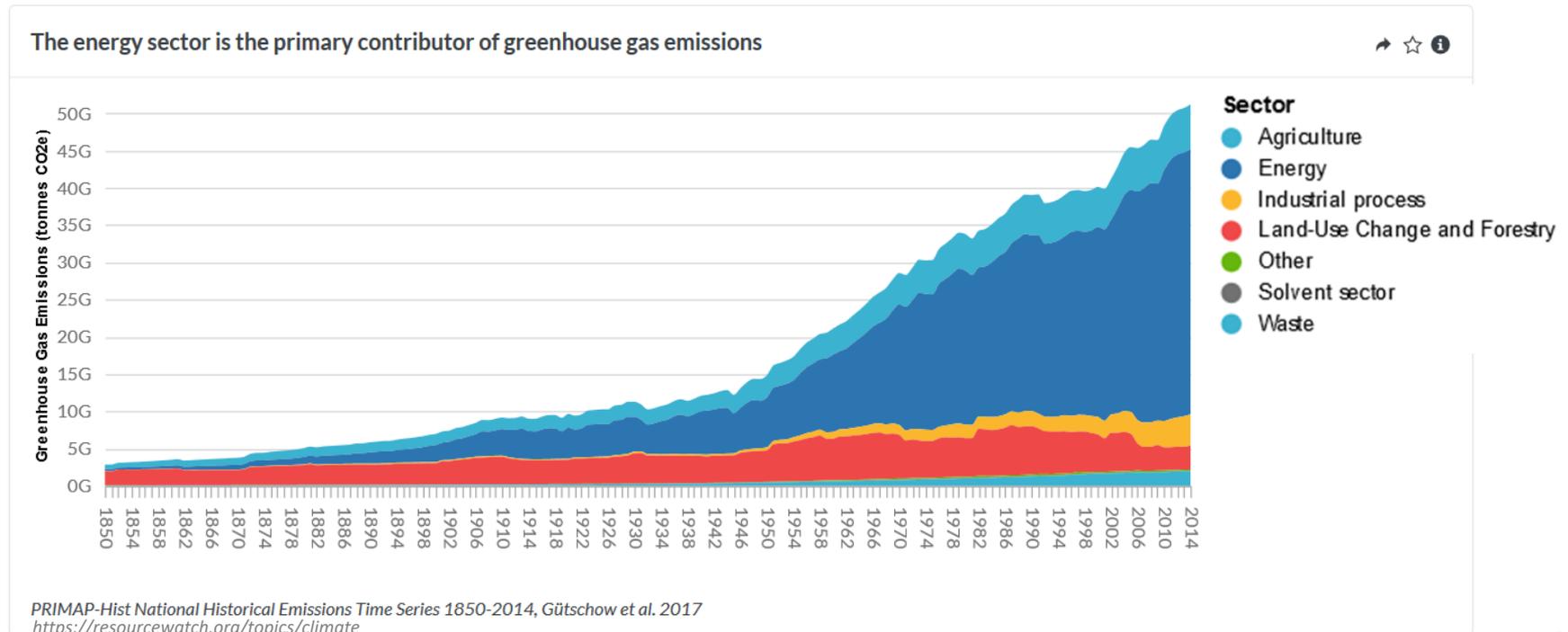
*22 mars 2019*

# Plan de la présentation

- ▶ **Mise en contexte:** électricité et émissions
- ▶ **Objectif:** mieux planifier la consommation d'électricité pour réduire les émissions
- ▶ **Méthode:** prédiction des émissions avec l'apprentissage machine
- ▶ **Résultats** émissions et planification de la demande
- ▶ **Autres défis:**
  - **Mesure fine de la demande**
  - **Électricité marginale**
  - **Acceptabilité sociale**
  - **Cycle de vie des systèmes électroniques**
- ▶ **Conclusions**

# Mise en contexte

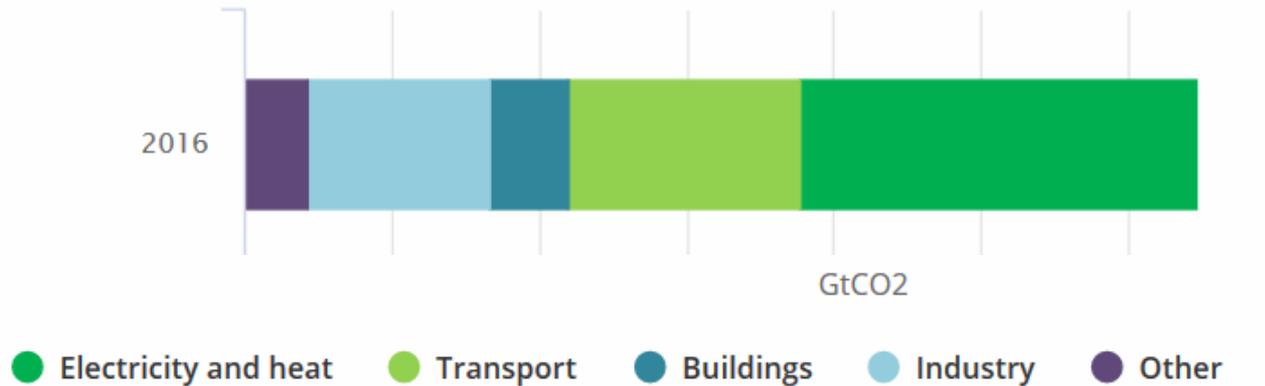
## ▶ Électricité et émissions de gaz à effet de serre



# Mise en contexte

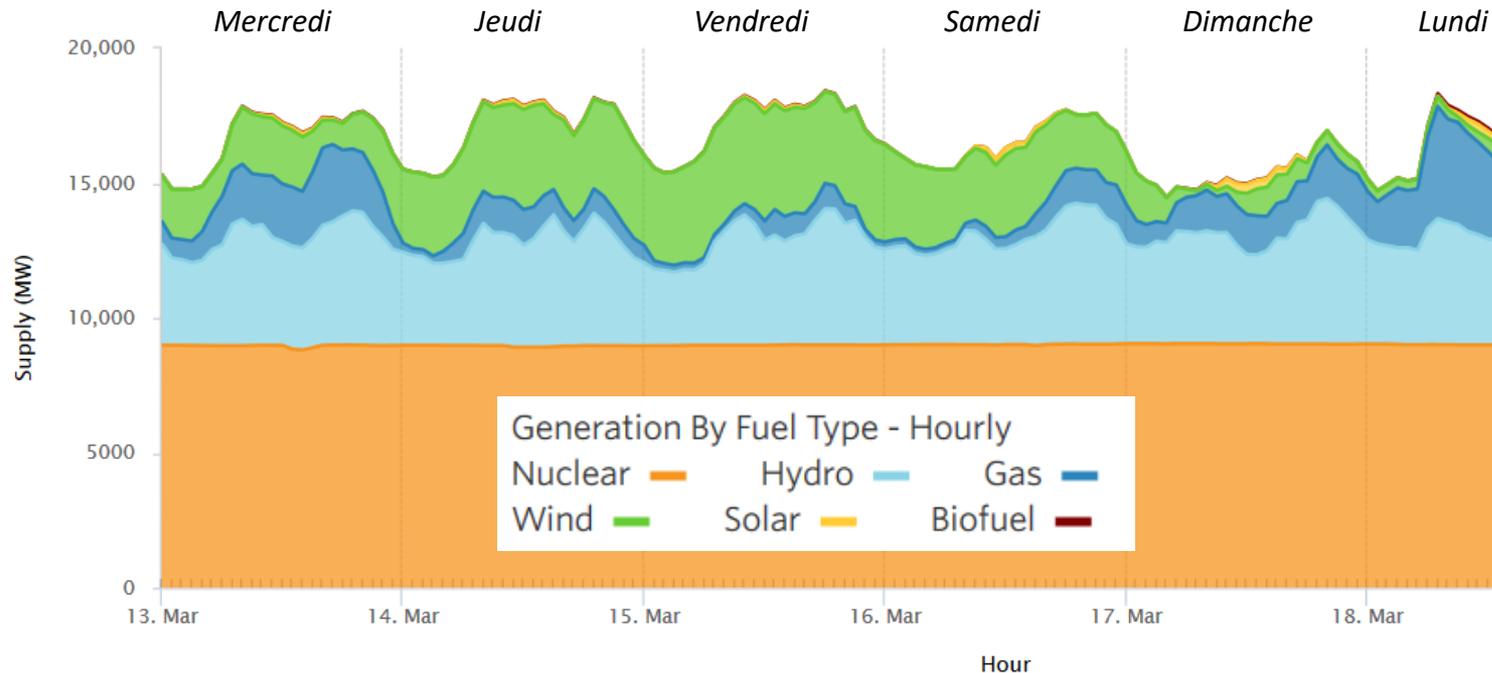
- ▶ Électricité et émissions de gaz à effet de serre

Global CO2 emissions by sector, 2016



# Mise en contexte

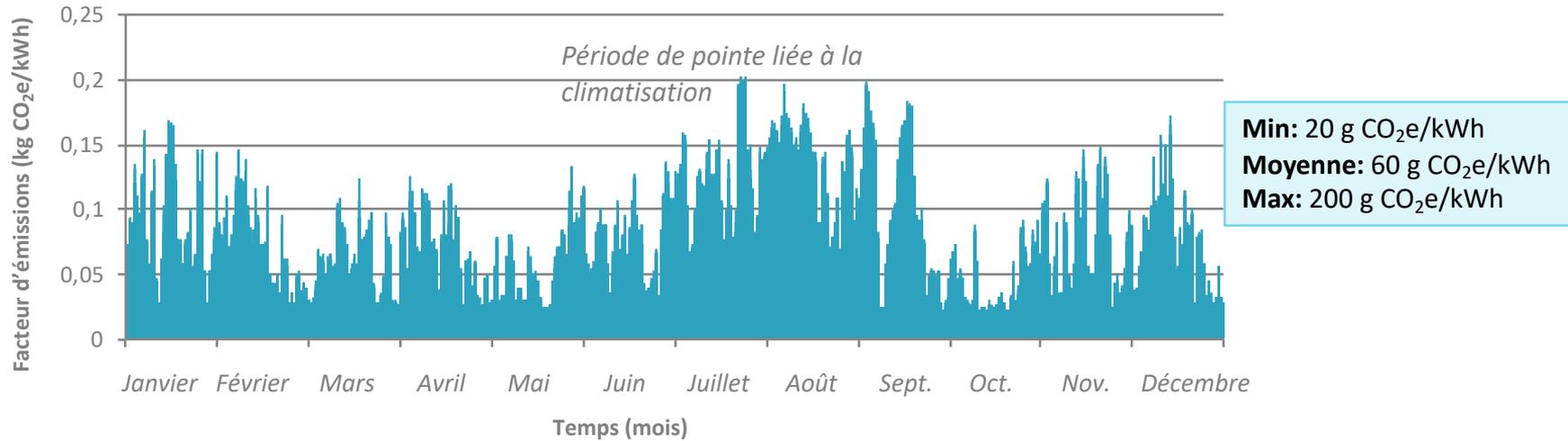
## ► Production d'électricité heure par heure (Ontario)



# Mise en contexte

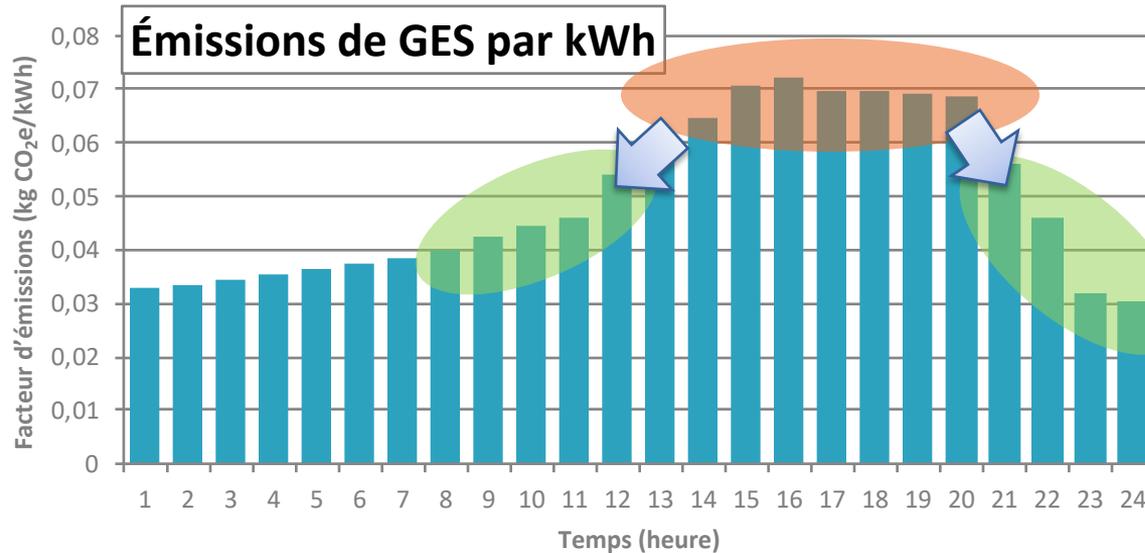
- ▶ Variations des émissions de GES au cours du temps

## Émissions de GES par kWh (Ontario, 2018)



# Objectif et problématique

- ▶ Planifier la consommation d'électricité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre



## Problématique:

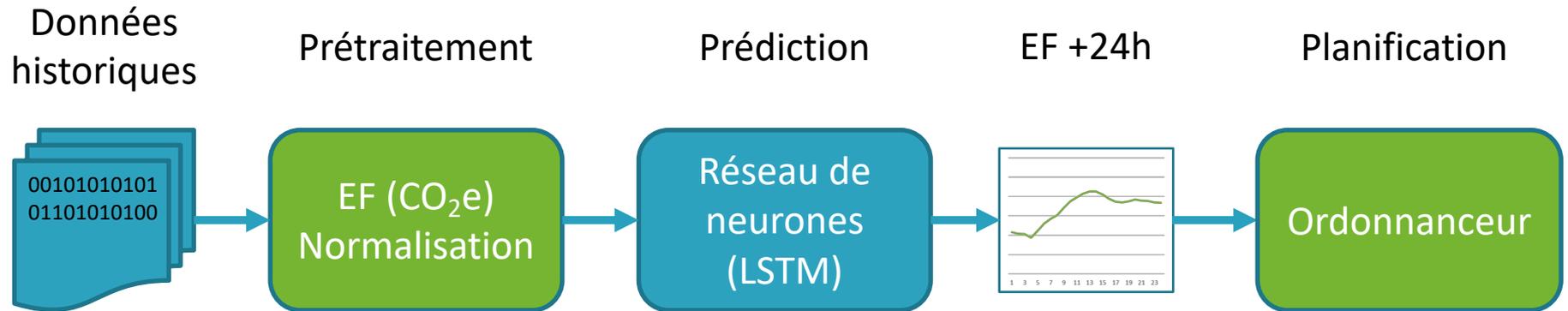
Parvenir à prédire le facteur d'émission plusieurs heures à l'avance pour permettre la planification de la consommation

# Objectif et problématique

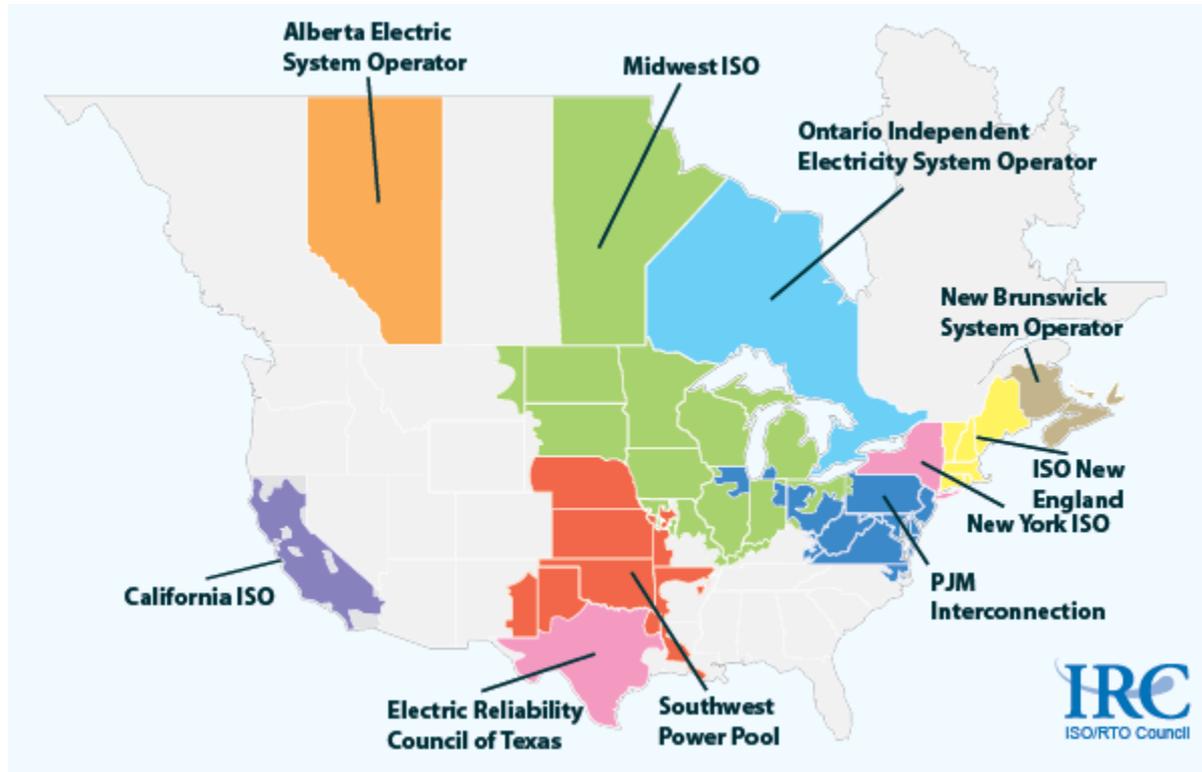
- ▶ Les approches statistiques “simples” ne fournissent pas des prédictions satisfaisantes
- ▶ Il est attendu que l'apprentissage machine produirait des prédictions plus précises

# Méthode

- ▶ Réseau de neurones récurrents pour prédire les émissions de GES des 24 prochaines heures

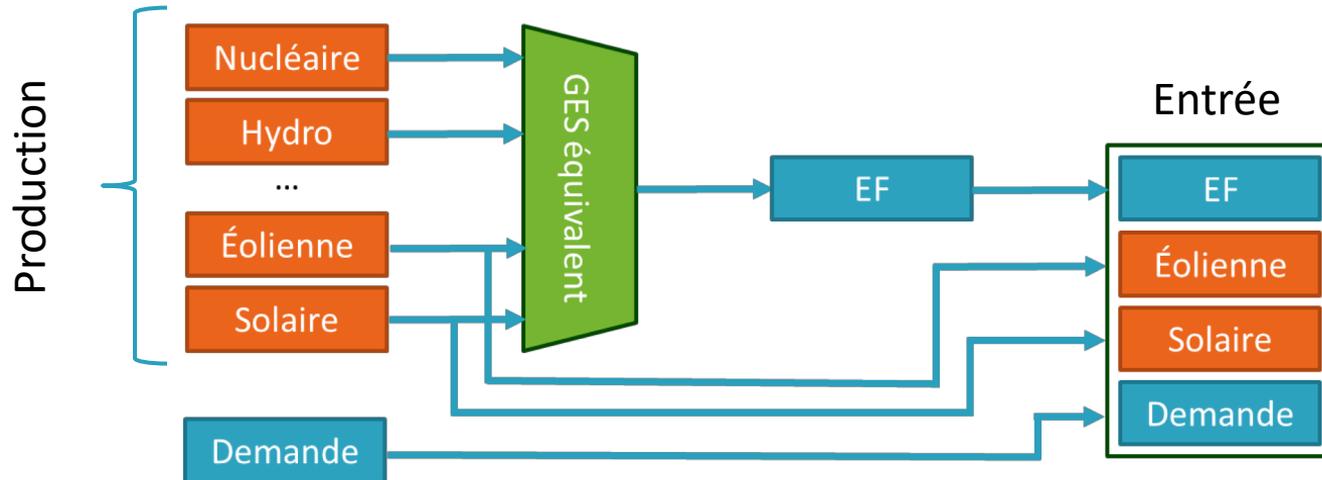


# Réseaux électriques



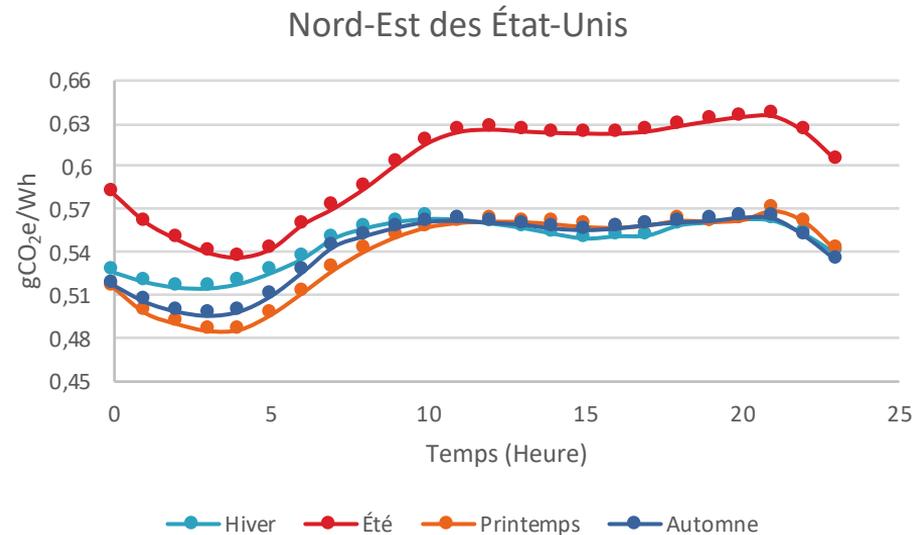
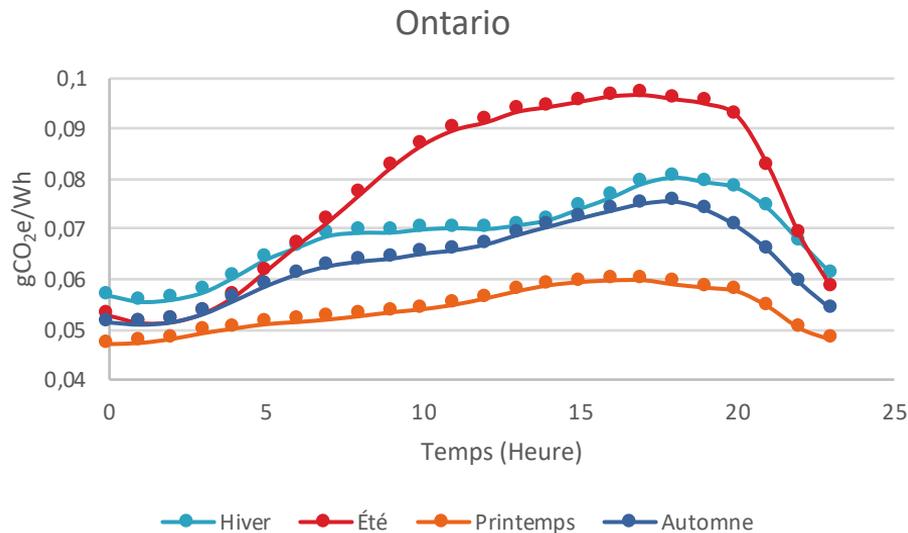
# Données et prétraitement

Région	Durée	Principales filières	Renouvelable
Ontario	2015 - 2017	Nucléaire + Gaz + Hydro	13 %
PJM	Mai 2015 - 2017	Charbon + Gaz + Nucléaire	< 2 %
France	2015 - 2017	Nucléaire	10 %



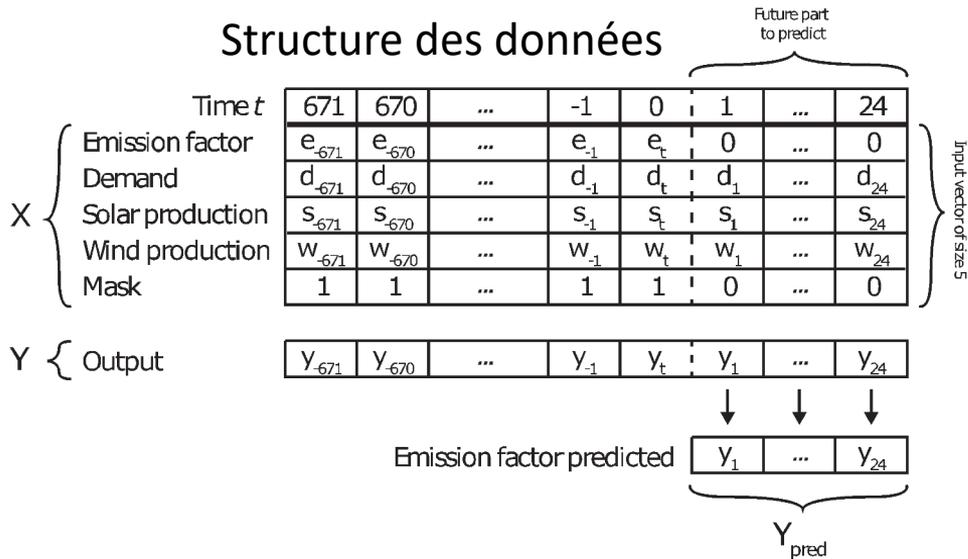
# GES en fonction des saisons

Émission de gaz à effet de serre en fonction de l'heure, des saisons et de la région observée

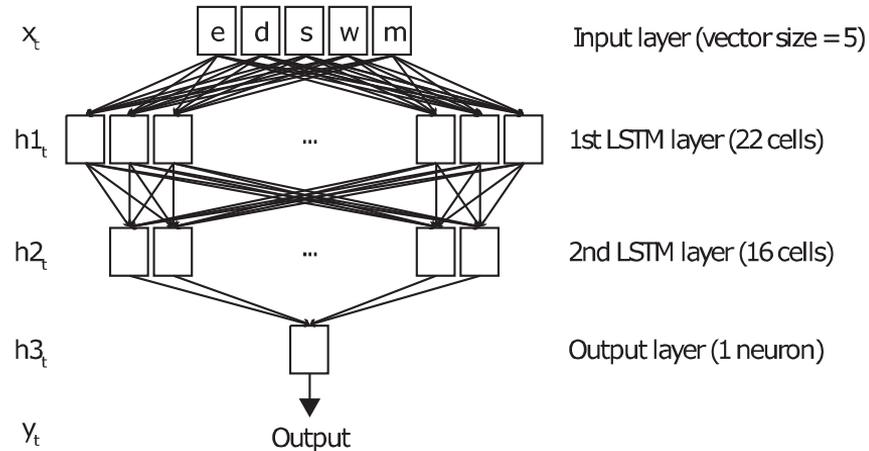


# Long Short-Term Memory

## Structure des données



## Architecture du réseau

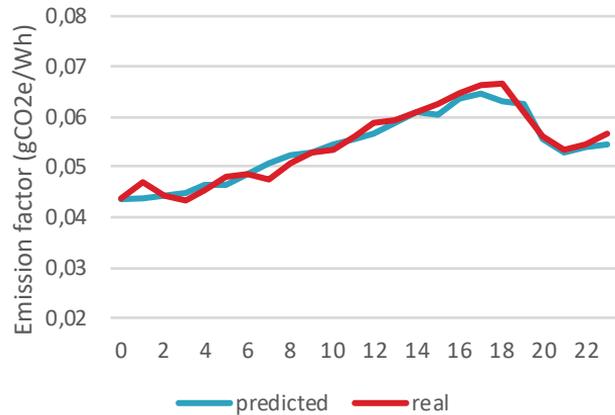


### ▶ Entraînement (80 %) - Test (20%)

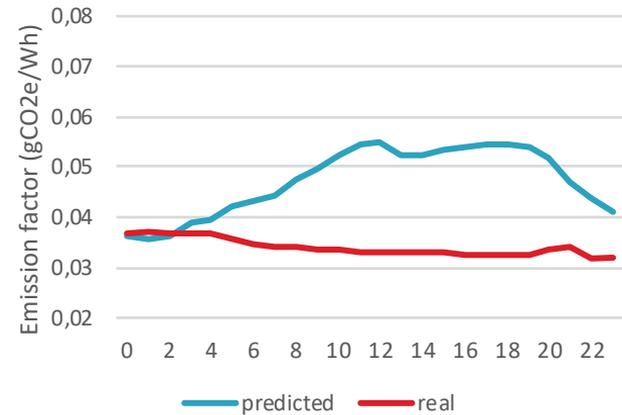
- 10 folds cross-validation
- 639 époques
- RMSProp
- Learning rate (Partial Warm Restart)

# Résultats

Ontario, 11 Oct 2016

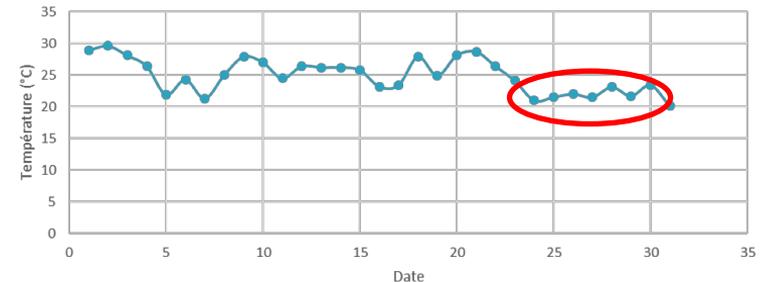


Ontario, 25 Aout 2017



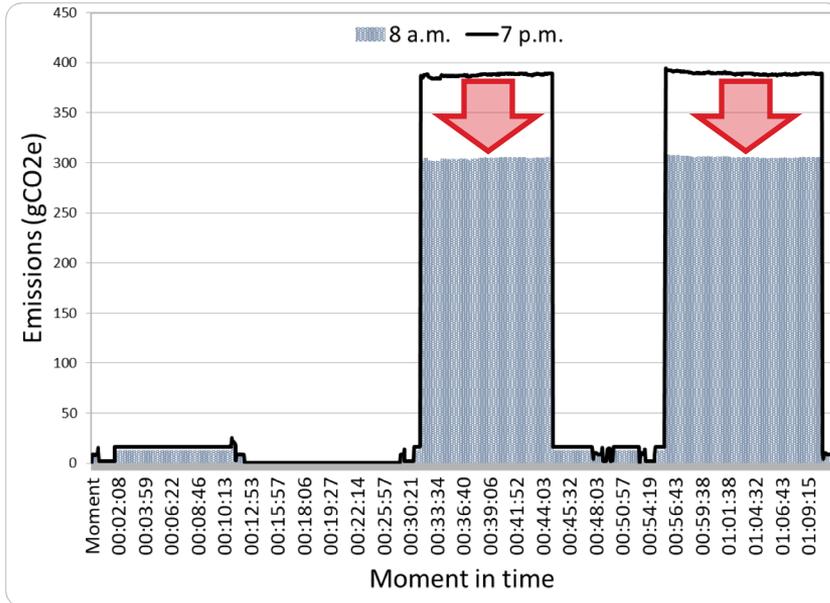
	Ontario		PJM		France	
	MAPE (%)	$R_{\text{pearson}}$	MAPE (%)	$R_{\text{pearson}}$	MAPE (%)	$R_{\text{pearson}}$
LSTM	12.44	0.52	2.10	0.90	11.30	0.50
TBATS	19.07	0.40	3.15	0.85	14.70	0.46
SVR	20.24	0.38	3.09	0.85	15.00	0.49

Aout 2017 Ontario

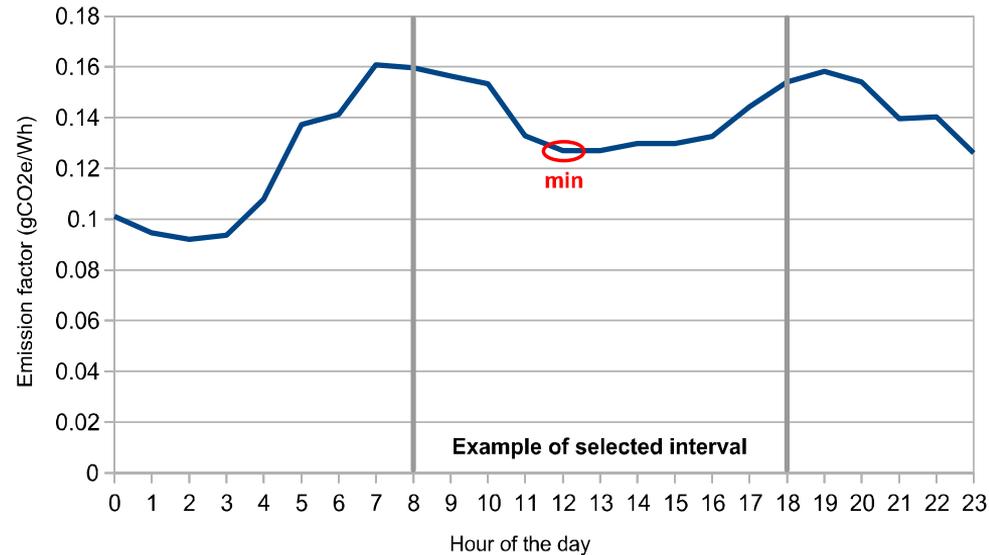


# Planification de la consommation

## ▶ Appareil: Lave-vaisselle

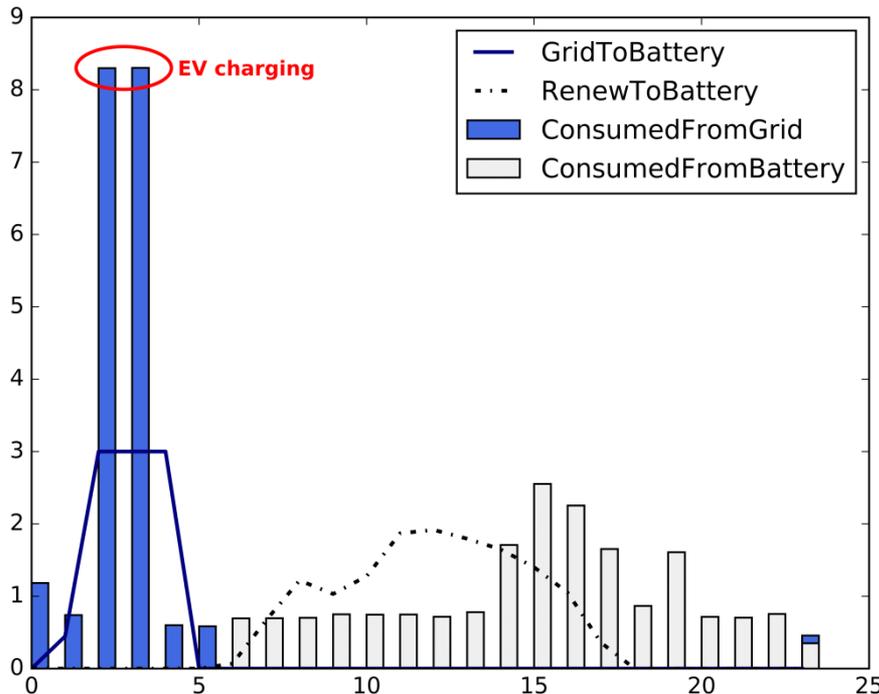


Réduction des émissions de 25%



# Planification de la consommation

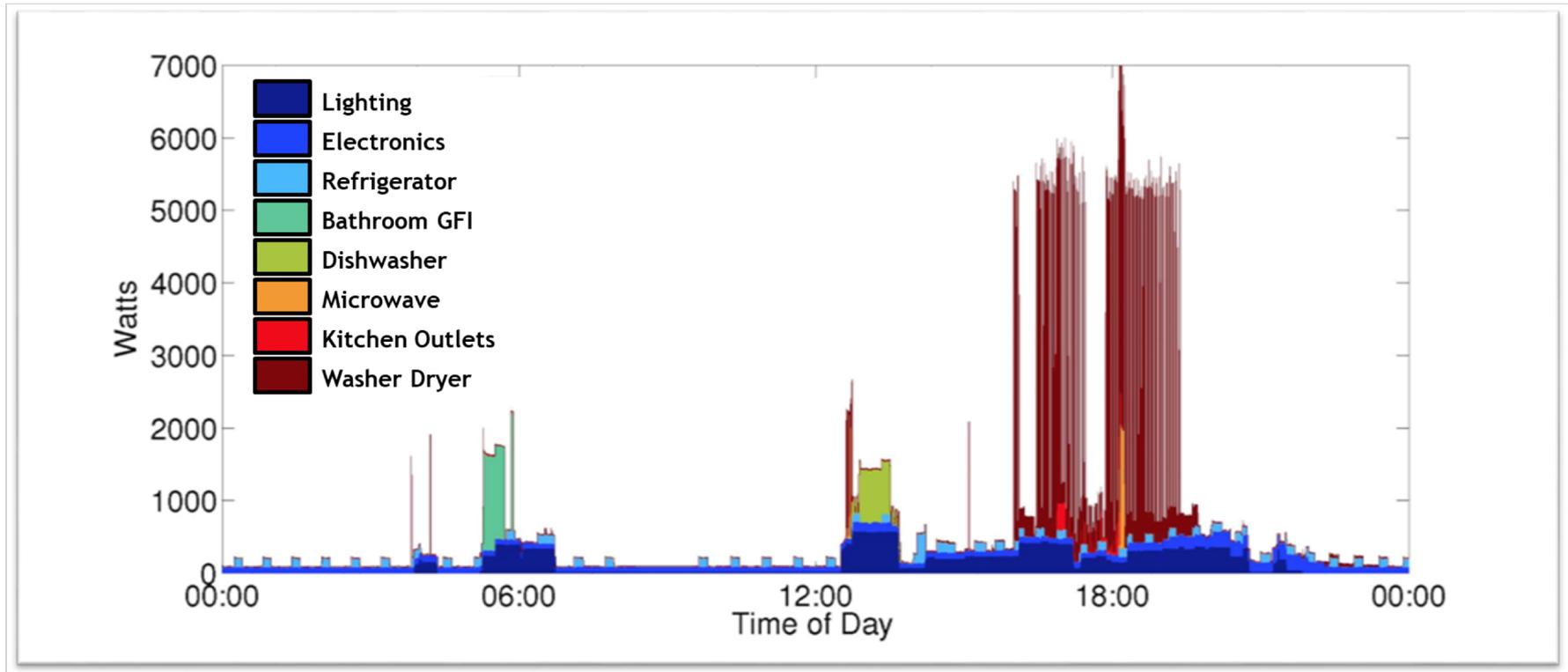
## ► Recharge des batteries d'un véhicule électrique



Optimisation de la recharge du véhicule électrique

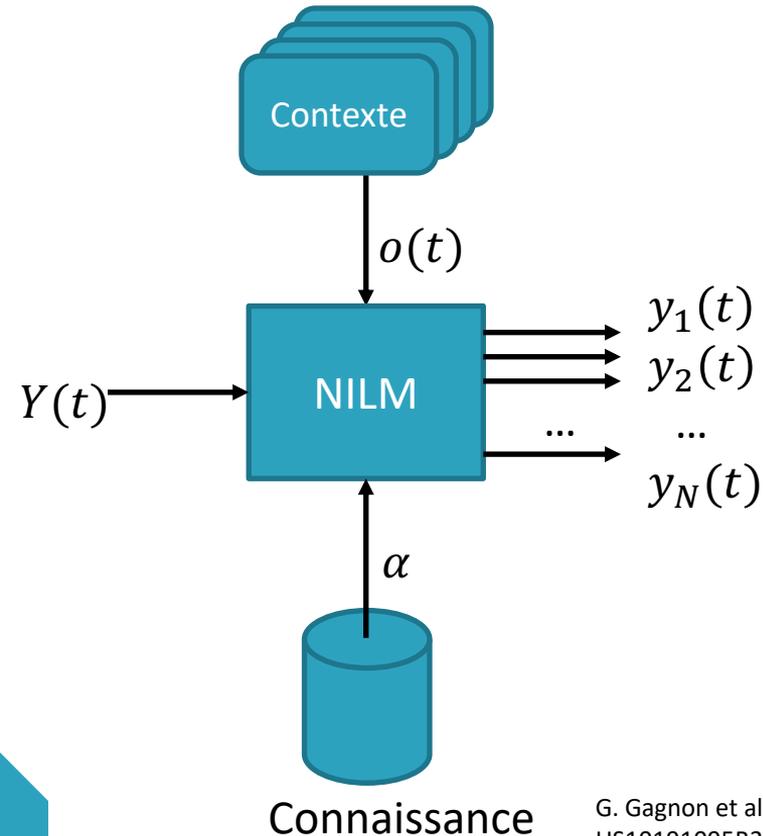
Réduction des GES : 37.5%

# Autres défis – Non-intrusive Load Monitoring

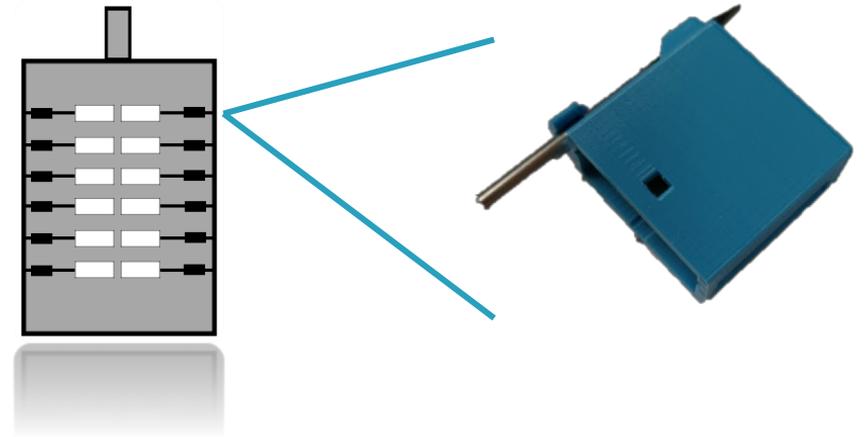


Source: <https://lids.mit.edu/research/research-highlights/power-disaggregation>

# Autres défis – Non-intrusive Load Monitoring



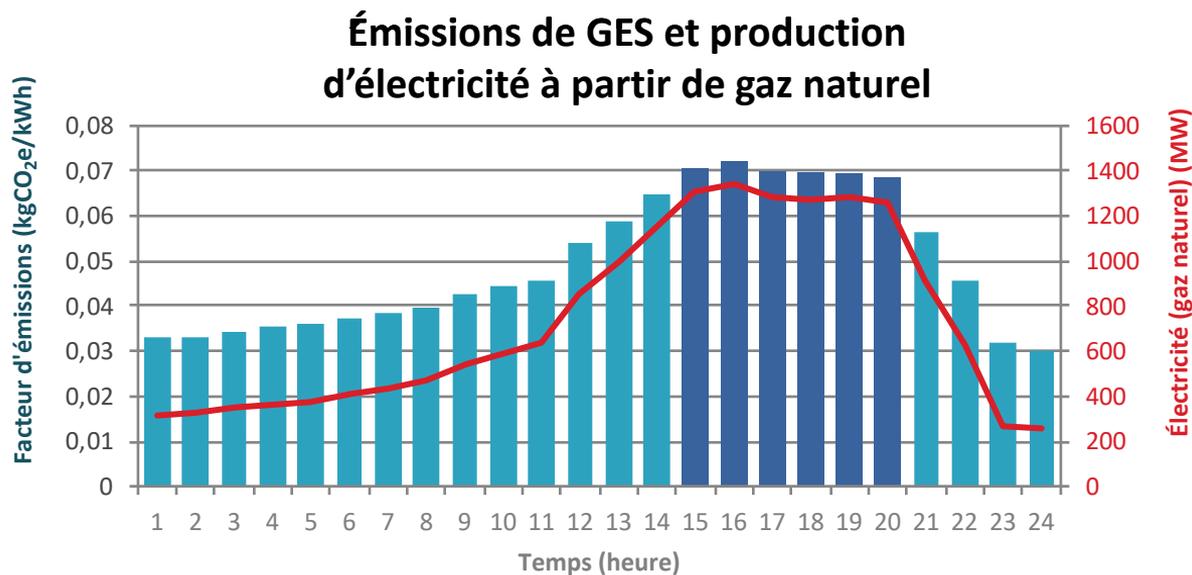
- ▶ Ajout d'information peu précise
  - Capteur HES dans le panneau de distribution



G. Gagnon et al., "Wireless sensor network for measurement of electrical energy consumption", US Patent US10191095B2, 2019

# Autres défis – Électricité marginale

- ▶ Effets de la planification sur la production d'électricité

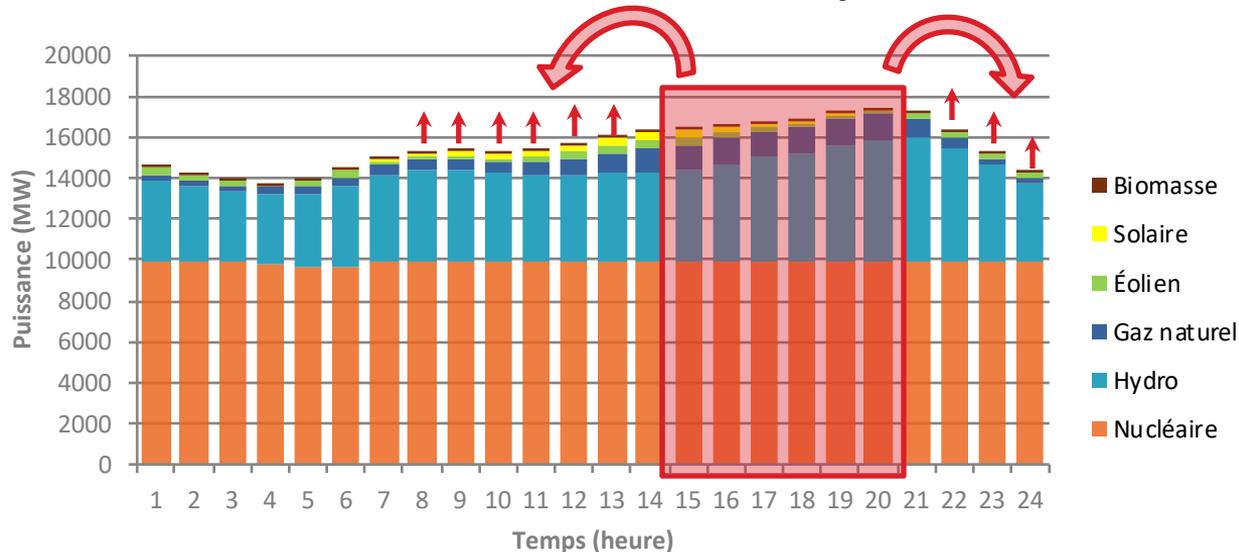


Les émissions de GES par kWh sont plus importantes entre 15h et 21h

# Autres défis – Électricité marginale

- ▶ Effets de la planification sur la production d'électricité

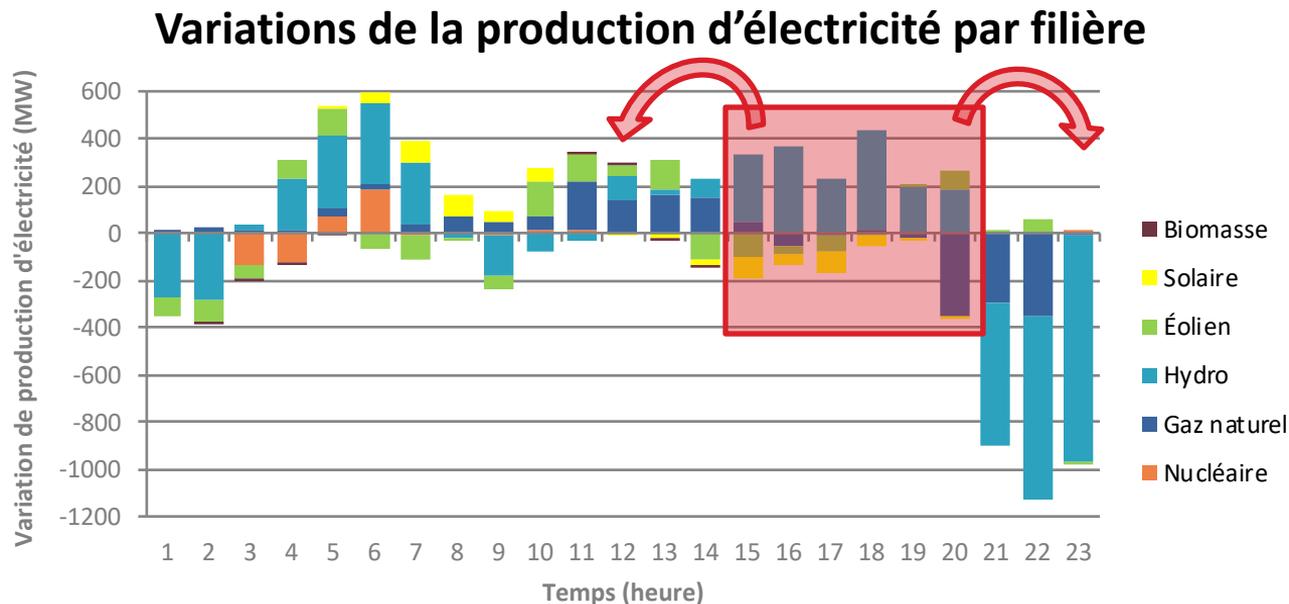
Production horaire d'électricité par filière



**Quelles filières de production d'électricité seront affectées par une réduction de la demande entre 15h et 21h? et par une augmentation le reste du temps?**

# Autres défis – Électricité marginale

- ▶ Filières affectées par les variations de la demande

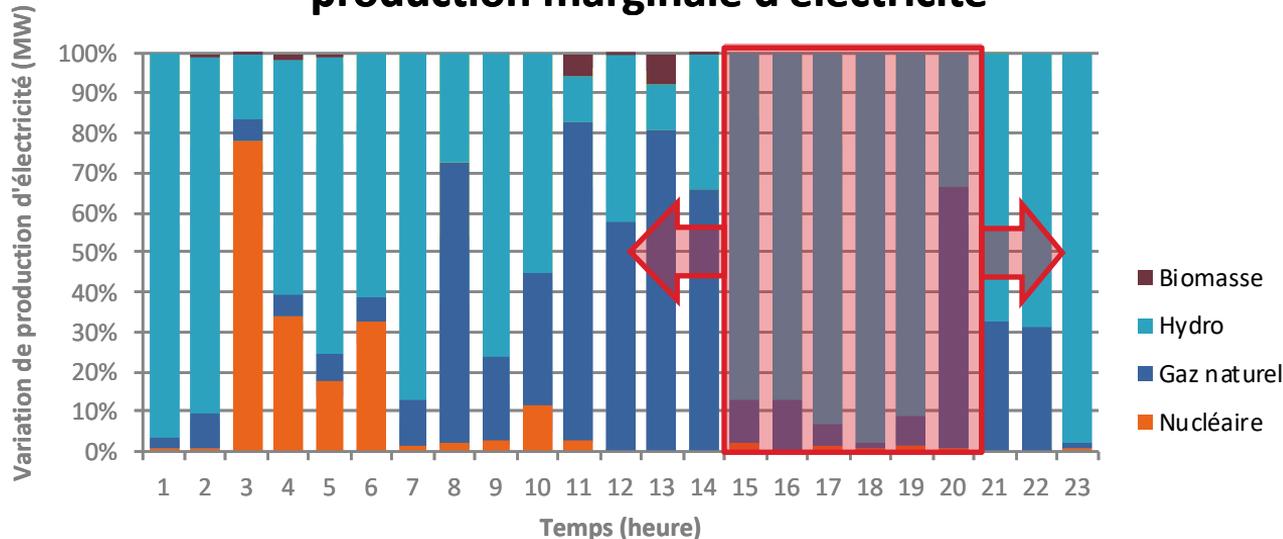


 Différence de production de chaque filière entre les heures H et H+1

# Autres défis – Électricité marginale

- ▶ Filières affectées par les variations de la demande

## Contribution relative des filières aux variations de production marginale d'électricité

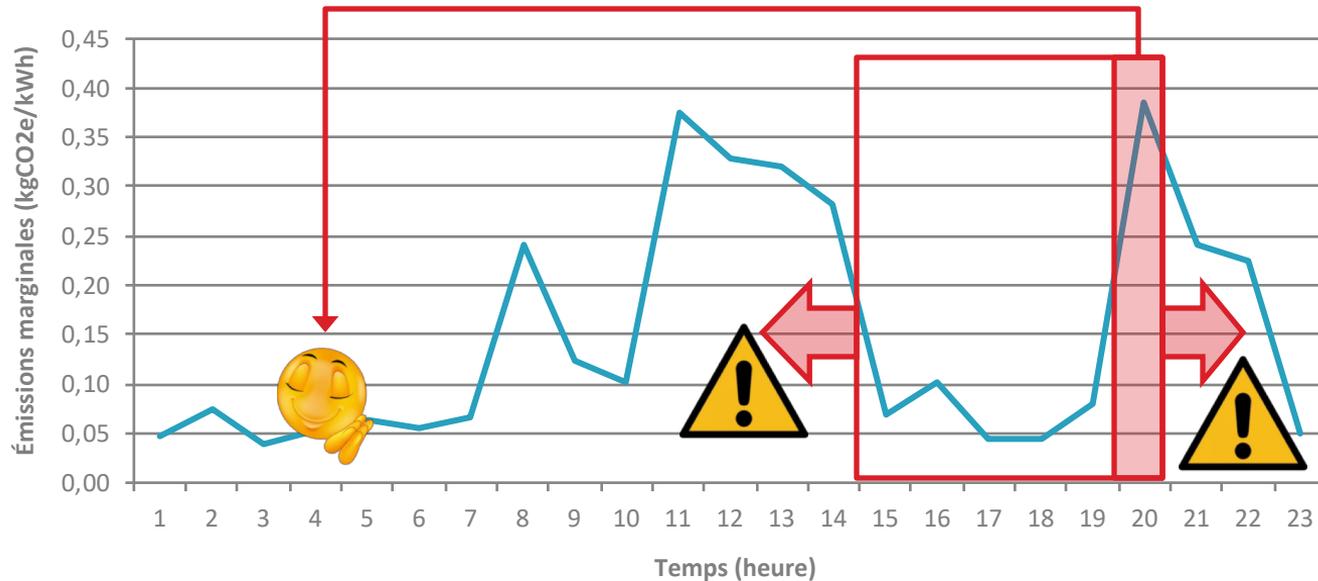


### Hypothèses:

Toutes les filières contrôlables sont affectées au prorata de leur contribution aux variations de la production marginale d'électricité

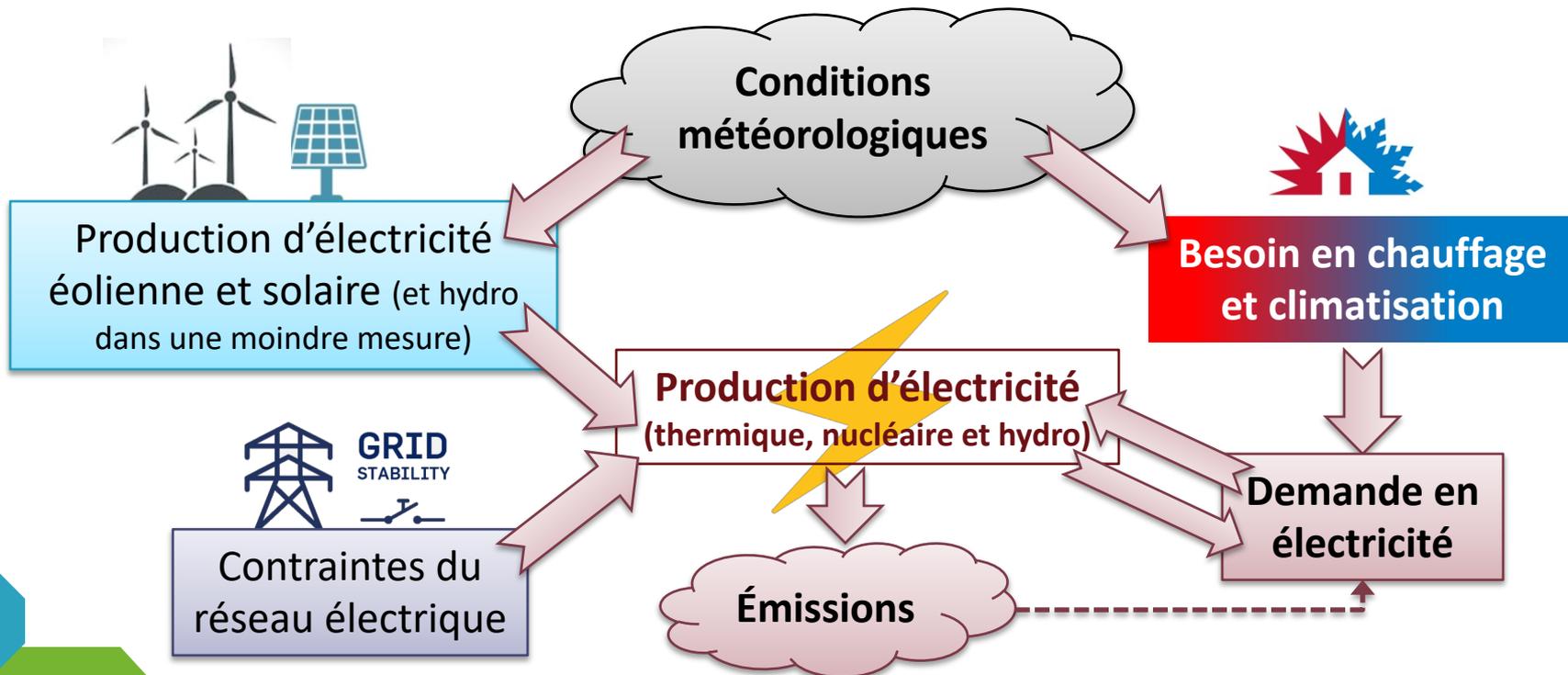
# Autres défis – Électricité marginale

## ▶ Emissions de GES de l'électricité marginale



# Autres défis – Électricité marginale

- ▶ Prédiction de la production d'électricité marginale



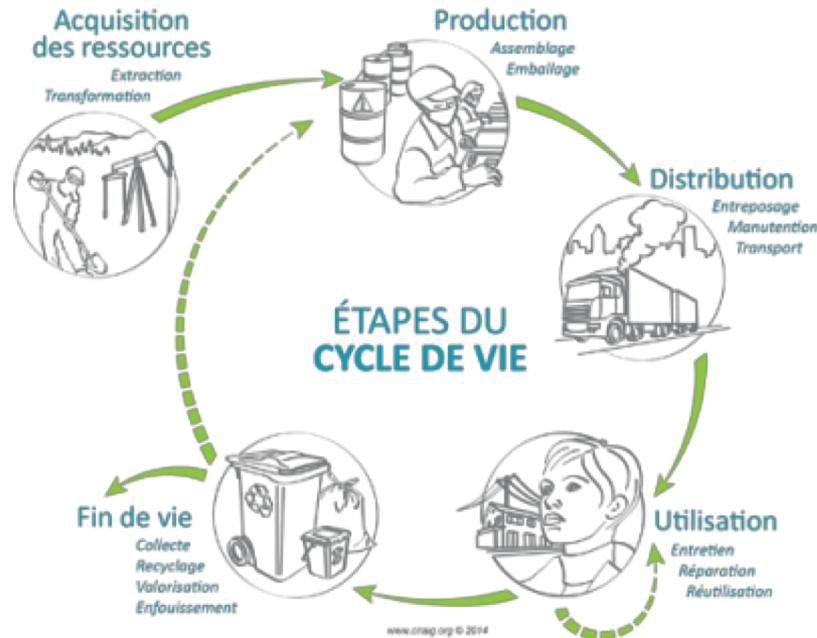
# Autres défis – Acceptabilité sociale

- ▶ Dans quelle mesure les consommateurs vont ajuster leur consommation d'électricité? Quelle est la meilleure approche pour maximiser l'adhésion des utilisateurs au programme?
- ▶ Une participation importante causerait des changements significatifs dans la production de l'électricité
  - Nécessité d'affiner les prédictions d'émissions en fonction de la participation

L'apprentissage machine pourrait être utilisé pour étudier ces phénomènes

# Autres défis – Analyse du cycle de vie

- ▶ La planification de la demande nécessitera l'utilisation de technologies d'information et de communication (TIC)



# Autres défis – Analyse du cycle de vie

- ▶ La planification de la demande nécessitera l'utilisation de technologies d'information et de communication (TIC)
- ▶ **L'impact environnemental des TIC est loin d'être négligeable:**
  - **Extraction:** pollution par les mines, consommation de ressources précieuses (**raréfaction des ressources**) et impacts sociaux (**activités minières**)
  - **Fabrication:** consommation de grandes quantités d'énergie (**émissions de GES**)
  - **Utilisation:** grande consommation d'électricité (**2% des émissions mondiales de GES (2008), équivalent au secteur de l'aviation civile**)
  - **Fin de vie:** pollution par les déchets toxiques et impacts sociaux (**incinération, enfouissement ou recyclage dans de mauvaises conditions**)

# Conclusions

- ▶ **La réduction des émissions par le changement des comportements est un problème complexe**
- ▶ **L'apprentissage machine contribue à la solution mais n'est pas suffisant**
  - Prédications des émissions de GES par kWh
- ▶ **De nombreuses externalités à prendre compte :**
  - Production d'électricité marginale
  - Comportement des consommateurs
  - Analyse du cycle de vie
- ▶ **Nécessité d'avoir une approche pluridisciplinaire pour traiter correctement le problème**
  - Sciences des données
  - Sciences sociales
  - Analyse du cycle de vie



**Sustainability through ICT Summit - 2nd Edition**

***ICT - A Key Driver for Sustainability***

**18-19 June 2019 // Montreal, Canada**

[Click Here For More Information](#)



**Merci de votre attention  
et à nos partenaires!**



**ERICSSON**



Le génie pour l'industrie



**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**

**WORLD-CLASS  
ENGINEERING**



**NSERC  
CRSNG**

**CIRODD**

Centre interdisciplinaire de recherche  
en opérationnalisation du développement durable

