

# **Dépendance du Québec au pétrole : défis pour les ingénieurs**

**Congrès annuel RIQ  
Mardi, 25 novembre 2008**


**Patrick Déry, B.Sc., M.Sc. physicien, spécialiste en énergétique  
Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)**

# Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

- Fondé en 1990
- Mission : trouver des solutions aux problématiques liées à l'utilisation des ressources naturelles renouvelables et non-renouvelables
- A entre autre réalisé quatre études sur l'énergétique au Québec de juin 2007 à avril 2008

# Quatre études

1. Substitution énergétique
2. Économie d'énergie et efficacité énergétique
3. Rendement sur l'investissement énergétique (énergie nette)
4. État et perspectives de l'énergétique au Québec (filière par filière)



# Étude #1

## Substitution énergétique : mythe ou réalité?

Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Étude #1 - Substitution énergétique

- Remplacement d'une source par une autre.
- Laissé à lui-même, le « libre-marché » ne permet pas d'opérer une substitution effective à long terme sauf en générant des crises (pénurie, récession).
- Dans le contexte d'un marché sans crise majeure, la production de toute nouvelle source d'énergie s'additionne à la production en place pour permettre la croissance économique et ce, sans réduction de la pollution et des GES.
- Seul l'application d'une planification énergétique avec une vision à long terme de la production ET de la consommation peut permettre la réalisation de substitutions tout en maintenant une économie saine.

# Étude #2

L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?

# Étude #2 – Économie d'énergie

- **Économie d'énergie** : réduction des dépenses d'énergie donc de la consommation d'énergie (non pas seulement d'une filière énergétique mais bien de l'énergie en général).
- **Efficacité énergétique**: amélioration du niveau de performance des processus énergétiques que nous utilisons déjà, donc obtenir les mêmes ou plus de résultats en utilisant moins d'énergie qu'avant.
- L'efficacité énergétique en application de façon importante depuis le début des années 1970.
- L'intensité énergétique du Québec **a diminuée de 1,5 fois** depuis 1970, **MAIS...**
- ...la consommation totale d'énergie **a crû de 1,4 fois** durant la même période.

# Étude #2 – Économie d'énergie

- La croissance de la consommation d'énergie au Québec (1,5%) est supérieure à celle des États-Unis (1,3%) malgré une croissance de la population très inférieure (0,5 % vs 1,1%)
- La croissance de la consommation d'énergie per capita au Québec est très importante depuis 1991 (passe de 4,82 à 5,6 Tep/hab)
- Toutefois, la consommation per capita du Québec (5,6 Tep/hab) se situe entre les États-Unis (8 Tep/hab) et l'Allemagne (4,3 Tep/hab)



# Étude #2 – Économie d'énergie

Le Québec comparé aux trois autres territoires étudiés

<b>Territoire</b>	<b>Intensité énergétique</b>	<b>Consommation d'énergie</b>
<b>Québec</b>	<i>1,5 x moins</i>	<i>1,4 x plus</i>
<b>États-Unis</b>	2 x moins	1,5 x plus
<b>Monde</b>	2 x moins	2 x plus
<b>Allemagne</b>	1,8 x moins	1,08 x plus

*\*Depuis 1970*

# Étude #2 – Économie d'énergie

## L'effet rebond en action

- En bonne partie à cause de la diminution de l'intensité énergétique obtenue par l'application de méthodes d'efficacité énergétique:
  - Maisons 2,5x plus grandes que dans les années 1950 avec moins d'habitants
  - Véhicules automobiles plus gros, plus de distances parcourues par véhicule et plus de véhicules sur la route
- Augmentation du niveau de vie grâce à l'efficacité énergétique
- Donc hausse de la consommation totale d'énergie primaire et des émissions de GES

# Étude #2 – Économie d'énergie

## L'Allemagne, un exemple à suivre?

- Bons résultats dans la substitution du charbon et du pétrole par le gaz naturel et les renouvelables → réduction des émissions de CO<sub>2</sub>
- La consommation totale d'énergie s'est stabilisée, aidée par une croissance très faible de la population (0,2%) et de son PIB
- N'a pas réussi à diminuer sa consommation totale d'énergie de façon significative

# Étude #2 – Économie d'énergie

- Beaucoup de discussions concernant l'économie d'énergie partout sur la planète mais **aucun résultat effectif**
- Laissé à lui-même, le « libre-marché » ne permet pas de réaliser des économies d'énergie à long terme sauf **en générant** des crises (pénurie, récession)
- Dans le contexte d'un **marché sans crise majeure**, l'efficacité énergétique se comporte comme la production d'une nouvelle source d'énergie et **s'additionne à la production en place** pour permettre la croissance économique et ce, **sans réduction de la pollution et des GES**

# Étude #2 – Économie d'énergie

- L'efficacité énergétique est une condition essentielle mais non suffisante à l'économie d'énergie
- L'efficacité énergétique peut provoquer ce que l'on voulait éviter au départ soit la hausse des émissions de GES

# Étude #3

Quel rendement sur notre  
investissement énergétique?

# Étude #3 – Rendement énergétique

- Rendement sur l'investissement énergétique :

$$\text{RIE} = \frac{\text{Somme de l'énergie produite par la source durant sa durée de vie}}{\text{Somme de l'énergie consommée pour extraire l'énergie de cette source}}$$

(incluant la fabrication, l'installation, l'énergie intrinsèque des matériaux...)

- Ratio énergie nette :

$$\text{EN} = \text{RIE} - 1$$

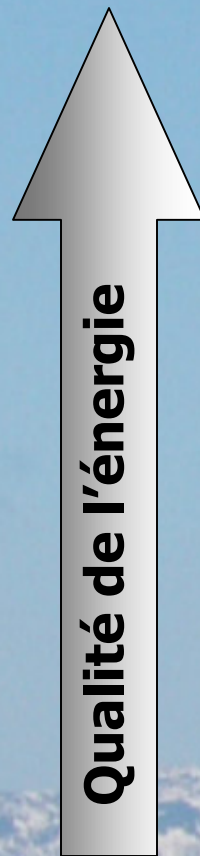
+ production d'énergie

0 neutre

- consommation d'énergie

# Étude #3 – Rendement énergétique

- **Qualité de l'énergie** : Propension d'une forme d'énergie à se transformer en une autre forme.



**Électricité**

**Mouvement (ex : chute d'eau, vent)**

**Lumière solaire**

**Carburants fluides**

**Carburants solides**

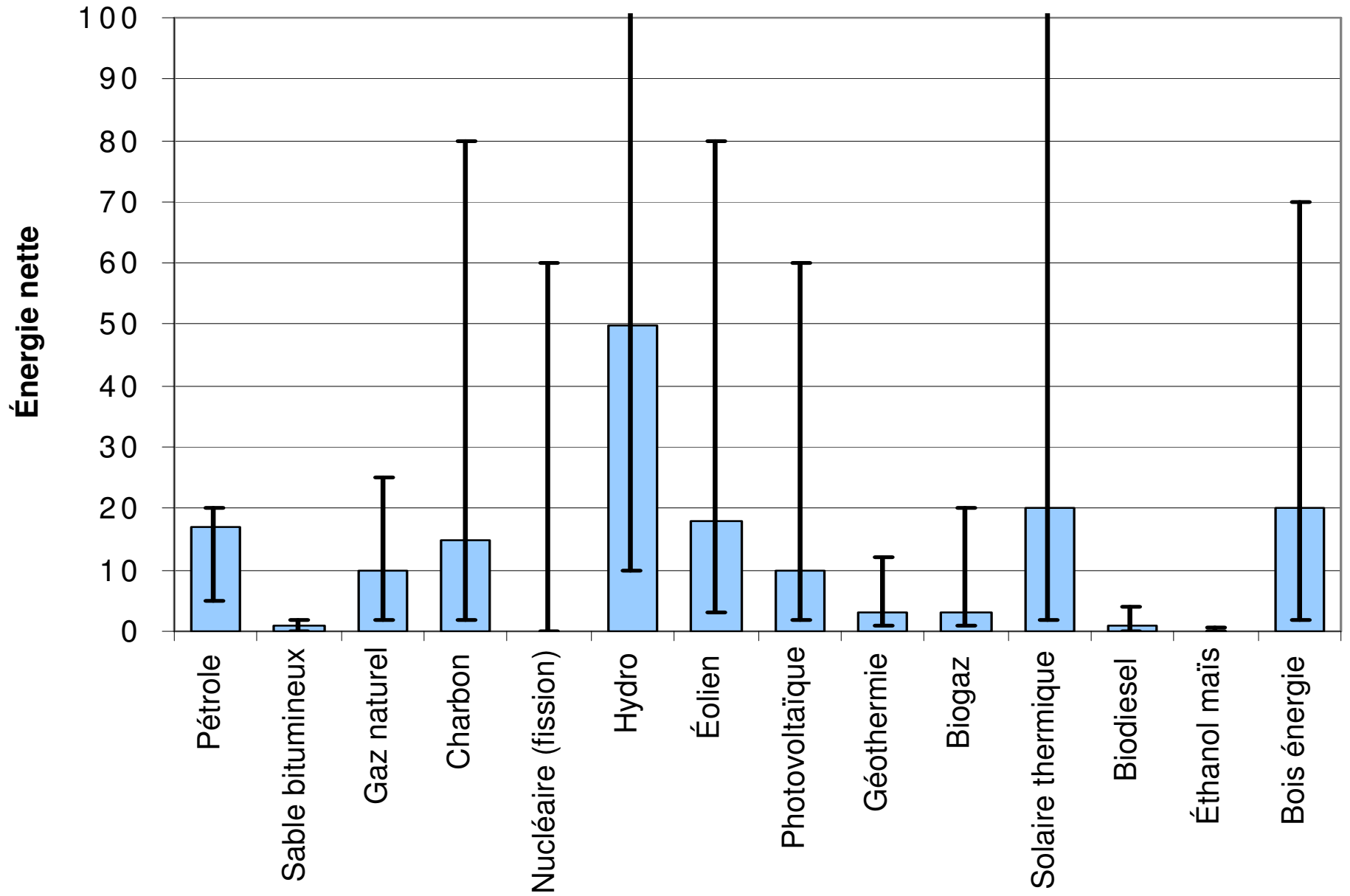
**Vapeur haute pression**

**Chaleur haute température**

**Chaleur basse température**



# Énergie nette de différentes sources d'énergie



# Étude #3 – Rendement énergétique

## Classement des sources d'énergie selon leur énergie nette pour le Québec

1. Hydroélectricité
2. Biomasse forestière
3. Solaire thermique
4. Éolien
5. Solaire photovoltaïque
6. Autres : géothermie, biogaz...

# Étude #3 – Rendement énergétique

## Outil de discrimination des sources d'énergie

1. Éthanol-maïs
2. Schiste bitumineux
3. Gaz naturel liquéfié
4. Fission nucléaire
5. Séquestration de carbone des émissions des centrales thermiques au charbon

# Étude #3 – Rendement énergétique

- Les évaluations de la production d'énergie nette d'une même source d'énergie peuvent varier grandement.
- L'utilisation des seuls facteurs économiques pour évaluer une filière énergétique peut mener à un cul-de-sac énergétique.
- Une méthode comptabilisant l'énergie nécessaire à l'extraction d'énergie est fondamentale et devrait être obligatoirement utilisée lors d'une planification énergétique à long terme.

# Étude #3 – Rendement énergétique

- Les choix de consommation d'énergie, et non seulement la façon de produire celle-ci, influence grandement la production d'énergie nette : «**La bonne source d'énergie au bon endroit**» (Ex: sources thermiques comme le gaz naturel ou la biomasse forestière pour le chauffage plutôt que l'électricité)
- En général, plus l'énergie nette produite d'une même source est importante, moins celle-ci génère de gaz à effet de serre en proportion de l'énergie produite.

# Étude #3 – Rendement énergétique

- Du point de vue de l'énergie nette produite, les sources d'énergie les plus intéressantes pour le Québec sont, par ordre d'importance : l'hydroélectricité, la biomasse forestière, solaire thermique (passif principalement), l'éolien, le solaire photovoltaïque, la géothermie, biogaz...

# Étude #4

## État et perspectives de l'énergétique mondiale et québécoise

Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Méthode

- Inventaire des modèles existants et réalistes pour chaque filière énergétique utilisée au Québec
- Création de modèles de la consommation future d'énergie au Québec
- Création de scénarios futurs de l'approvisionnement énergétique du Québec
- Évaluation des émissions de GES de chacun des scénarios
- Évaluation des économies d'énergie de chacun des scénarios



# Objectifs

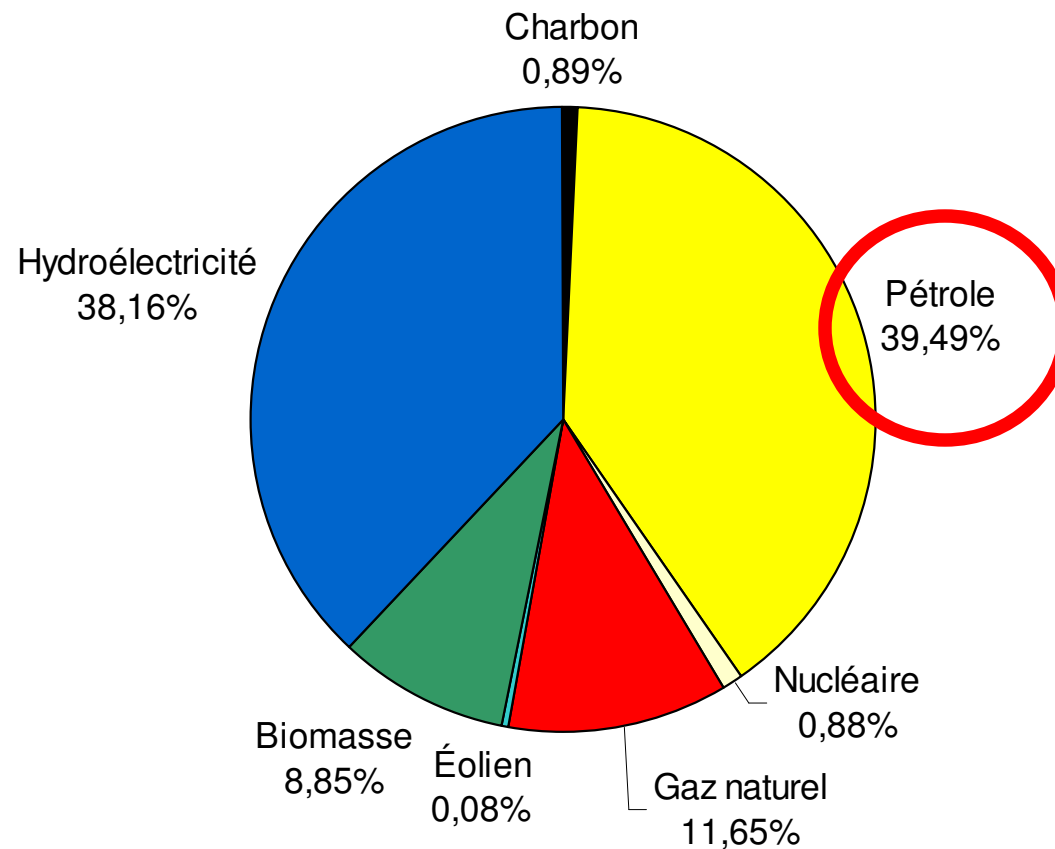
- Sécuriser les approvisionnements énergétiques
- Contrôler efficacement les émissions de gaz à effet de serre provenant du secteur énergétique
- S'assurer de la faisabilité technico-économique des scénarios en tenant compte, entre autres, des trois études précédentes

# **Disponibilité pour le Québec de la production de chaque filière énergétique jusqu'en 2030**

Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

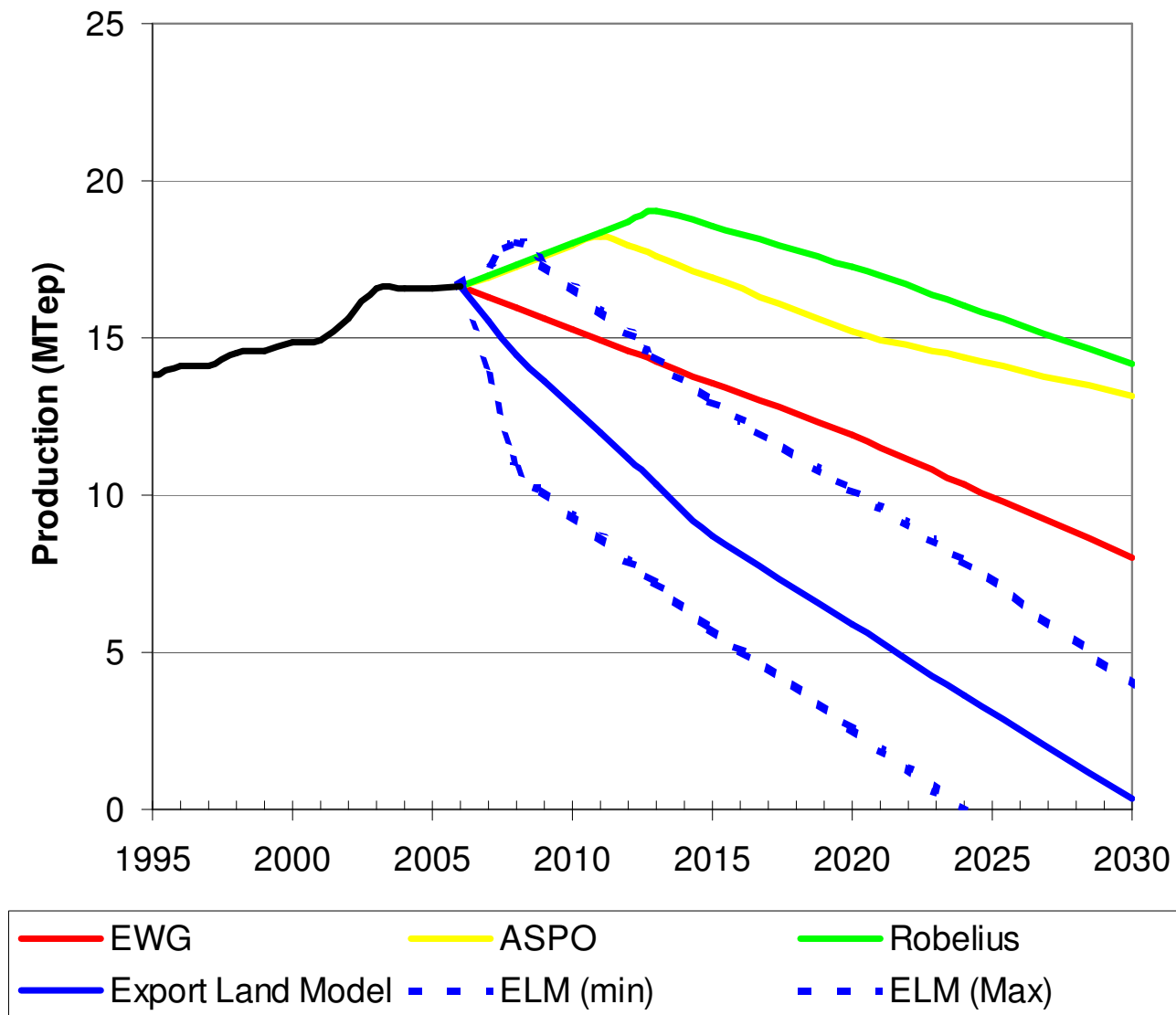
# La principale source d'énergie utilisée au Québec est le pétrole

Consommation d'énergie primaire  
au Québec par source (2005)



*Le pétrole,  
c'est 99%  
de l'énergie  
dans les  
transports*

## Production pétrolière (tous liquides) disponible pour le Québec selon divers modèles



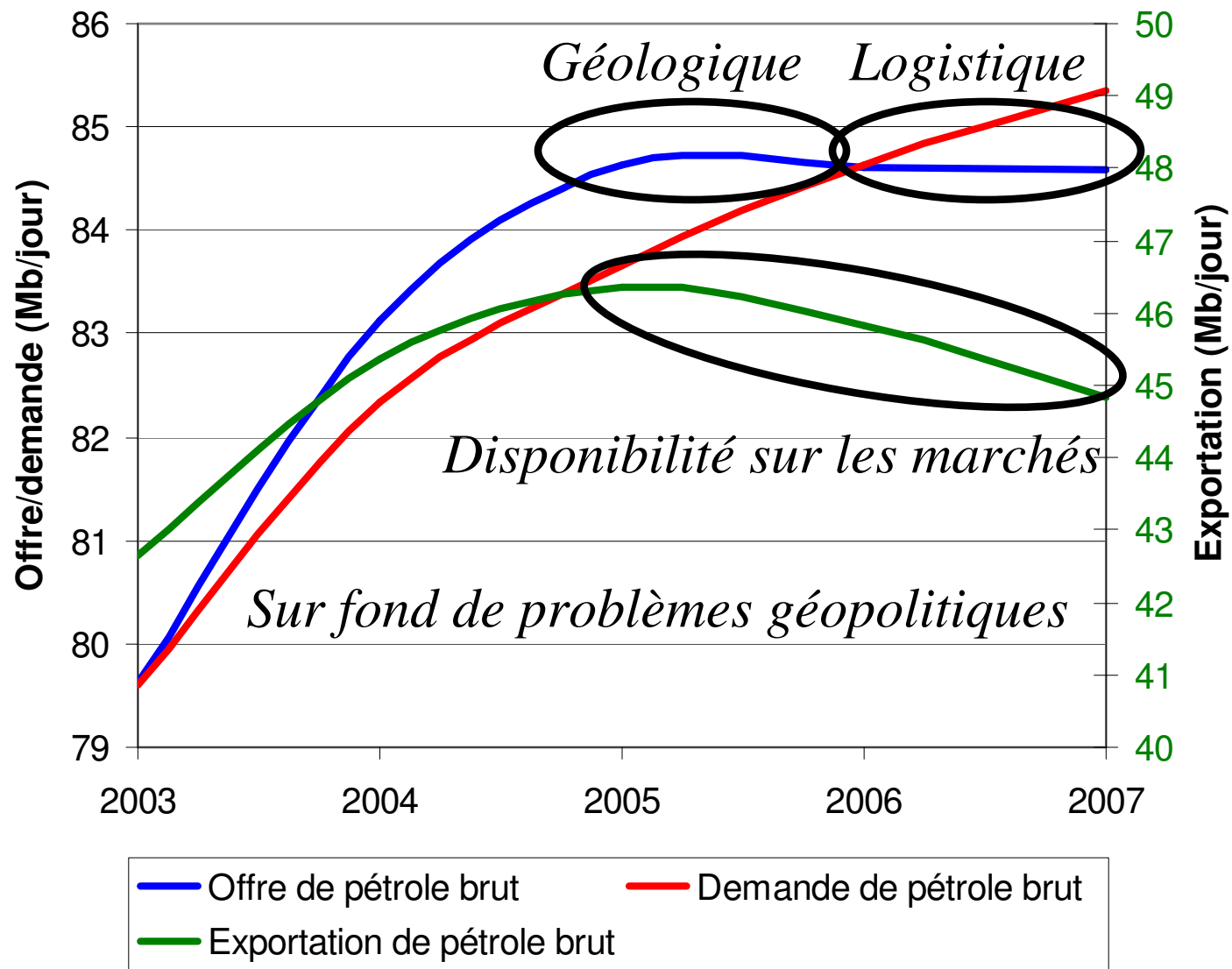
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Contraintes limitant notre approvisionnement pétrolier

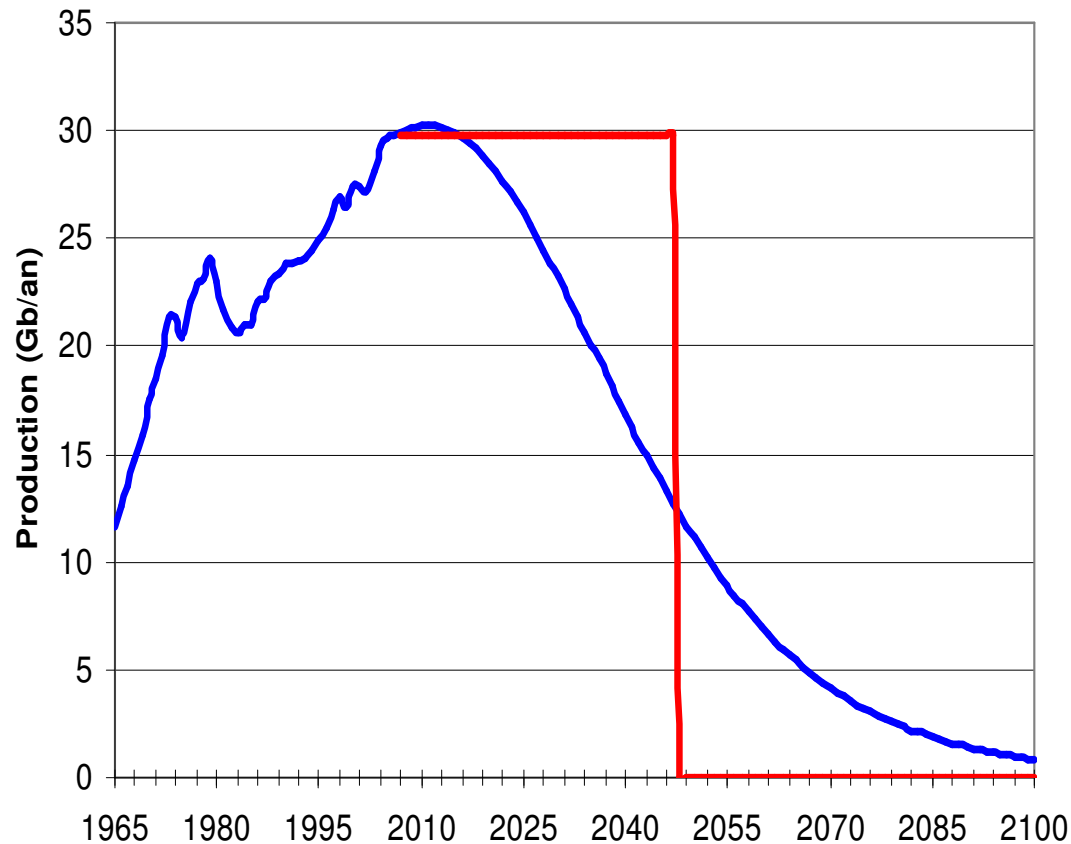
- **Logistique** : coûts des matières premières, disponibilité des équipements de forage, main-d'oeuvre vieillissante, investissements insuffisants, forte hausse de la demande des pays émergents...
- **Géologique** : maximum de production ou déclin des principales régions productrices, limites à la vitesse d'extraction des réserves...
- **Géopolitique** : conflits (Irak, Nigeria), nationalisation (Venezuela) [94% des réserves mondiales de gaz naturel et de pétrole sont nationalisées]
- **Disponibilité sur les marchés** (exportation) : les pays producteurs conservent leur pétrole pour la consommation interne et pour diversifier leur économie plutôt que de l'exporter.

# Les contraintes limitant nos approvisionnements pétroliers sont déjà à l'oeuvre

Données: Energy Information Administration (US)



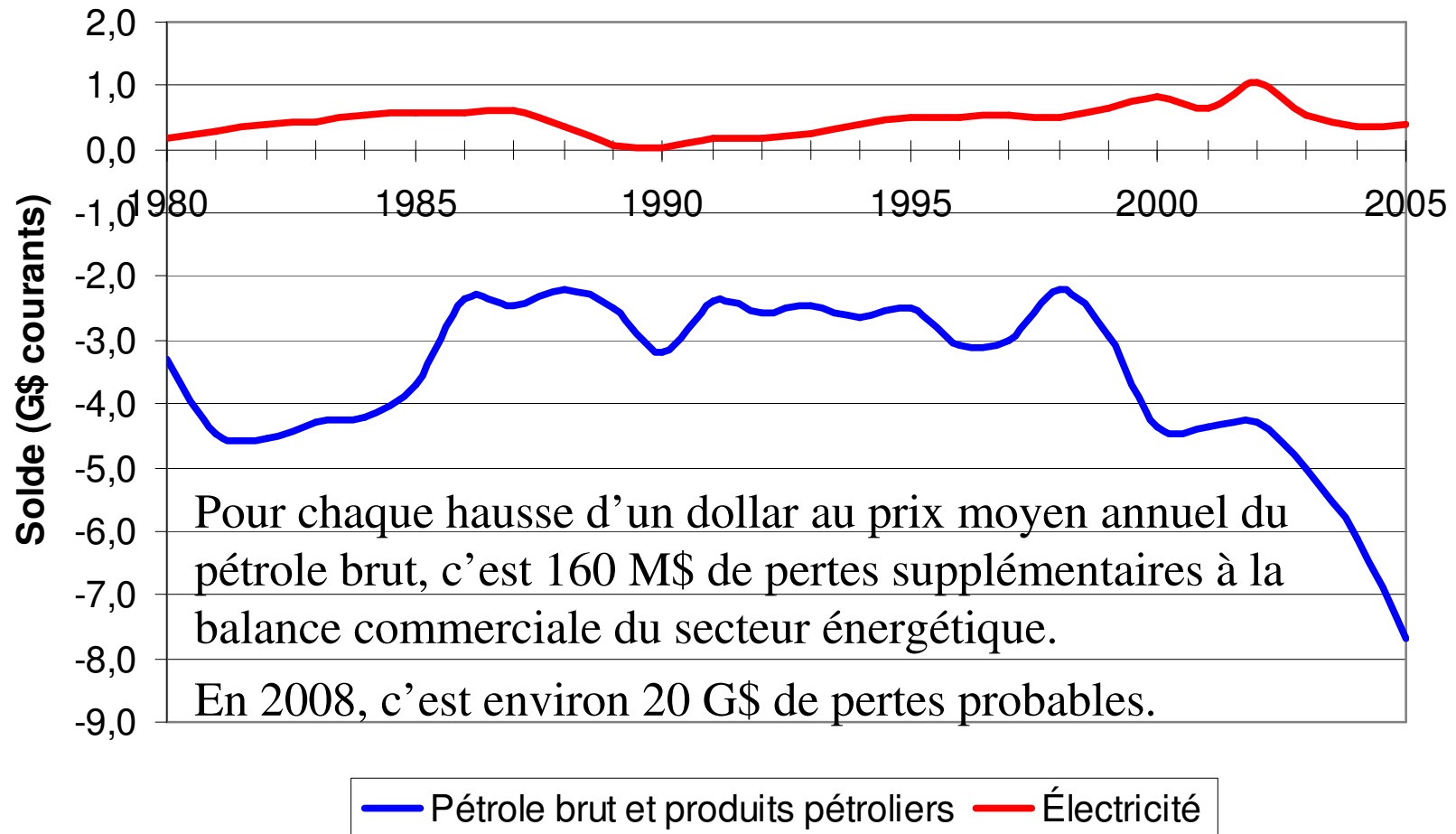
# Dire qu'il y a plus de 40 ans de réserves de pétrole au niveau mondial n'a aucune signification.



- Les pays de l'OPEP ont surévalué leurs réserves de près du double entre 1985 et 1988. En juin 2007, le ministre koweïtien du pétrole a annoncé que les réserves du pays étaient de 48 Gb et non de 101 Gb.
- Le problème ne provient pas directement des réserves mais plutôt de la vitesse d'extraction de celles-ci (production) (AIE WEO 2008).

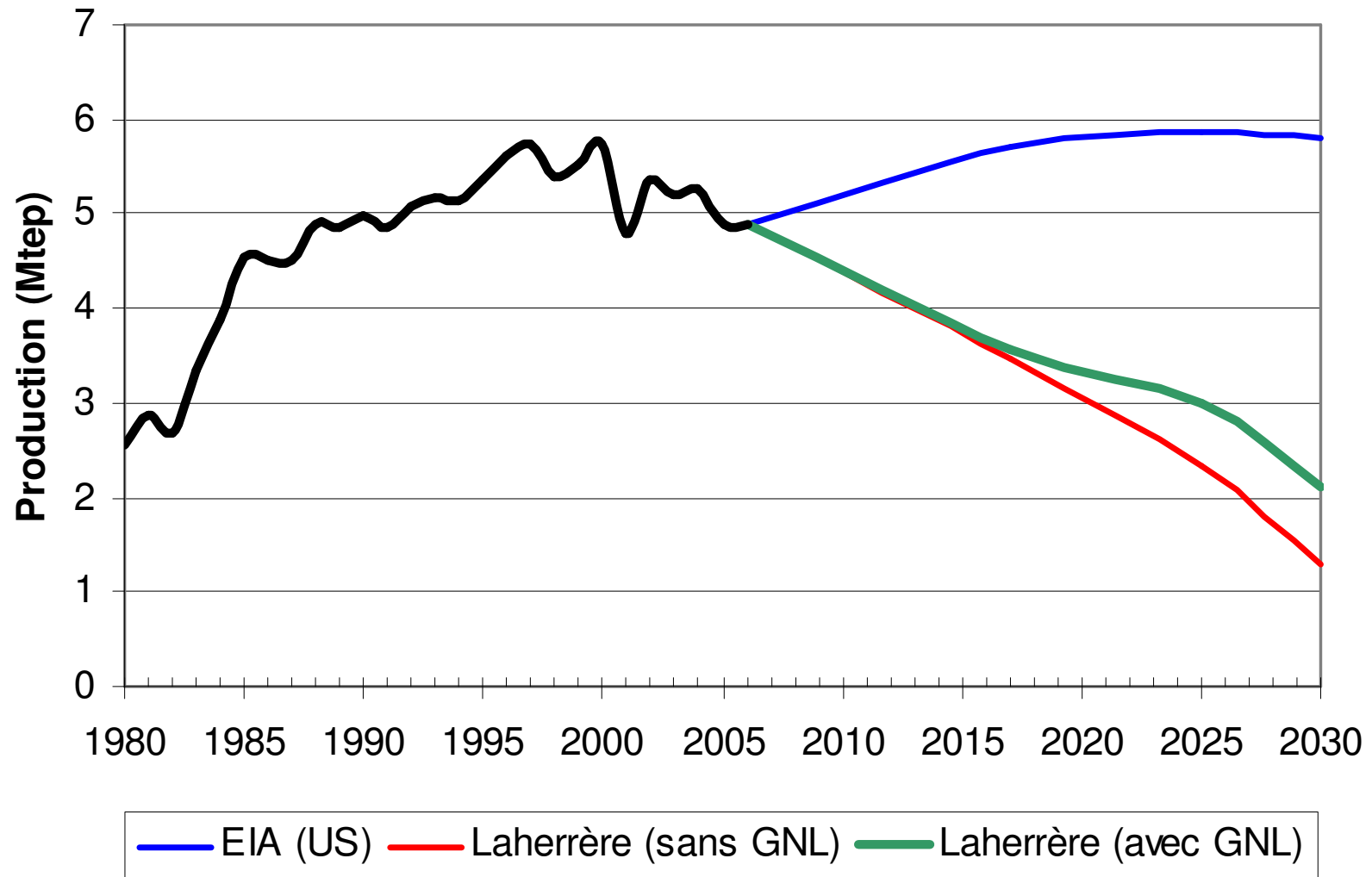
# Le pétrole appauvrit le Québec

## Balance commerciale des filières pétrolière et hydroélectrique

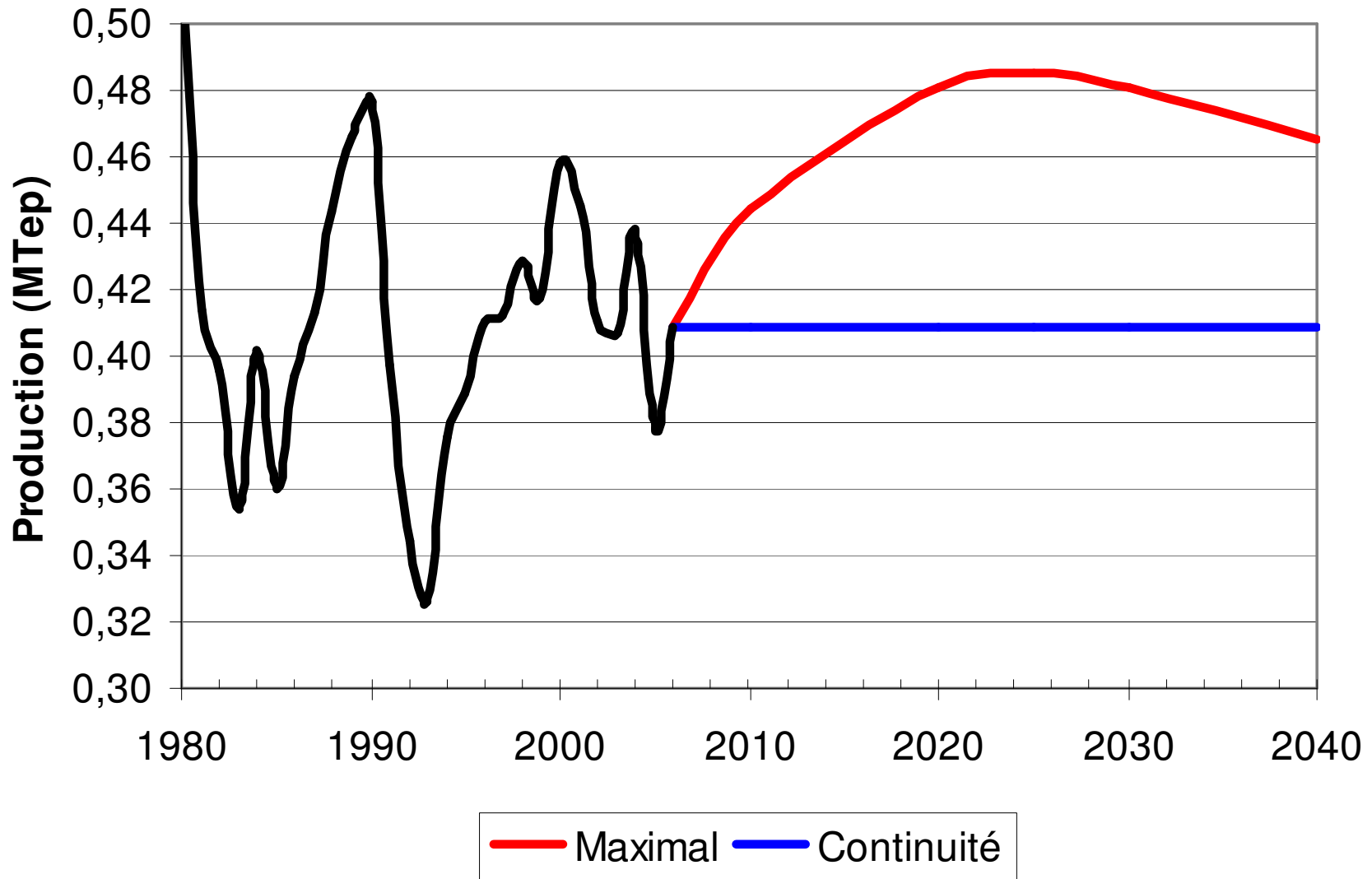




## Production de gaz naturel disponible pour le Québec

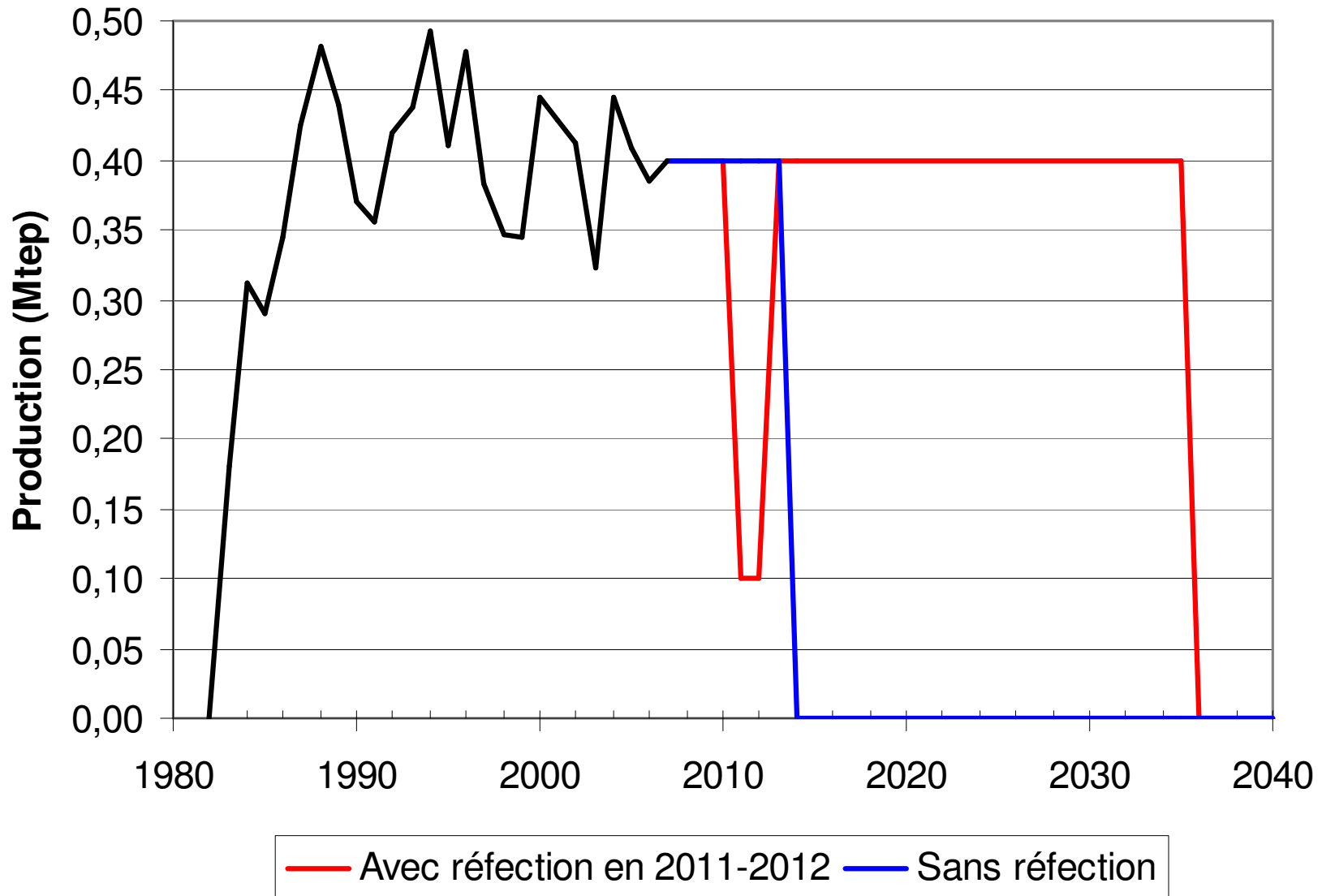


## Production de charbon disponible pour le Québec

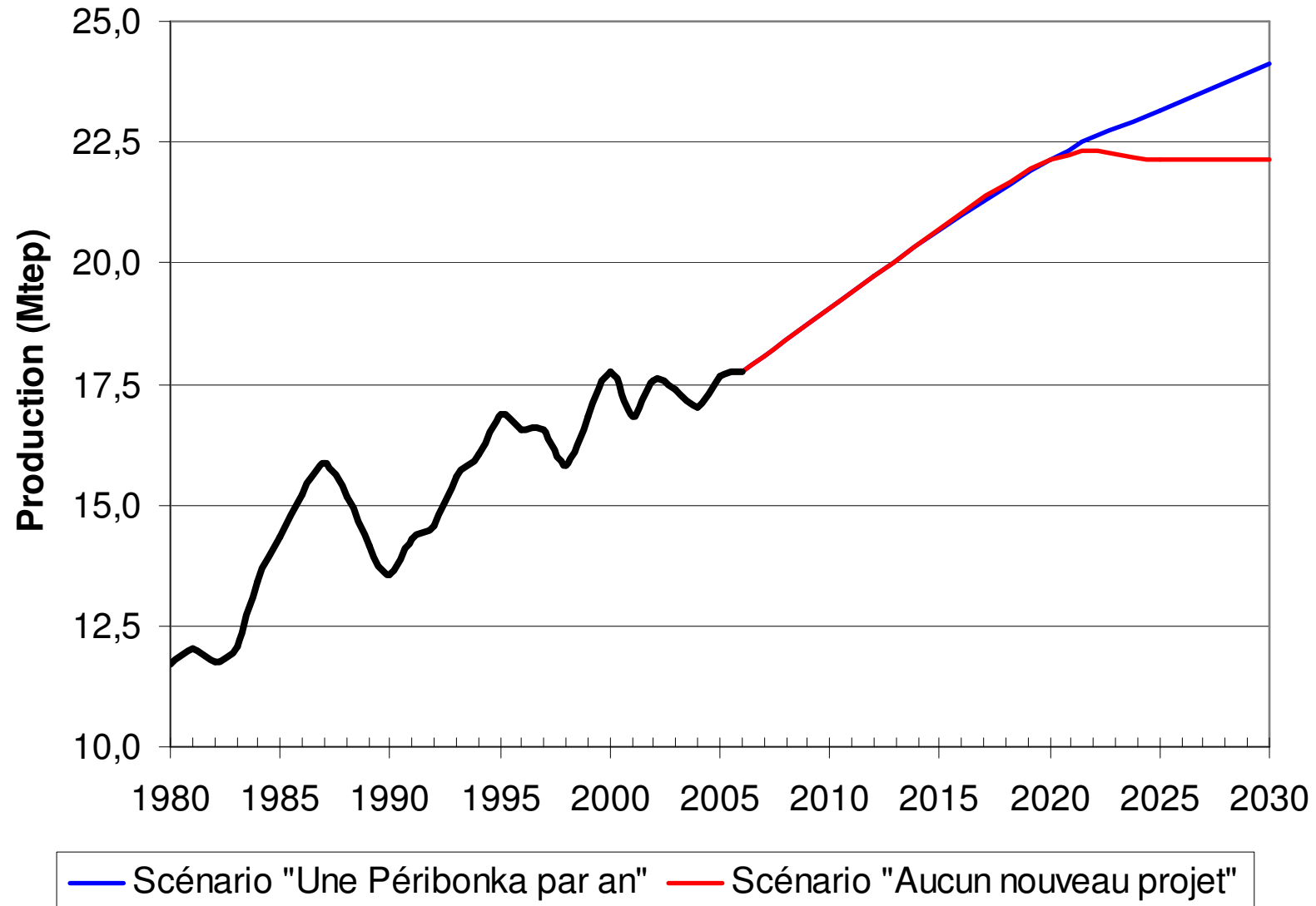


Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

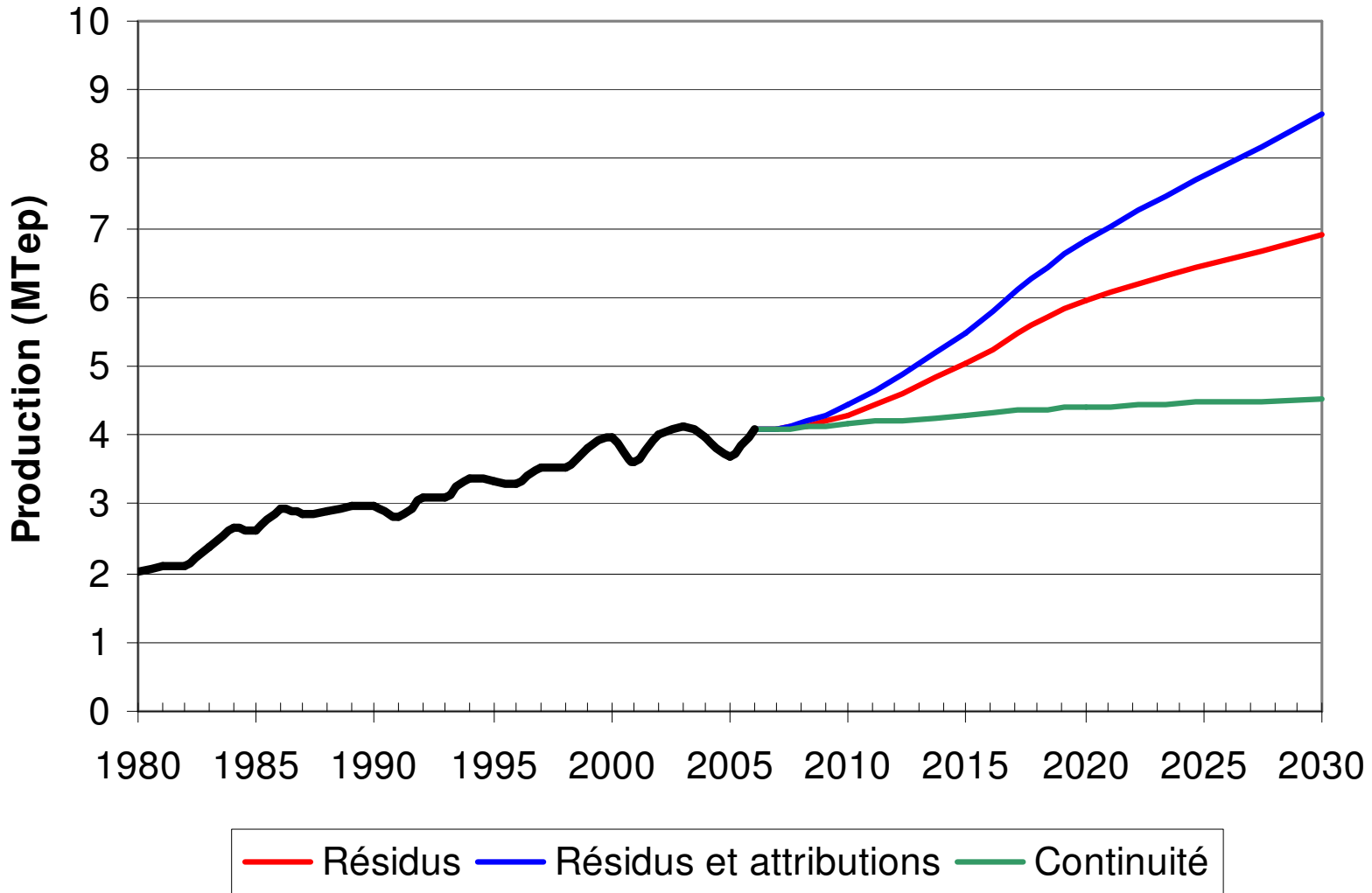
## Production de la centrale nucléaire Gentilly-2



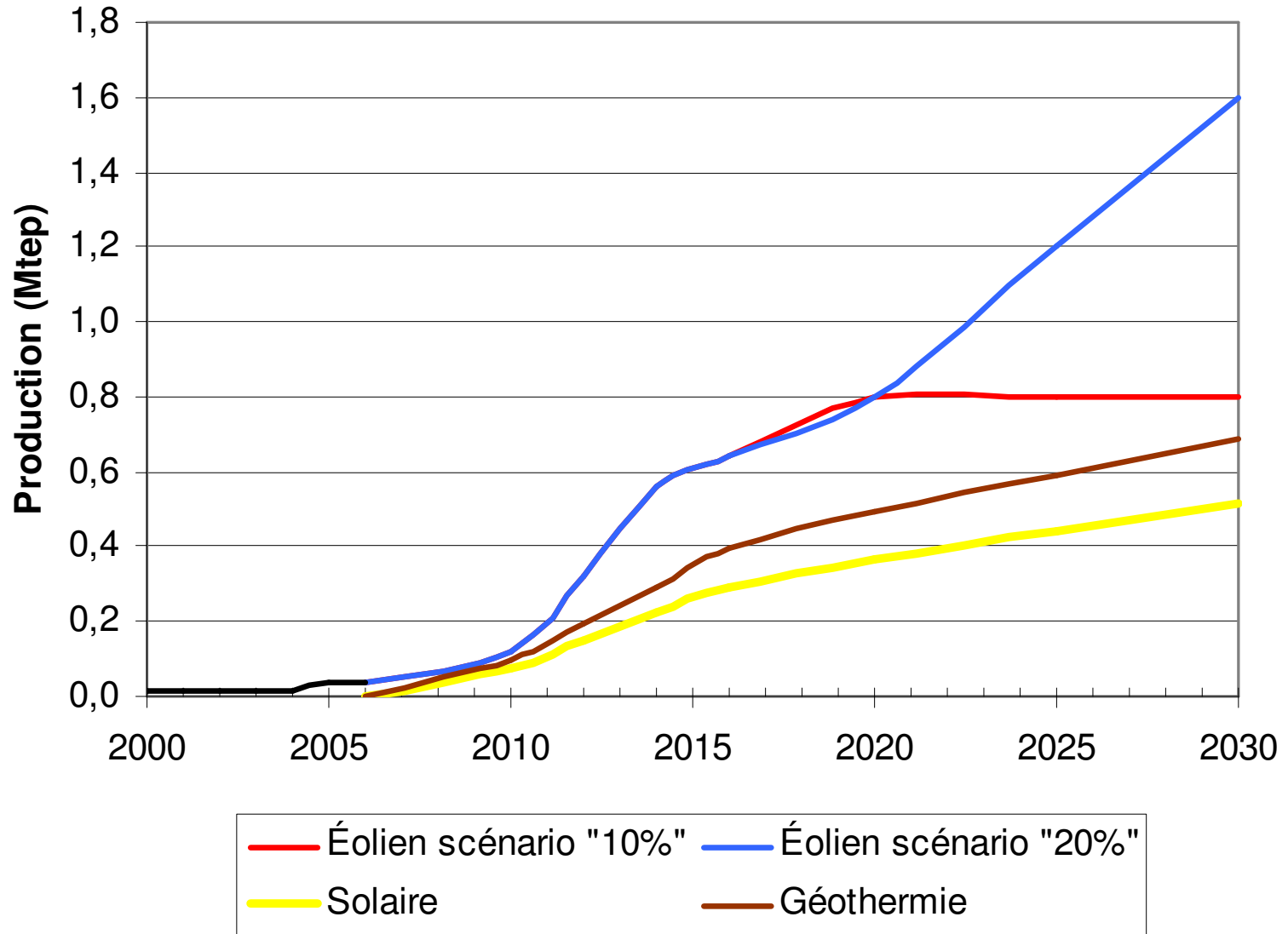
# Hydroélectricité disponible pour le Québec




## Production d'énergie de la biomasse forestière disponible pour le Québec



## Autres productions disponibles au Québec

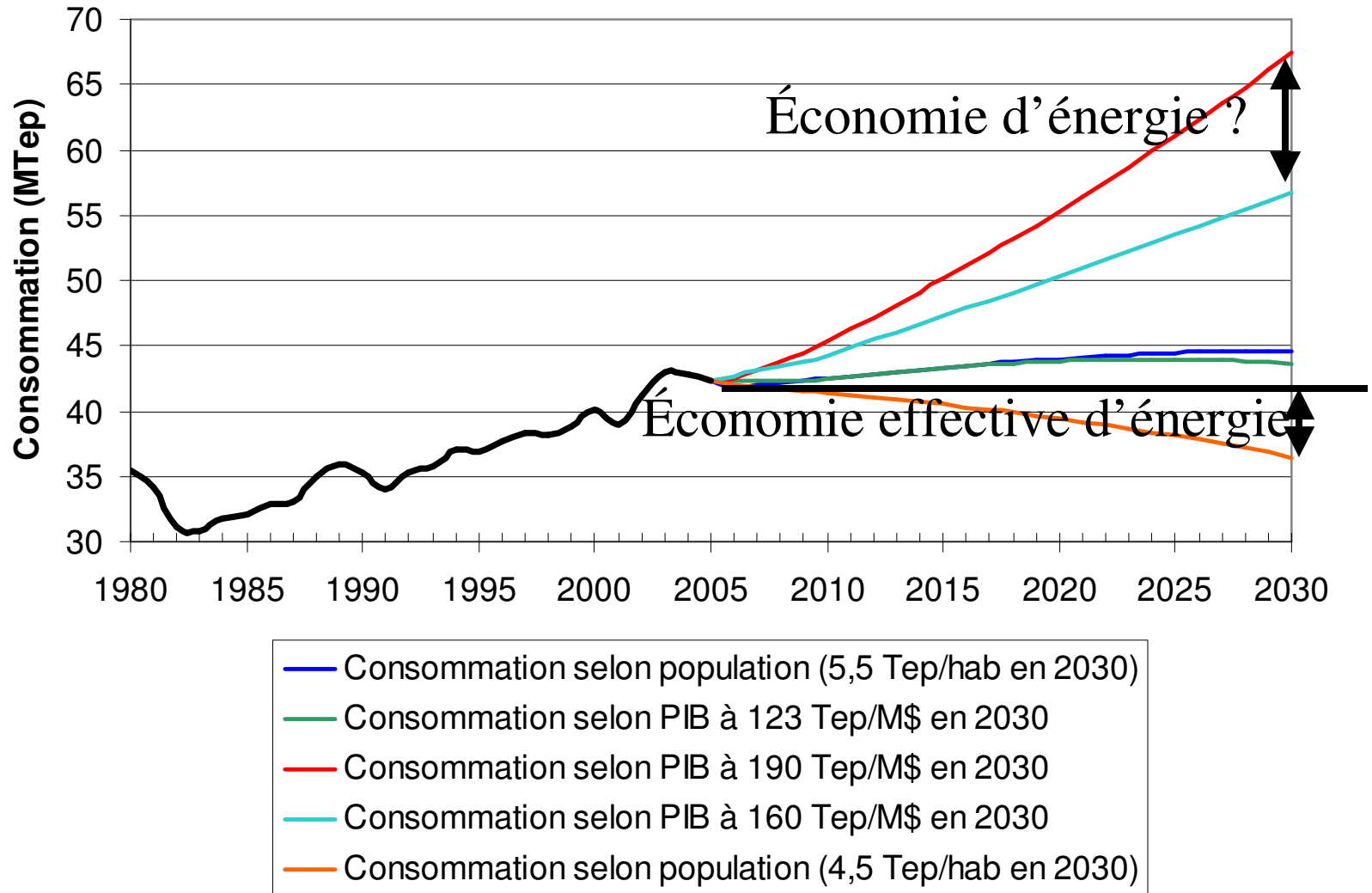




# **Perspectives jusqu'en 2030 de la consommation d'énergie au Québec**

Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

## Perspectives de la consommation totale d'énergie du Québec

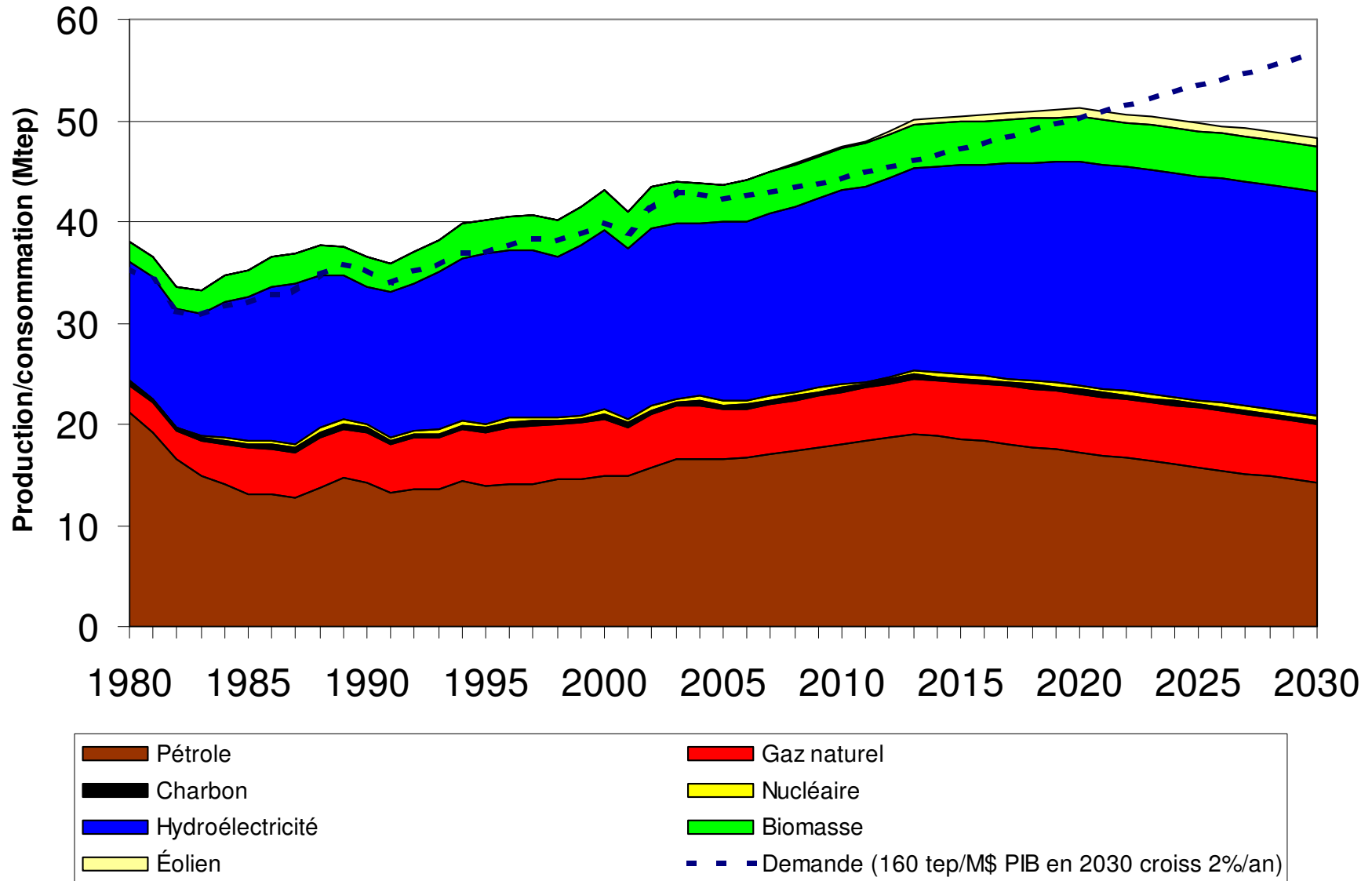




# Les scénarios énergétiques 2030

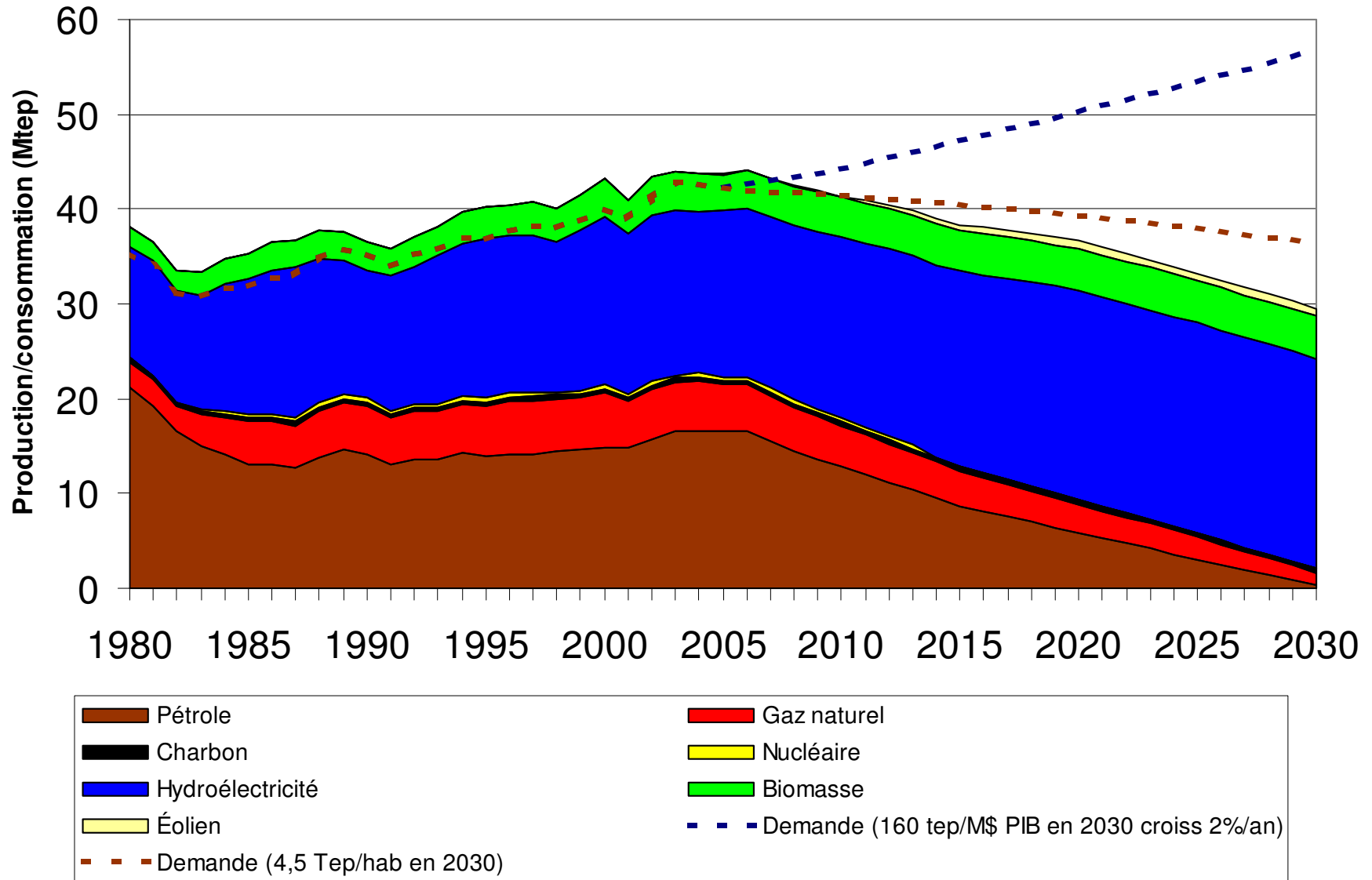
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

## Perspective énergétique "Référence"



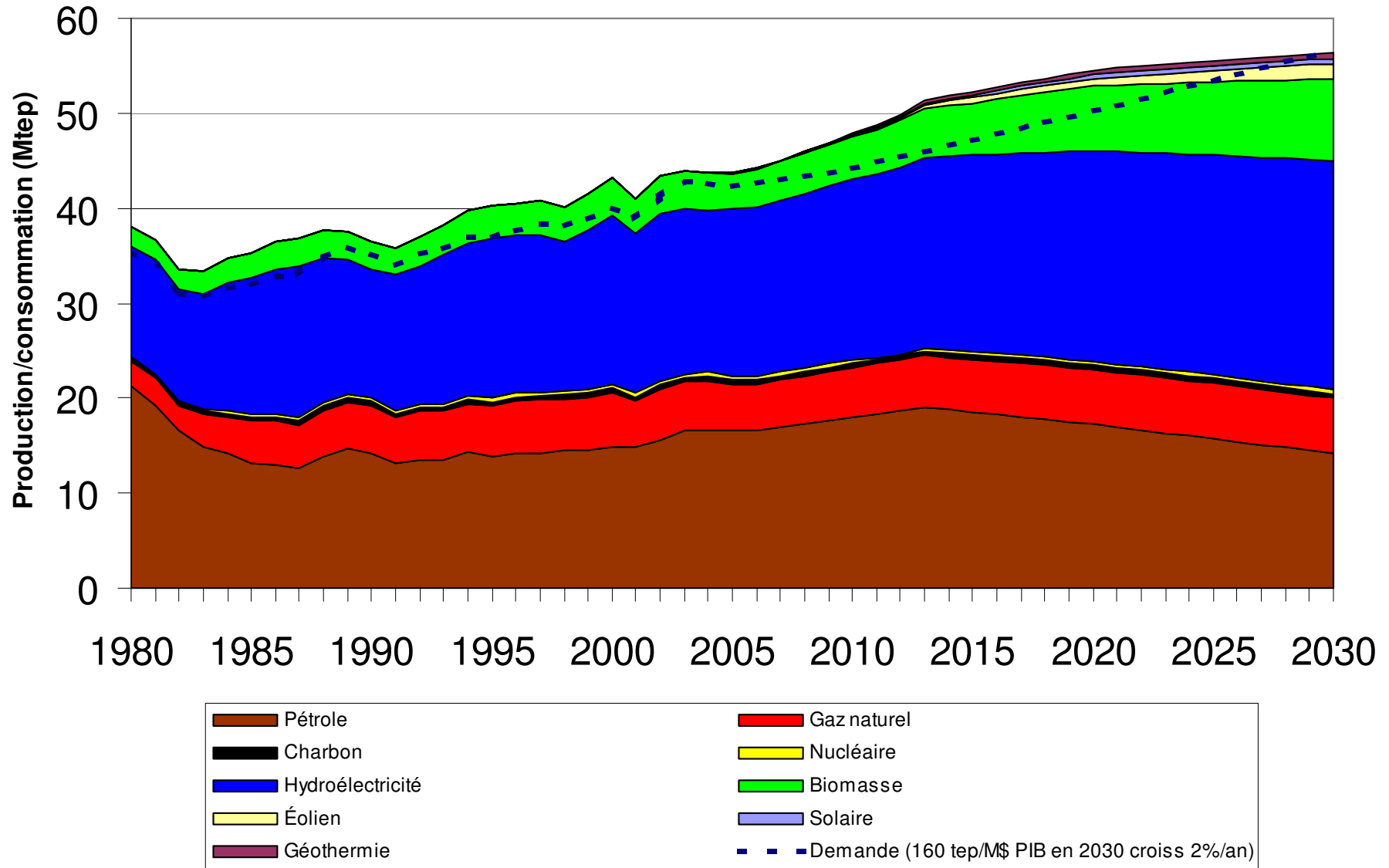
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

## Perspective énergétique "Minimum"



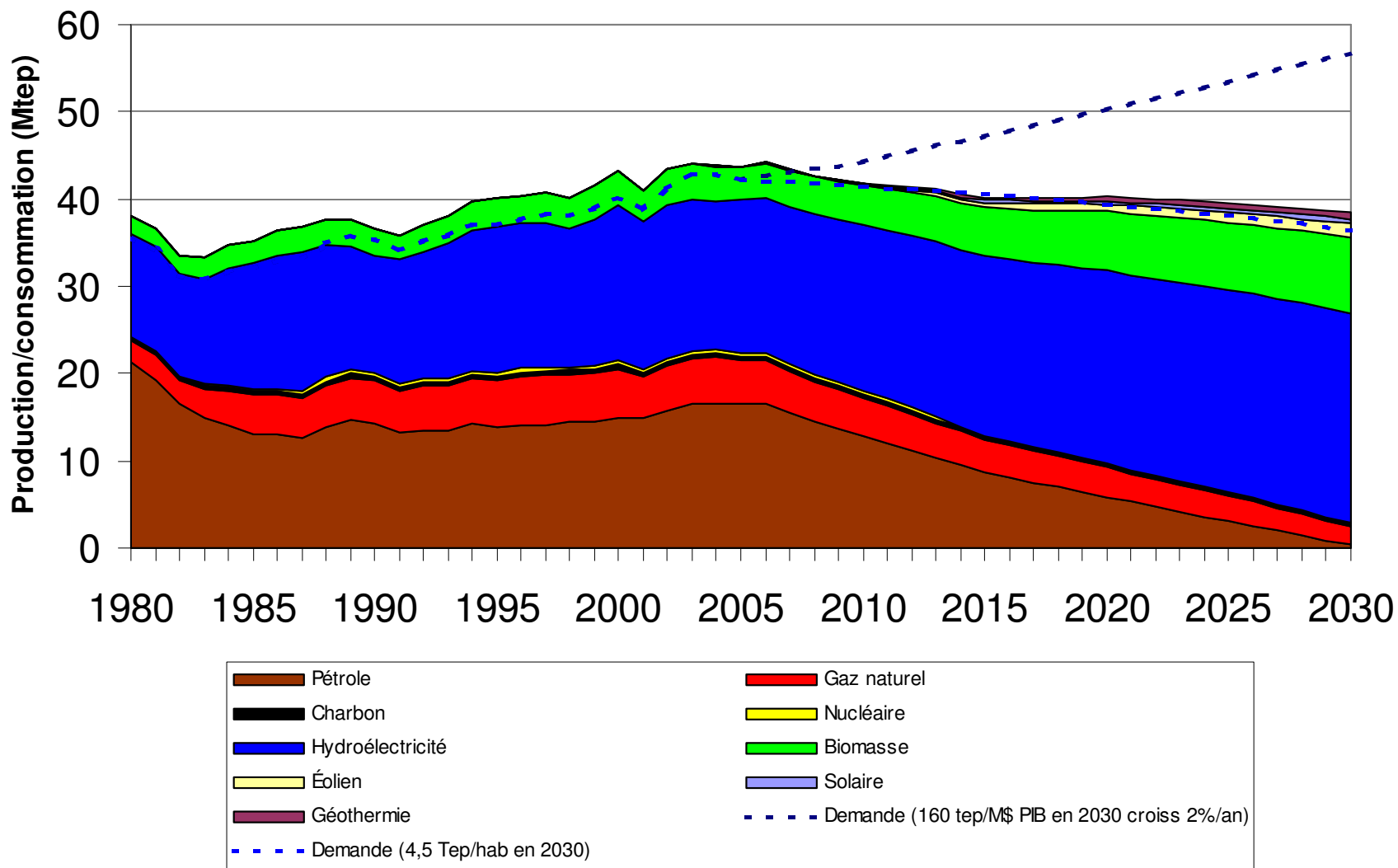
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

## Perspective énergétique "Maximum"



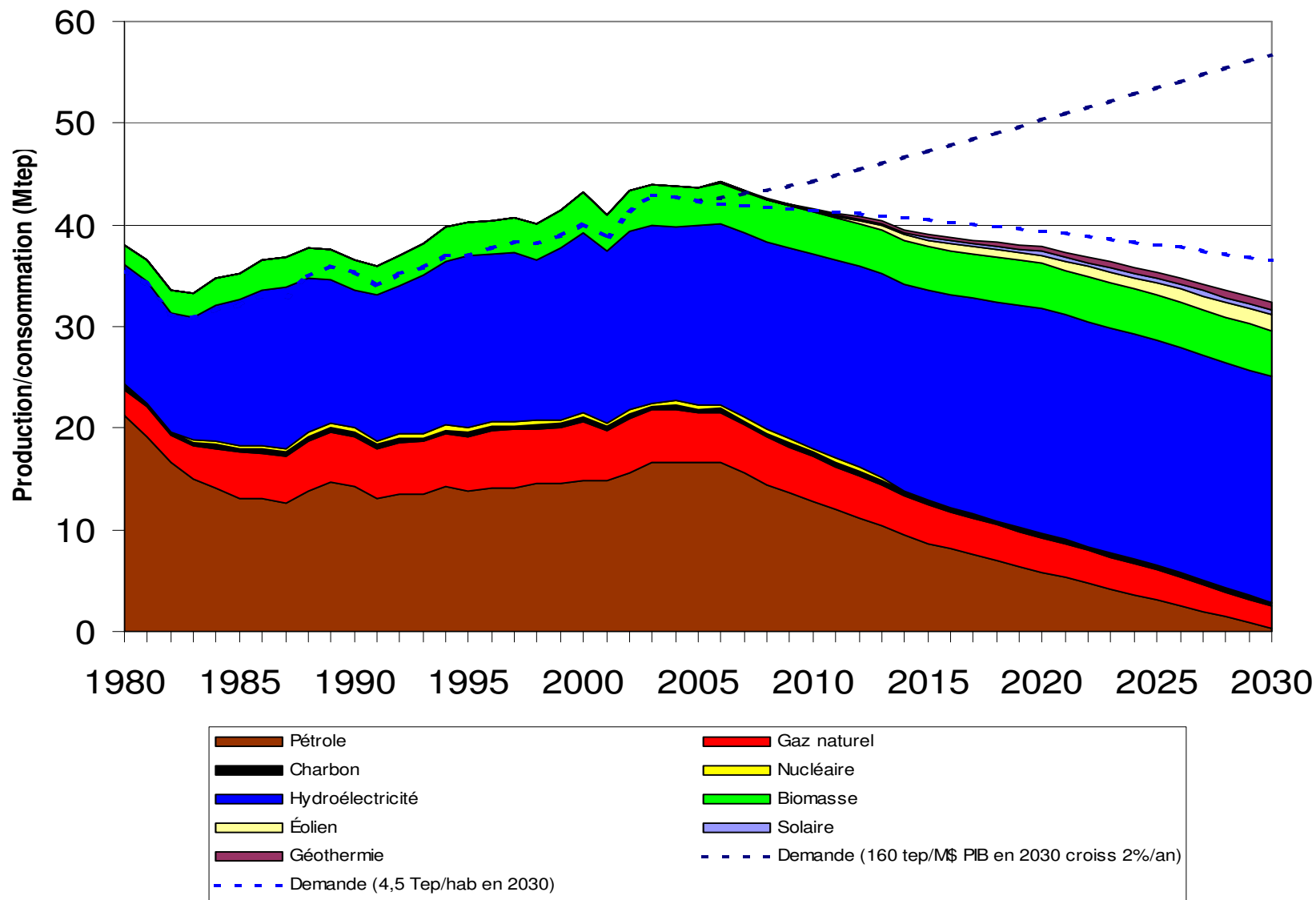
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Perspective énergétique "Indépendance pétrolière 2030"



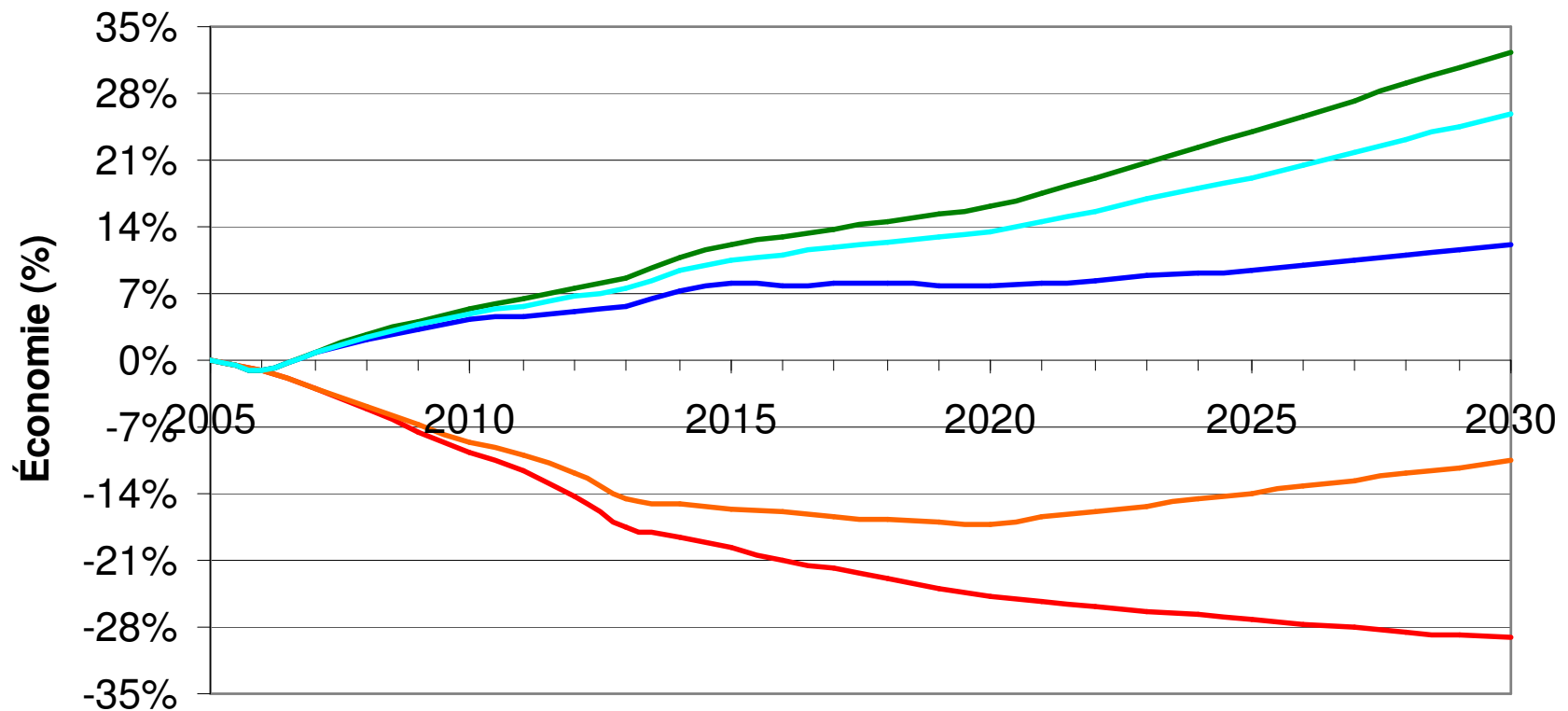
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

## Indépendance pétrolière 2030 sans ajout de biomasse et d'hydroélectricité



Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Économie d'énergie effective par rapport à l'année 2005



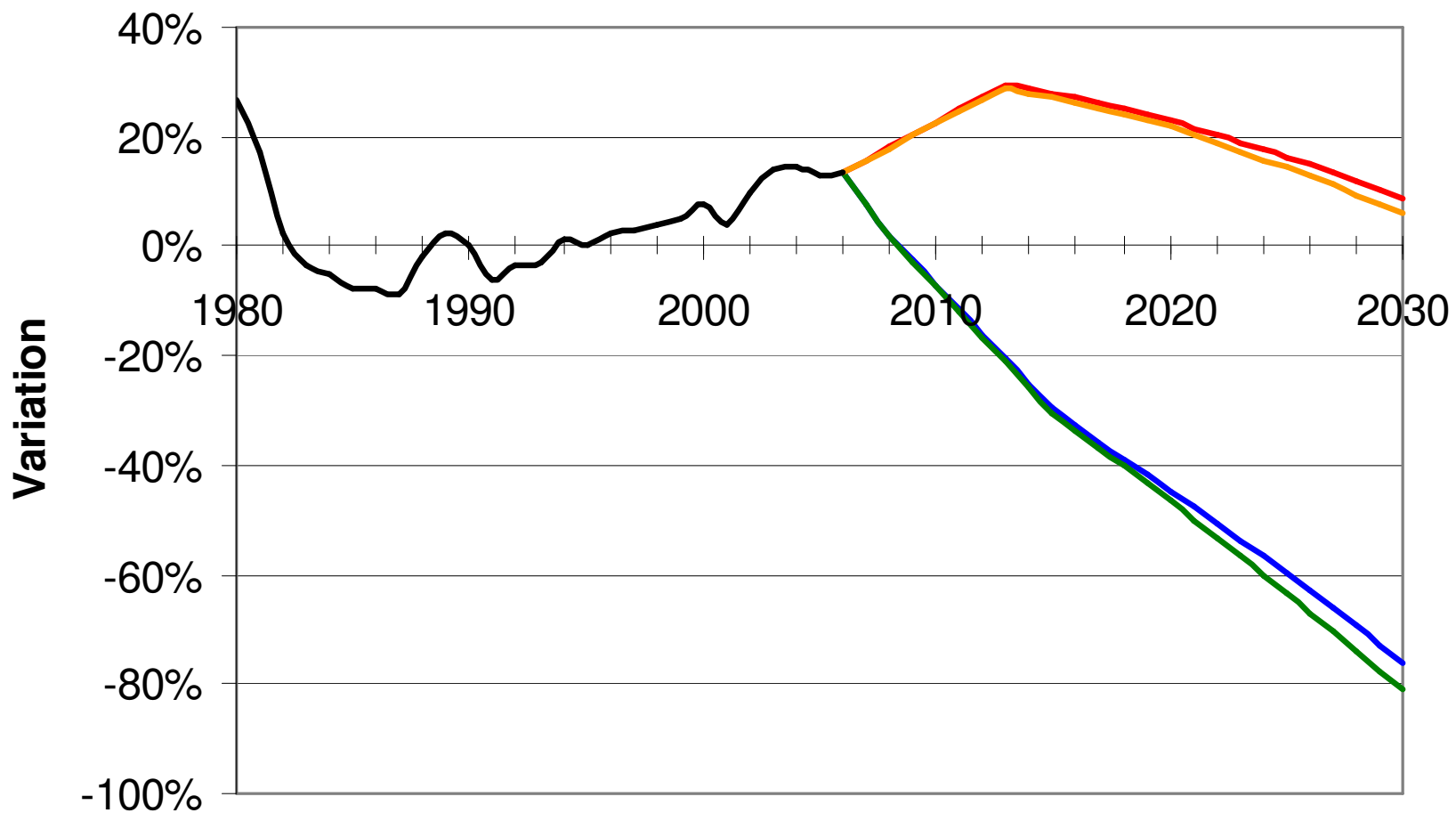
- Indépendance pétrolière 2030
- Maximum
- Minimum
- Référence
- Indépendance pétrolière 2030 sans ajout d'hydro et de biomasse

# GES du secteur énergétique

- L'énergie, c'est 75% des émissions totales de gaz à effet de serre du Québec
- La combustion du pétrole constitue près de 60% des émissions totales de GES du Québec

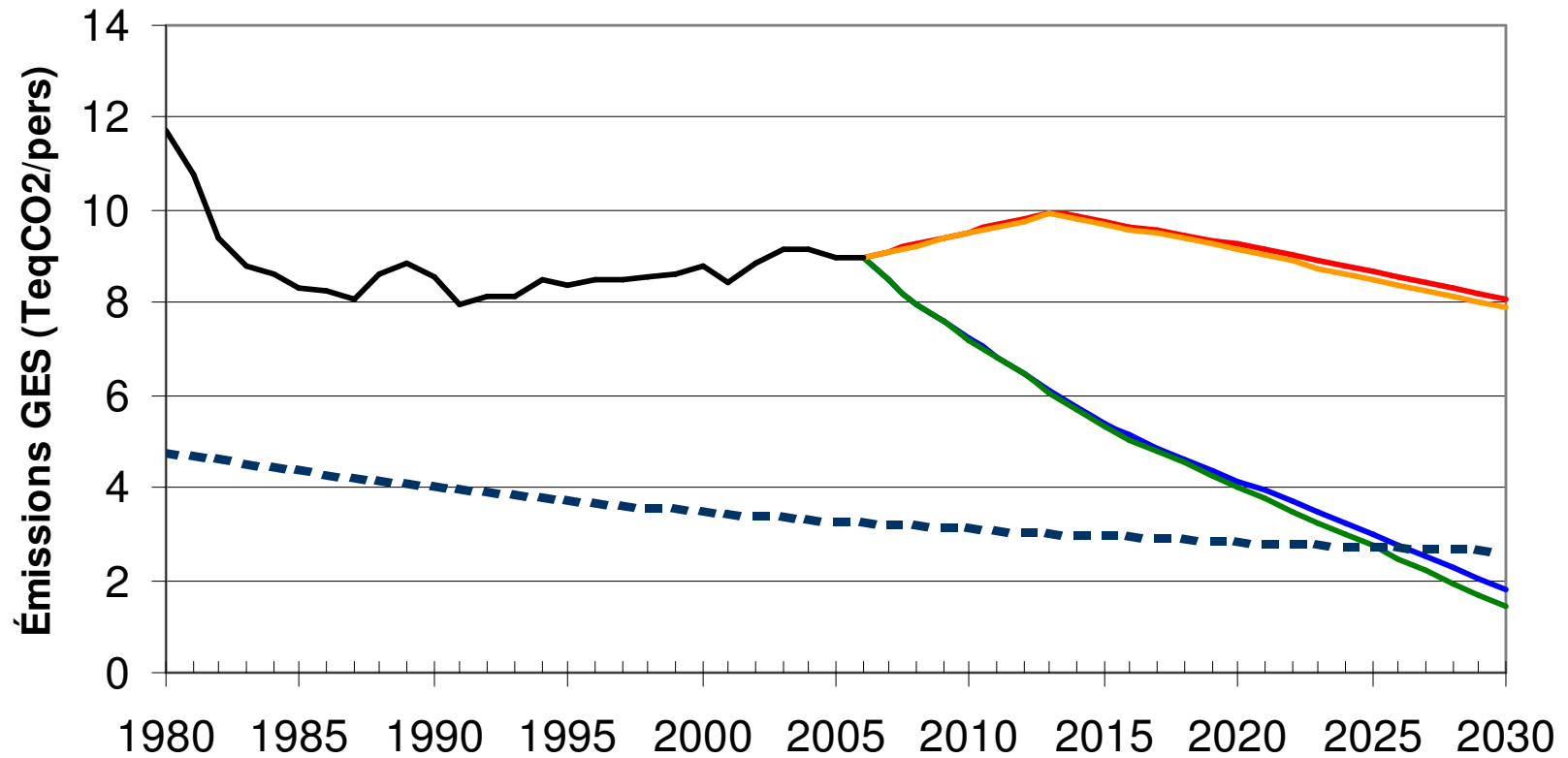


## Variation des émissions de GES québécoises par rapport à 1990 provenant de la consommation d'énergie



— Indépendance pétrolière 2030 — Maximum — Minimum — Référence

## Émissions de GES per capita provenant de la consommation énergétique québécoise



- Indépendance pétrolière 2030
- Maximum
- Minimum
- Référence
- - - Disponibilité per capita des puits de carbone mondiaux

# Les scénarios

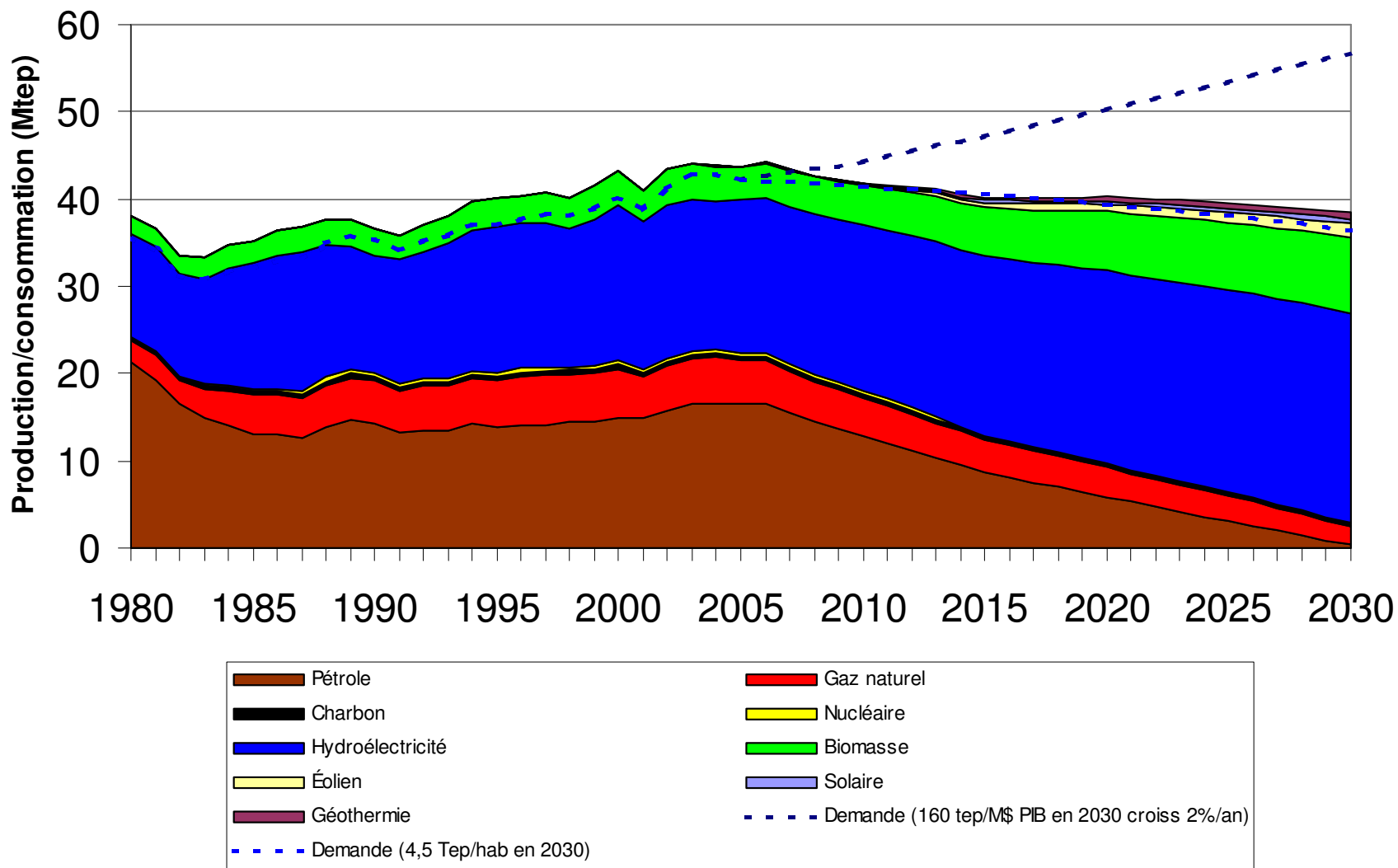
- Cinq scénarios limites étudiés: référence, minimum, maximum, indépendance au pétrole 2030, variante IP 2030
- De ces scénarios:
  - Deux ne rencontrent pas les objectifs de préservation du climat et de sécuriser les approvisionnements (référence, maximum)
  - Un ne rencontre pas l'objectif de sécuriser les approvisionnements (minimum)
  - Un rencontre très difficilement l'objectif de faisabilité technique (variante IP 2030) (~26% d'économie d'énergie par rapport à 2005)
  - Le seul remplissant l'ensemble des objectifs énoncés est le scénario d'indépendance au pétrole 2030 (d'autres variantes viables sont possibles)



# **Le scénario d'indépendance au pétrole pour 2030**

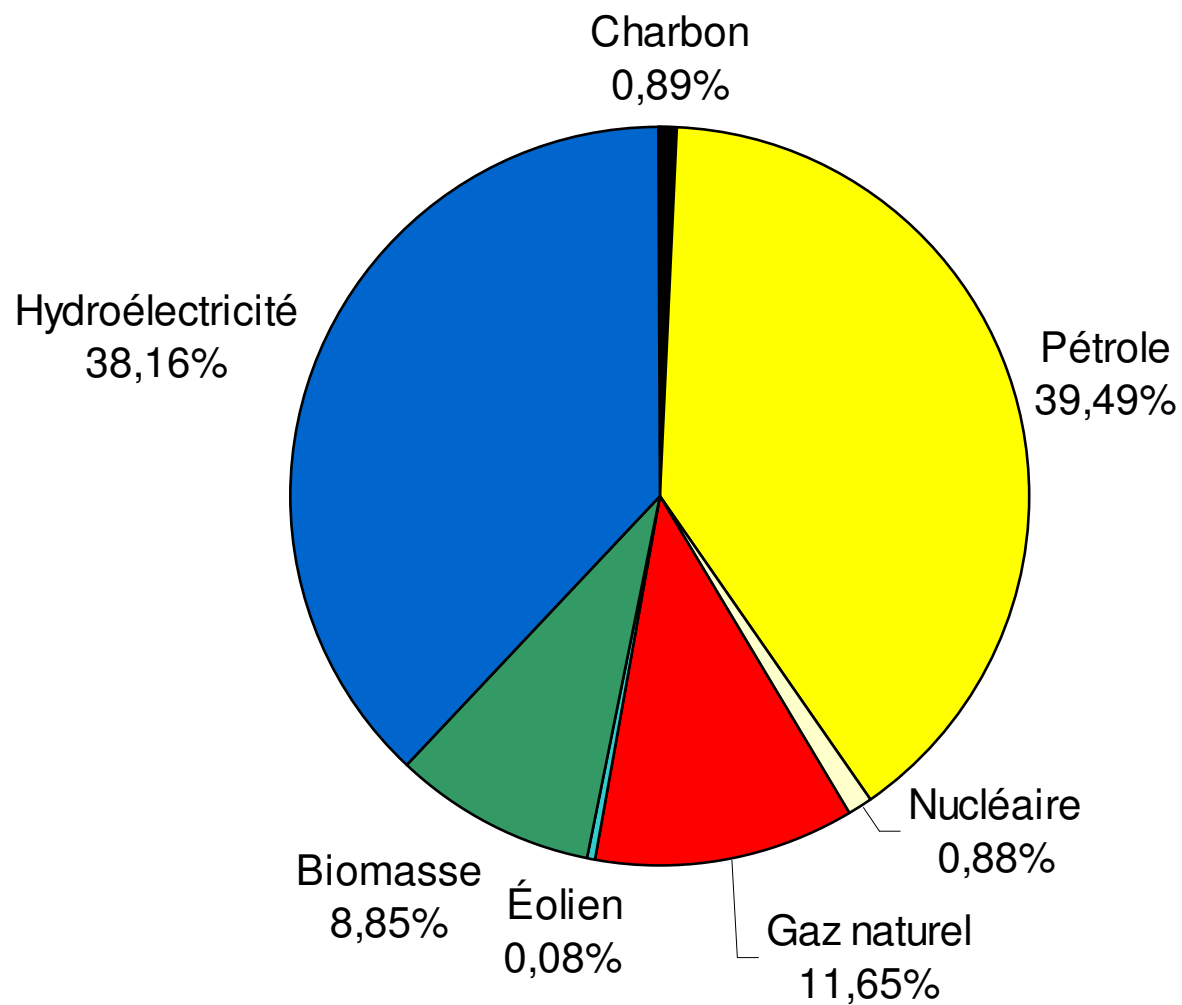
Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

# Perspective énergétique "Indépendance pétrolière 2030"

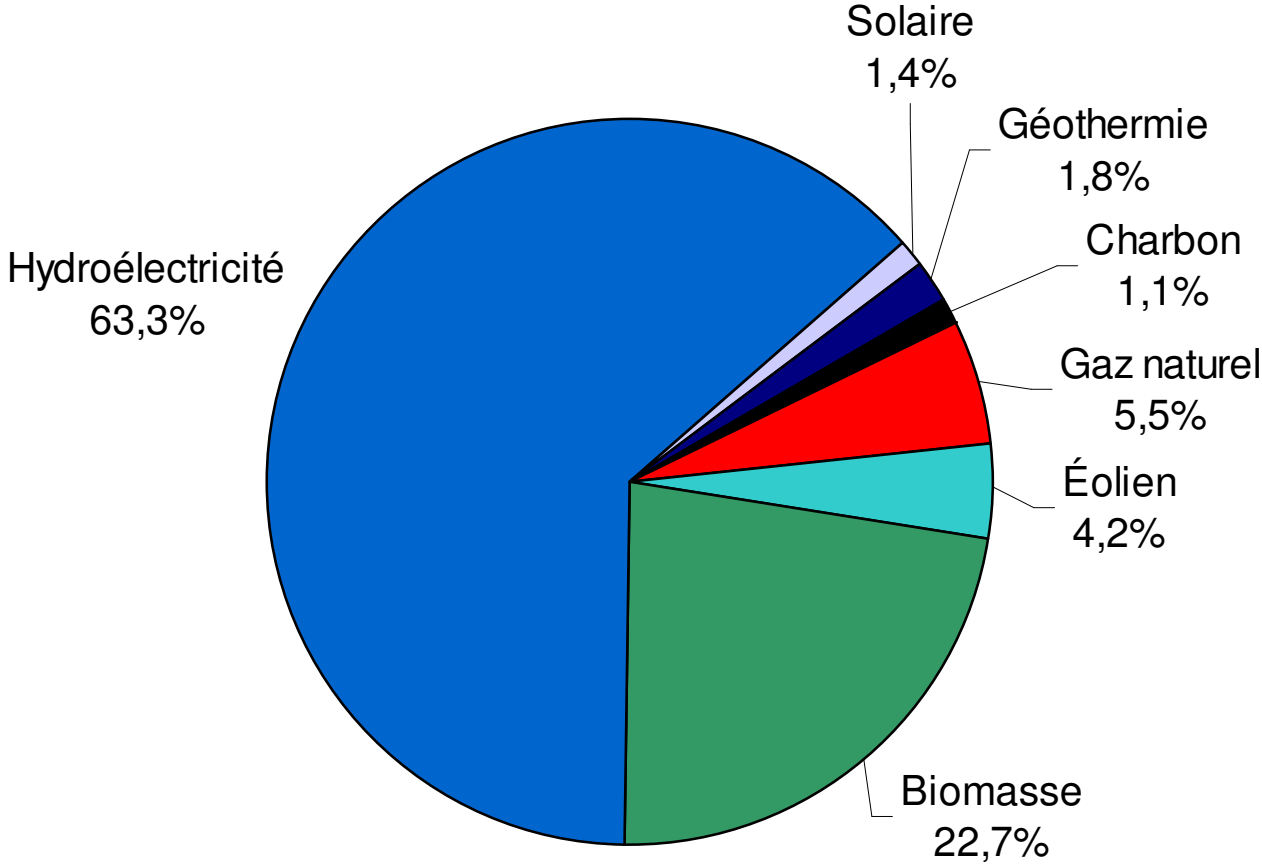


Patrick Déry, B.Sc., M.Sc., (physique), analyste et consultant en énergétique, agriculture et environnement

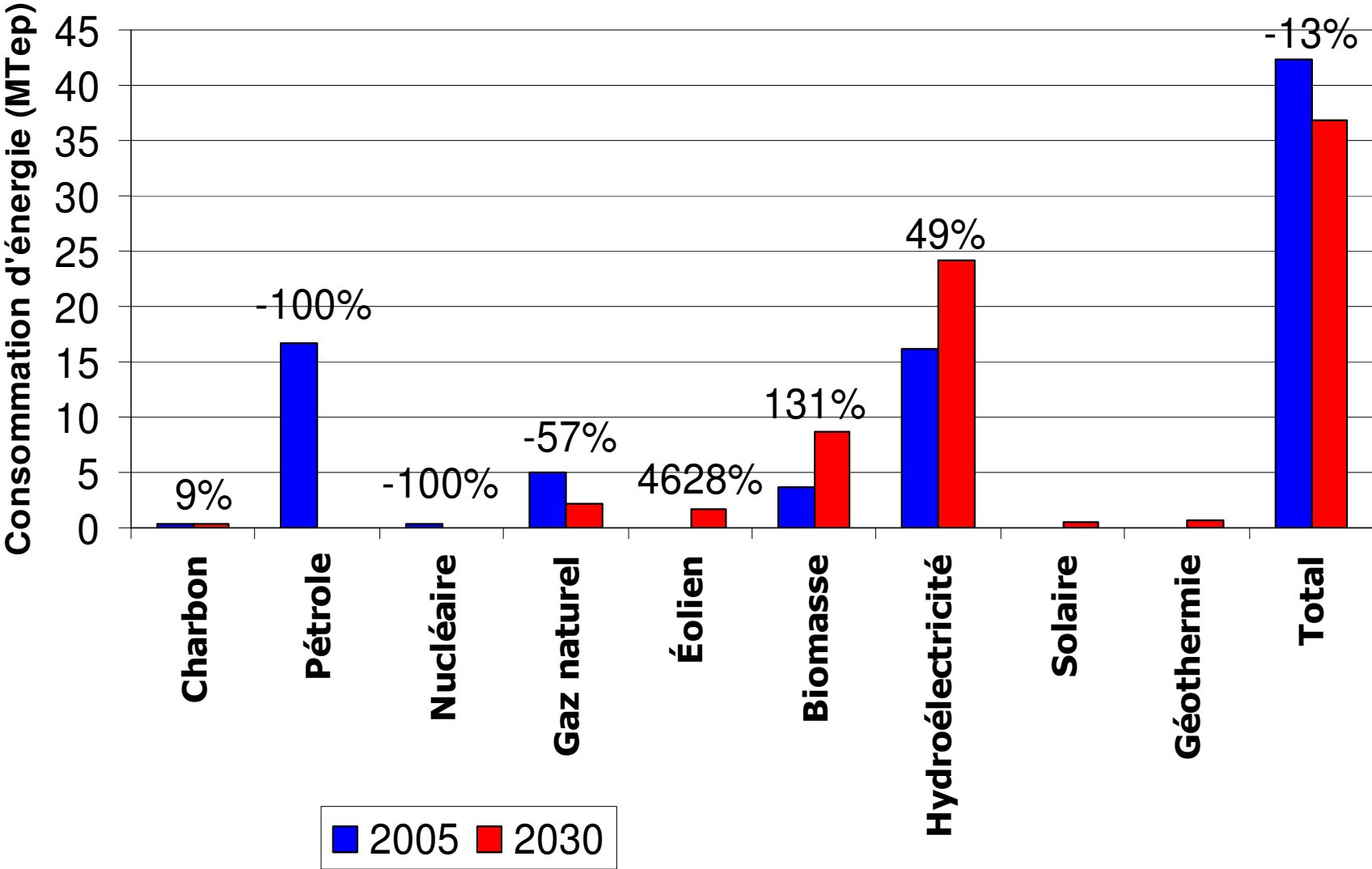
## Consommation d'énergie primaire au Québec par source (2005)



# Consommation d'énergie primaire au Québec par source (2030)



# Variation de la consommation d'énergie par filière de 2005-2030





# Le domino de l'indépendance au pétrole

*Économies d'énergie*



*Libération d'électricité*



*Production de chaleur par des sources de qualité inférieure pour le chauffage de l'espace et de l'eau (biomasse forestière et bois-énergie, solaire, géothermie...)*

*Carburants d'origine forestière (COF)*



*Ajout de production d'électricité (hydro, éolien, cogénération biomasse, solaire...)*



*Électrification des transports (en priorisant le transport collectif) et conversion des autres usages vers l'électricité et/ou les COF*



*2030 : Indépendance au pétrole et réduction de 75% de nos émissions de GES p/r à 1990*

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Économie d'énergie

- Atteindre 4,5 Tep/habitant en 2030 (5,6 Tep/habitant au Québec comparé à l'Allemagne avec 4,2 Tep/habitant en 2005)
- Économie effective d'énergie de 12,6% par rapport à 2005 (~60 TWh) donc décroissance réelle de la consommation d'énergie
- «Économie d'énergie» de 36% en 2030, par rapport à la simulation de la croissance de la consommation d'énergie (160 tep/M\$)
- Financement possible par l'utilisation de la taxation progressive de l'énergie
- Utilisation de quotas d'énergie échangeables

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Sources non-renouvelables

- Élimination pour 2030 de la consommation de pétrole en tant que source d'énergie (mais non comme source de matériaux)
- Réduction de l'usage de gaz naturel d'un facteur de 2,3 par rapport à 2005
- Arrêt de la centrale nucléaire Gentilly-2 en 2013 comme prévu à l'origine
- Maintien de l'usage du charbon pour l'industrie selon la consommation moyenne des 20 dernières années (0,41 Mtep) à moins de trouver un substitut viable pour le secteur industriel

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Sources renouvelables (1/2)

- Augmentation de la puissance hydroélectrique installée de 4000 MW pour 2030 à ce qui est déjà prévu ou à l'étude actuellement
- Augmentation de la production d'énergie provenant de la biomasse forestière: production en 2030 de près de 2,5 fois supérieure à celle de 2005 (En 2030, en plus de ce qui est déjà employé actuellement, 20% des attributions (public) et possibilités (privé) forestières actuelles et 80% des résidus en forêt)
- Augmentation à 10 000 MW de la puissance éolienne installée en 2030 par rapport à 4 000 MW en 2015 (~20% de la puissance hydroélectrique installée en 2030)

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Sources renouvelables (2/2)

- Solaire (principalement thermique) : 6 TWh installés en 2030 soit de l'équivalent du total de l'eau chaude de 25% des résidences québécoises
- Géothermie : 8 TWh installés en 2030 soit l'équivalent d'environ 15% du chauffage résidentiel
- En complément :
  - micro-production de sources renouvelables privilégiée par l'achat d'électricité selon des tarifs préférentiels
  - Biomasse agricole si aucune compétition sur l'alimentation et maintien de la fertilité et de la productivité des sols
  - Biomasse provenant des déchets (fumiers, résidus d'abattage, gaz des sites d'enfouissement...)

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Usage de l'énergie

- Diminution de la disponibilité des carburants liquides, ceux-ci provenant principalement de la biomasse forestière. L'usage des carburants liquides ne pourra être aussi étendu qu'aujourd'hui.
- 20% des forêts éloignées dédiées à la production in situ de carburants liquides. Une partie des forêts de proximité pour le chauffage des bâtiments.
- Électrification du transport collectif et d'une partie du transport individuel
- Transport collectif fortement priorisé
- Réaménagement du territoire (urbanisme, rural, agriculture...) en fonction de l'énergie

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Environnement

- Les émissions de GES provenant de la consommation d'énergie diminuées de 76% par rapport à 1990.
- Atteinte, en 2030, d'un équilibre des émissions de GES avec les puits de carbone mondiaux (Pour la part du Québec).
- Les polluants engendrés par l'usage du pétrole éliminés. Possible augmentation des polluants provenant de la combustion de la biomasse mais remplacement des équipements vétustes par des équipements modernes et peu polluants.
- Harnachement de nouveaux cours d'eau
- Superficies nécessaires pour l'installation d'éoliennes

# Indépendance au pétrole pour 2030

## Socio-économique

- Amélioration très importante de la balance commerciale du secteur énergétique
- Création d'emplois dans l'industrie manufacturière, l'exploitation forestière locale, l'installations des équipements de production et d'efficacité énergétique, le réaménagement à long terme du territoire...
- Développement de technologies et de savoirs-faire exportables (ex: Québec, leader mondial des méthodes d'économies effectives d'énergie)
- Nouveau défi à relevé pour la génération montante



# Défis pour les ingénieurs

- Intégration de la question énergétique dans l'ensemble de la profession d'ingénieur
  - Électrification du transport collectif et individuel
  - Technologies biomasse à liquide (BTL)
  - Fiabilité des réseaux de transport et de distribution d'électricité
  - Intégration de sources d'électricité distribuées
  - Technologies d'énergies nouvelles
  - Bâtiments efficaces
  - ...
- Formation adéquate essentielle

# Des débats régionaux et nationaux sur la question énergétique

- Tournée de forums dans chacune des régions du Québec (printemps 2009)
- Forum national (automne 2009)
- Organisés entre autre par le Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement du Québec (RNCREQ) et l'Institut du nouveau monde (INM)
- Invitation à participer

# Conclusion

- Le choix d'un Québec indépendant au pétrole pour 2030 est-il réaliste ou pas?
- Avons-nous réellement le choix?
- «[...] *we should leave oil before it leaves us. That means new approaches must be found soon.* », Fatih Birol, chef économiste de l'Agence Internationale de l'Énergie, lettre dans le journal The Independent, 2 mars 2008.