Efficacité énergétique dans les bâtiments: États des lieux et perspectives

Michel Bernier
Département de génie mécanique
Polytechnique Montréal

Pôle e3
HEC MONTRÉAL
Expertise en énergie
et en environnement

23 mai 2017

MESSAGES À RETENIR

- Efficacité énergétique ne doit pas se faire au détriment de la qualité de l'air et du confort thermique
- Bâtiments consomment beaucoup d'énergie et sont responsables de l'émission de grandes quantités de GES
- Eau chaude sanitaire : important mais souvent négligé
- Pompes à chaleur: Bon moyen de réduire la consommation d'énergie
- Stockage thermique: Bon moyen de réduire les pointes de demande
- Réfrigérants: À surveiller - Puissants gaz à effet de serre.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

L’efficacité énergétique consiste à réduire la consommation d’énergie, à service rendu égal.

Ex: Remplacer des plinthes électriques par des pompes à chaleur

La conservation de l’énergie consiste à réduire la consommation d’énergie en réduisant la qualité du service rendu.

Ex: Abaisser le point de consigne des thermostats

COÛTS ASSOCIÉS AUX BÂTIMENTS

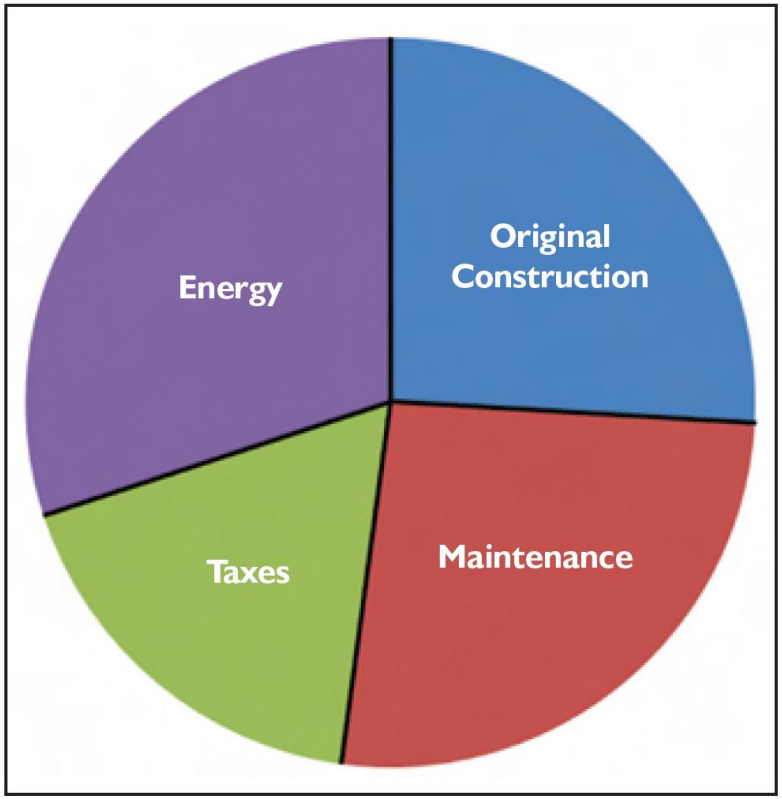


Figure 1: Life-cycle building costs break-down.

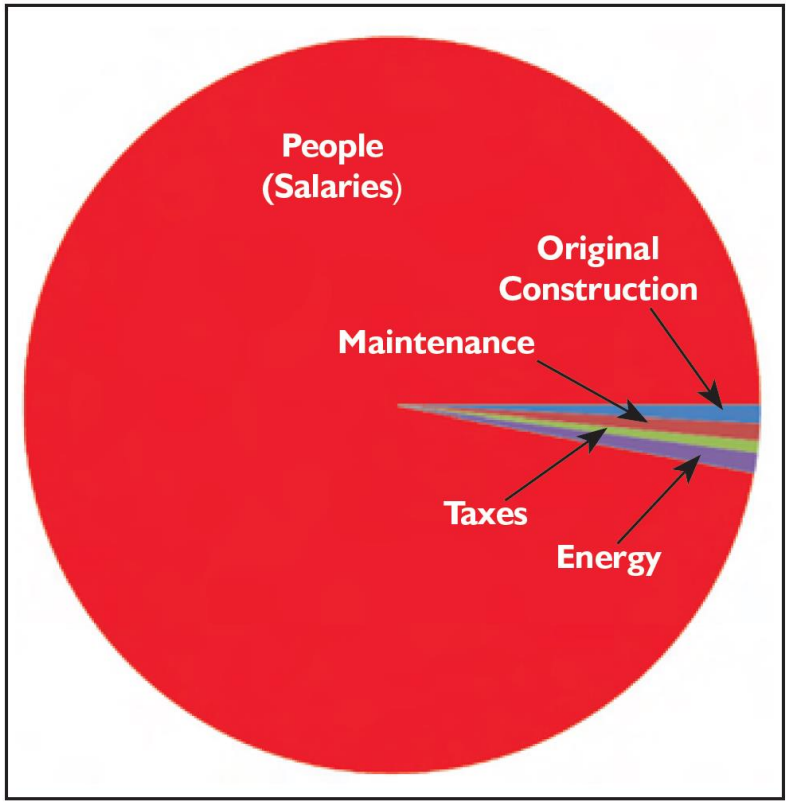
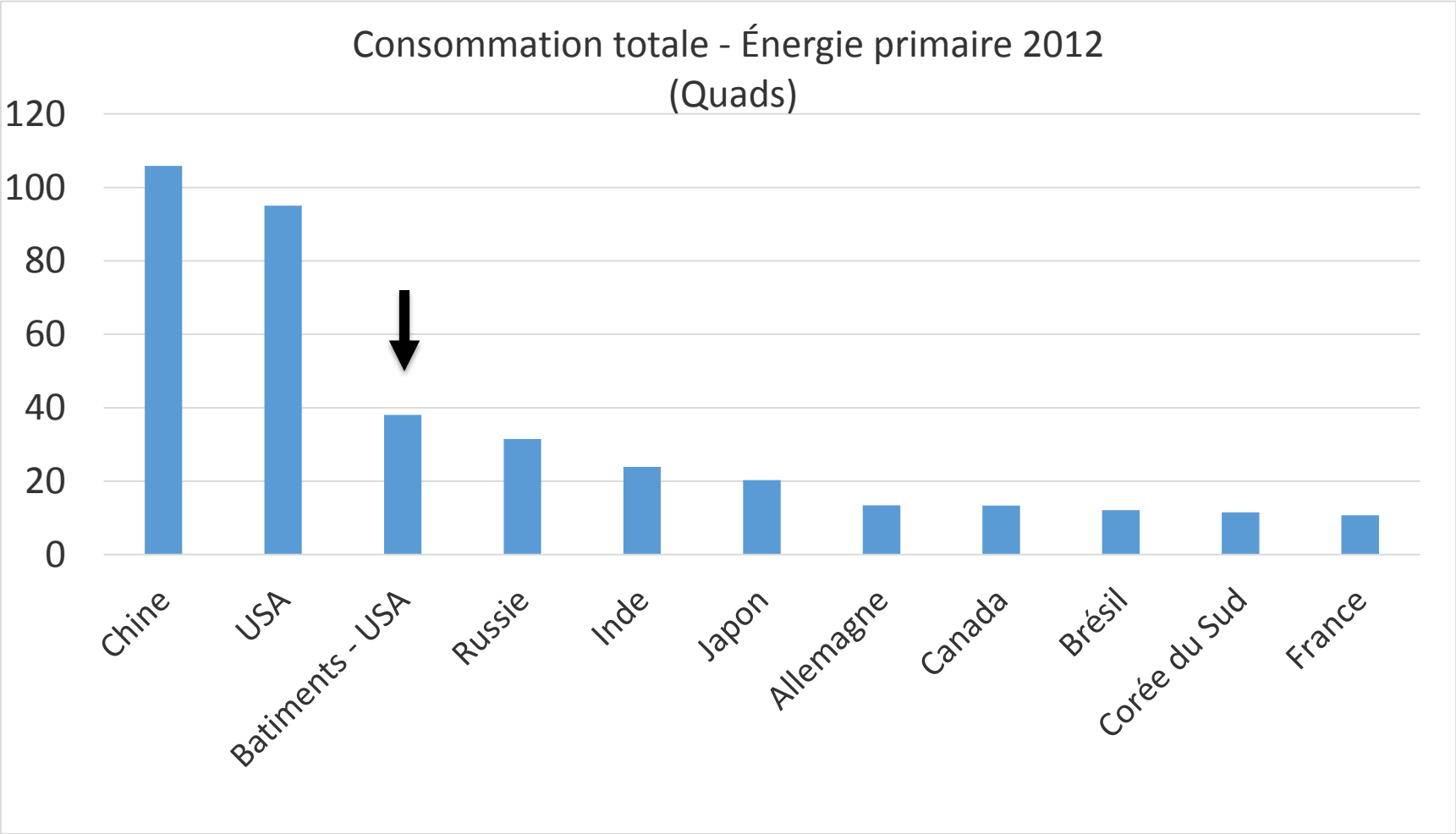


Figure 2: Life-cycle building costs breakdown with people (salaries).

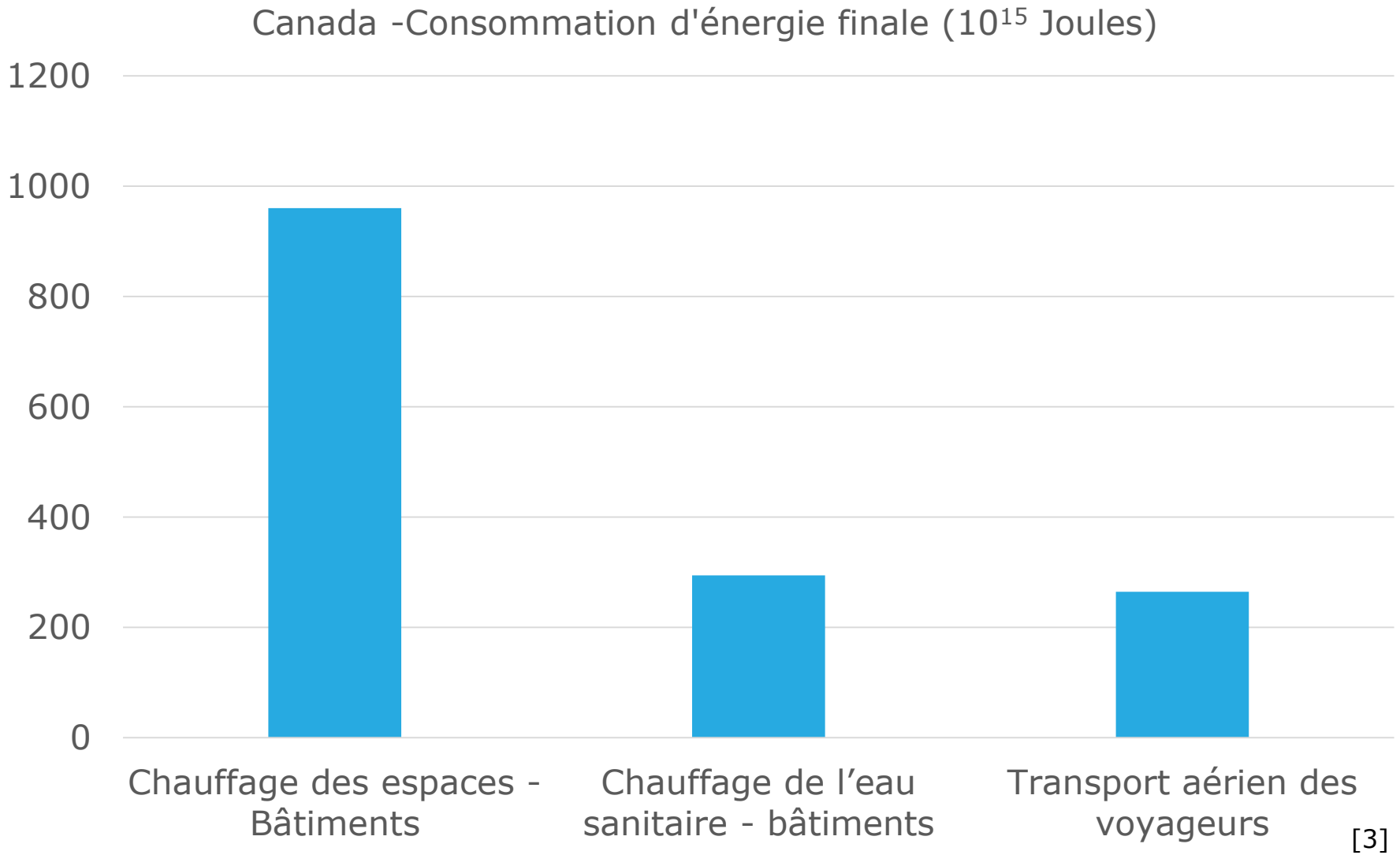
[1]

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE



[2]

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE



[3]

GES - QUÉBEC

Rapport de la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec. **MAÎTRISER NOTRE AVENIR ÉNERGÉTIQUE**

TABLEAU 7.1

Évolution des émissions de gaz à effet de serre au Québec (1990-2010)

Sources d'émissions de GES	Quantité d'émissions (Mt éq. CO_2)		Variation des émissions (%)	Part des émissions totales (%)
	1990	2010	1990-2010	2010
Secteur des transports	27,41	35,06	27,9 ↑	42,5
Secteur résidentiel	6,61	3,96	-40,1 ↓	4,8
Secteur commercial et institutionnel	4,21	4,99	18,5 ↑	6,1
Combustion secteur industriel	14,05	12,56	-10,7 ↓	15,2
Raffinage de pétrole et émissions fugitives	3,30	3,64	10,4 ↑	4,4
Production d'électricité	1,46	0,21	-85,6 ↓	0,3
Total – Énergie	**57,04**	**60,42**	**5,9 ↑**	**73,3**
Agriculture	6,21	6,55	5,5 ↑	7,9
Déchets organiques	7,32	4,60	-37,2 ↓	5,6
Précédés indutriels	13,17	10,84	-17,7 ↓	13,1
Solvants et autres produits	0,05	0,06	24,0 ↓	0,1
Total – Sans énergie	**26,75**	**22,05**	**-17,6 ↓**	**26,7**
TOTAL	**83,80**	**82,47**	**-1,6 ↓**	**100,0**

Source : *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2010 et leur évolution depuis 1990*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (2013)

GES - QUÉBEC

LA PRESSE+ AFFAIRES

Éliminer le mazout

Hydro-Québec pourrait augmenter ses ventes de 20 % en convainquant les consommateurs québécois d'abandonner le mazout.

PARTS DE MARCHÉ DU MAZOUT CONVOITÉ PAR HYDRO-QUÉBEC
(en térawattheure équivalents)

Résidentiel	5,8
Commercial et institutionnel	13,4
Industriel	14,2
TOTAL	33,4

Source : Hydro-Québec

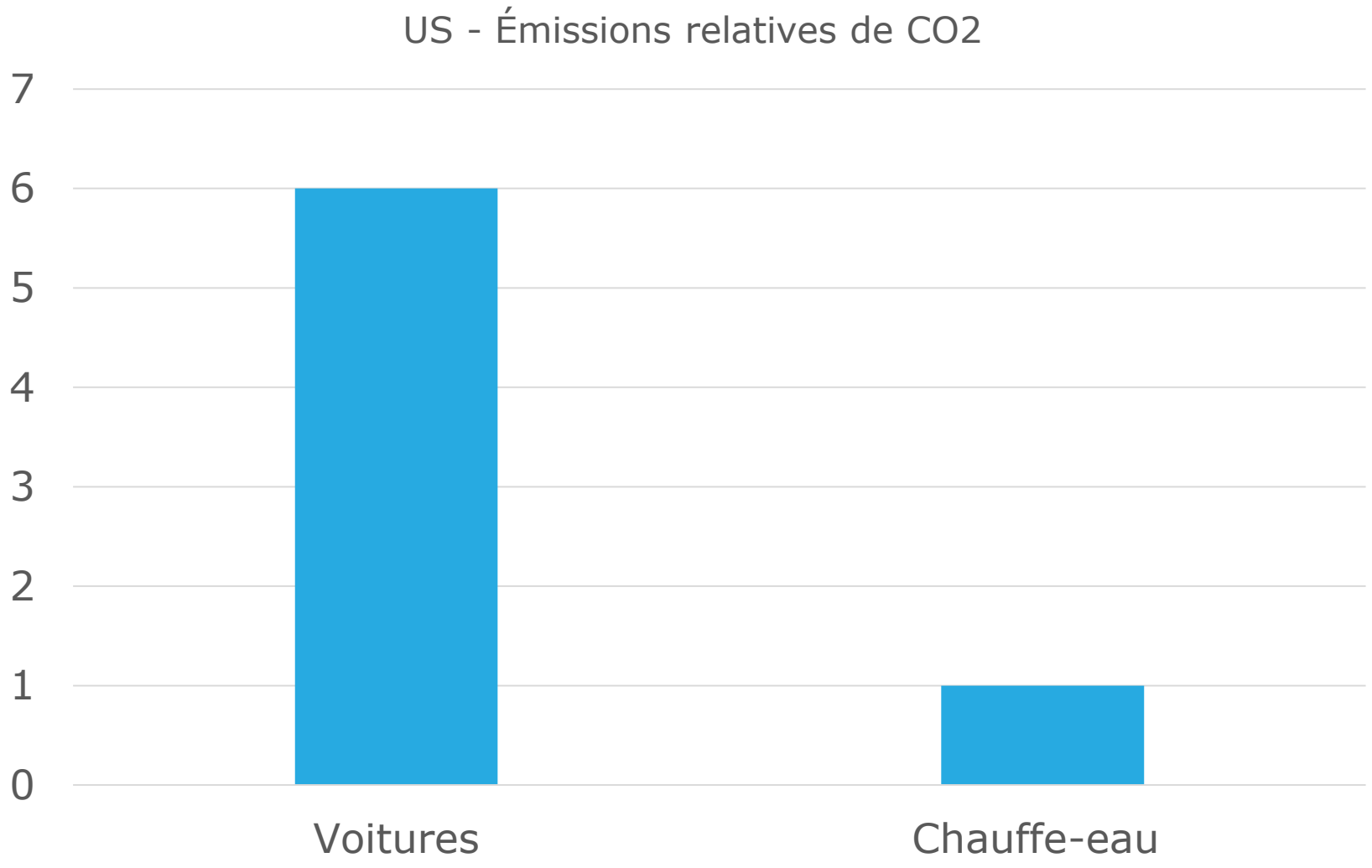
[Février, 2017]

GES - CANADA

TABLEAU 1	
Part des émissions par secteur en 2014	
Production pétrolière et gazière	26 %
Transports	23 %
Bâtiments	12 %
Électricité	11 %
Industries exposées au commerce et intensives en émissions*	10 %
Agriculture	10 %
Déchets et autres	7 %

[4]

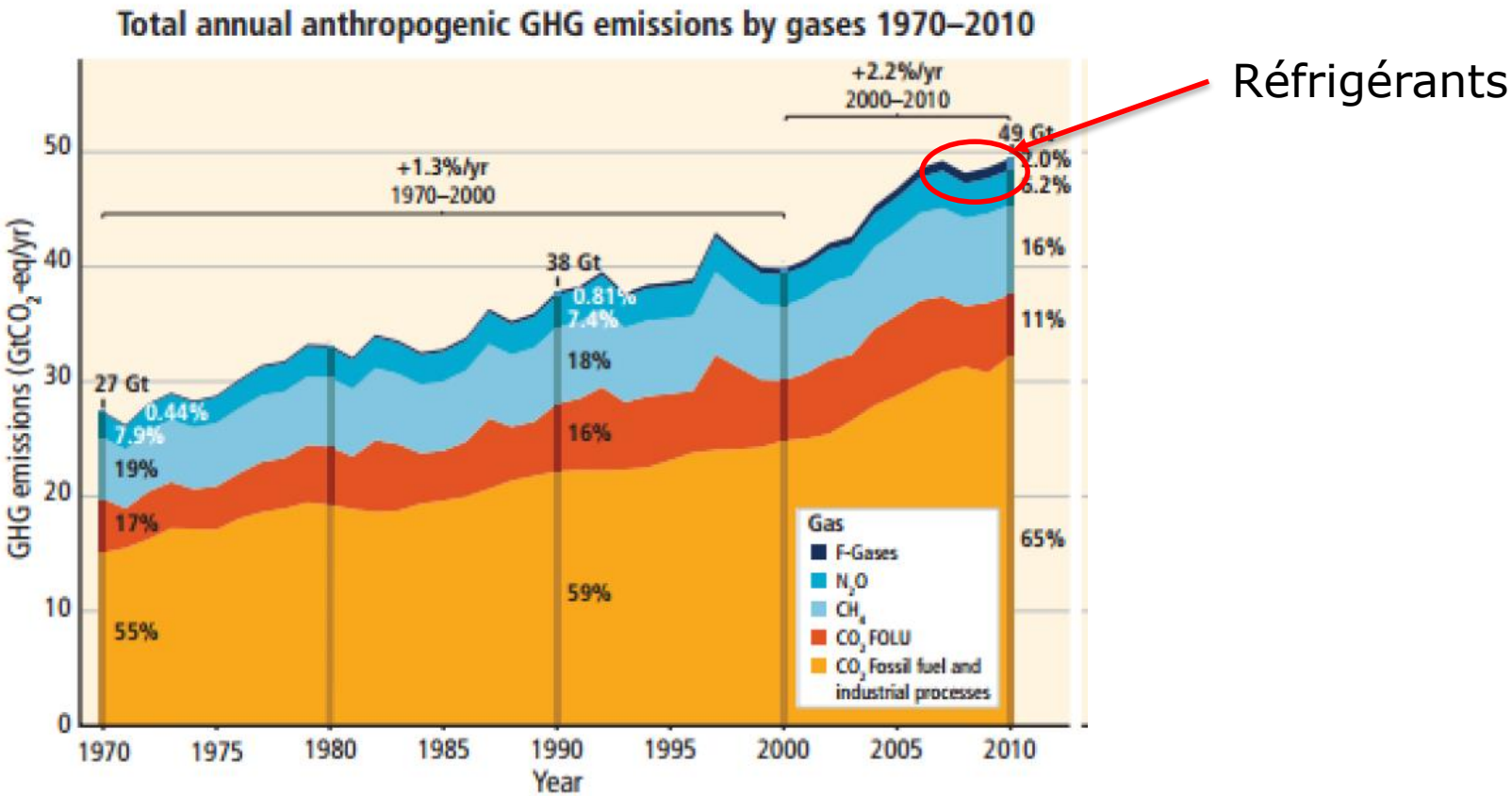
GES - USA


US - Émissions relatives de CO2
7
6
5
4
3
2
1
0
Voitures
Chauffe-eau

[5]

RÉFRIGÉRANTS ET GES

Figure 2. Total annual anthropogenic GHG emissions, 1970 – 2010



Source: IPCC, 2014b, p.5.

RÉFRIGÉRANTS ET GES

Émissions équivalentes de CO2

=

Fuite de tout le refrigerant

20,000 km en voiture

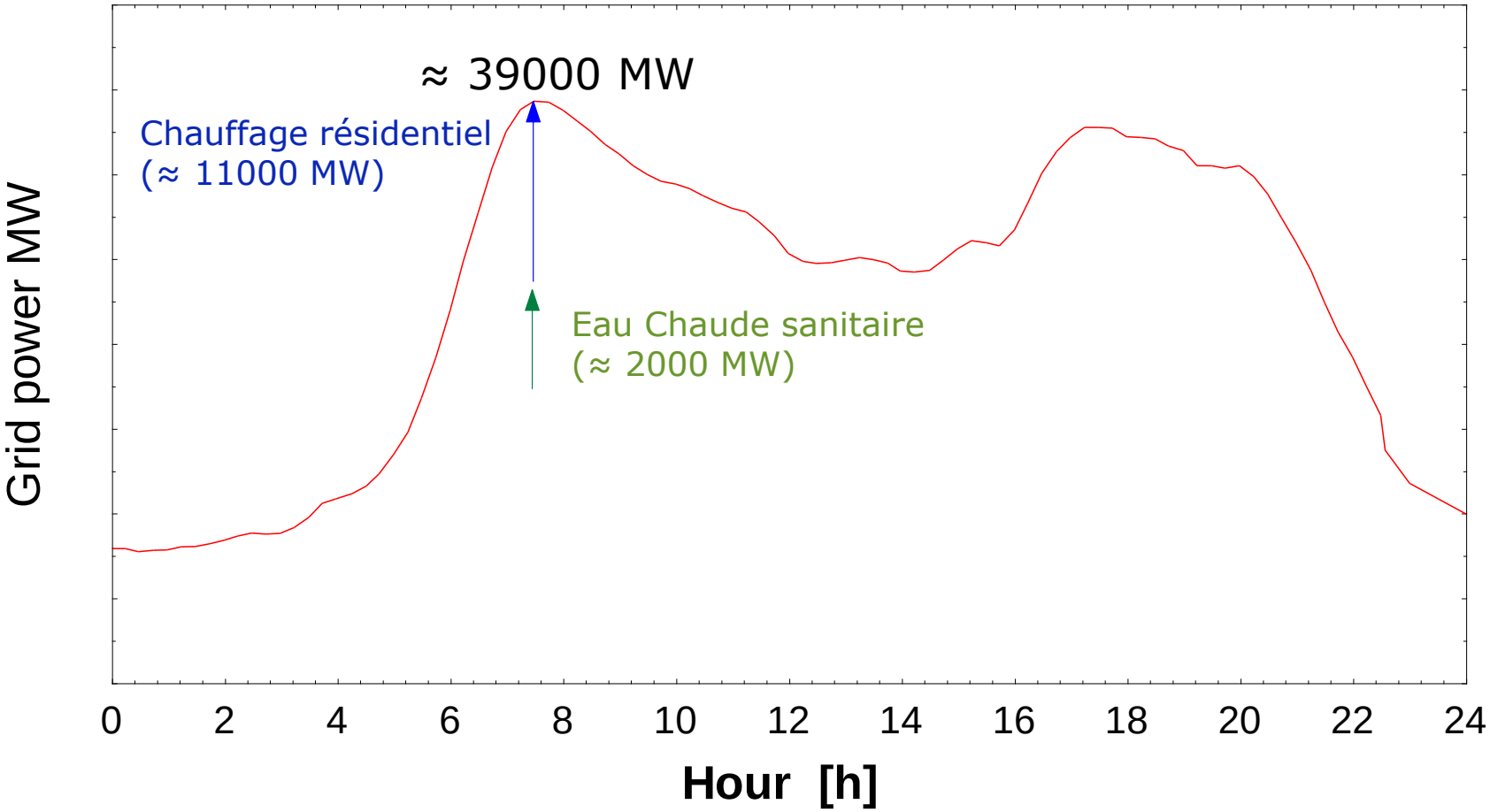
RÉFRIGÉRANTS ET GES

Accord de Kigali (Octobre 2016)

En 2036, production de HFC réduite de 85% par rapport au niveau actuel (pour le pays développés)

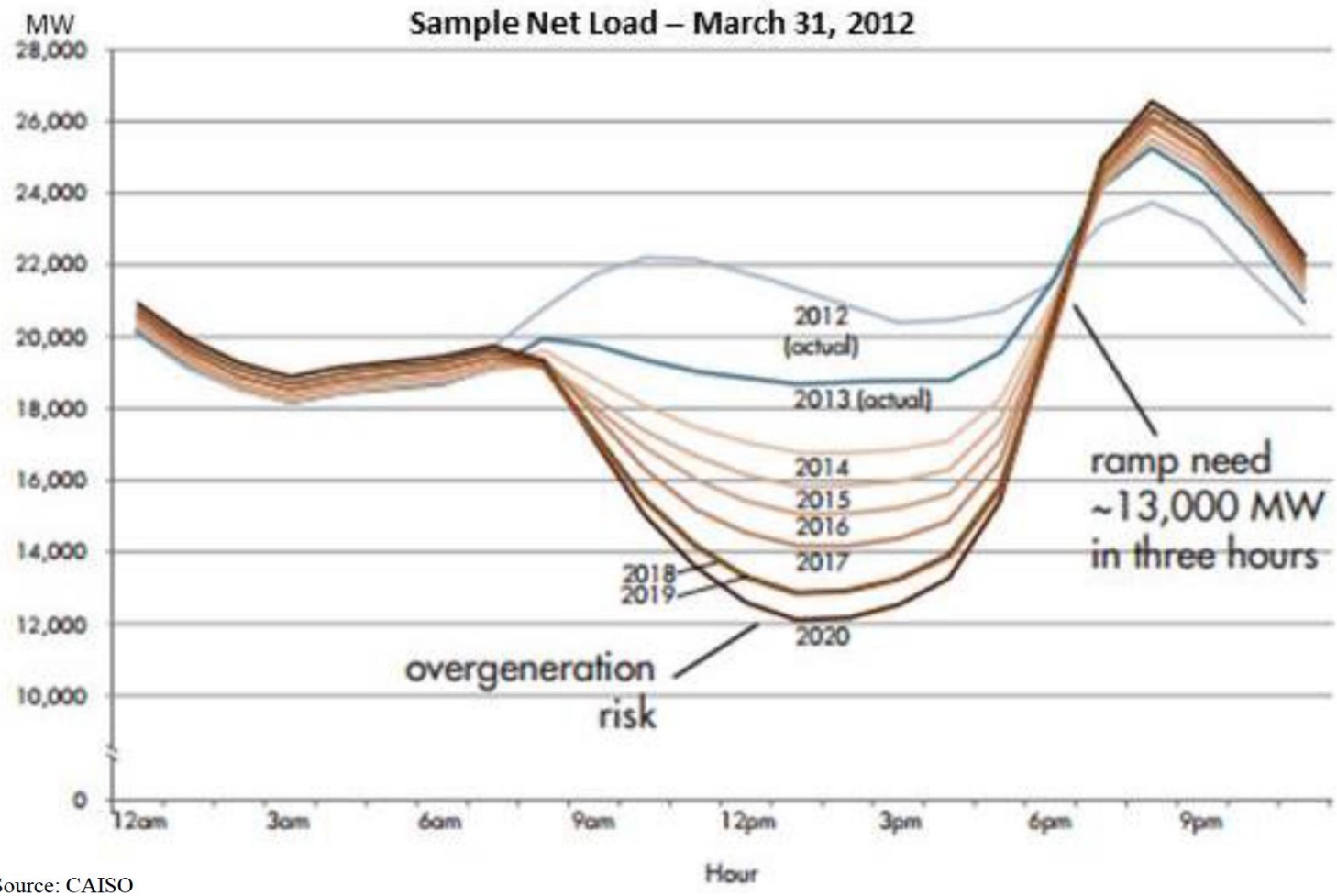
Ceci permettra de réduire (d'ici à 2050) de 70,000 Mte de CO2 les émissions de HFC.

PUISSANCE EN PÉRIODE DE POINTE - QUÉBEC



PROFIL DE PUISSANCE - CALIFORNIE

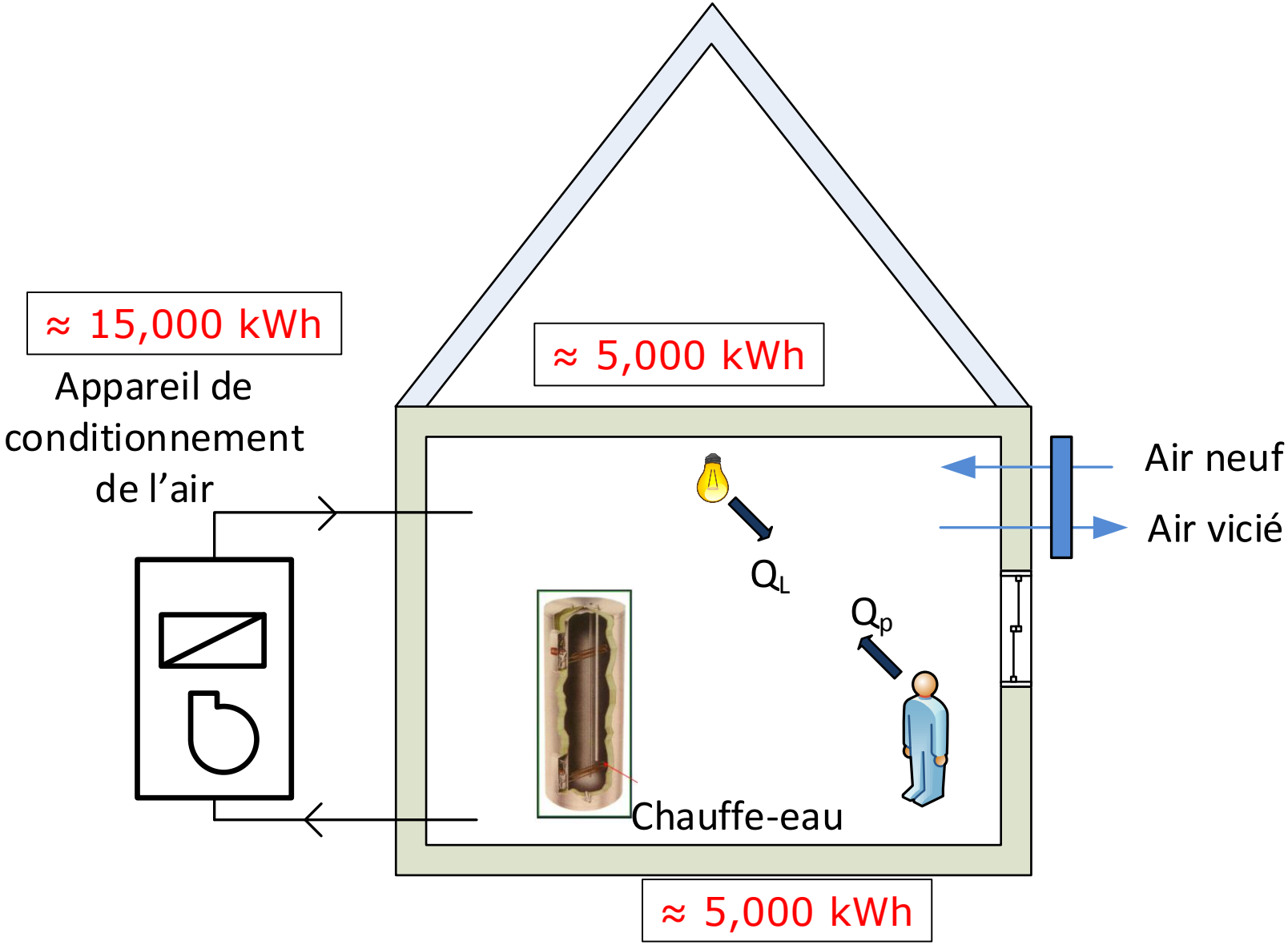
The California "Duck Curve"



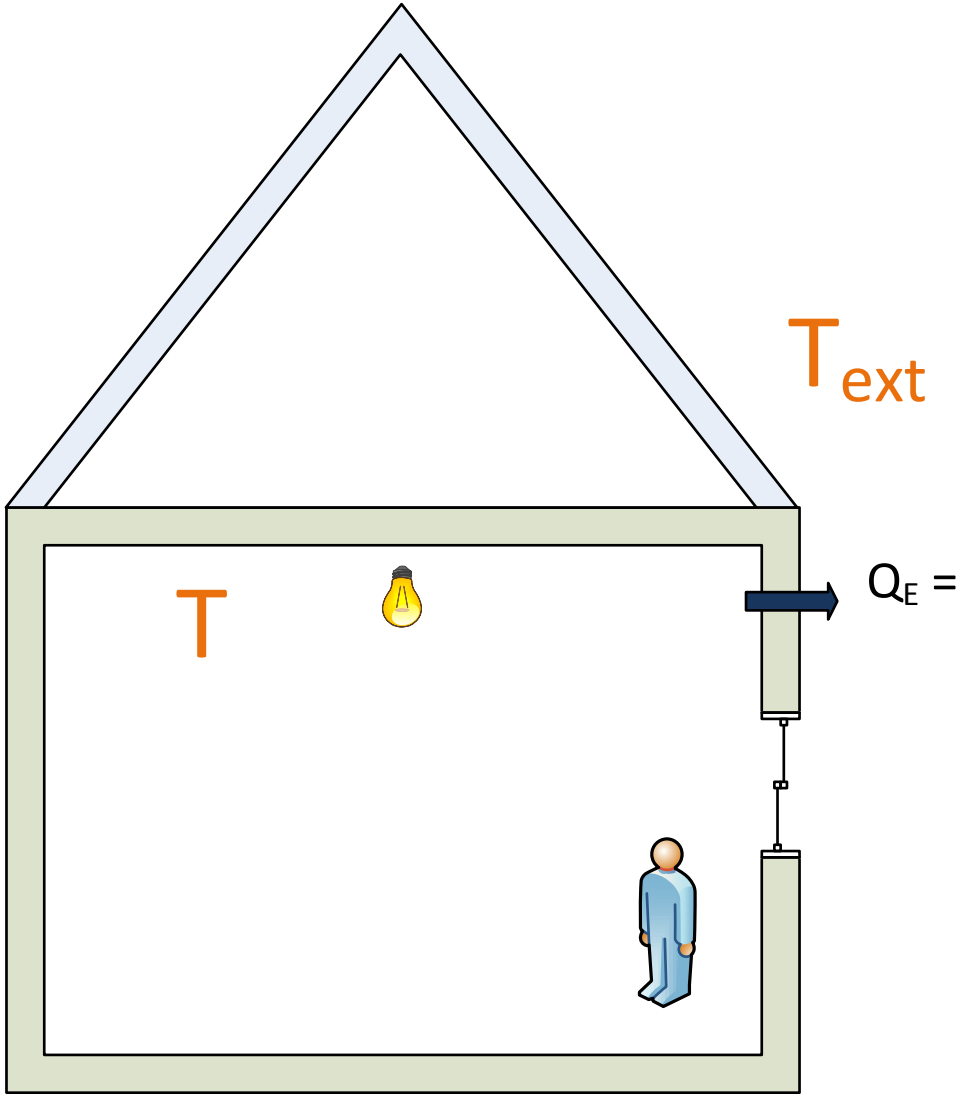
Source: CAISO

[6]

RÉSIDENCE – CONSOMMATION ANNUELLE



RÉSIDENCE – PUISSANCE DE CHAUFFAGE

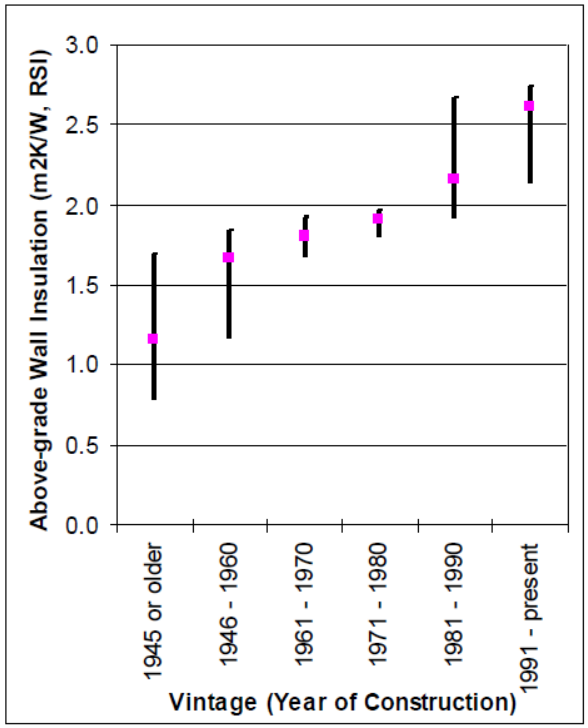


$Q_E = UA(T - T_{ext}) = A/R(T - T_{ext})$

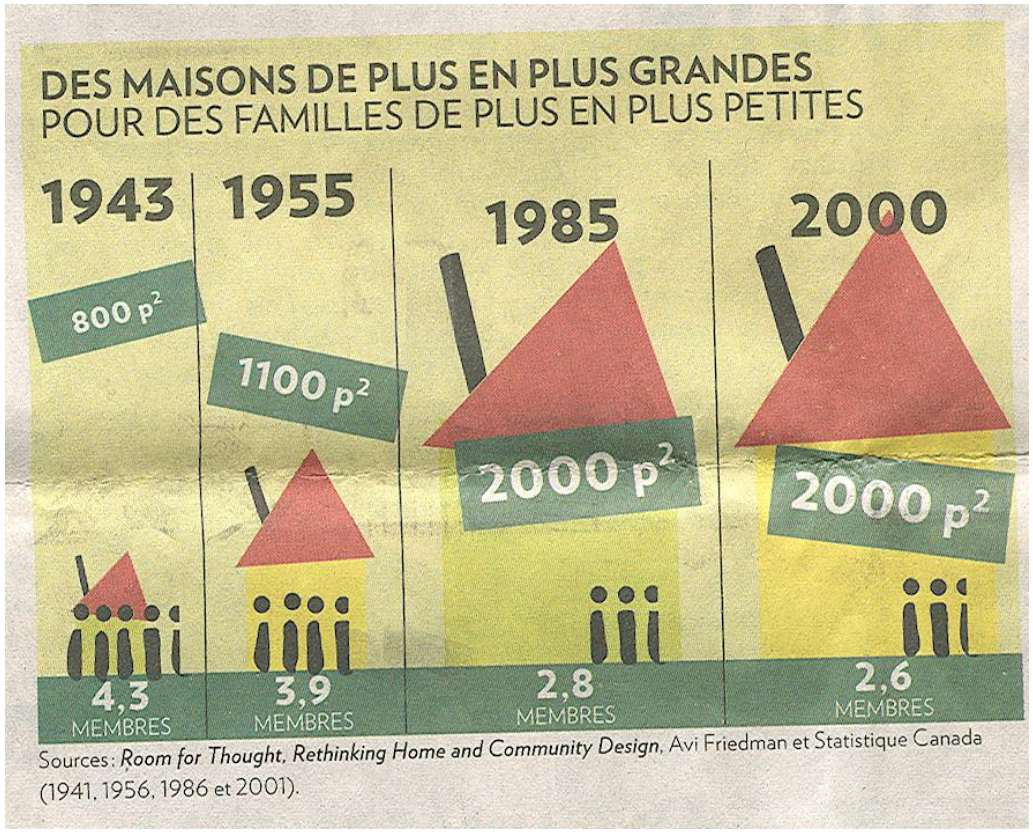
Q_E = 10-15 kW (par grand froid)

RÉSIDENCE – ÉVOLUTION DE “R” ET “A”

Wall Insulation

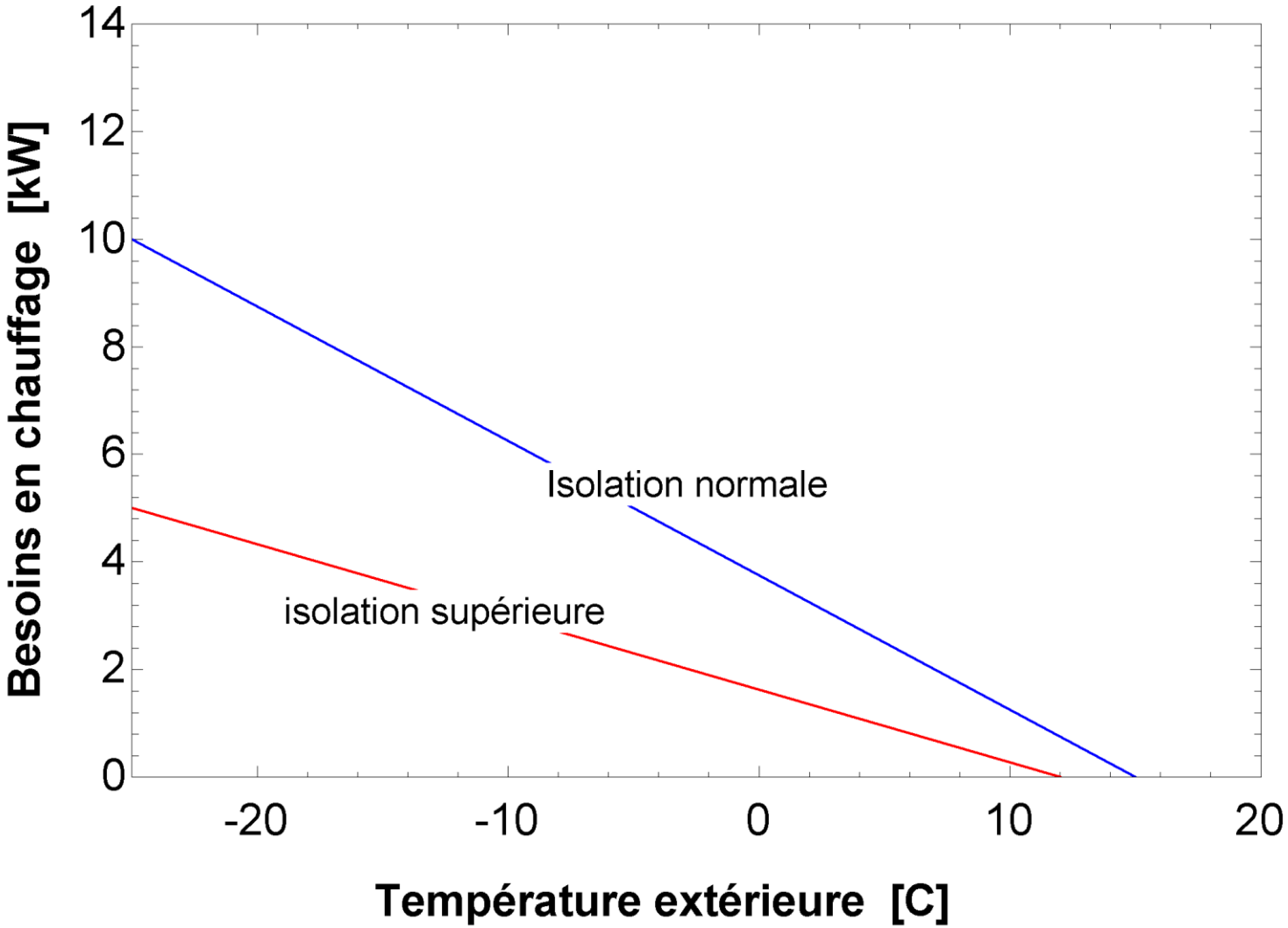


[7]

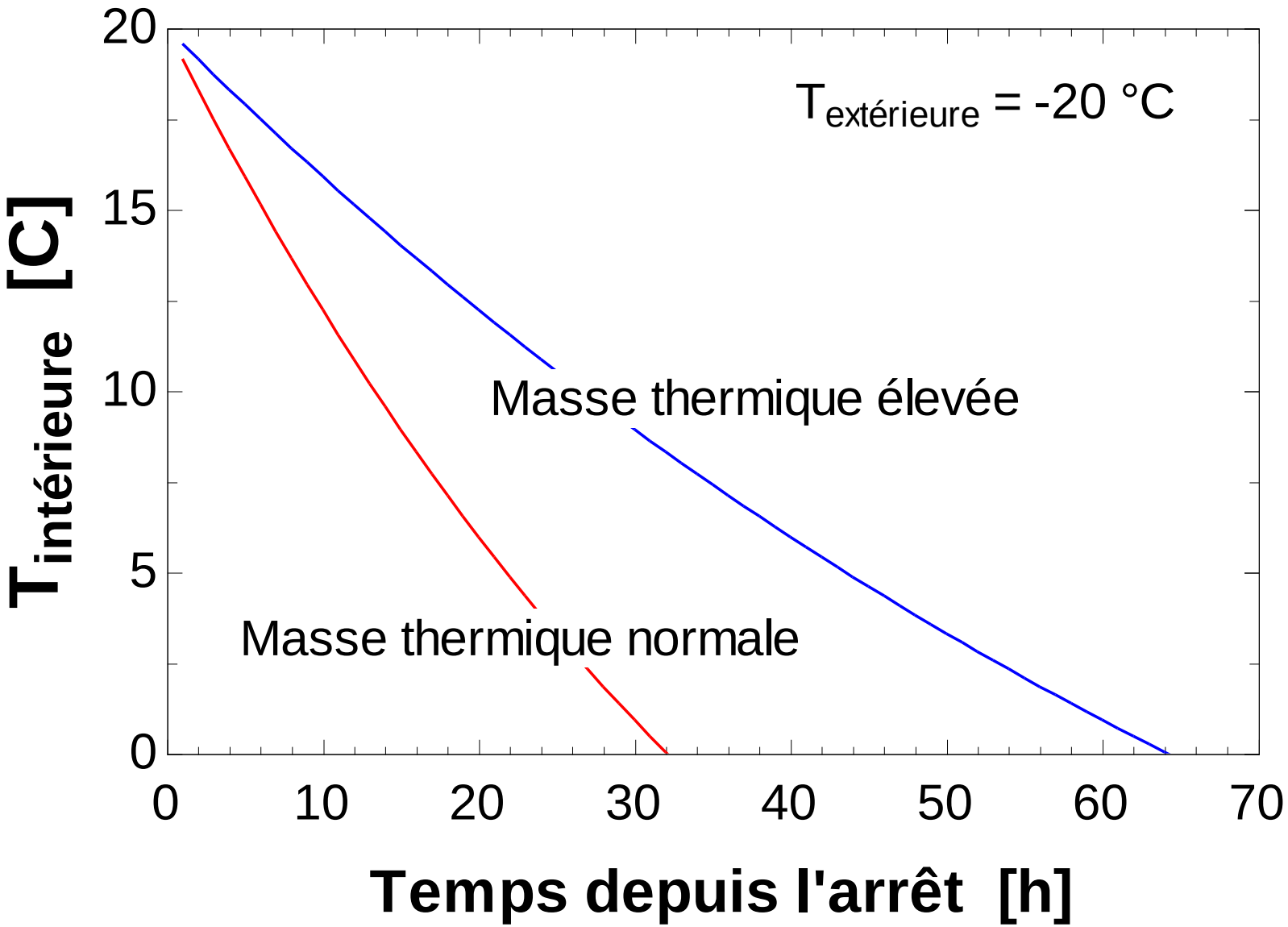


[LaPresse]

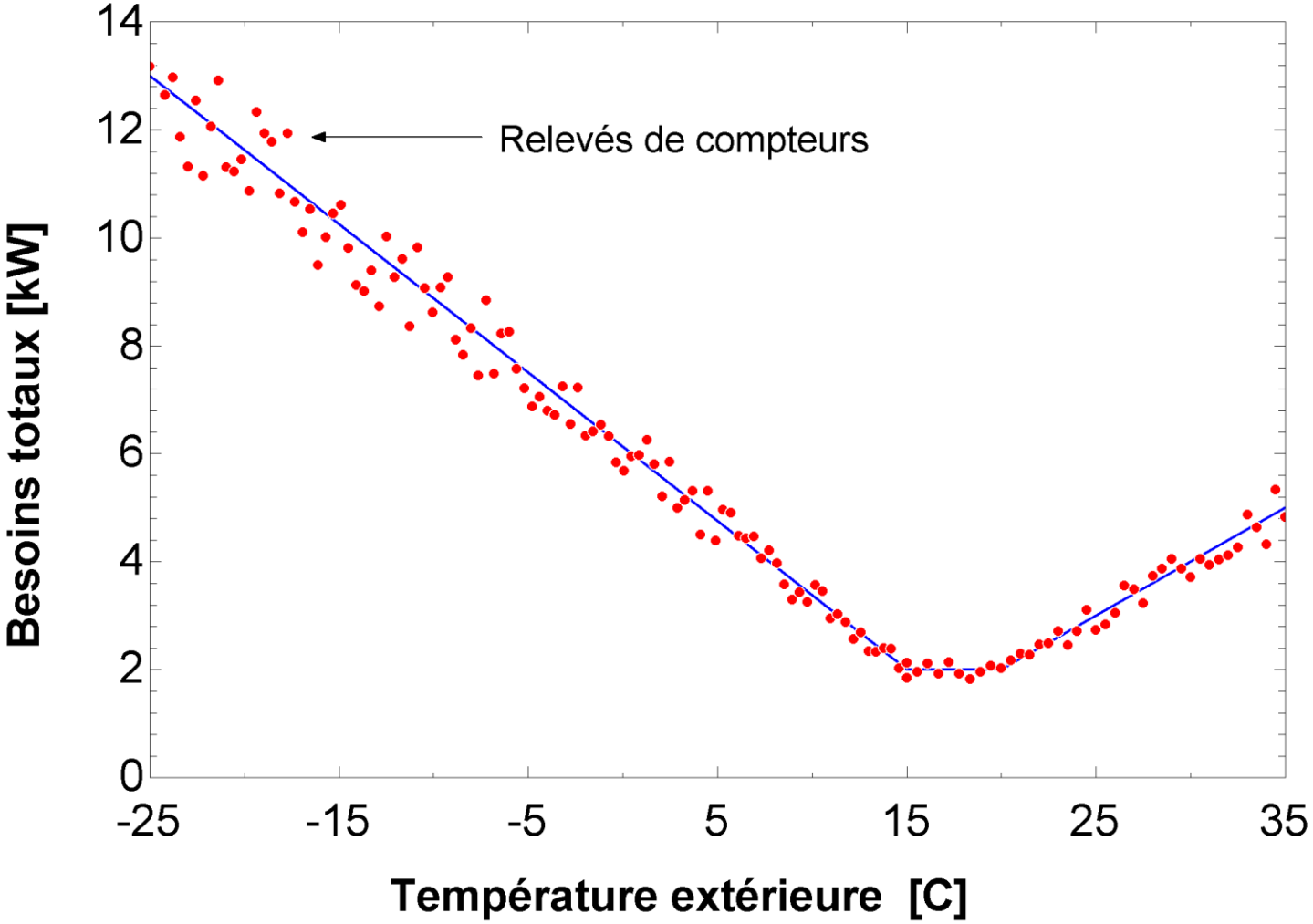
RÉSIDENCE – PUISSANCE DE CHAUFFAGE



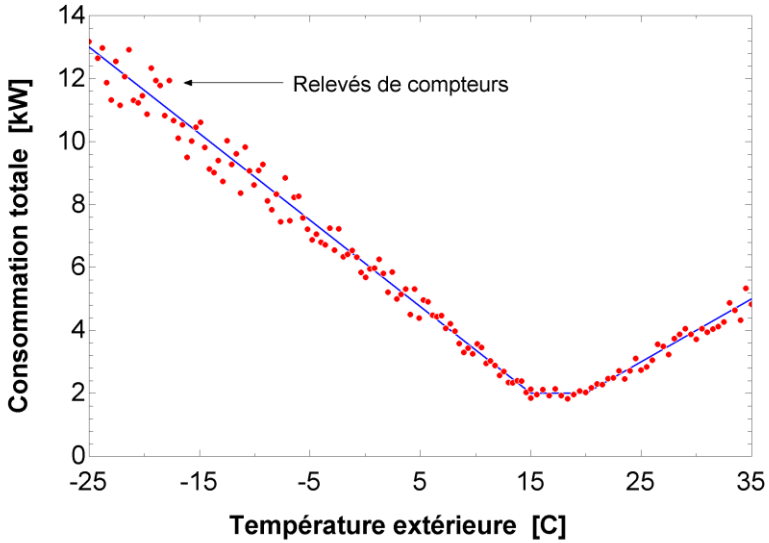
RÉSIDENCE – EFFET DE LA MASSE THERMIQUE



RÉSIDENCE – SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE



RÉSIDENCE – SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE



Relevé de compteurs

↓

Calibration du modèle du bâtiment
(Modélisation “inverse” du bâtiment)

↓

Caractéristiques du bâtiment (e.g. UA)

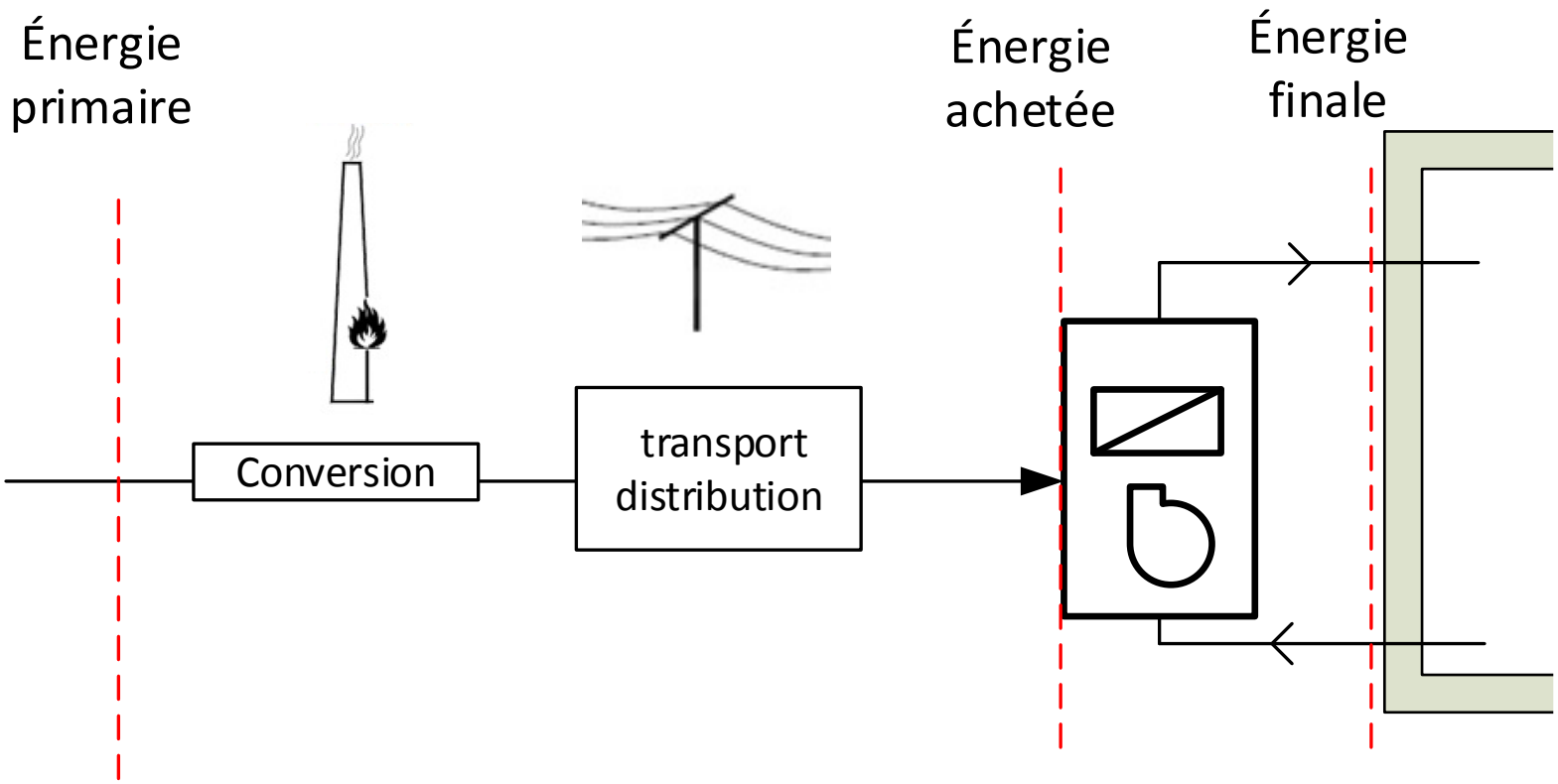
↓

Définir des archétypes

↓

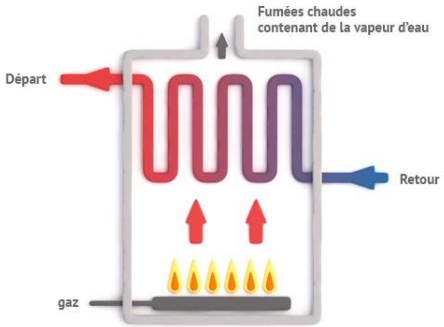
Modélisation du stock de bâtiments

ÉNERGIE PRIMAIRE/FINALE

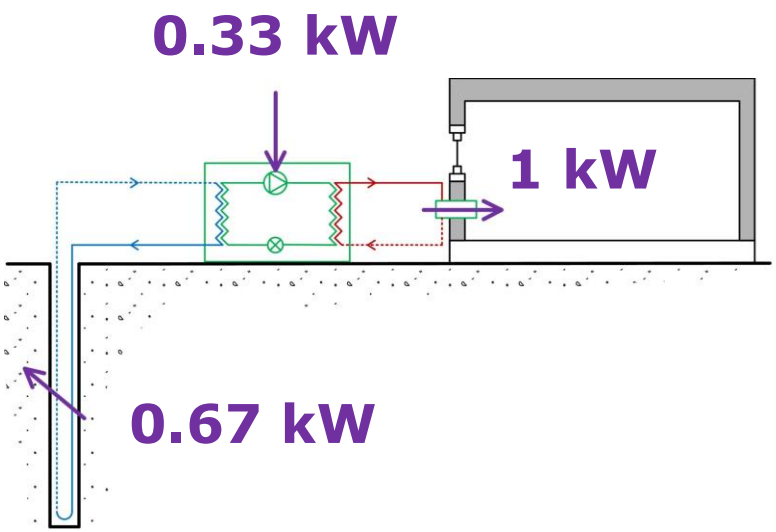


RENDEMENTS (COP)

100 %



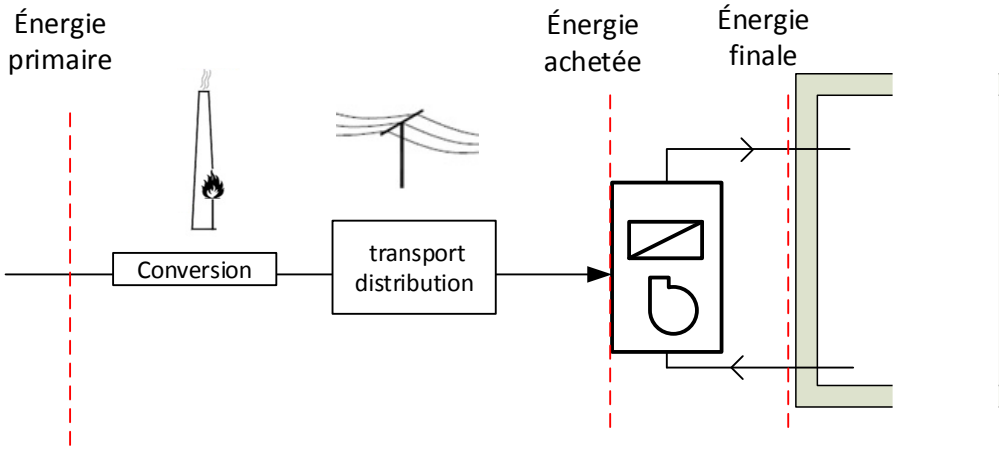
80 %



300 %

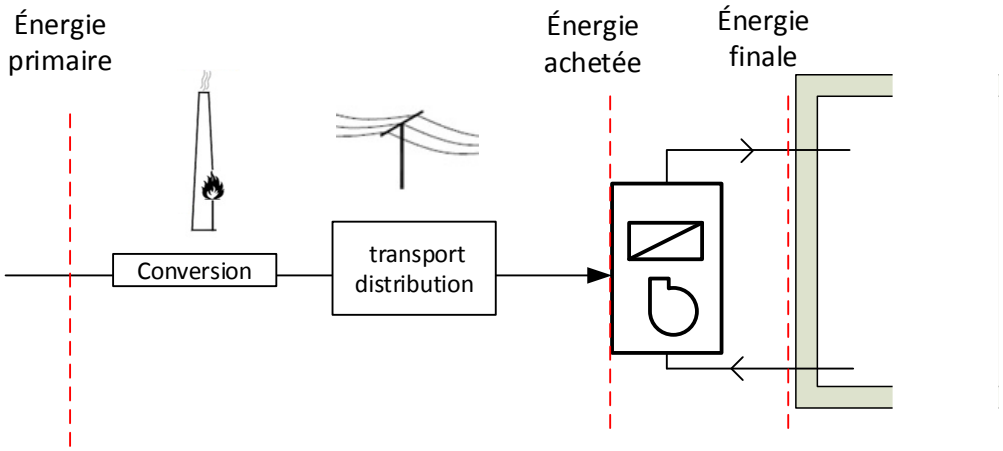
ÉNERGIE PRIMAIRE/SECONDAIRE

	Combustible	Primaire (kWh)	Rendement Conv/ trans/distr.	Achetée (kWh)	Rendement Appareil de chauffage	Finale (kWh)
Plinthes électriques Québec	hydroélectricité		95%		100%	1.0
Chaudière au gaz Ontario	gaz naturel		95%		80%	1.0
Pompes à chaleur Québec	hydroélectricité		95%		300%	1.0
Pompes à chaleur Ontario	Électricité/ centrale gaz		30%		300%	1.0



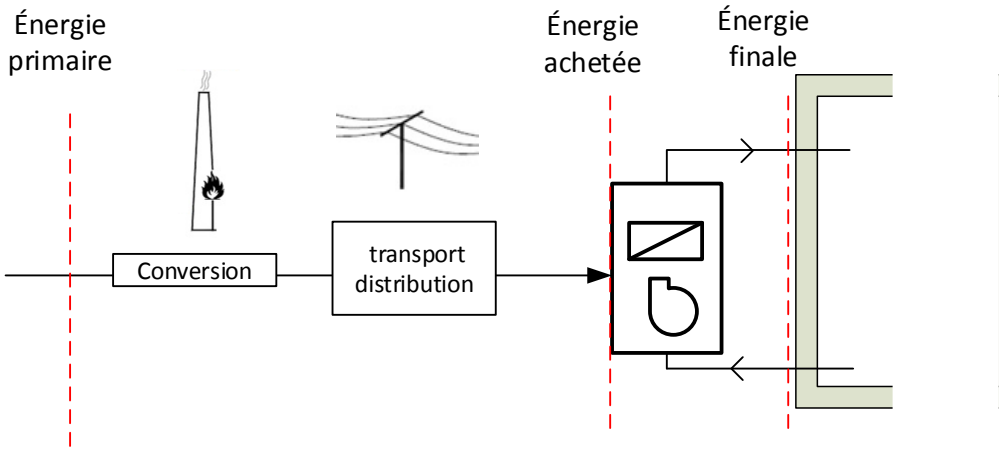
ÉNERGIE PRIMAIRE/SECONDAIRE

	Combustible	Primaire (kWh)	Rendement Conv/ trans/distr.	Achetée (kWh)	Rendement Appareil de chauffage	Finale (kWh)
Plinthes électriques Québec	hydroélectricité	1.05	95%	1.0	100%	1.0
Chaudière au gaz Ontario	gaz naturel	1.25	95%	1.25	80%	1.0
Pompes à chaleur Québec	hydroélectricité	0.35	95%	0.33	300%	1.0
Pompes à chaleur Ontario	Électricité/ centrale gaz	1.17	30%	0.33	300%	1.0



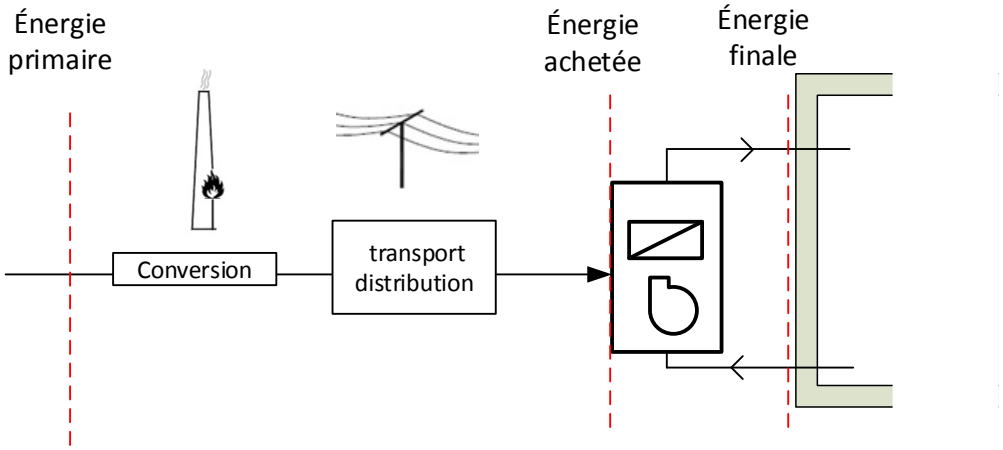
ÉNERGIE PRIMAIRE/SECONDAIRE

	Combustible	Primaire (kWh)	Rendement Conv/ trans/distr.	Achetée (kWh)	Rendement Appareil de chauffage	Finale (kWh)
Plinthes électriques Québec	hydroélectricité	1.05	95%	1.0	100%	1.0
Chaudière au gaz Ontario	gaz naturel	1.25	95%	1.25	80%	1.0
Pompes à chaleur Québec	hydroélectricité	0.35	95%	0.33	300%	1.0
Pompes à chaleur Ontario	Électricité/ centrale gaz	1.17	30%	0.33	300%	1.0



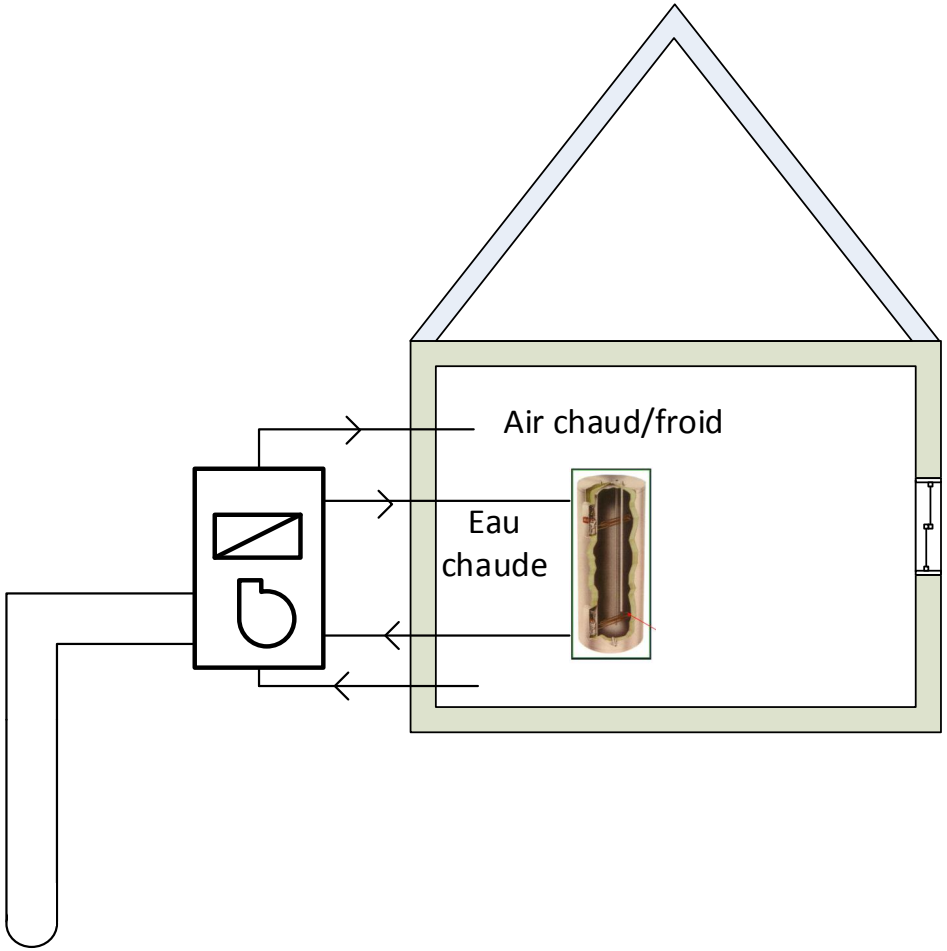
ÉNERGIE PRIMAIRE/SECONDAIRE

	Combustible	Primaire (kWh)	Rendement Conv/ trans/distr.	Achetée (kWh)	Rendement Appareil de chauffage	Finale (kWh)
Plinthes électriques Québec	hydroélectricité	1.05	95%	1.0	100%	1.0
Chaudière au gaz Ontario	gaz naturel	1.25	95%	1.25	80%	1.0
Pompes à chaleur Québec	hydroélectricité	0.35	95%	0.33	300%	1.0
Pompes à chaleur Ontario	Électricité/ centrale gaz	1.17	30%	0.33	300%	1.0



PERSPECTIVES INTÉRESSANTES

Pompe à chaleur géothermique à capacité variable et à 4 modes de fonctionnement



4 modes

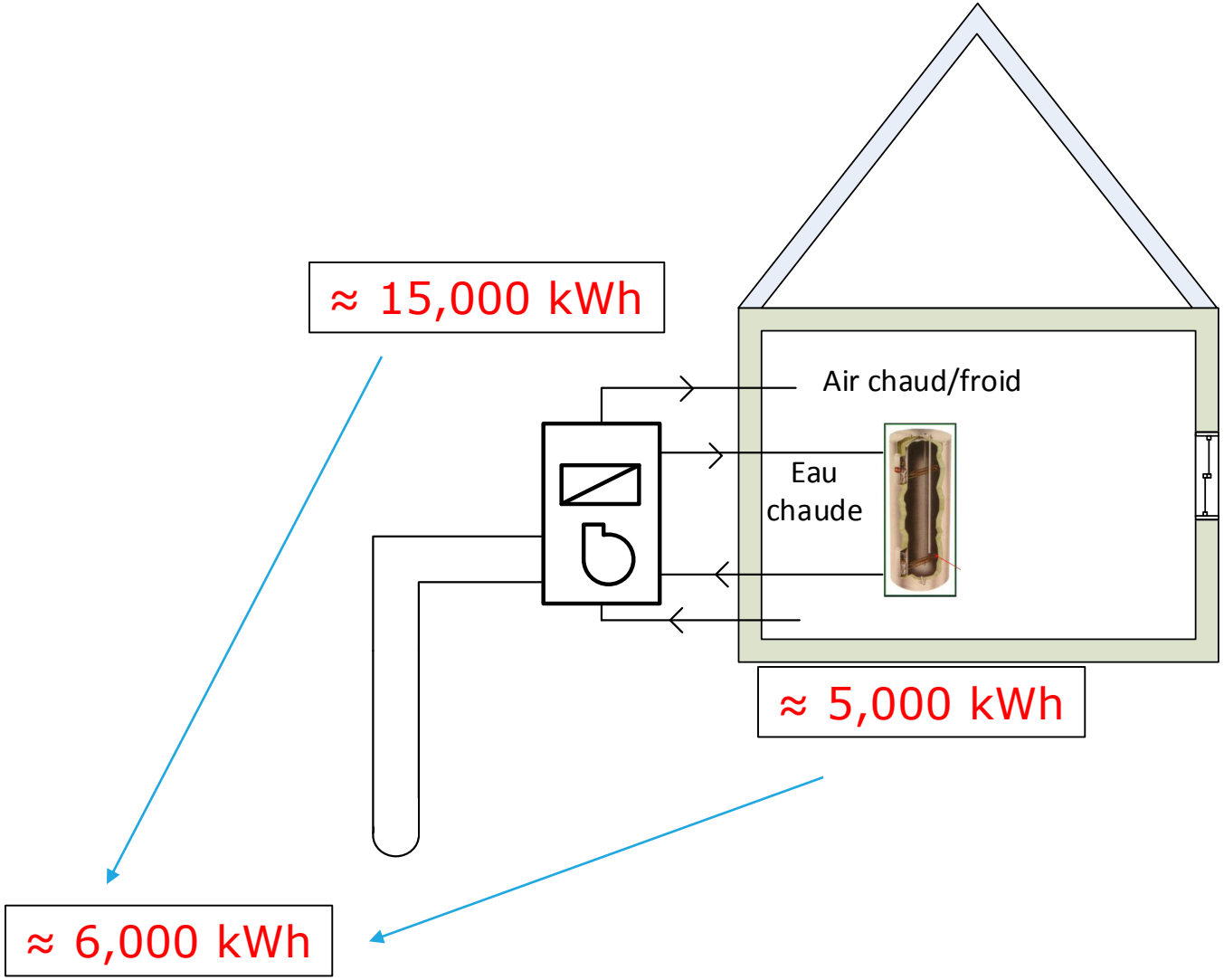
Air chaud

Air froid

Eau chaude

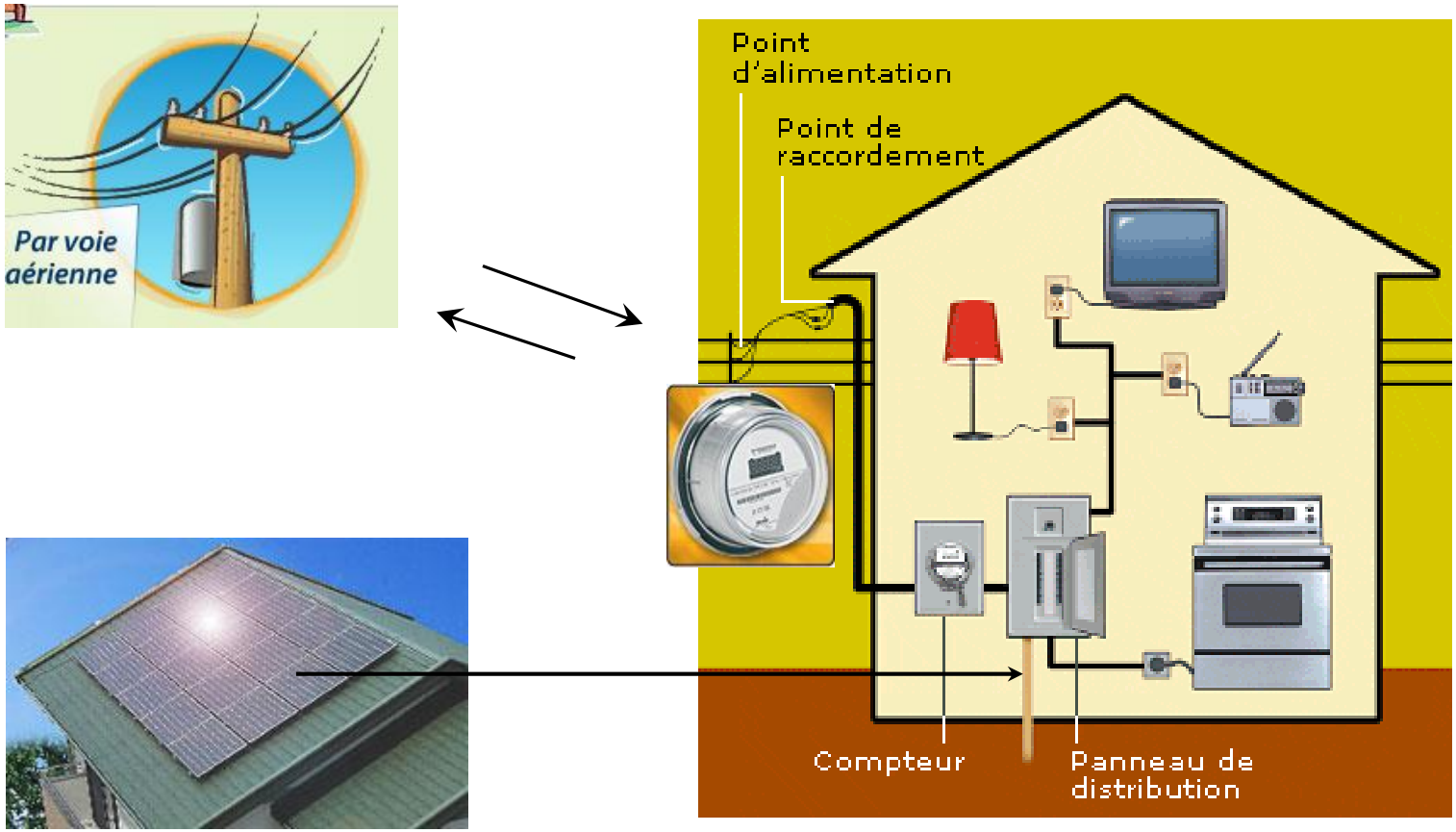
Eau chaude en climatisant le bâtiment

PERSPECTIVES INTÉRESSANTES



Consommation réduite de 70% avec ces pompes à chaleur

BÂTIMENT NET-ZÉRO

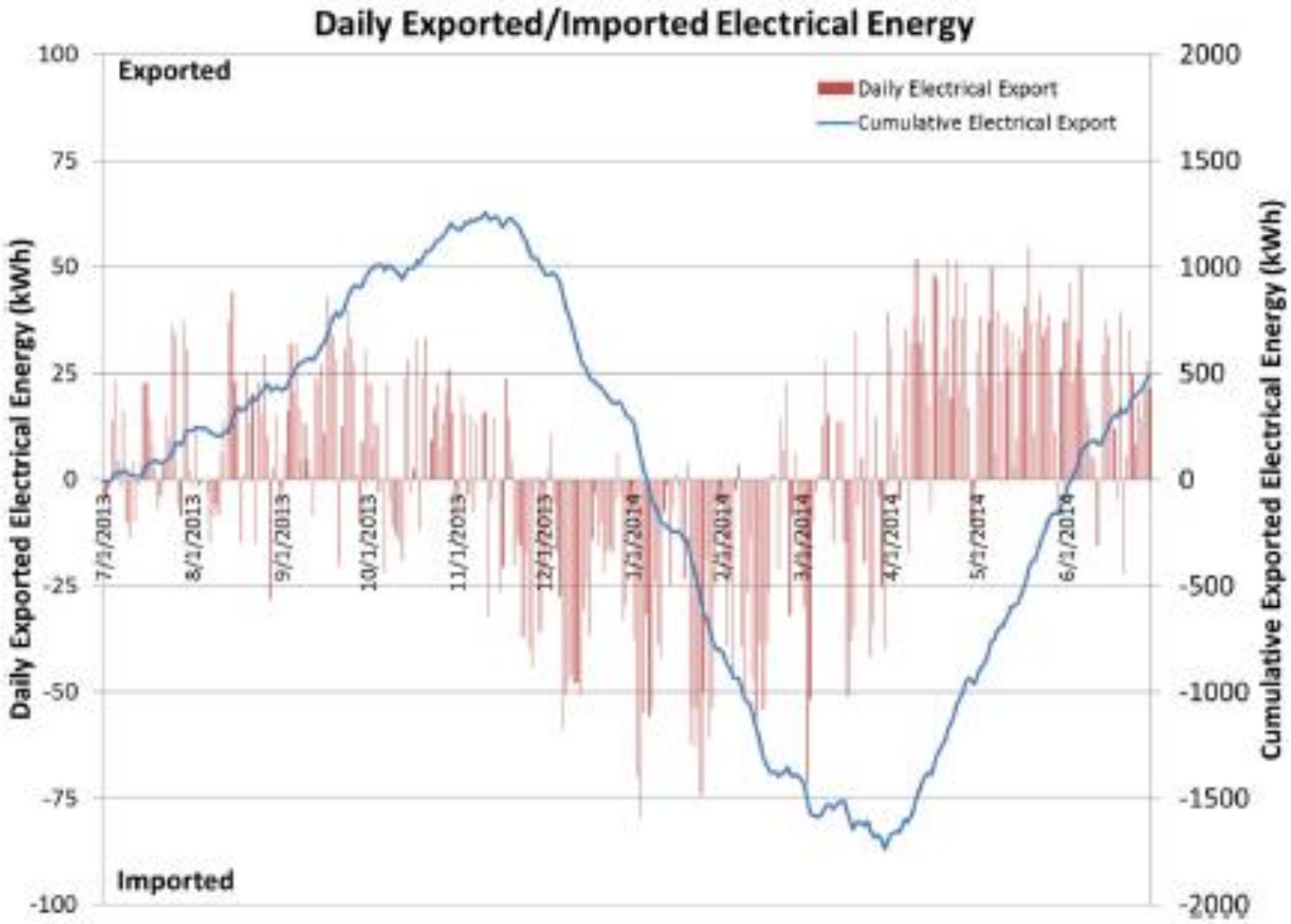


[Images: HQ]

Consommation = production

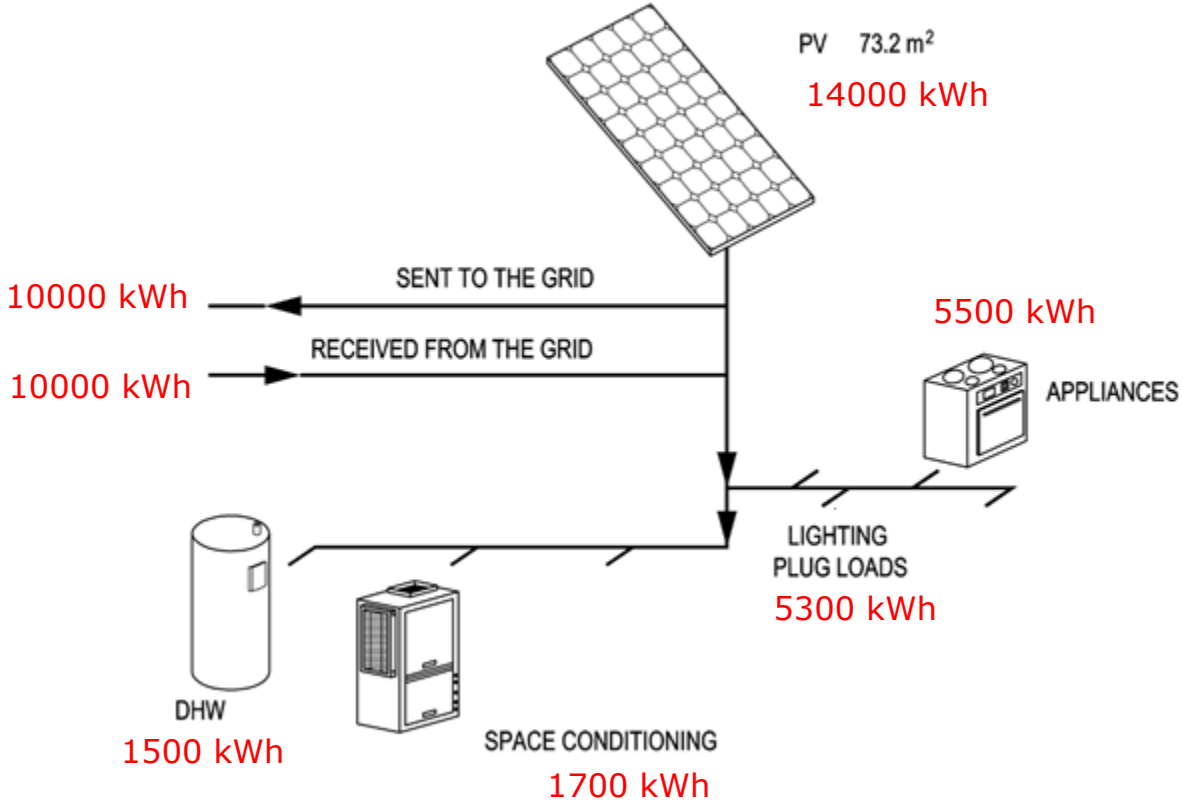
(bilan annuel nul)

BÂTIMENT NET-ZÉRO



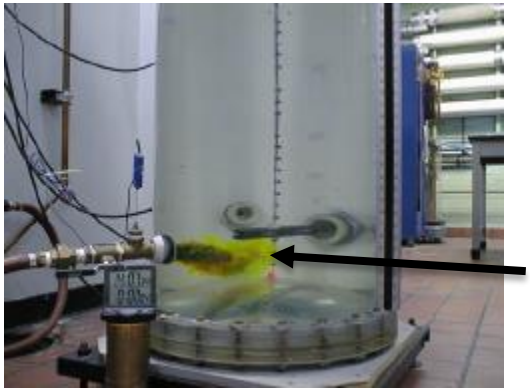
[8]

BÂTIMENT NET-ZÉRO



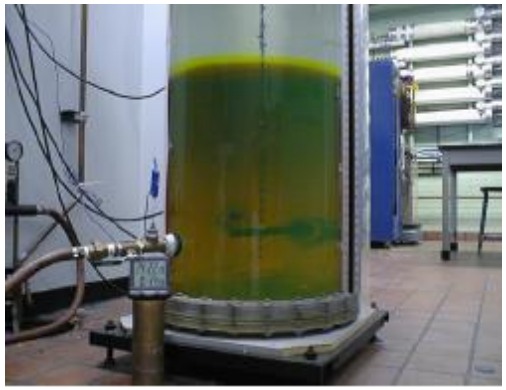
[9]

CHAUFFE-EAU : STOCKAGE THERMIQUE IDÉAL



Stratification thermique

Injection dans le bas du chauffe-eau



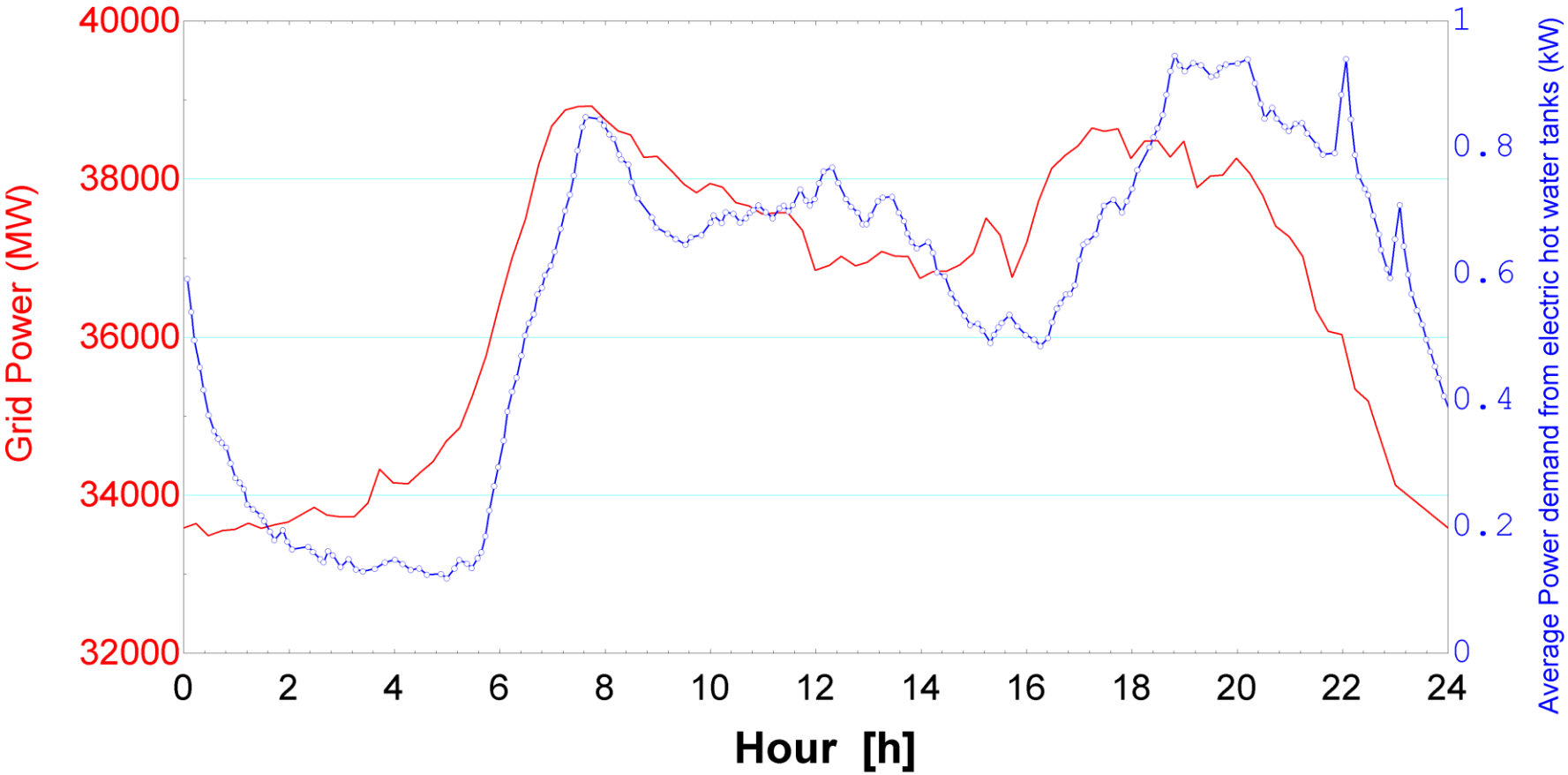
après 15 minutes

Eau-chaude au sommet non-affectée

Eau froide reste au bas

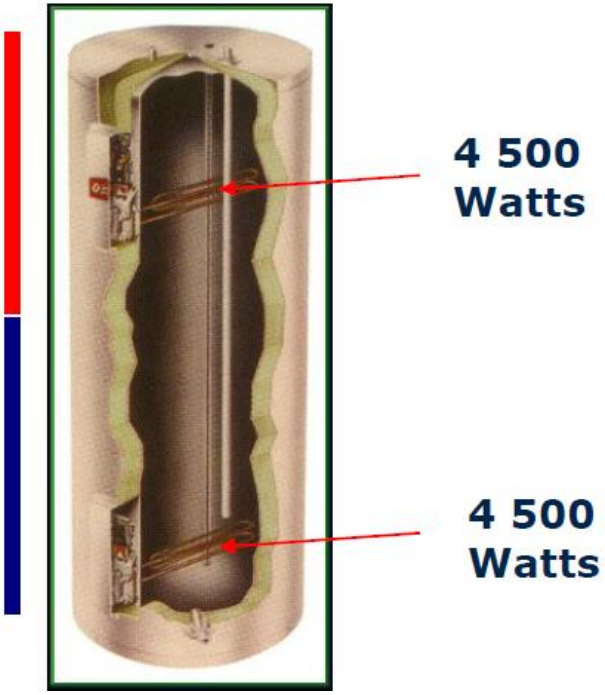
[10]

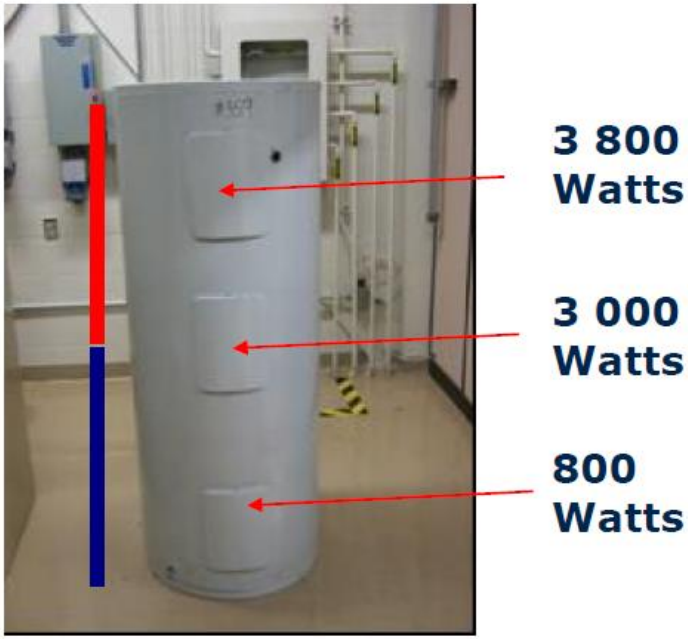
CHAUFFE-EAU



[11]

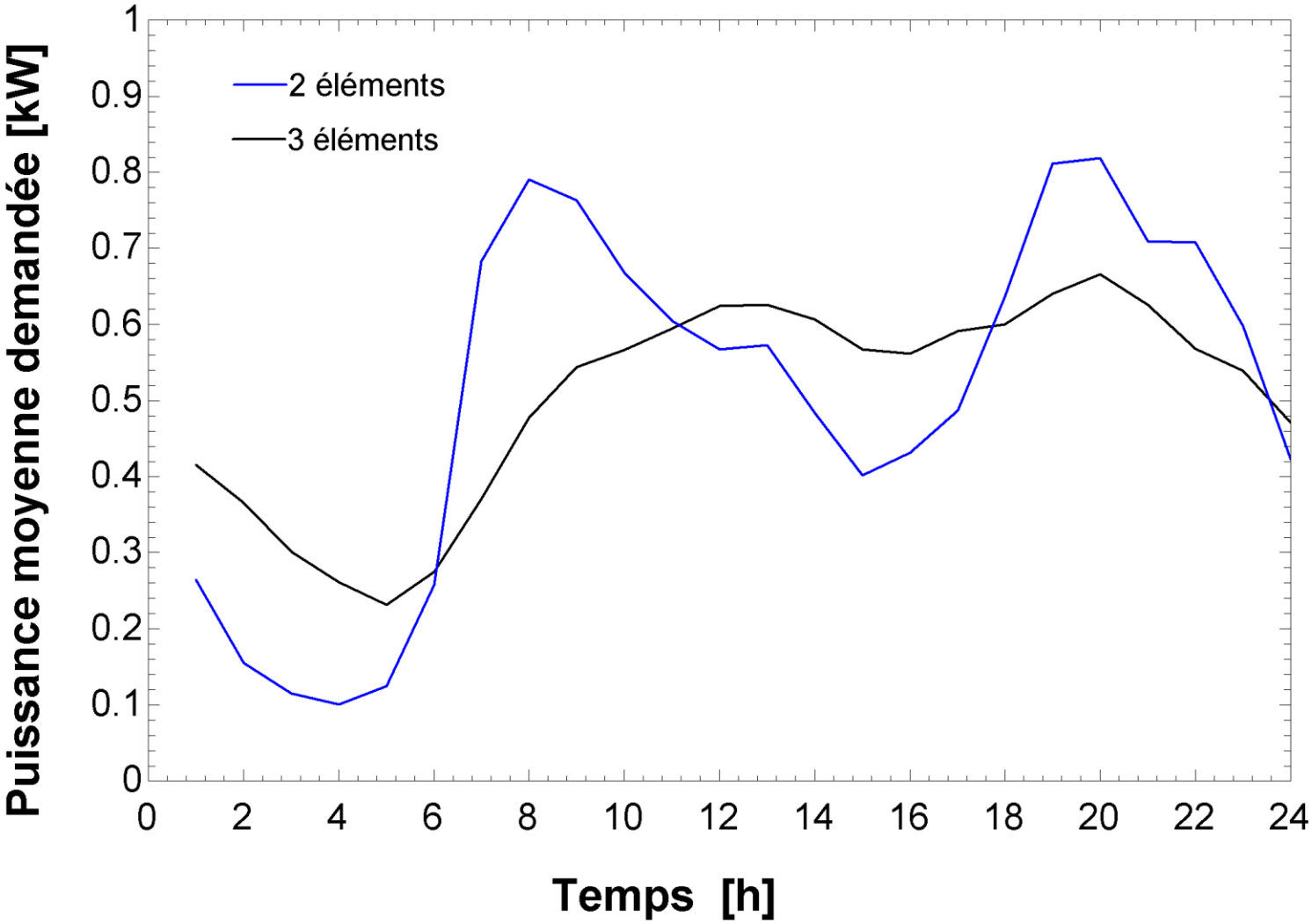
CHAUFFE-EAU À 3 ÉLÉMENTS



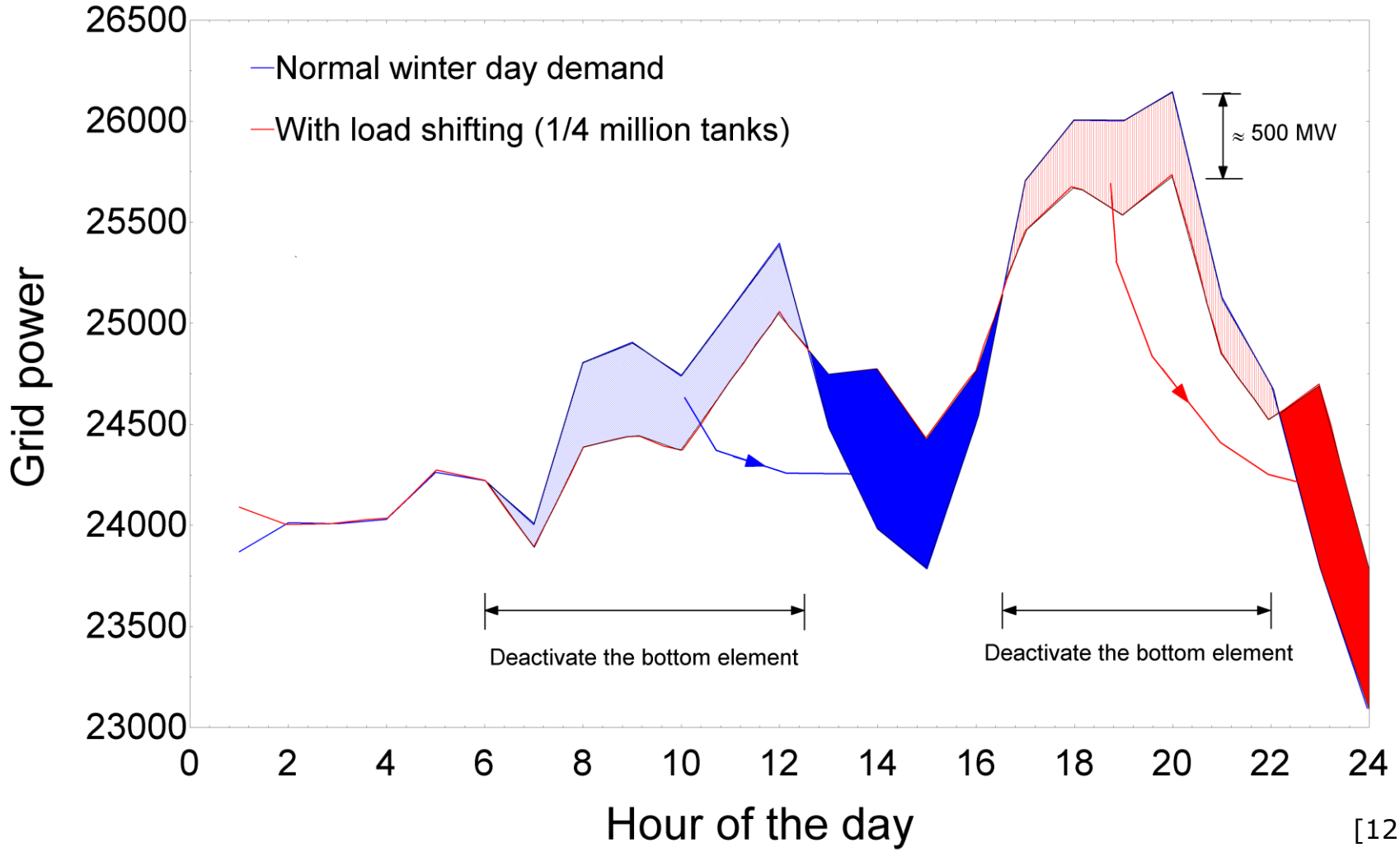


[11]

CHAUFFE-EAU À 3 ÉLÉMENTS

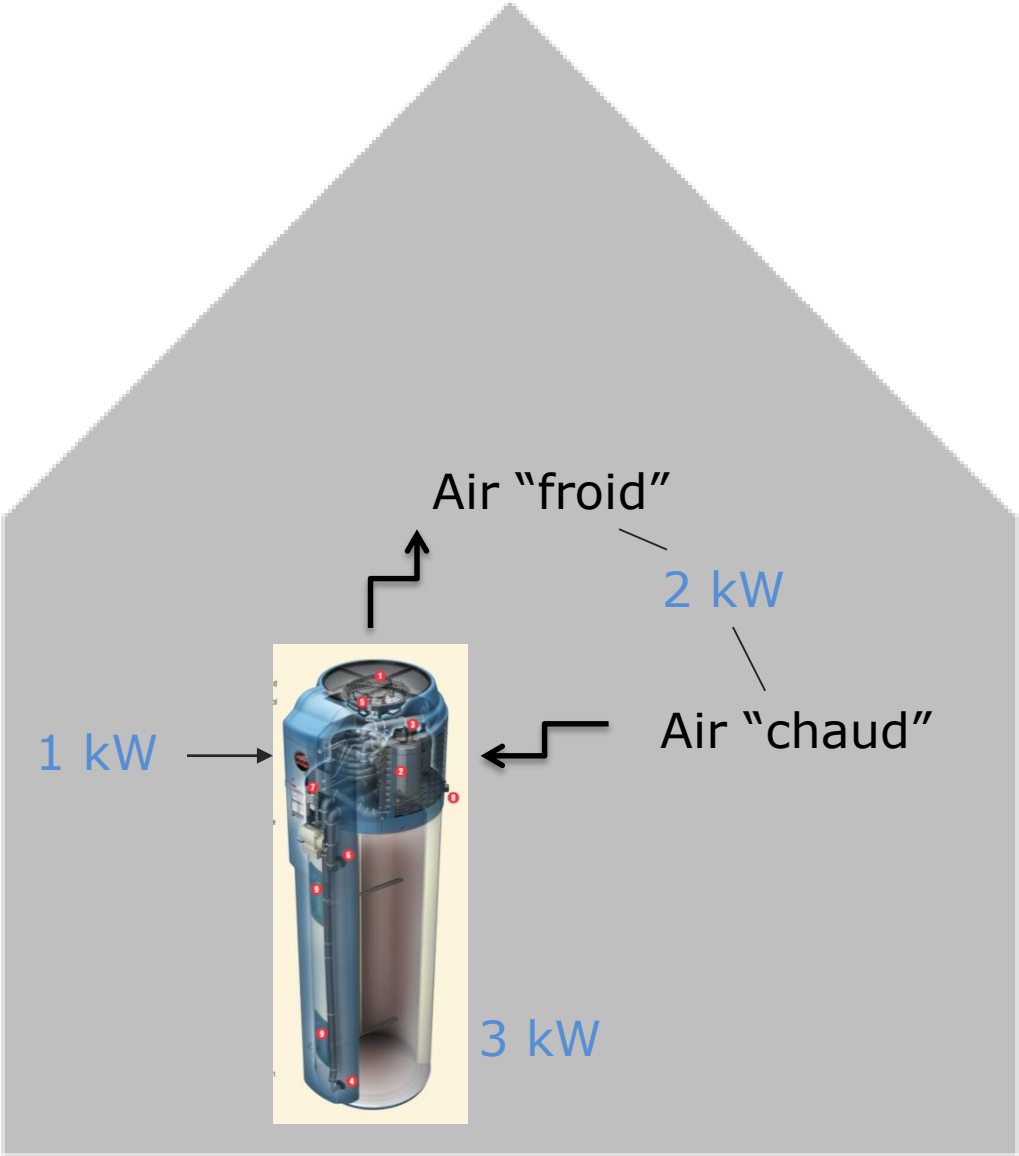


DÉLESTAGE POUR DÉPLACER LA POINTE



[12]

CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE



COMPORTEMENT DES CONSOMMATEURS

2016 CHBA HOME BUYER PREFERENCE STUDY

Top 10 "Must Have" Home Features

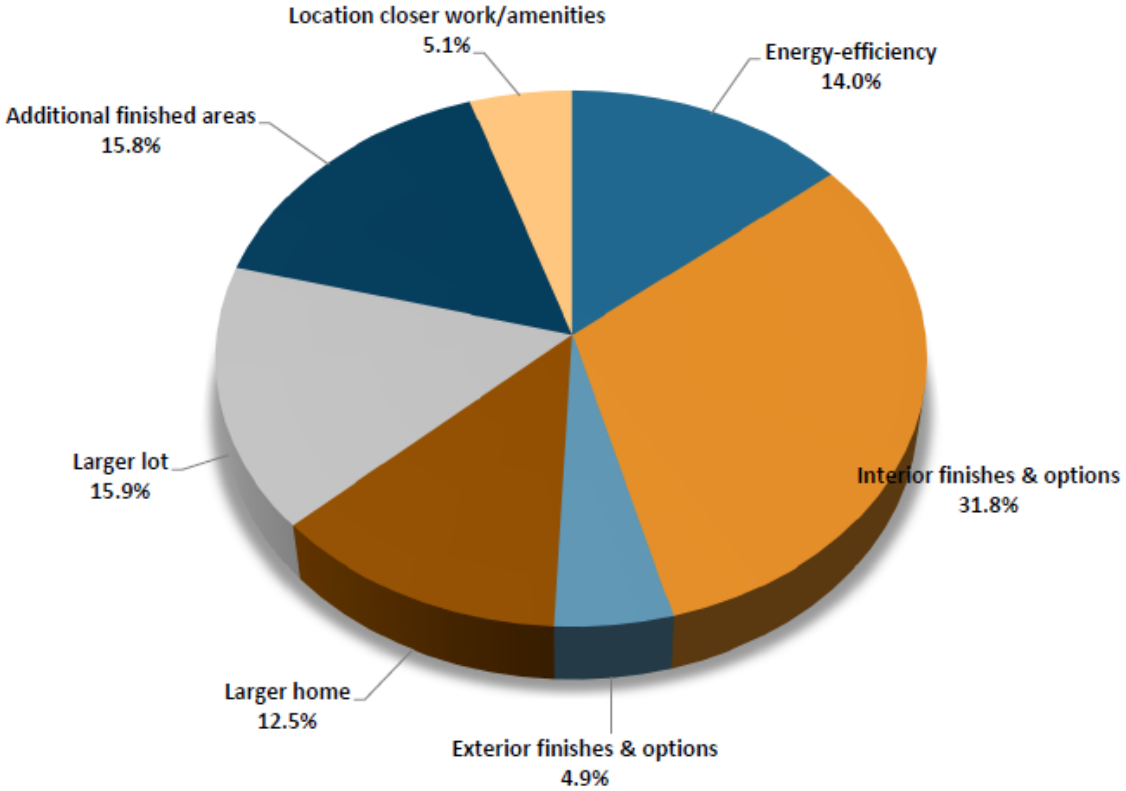
1. Walk-in closets
2. **Energy efficient appliances**
3. **High-efficiency windows**
4. **Overall energy efficient**
5. Linen closets
6. Kitchen islands
7. Open concept kitchens
8. 2-car garage
9. Large windows
10. **HRV/ERV**

[13]

COMPORTEMENT DES CONSOMMATEURS

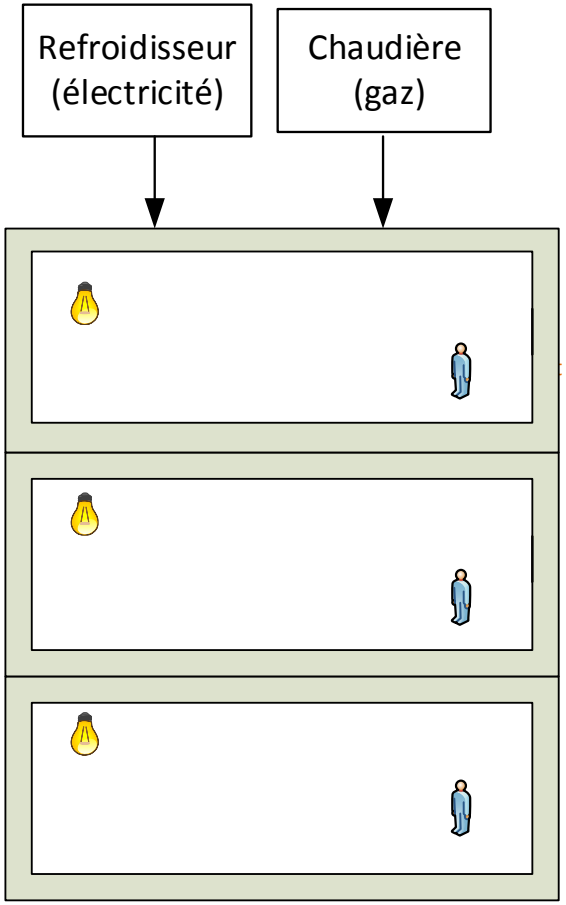
If you had an extra $10,000 to spend on one thing in your next home, what would you put it towards?

Energy efficiency 14%



[13]

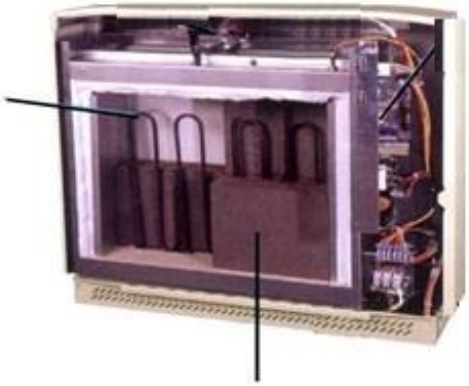
BÂTIMENTS COMMERCIAUX



STOCKAGE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

Développé par des chercheurs d'Hydro-Québec(LTE)

Éléments électriques

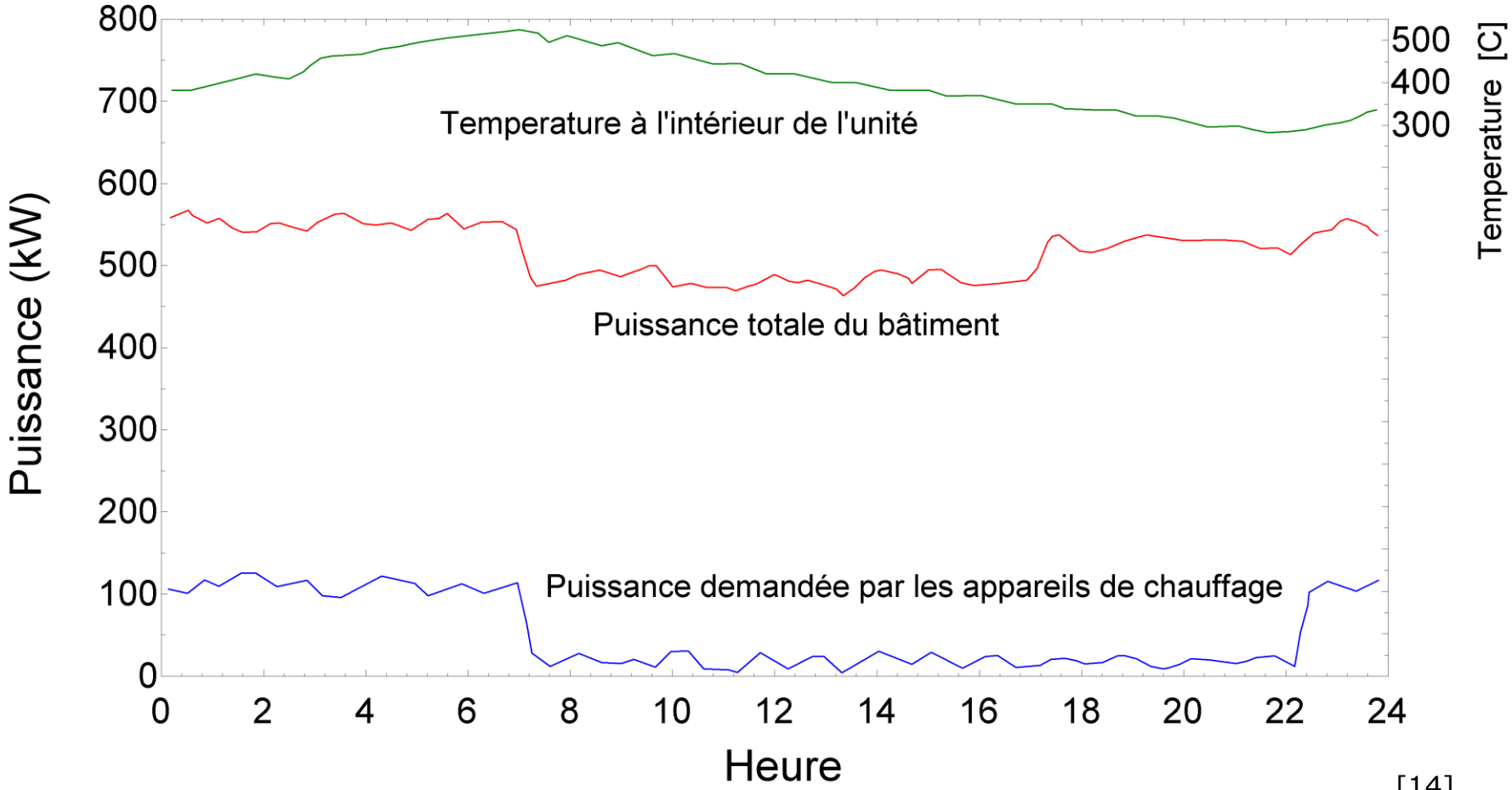


Briques en céramique à 500°C

[14]

STOCKAGE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

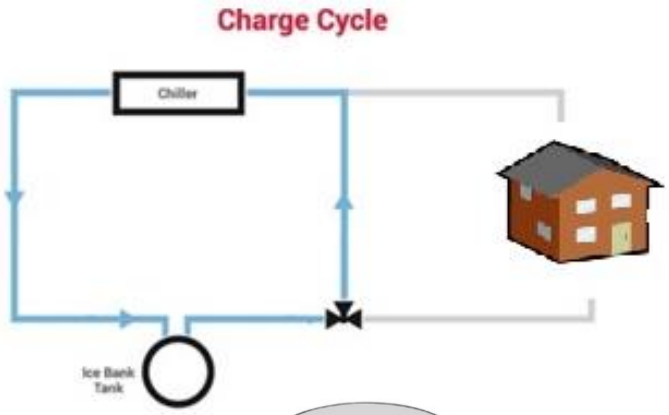
Measures à l'édifice Price à Québec

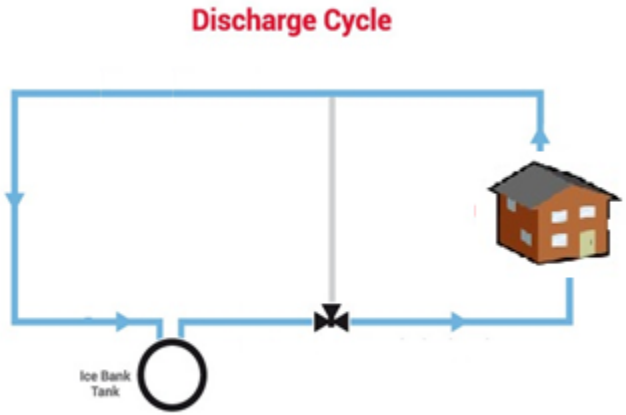


[14]

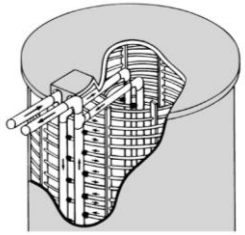
SYSTÈME DE STOCKAGE DE GLACE

Refroidisseur





Stockage de glace



SYSTÈME DE STOCKAGE DE GLACE

	Période de pointe	Période hors pointe
Énergie	0.15 $/kWh	0.075 $/kWh
Puissance	10 $/kW	5 $/kW
Émission de C02	200 g/kWh	100 g/kWh

	Système conventionnel	Avec stockage de glace
Énergie	1.0	1.04
Puissance	1.0	0.87
Coût	1.0	0.56
Émissions de CO2	1.0	0.58

Questions ?

RÉFÉRENCES

1. Tom, S., 2008. Managing Energy and Comfort. ASHRAE Journal, 50(6), pp. 18-26.

2. Basé sur une présentation d'Ellen Franconi (du RMI) au congrès 2011 de l'IBPSA et US Energy Information Administration (www.eia.gov).

3. oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/analyse/tableaux.cfm

4. Office national de l'énergie, 2016. Panorama de l'électricité renouvelable au Canda.

5. http://sel.me.wisc.edu/watervscar.shtml

6. Kirschen, D. 2014. Value of Energy storage. http://www.mcgill.ca/tised/files/tised/kirschen_value_of_energy_storage.pdf

7. https://fpinnovations.ca/media/presentations/Documents/seminars/2012-nrcan/next_generation_standards_for_housing_energy_efficiency.pdf

8. Fanney, A.H. et al. 2015, Net-zero and beyond !Design and performance of NIST's net-zero energy residential test facility, Energy and Buildings vol. 101, pp.95-109.

9. Iolova, K., M. Bernier and R. Charneux. 2007. Detailed energy simulations of a net zero energy triplex in Montreal, 2nd Canadian Solar Buildings Conference, 10-14 June, Calgary, Canada, m1-1-2, 10 pages.

10. Atabaki, N., Bernier, M. 2005. A Semi-empirical model for residential electric hot water tanks, ASHRAE Transactions, vol. 111, Part 1, pp.159-168.

11. Laperrière, A. Three elements electric water heater. 2011 ACEEE Hot Water Forum.

12. Bouthillier, P., Bernier, M. 1995. A new model to simulate the thermal performance of electric water heaters, Canadian Electrical Association - Technical conference - Electricity '95, Vancouver, Canada, 20 pages.

13. Extrait d'une presentation de Sonja Winkelman. 2016. Net Zero Homes: An Action Plan. Présenté lors d'un séminaire du Smart Net-Zero Energy Buildings Strategic Research Network – 3 décembre 2016.

14. Moreau, A. Le chauffage électrique hors-pointe avec accumulation thermique - résultats de l'édifice Price de Québec, Infobec, Novembre 2003.