

Séminaire Bâtiment Durable :

La pompe à chaleur, du potentiel à Bruxelles !

4 mars 2016

Bruxelles Environnement

LA POMPE À CHALEUR EN RÉNOVATION : DEUX CAS CONCRETS EN LOGEMENT INDIVIDUEL

Eric DUMONT, assistant professeur
Université de Mons – Faculté Polytechnique



BRUXELLES ENVIRONNEMENT

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

Objectifs de la présentation

- Présenter deux cas concrets de PAC de technologies différentes utilisées lors de la rénovation de deux maisons individuelles
- Présenter une étude énergétique/économique d'un des deux cas qui compare l'isolation de l'habitation et/ou l'installation d'une PAC



Plan de l'exposé

1. Introduction
2. Suivi d'une PAC haute température (cycle à injection)
3. Suivi d'une PAC haute température (cycle en cascade)
4. Etude énergétique et économique
5. Conclusions

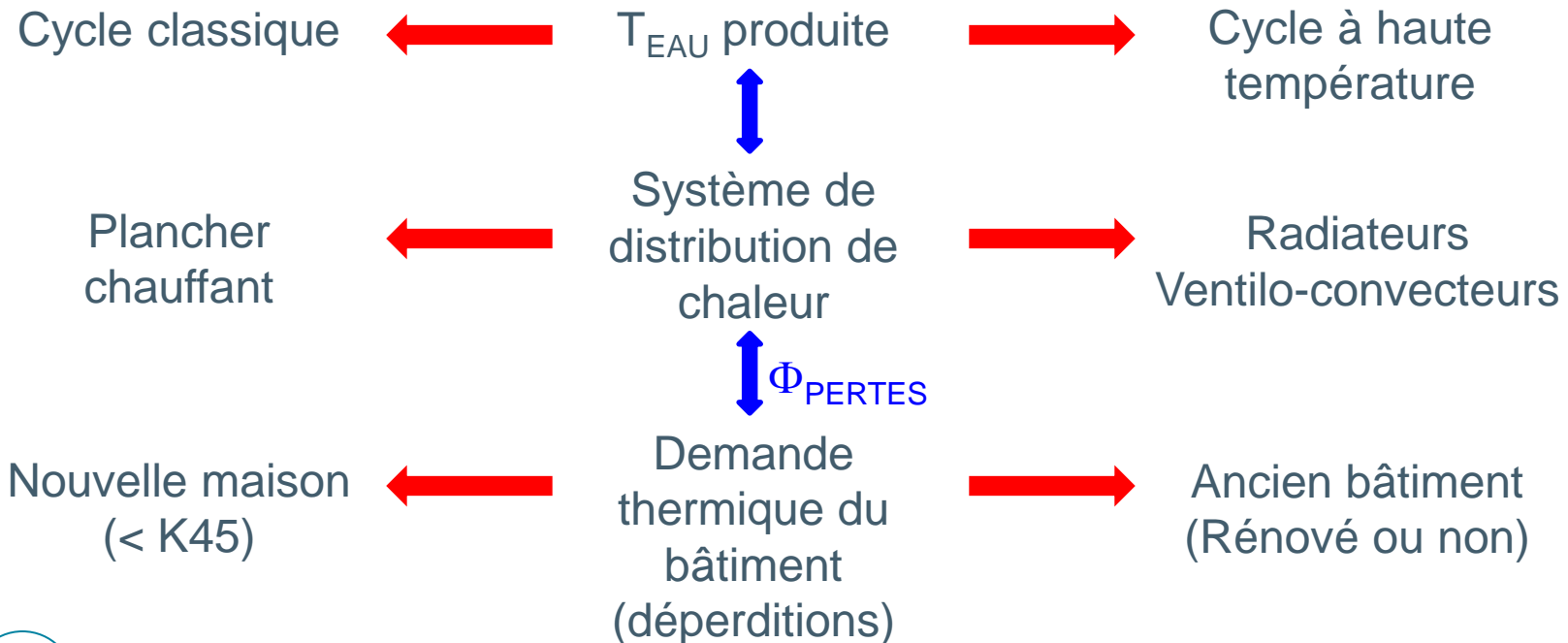


Introduction



PAC et rénovation

- C'est la combinaison PAC - système de distribution de chaleur qui fixera la température de l'eau produite !
- Si la température de l'eau produite n'est pas suffisante pour le niveau d'isolation de la maison, la température intérieure de confort ne sera pas atteinte !



PAC et rénovation

- Première solution

- Changer les émetteurs de chaleur à haute température (60-70°C) par des émetteurs à moyenne température (ventilo-convecteurs : 40-50°C) ou à basse température (plancher chauffant : 30-35°C)

- Investissement important (isolation de l'habitation, changement d'émetteur, investissement dans une PAC)

- Technologie :

- PAC « standard » avec un cycle thermodynamique « classique » (plancher chauffant)

- PAC haute température avec cycle plus complexe (ventilo-convecteurs)



PAC et rénovation

- Deuxième solution

- Placer un système de chauffage qui utilise une pompe à chaleur mais avec les émetteurs de chaleur haute température existants (60-70°C)

- Investissement moindre (isolation légère ou pas d'isolation, investissement dans une PAC)

- Technologie :

 - PAC haute température avec cycle plus complexe

 - PAC hybride

 - PAC à absorption/adsorption

 - PAC à moteur à gaz



Suivi d'une PAC haute température (cycle à injection)



Introduction

- PAC installée dans une maison 4 façades faiblement isolée bâtie en 1995 (K100) à Châtelet : $\Phi_{\text{PERTES}} (T_{\text{EXT}} = -10^{\circ}\text{C}) = 11 \text{ kW}$
- La PAC est utilisée pour le chauffage et pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS, ballon de 200 l)



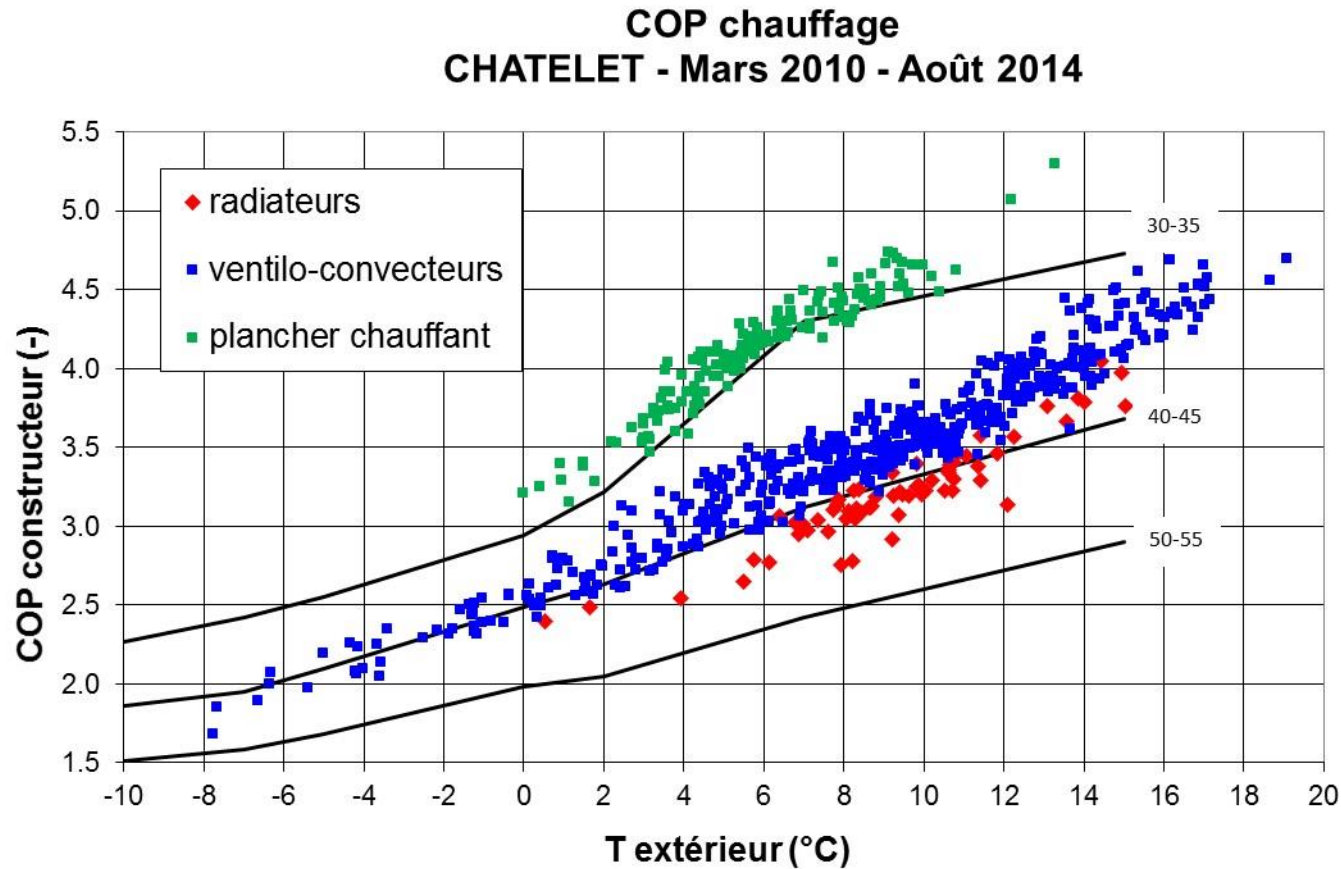
Introduction

- Monitoring d'une PAC air-eau (AJ TECH/ARKTEOS ZURAN 100) qui utilise un cycle à injection avec compresseur à vitesse variable
- Flux chaud nominal PAC = 12 kW
- La PAC a été complètement instrumentée pour des mesures détaillées en avril 2010



Résultats en chauffage

- COP journaliers – période mars 2010 – août 2014



Résultats en chauffage

- Résultats annuels pour les saisons 2010-2011 et 2011-2012 (ventilo-convecteurs)

Period	E _{HP} (kWh)	E _{WP} (kWh)	E _{DEF} (kWh)	E _{SB} (kWh)	E _{CONV} (kWh)	E _{RES} (kWh)	Q (kWh)	COP _{SYS} (-)	COP _{TOT} (-)
1/7/2010-30/6/2011	4952.53	148.20	54.20	205.31	72.59	2.31	15060.48	2.95	2.81
1/7/2011-30/6/2012	5034.21	178.70	20.46	200.51	86.25	0.00	16405.16	3.15	3.02

94.5% 3.0% 0.7% 3.8%
 PAC Circ. Deg. Stand-by

PER = 1.28 à 1.37

- Résultats annuels pour la saison 2013-2014 (plancher chauffant)

Period	E _{HP} (kWh)	E _{WP} (kWh)	E _{DEF} (kWh)	E _{SB} (kWh)	E _{RES} (kWh)	Q (kWh)	COP _{SYS} (-)	COP _{TOT} (-)
1/9/2013-31/8/2014	2337.37	110.61	14.35	232.91	0.00	10013.06	4.09	3.72

86.7% 4.1% 0.6% 8.6%
 PAC Circ. Deg. Stand-by

PER = 1.69



Résultats production ECS

- Résultats annuels pour les saisons 2010-2011, 2011-2012 et 2013-2014

Period	E_{HP} (kWh)	E_{WP} (kWh)	Q (kWh)	COP_{SYS} (-)
1/7/2010-30/6/2011	713.41	19.97	1828.88	2.49
1/7/2011-30/6/2012	653.59	17.07	1714.26	2.56
1/9/2013-31/8/2014	763.12	20.84	2057.44	2.62

97.4%

2.6%

PAC

Circ.

PER = 1.13 à 1.19



Suivi d'une PAC haute température (cycle en cascade)



Introduction

- PAC installée dans une maison 4 façades non isolée bâtie en 1973 (K98) à Froyennes
- La PAC est utilisée pour le chauffage (avec les radiateurs existants) et pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)
- Flux chaud nominal PAC = 14.5 kW



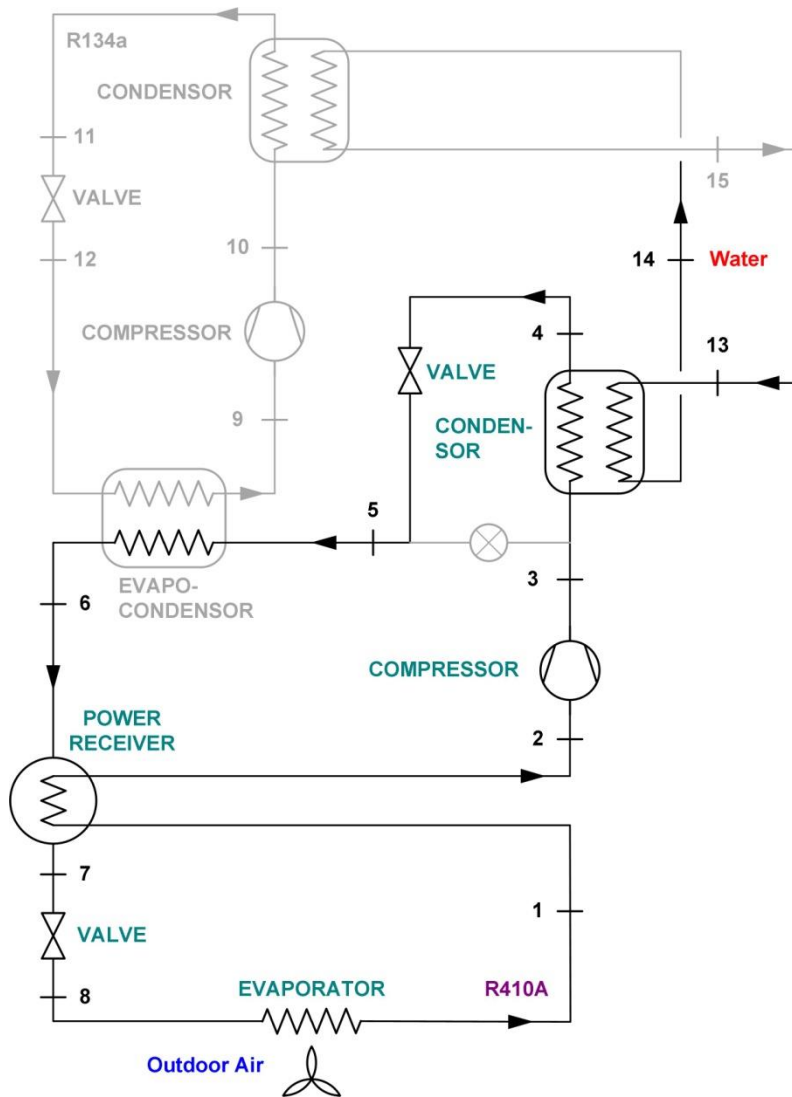
Introduction

- PAC air-eau (AJ-TECH) qui utilise un cycle en cascade original avec compresseur à vitesse variable
- La chaudière au gaz a été conservée pour les jours les plus froids (fonctionnement séparé)
- La PAC a été complètement instrumentée pour des mesures détaillées en septembre 2013



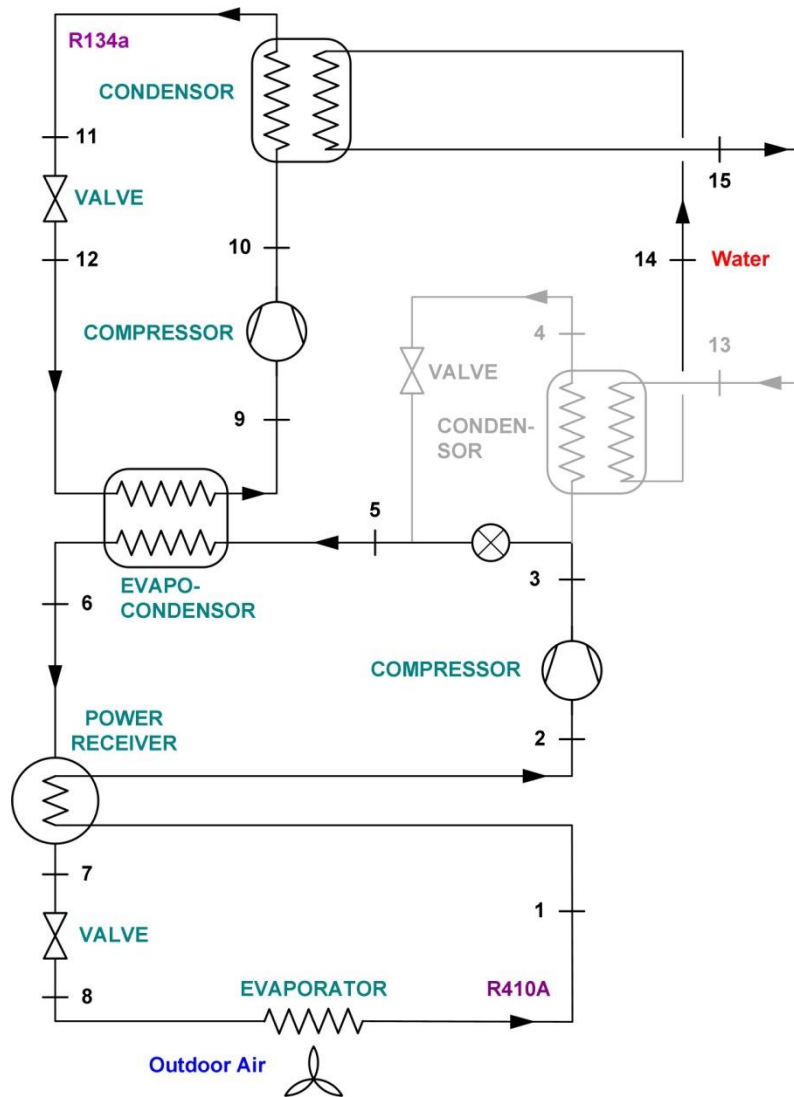
Fonctionnement

Mode #1



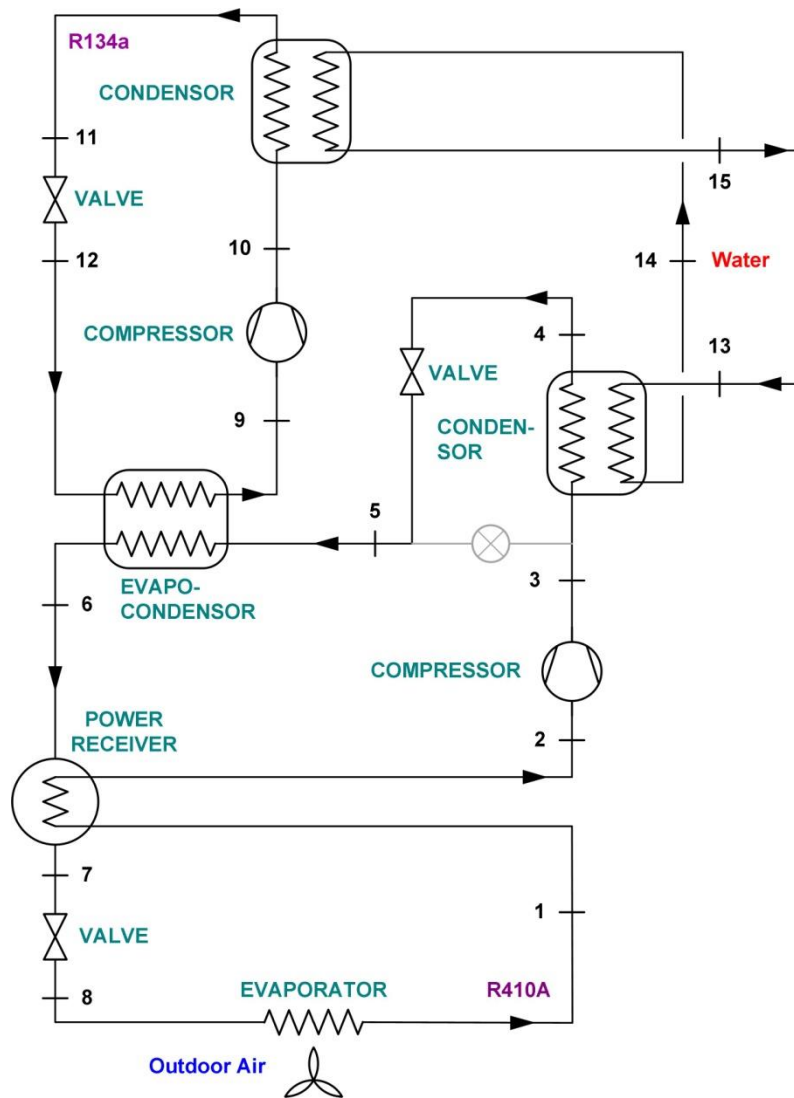
Fonctionnement

Mode #3



Fonctionnement

Mode #2



Régulation

- Combinaison des modes de la PAC et de la température d'eau à l'entrée des radiateurs (♦)
- Loi d'eau : $T_{EAU} = 60 - 1.75 * T_{EXT}$

		Water temperature (°C)						
		<25	25-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85
T outdoor (°C)	<-15	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3	Mode 3	Mode 3 ♦
	-15 to -10	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3	Mode 3	Mode 3 ♦
	-9 to -5	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3 ♦	Mode 3
	-4 to 0	Mode 1	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 3 ♦	Mode 3	Mode 3
	1 to 5	Mode 1	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2 ♦	Mode 3	Mode 3	Mode 3
	6 to 10	Mode 1	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2 ♦	Mode 1 or 2 ♦	Mode 3	Mode 3	Mode 3
	11 to 15	Mode 1	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2 ♦	Mode 1 or 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3
	>15	Mode 1	Mode 1 or 2 ♦	Mode 1 or 2	Mode 1 or 2	Mode 3	Mode 3	Mode 3

Mode 1

Mode 1 or 2

Mode 2

Mode 3



Résultats en chauffage

- Résultats annuels pour la période octobre 2013 – septembre 2014

Month	E_{HP} (kWh)	E_{WP} (kWh)	E_{DEF} (kWh)	E_{SB} (kWh)	Q (kWh)	$COPM_{SYS}$ (-)	$COPM_{TOT}$ (-)
October	135.1	4.0	0.0	7.0	521.5	3.75	3.57
November	650.9	15.5	1.2	15.9	2229.2	3.35	3.26
December	963.2	18.5	2.0	17.3	2953.3	3.01	2.95
January	942.4	19.9	1.1	16.2	3039.4	3.16	3.10
February	795.6	18.5	0.4	14.2	2679.1	3.29	3.23
March	313.7	8.4	0.2	19.9	1074.3	3.34	3.14
April	188.3	6.1	0.0	15.6	714.6	3.68	3.40
May	154.8	5.1	0.0	14.5	612.1	3.83	3.51
June	34.3	1.3	0.0	12.8	132.4	3.71	2.74
July	8.6	0.4	0.0	10.2	42.1	4.65	2.19
August	14.4	0.5	0.0	15.2	66.3	4.44	2.21
September	7.1	0.2	0.0	15.0	31.1	4.25	1.40
Year	4208.2	98.5	4.9	173.5	14095.3	3.27	3.14

93.8%

2.2%

0.1%

3.9%

PAC

Circ.

Dégivrage

Stand-by

PER = 1.43



Résultats production ECS

- Résultats annuels pour la période octobre 2013 – septembre 2014
- $T_{ECS} = 55^{\circ}\text{C}$ (semaine) ou 65°C (week-end)

Month	E_{HP} (kWh)	E_{WP} (kWh)	Q (kWh)	$COPM_{sys}$ (-)
October	49.9	1.5	125.5	2.45
November	110.0	3.2	285.5	2.52
December	128.8	3.8	338.5	2.55
January	102.7	3.0	271.2	2.57
February	114.5	3.5	317.1	2.69
March	74.8	2.4	209.7	2.72
April	79.7	2.7	228.2	2.77
May	97.5	3.4	285.9	2.83
June	79.6	2.9	233.8	2.84
July	79.0	2.7	220.0	2.70
August	76.5	3.1	223.3	2.80
September	64.9	2.2	174.0	2.59
Year	1057.7	34.1	2912.6	2.67

96.9% 3.1%

PAC

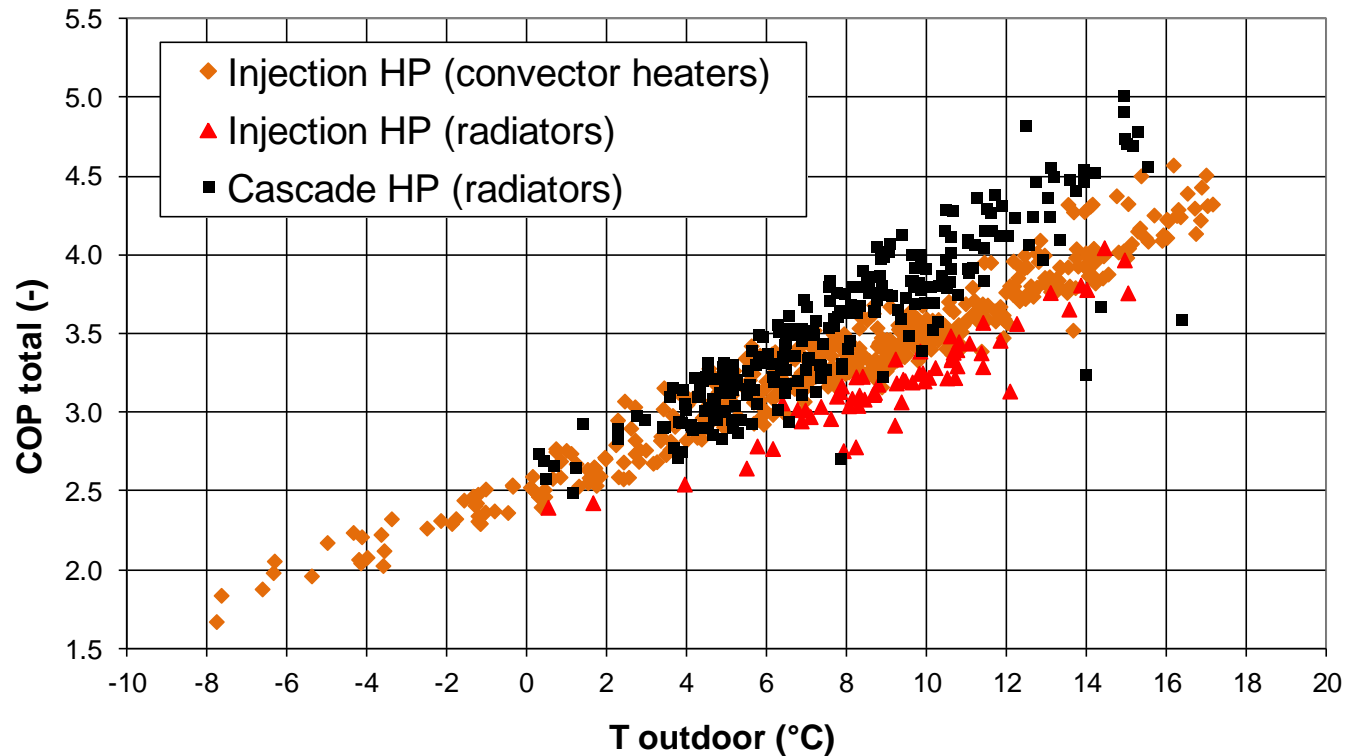
Circ.

PER = 1.21



Comparaison Cascade-Injection

- COP journalier (sans énergie de Stand-by, en chauffage)
- PAC avec cycle en cascade meilleur que PAC avec cycle à injection



Etude énergétique et économique



Etude énergétique

- Le comportement thermique de la maison a été modélisé grâce au logiciel TRNSYS
 - modèle thermique dynamique (3 zones)
 - modèle stationnaire de la chaudière et de la PAC
 - modèle dynamique des radiateurs
- Résultats comparables aux données disponibles :

Q (kWh/year)	House as is	Refurbished
Gas bill (2010)	30758	/
Energy Audit (2013)	29684	18975
TRNSYS (Ideal control T=20°C)	29837	21500
TRNSYS (Gas boiler control T=19-21°C)	31656	/
TRNSYS (HP control T=19-21°C)	33778	/

Le taux d'infiltration d'air extérieur n'est pas facile à déterminer !

Les données météo ne sont pas les mêmes !



Etude énergétique

- Différents scénarios d'isolation ont été modélisés sous TRNSYS

Combinaison d'une ou de plusieurs mesures :

-Isolation du toit (passage de 6 à 24 cm laine de cellulose) ('Roof')

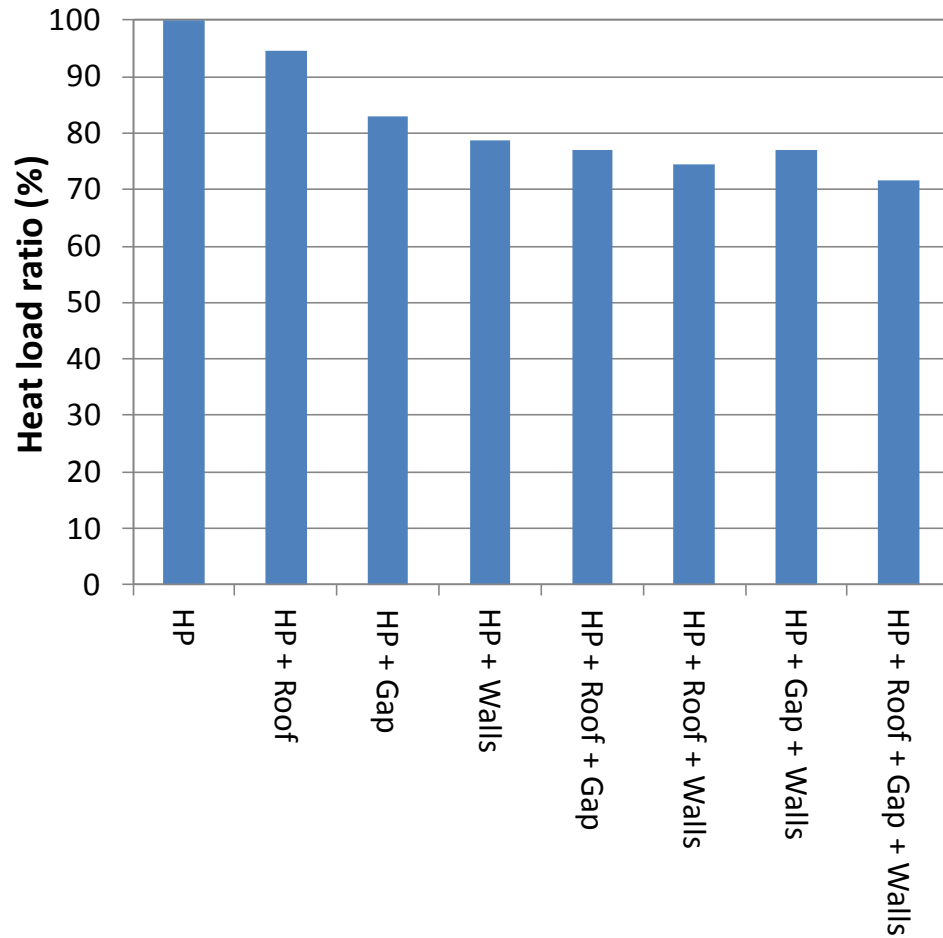
-Isolation de la coulisse entre les blocs de béton et les briques de parement (6 cm d'isolant) ('gap')

-Isolation extérieure des murs (8 cm d'EPS) ('walls')

- VMC avec récupération de chaleur installée/non installée dans la maison ('CMV')



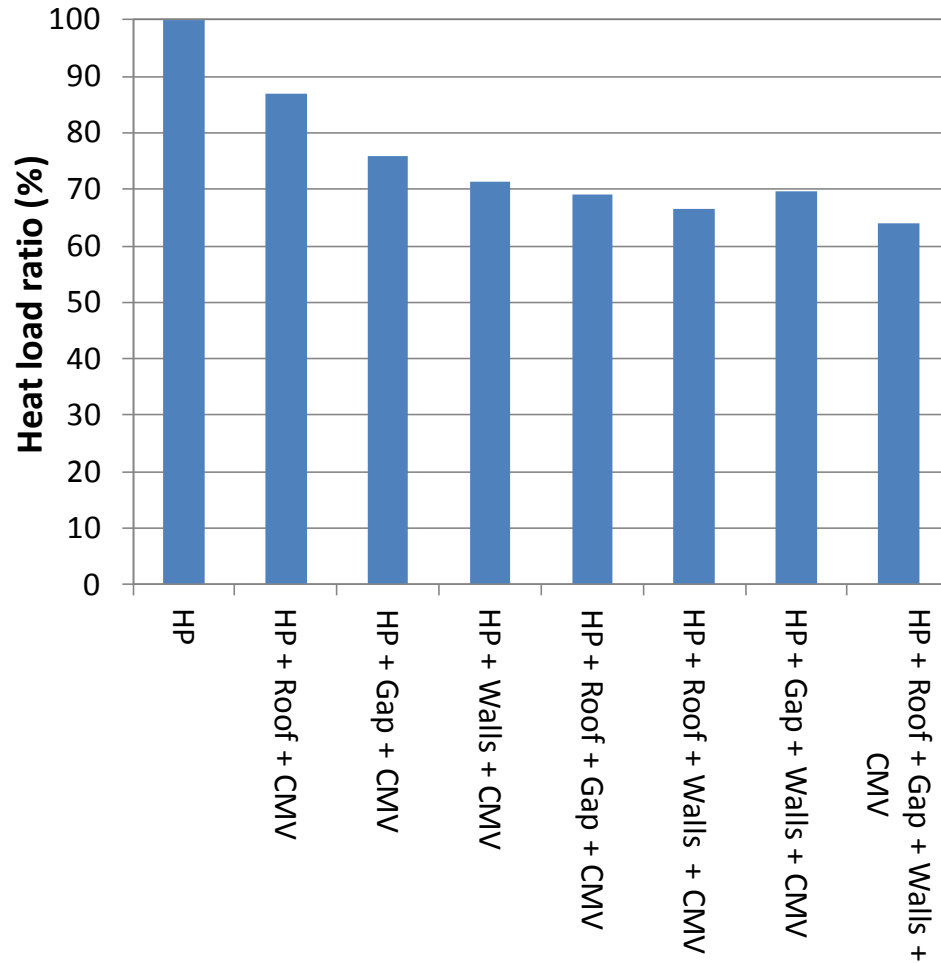
Etude énergétique



Case	Q (kWh/year)	SPF HP (-)
HP	33778	3.01
HP + Roof	31954	3.01
HP + Gap	28036	3.03
HP + Walls	26542	3.03
HP + Roof + Gap	25971	3.04
HP + Roof + Walls	25125	3.04
HP + Gap + Walls	26016	3.03
HP + Roof + Gap + Walls	24216	3.04



Etude énergétique



Case	Q (kWh/year)	SPF HP (-)
HP	33778	3.01
HP + Roof + CMV	29333	3.03
HP + Gap + CMV	25586	3.04
HP + Walls + CMV	24070	3.05
HP + Roof + Gap + CMV	23355	3.05
HP + Roof + Walls + CMV	22507	3.05
HP + Gap + Walls + CMV	23554	3.05
HP + Roof + Gap + Walls + CMV	21581	3.06

Le taux d'infiltration d'air extérieur a diminué !



Etude énergétique

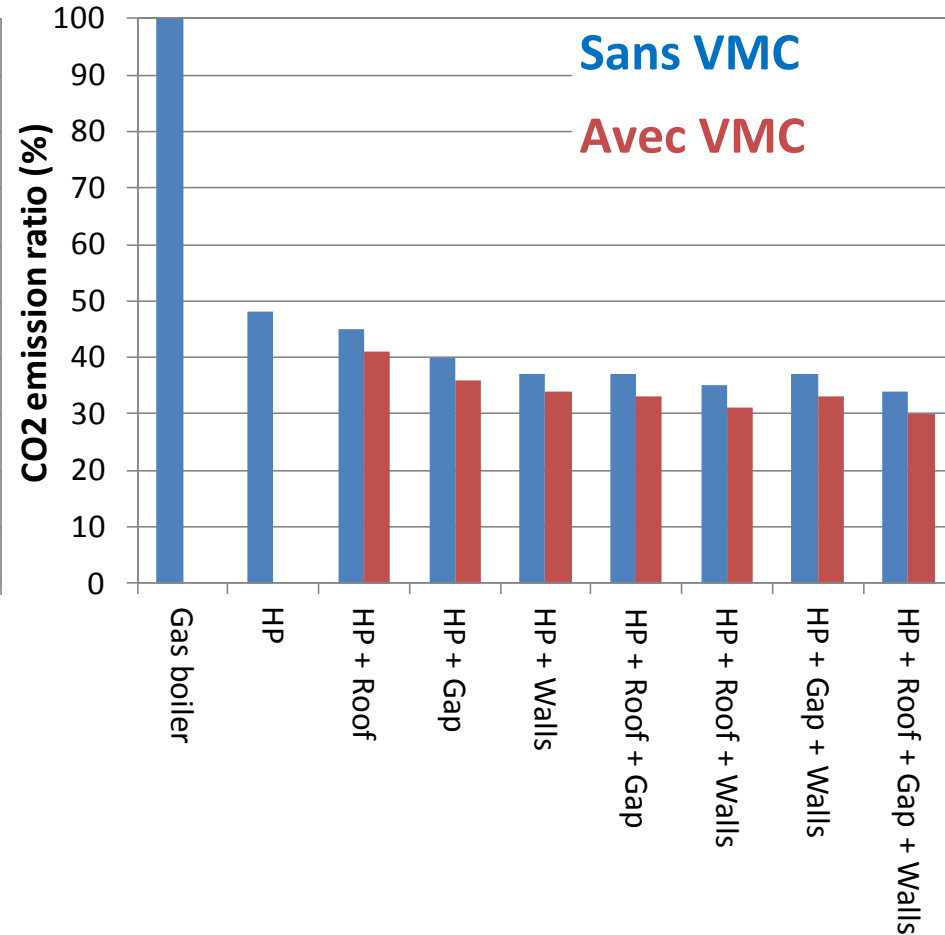
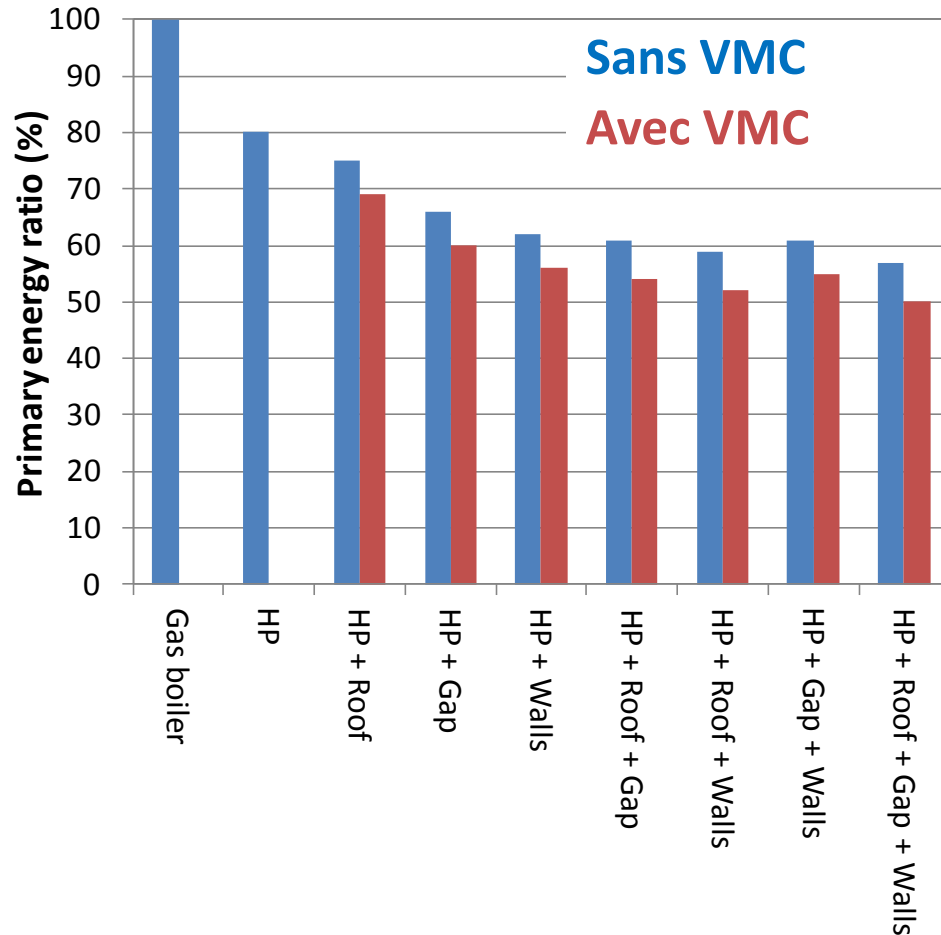
PER

1 kWh Elec = 2.5 kWh Energie primaire

Emissions de CO₂

0.347 kg CO₂/kWh Elec

0.231 kg CO₂/kWh Gaz



Etude économique

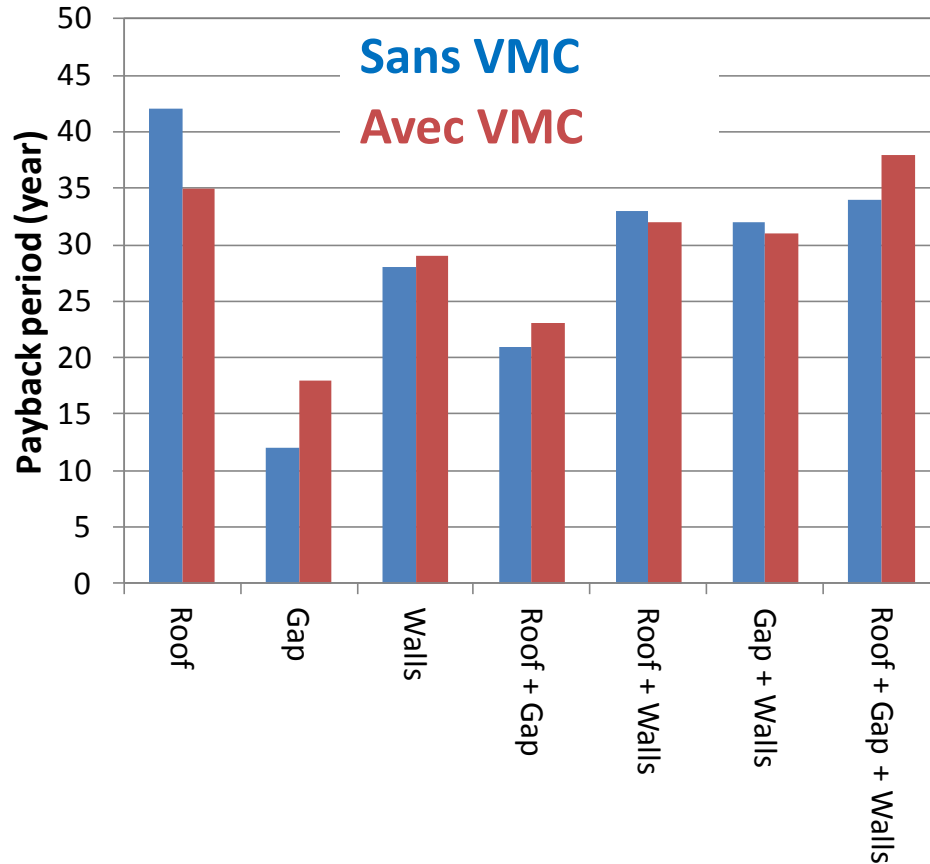
- Coûts d'investissement : rapport Région wallonne CO-ZEB 2013 (TVAC)
 - PAC : 15000 Eur
 - Isolation du toit : 12381 Eur
 - Isolation de la coulisserie : 6202 Eur
 - Isolation extérieure des murs : 27152 Eur
 - VMC : 9051 Eur
- Prix de l'énergie :
 - Gaz : 0.08 Eur/kWh
 - Electricité : 0.19 Eur/kWh
- Pas de prise en compte des subsides, ni des coûts d'entretien
- Le temps de retour simple est calculé par rapport au scénario de base chaudière au gaz



Etude économique

Scénarios d'isolation

Taux d'inflation du gaz de 3%

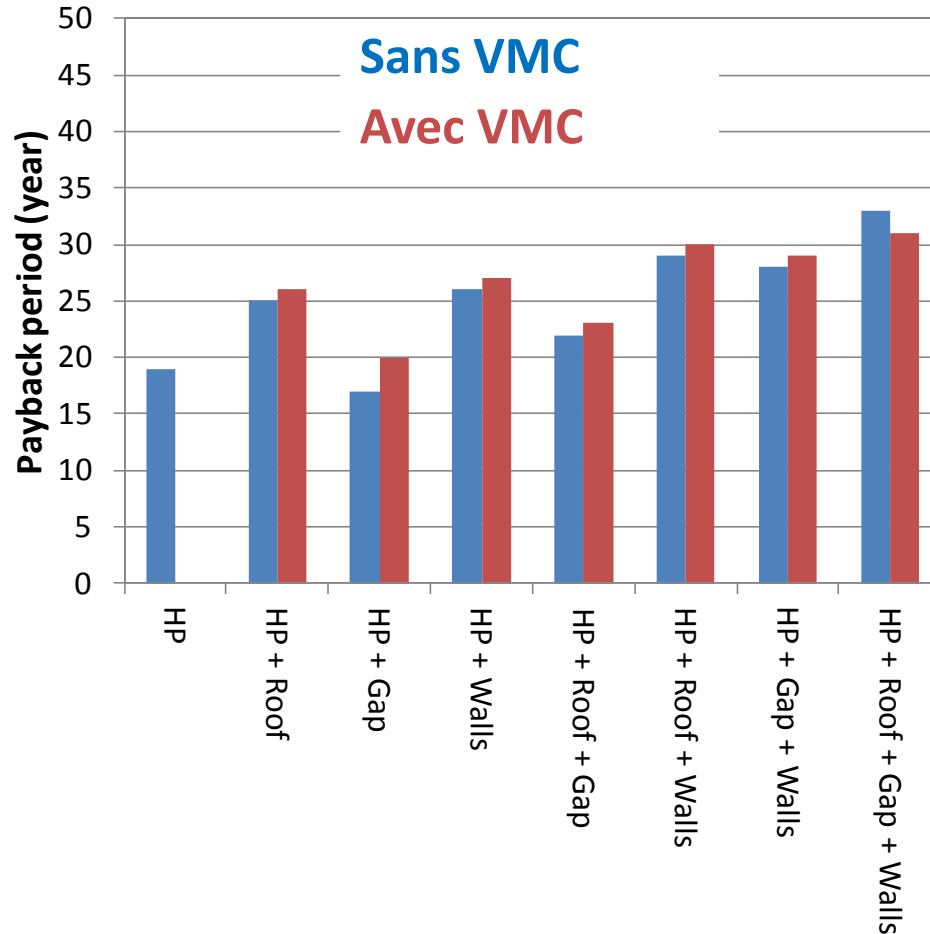


Etude économique

Scénarios d'isolation + PAC

Taux d'inflation du gaz : 3%

Taux d'inflation de l'électricité : 3%



Conclusions



Conclusions

- Deux cas concrets d'utilisation de PAC en rénovation :
- **Premier cas** : on rénove les émetteurs de chaleur
 - 1) Ventilo-convecteurs + PAC air/eau à injection
 - Investissement dans une PAC mais faible investissement dans les émetteurs : SPF=2.81 à 3.02 (PER=1.28 à 1.37)
 - 2) Plancher chauffant + PAC air/eau à injection
 - Investissement dans une PAC et gros investissement dans les émetteurs : SPF=3.72 (PER=1.69)
 - Eau chaude sanitaire : SPF=2.49 à 2.62 (PER=1.13 à 1.19)



Conclusions

- **Deuxième cas** : on place uniquement une PAC
 - Investissement dans une PAC mais pas d'autre investissement : SPF=3.14 (PER=1.43)
 - Eau chaude sanitaire : SPF=2.67 (PER=1.21)
- **Isolation** : toujours utile de réduire sa consommation.
 - Selon le scénario, on peut diminuer la consommation de 5% à 35% mais les temps de retour sur investissement sont longs.
 - La combinaison PAC ou PAC+isolation peut donner des temps de retour plus courts mais dépend beaucoup des coûts des énergies !



Contact

Eric DUMONT

Fonction : assistant professeur – Université de Mons

Coordonnées : UMONS - Faculté Polytechnique
Service de Thermodynamique
31 Boulevard Dolez
B-7000 MONS

☎ : 065/37 42 04

E-mail : eric.dumont@umons.ac.be

