



EDF R&D

ENERGIE DANS LES BATIMENTS ET LES TERRITOIRES

SIMULATION ENERGETIQUE ET BATI

Avenue des Renardières - Ecuelles - 77818 MORET SUR LOING CEDEX, +33 (1) 60 73 60 73

3 novembre 2011

Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel

Sila FILFLI

Hassan BOUIA


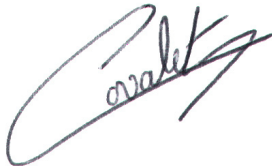

Cristian MURESAN

H-E14-2011-01955-FR	1.0		
<p>La plate-forme de modélisation OSMOSYS développées au sein du département ENERBAT intègre aujourd'hui essentiellement des modèles unitaires, de composants de bâtiment. Ces modèles élémentaires résultent d'un travail de capitalisation, portage et améliorations des modèles existants (modèles de Clim2000, CA-SIS, TRNSYS, SIMBAD, ...). La modélisation des solutions techniques passe par l'assemblage des modèles élémentaires. Le développement des macro-modèles demande un travail minutieux d'intégration des modèles de gestion/régulation et de vérification du comportement dynamique de l'ensemble. Il requiert une bonne connaissance technologique ainsi qu'une bonne maîtrise des problèmes numériques susceptibles de surgir.</p> <p>La plupart des outils systémiques de simulation dynamique pour le bâtiment capitalisent uniquement les modèles élémentaires. Une des ambitions de la plate-forme OSMOSYS est de renforcer la capitalisation des modélisations des solutions techniques afin de faciliter leur réutilisation ainsi que le développement des outils simplifiés dédiés aux services énergétiques d'EDF.</p> <p>L'objectif de ce livrable est de produire des assemblages de modèles élémentaires correspondants à des solutions techniques. Il a le but de démontrer l'assemblage aisé et de vulgariser le développement de modèles élémentaires d'OSMOSYS grâce à la standardisation des connexions.</p> <p>Grâce aux avantages du langage Modelica (langage neutre, standardisé, acausal, basé sur la physique, orienté objet), l'assemblage des modèles OSMOSYS est facilité par rapport aux autres outils de simulation du comportement énergétique des bâtiments. Les assemblages exposés et intégrés au sein de la plate-forme OSMOSYS constituent des cas de base permettant aux utilisateurs de passer à des configurations plus spécifiques, plus complexes.</p>			

Accessibilité : Restreinte	Mention Spéciale :	Déclassement : 19/08/2014
Page de garde	Page I sur III	©EDF SA 2011

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Circuit de validation

Auteur	Sila FILFLI	27/10/11	
Vérificateur	Denis COVALET	27/10/11	
Approbateur	Valérie DABRETEAU	31/10/11	

Pré-diffusion

Destinataire
Aurelia ESTEVE

Code Affaire	
---------------------	--

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Liste de diffusion

Groupe destinataire

E14-SEEB	

[illegible]

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

AVERTISSEMENT / CAUTION

L'accès à ce document, ainsi que son utilisation, sont strictement limités aux personnes expressément habilitées par EDF.

EDF ne pourra être tenu responsable, au titre d'une action en responsabilité contractuelle, en responsabilité délictuelle ou de tout autre action, de tout dommage direct ou indirect, ou de quelque nature qu'il soit, ou de tout préjudice, notamment, de nature financier ou commercial, résultant de l'utilisation d'une quelconque information contenue dans ce document.

Les données et informations contenues dans ce document sont fournies "en l'état" sans aucune garantie expresse ou tacite de quelque nature que ce soit.

Toute modification, reproduction, extraction d'éléments, réutilisation de tout ou partie de ce document sans autorisation préalable écrite d'EDF ainsi que toute diffusion externe à EDF du présent document ou des informations qu'il contient est strictement interdite sous peine de sanctions.

The access to this document and its use are strictly limited to the persons expressly authorized to do so by EDF.

EDF shall not be deemed liable as a consequence of any action, for any direct or indirect damage, including, among others, commercial or financial loss arising from the use of any information contained in this document.

This document and the information contained therein are provided "as are" without any warranty of any kind, either expressed or implied.

Any total or partial modification, reproduction, new use, distribution or extraction of elements of this document or its content, without the express and prior written consent of EDF is strictly forbidden. Failure to comply to the above provisions will expose to sanctions.

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Synthèse

CONTEXTE

La plate-forme de modélisation OSMOSYS développée au sein du département ENERBAT intègre aujourd'hui essentiellement des modèles unitaires, de composants de bâtiment. Ces modèles élémentaires résultent d'un travail de capitalisation, portage et améliorations des modèles existants (modèles de Clim2000, CA-SIS, TRNSYS, SIMBAD, ...). La modélisation des solutions techniques passe par l'assemblage des modèles élémentaires. Le développement des macro-modèles demande un travail minutieux d'intégration des modèles de gestion/régulation et de vérification du comportement dynamique de l'ensemble. Il requiert une bonne connaissance technologique ainsi qu'une bonne maîtrise des problèmes numériques susceptibles de surgir.

La plupart des outils systémiques de simulation dynamique pour le bâtiment capitalisent uniquement les modèles élémentaires. Une des ambitions de la plate-forme OSMOSYS est de renforcer la capitalisation des modélisations des solutions techniques afin de faciliter leur réutilisation ainsi que le développement des outils simplifiés dédiés aux services énergétiques d'EDF.

OBJECTIFS

L'objectif de ce livrable principal du projet de modélisation de bâtiments performants P10TP est de produire des assemblages de modèles élémentaires correspondants à des solutions techniques. Il a pour but de démontrer la facilité des assemblages, de donner des cas types assemblés à titre d'exemple pour réutilisation et de vulgariser le développement de modèles élémentaires d'OSMOSYS grâce à la standardisation des connexions et au langage de programmation.

Grâce aux avantages du langage Modelica (langage neutre, standardisé, acausal, basé sur la physique, orienté objet), l'assemblage des modèles OSMOSYS est facilité par rapport aux autres outils de simulation de comportement énergétique des bâtiments. Les assemblages exposés et intégrés au sein de la plate-forme OSMOSYS constituent des cas de base permettant aux utilisateurs de passer à des configurations plus spécifiques, plus complexes. Ces assemblages ont été définis avec les utilisateurs de la plate-forme OSMOSYS du groupe résidentiel à ENERBAT.

RESULTATS

Les solutions techniques modélisées et intégrées au sein de la plate-forme OSMOSYS concernent le secteur résidentiel :

1. maison individuelle Mozart + ECS thermodynamique + convecteurs électriques
2. maison individuelle Mozart + ballon ECS électrique + convecteurs électriques
3. maison individuelle Mozart + ECS (capteur solaire + appoint électrique + stockage) + convecteurs électriques
4. maison individuelle Mozart + PAC absorption + radiateurs
5. maison individuelle Mozart + PAC air/eau + radiateurs
6. maison individuelle Mozart + chaudière gaz + radiateurs + réseau de distribution
7. maison individuelle Mozart + poêle à bois

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Pour les nouveaux modèles qui n'existaient pas auparavant dans la plate-forme OSMOSYS, les principes de modélisation seront donnés dans ce livrable. Ces nouveaux composants sont modélisés et validés unitairement. Ensuite, l'assemblage fait le lien entre les données climatiques, la maison individuelle, le système de production de chauffage et d'ECS, le système de distribution et le système d'émission. Quelques résultats sont fournis pour montrer le bon ordre de grandeur de l'évolution de consommation, de température intérieure ou d'autre types de sorties spécifiques à chaque type d'assemblage.

Quelques précautions générales sont à prendre en considération lors de la lecture de cette note et de l'utilisation ultérieure des assemblages :

- la note n'a pas le but de comparer les solutions techniques modélisées mais juste de montrer la faisabilité de l'assemblage,
- les solutions techniques modélisées ne doivent pas être assimilées à des solutions réglementaires malgré la présence de fortes exigences énergétiques par composants (exigences BBC essentiellement pour l'enveloppe du bâtiment) car elles ne sont pas complètes (elles n'intègrent pas tous les usages réglementaires),
- la majorité des modèles employés sont des modèles de comportement (et non pas de conception) adaptés uniquement à l'évaluation des performances énergétiques annuelles. Certains modèles et assemblages donneront également une bonne satisfaction dans la prédiction des appels de puissance.

CONCLUSIONS

Ce livrable a montré la faisabilité des assemblages bâtiment monozone-système sous Dymola. Le temps de simulation est satisfaisant (de l'ordre de 1 à 3 minutes). Les axes principaux constituant la boucle bâti-système sont présentés :

- Maison individuelle Mozart avec les variantes en fonction des exigences d'enveloppe, du climat et du mode de régulation (les fonctions de régulation interviennent au niveau central et au niveau terminal).
- Gestion (scénarii, ventilation, infiltrations, apports internes,...).
- L'eau chaude sanitaire élément indispensable dans les maisons individuelles avec différentes sources (solaire, effet joule, thermodynamique, ...).
- Le système de production notamment la PAC (air/air, air/eau, ...) et la chaudière (condensation, classique, ...), le poêle à bois.
- Les systèmes d'émissions notamment les radiateurs dans le parc résidentiel.
- Un réseau de distribution qui relie le système de production au système d'émission.

La richesse de modèles élémentaires OSMOSYS permet l'adaptation des configurations modélisées à différents besoins « métiers » : modélisation des appels de puissance, modélisation en appui aux évolutions réglementaires et normatives, études technico-économiques, études paramétriques et d'analyse de sensibilité, ...

PERSPECTIVES

Certaines règles de modélisation ont été revisitées et seront approfondies dans un travail futur (pas de temps, inertie des composants, ...). Les travaux futurs d'assemblage des modèles s'attarderont

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
--------------------	---	--

également sur la modélisation des systèmes énergétiques plus complexes (par exemple PAC 3 en 1, plancher chauffant, soufflage en plenum,...) et sur l'intégration des systèmes énergétiques dans une maison individuelle multizones. Ce travail de capitalisation des modélisations de solutions techniques sera généralisé et perpétué.

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Executive Summary

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Sommaire / Summary

PAGE DE GARDE	I
CIRCUIT DE VALIDATION	II
PRE-DIFFUSION.....	II
LISTE DE DIFFUSION	III
AVERTISSEMENT / CAUTION	1
SYNTHESE	2
EXECUTIVE SUMMARY.....	5
SOMMAIRE / SUMMARY	6
1. INTRODUCTION.....	8
2. MAISON INDIVIDUELLE MOZART + ECS THERMODYNAMIQUE + CONVECTEURS ELECTRIQUES	10
2.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	10
2.2. MODELISATION DU BALLON ECS	11
2.3. PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	12
2.4. RESULTATS DE SIMULATION	12
3. MAISON INDIVIDUELLE MOZART + BALLON ECS ELECTRIQUE + CONVECTEURS ELECTRIQUES	15
3.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	15
3.2. MODELISATION DES COMPOSANTS	15
3.2.1. <i>Scénario préconisé par l'AICVF</i>	15
3.3. RESULTATS	16
3.3.1. <i>Consommations énergétiques</i>	17
3.3.2. <i>Puissance</i>	17
3.3.3. <i>Conclusions et perspectives</i>	18
3.4. REFERENCES.....	18
4. MAISON INDIVIDUELLE MOZART + BALLON ECS (CAPTEUR SOLAIRE + APPOINT ELECTRIQUE + STOCKAGE) + CONVECTEURS ELECTRIQUES	18
4.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	18
4.2. MODELISATION DES COMPOSANTS	19
4.2.1. <i>Ballon</i>	19
4.2.2. <i>Capteur solaire</i>	19
4.2.2.1. <i>Domaine d'application</i>	19
4.2.2.2. <i>Description générale</i>	19
4.2.2.3. <i>Modèle</i>	20
4.3. PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	20
4.1. RESULTATS	21
4.2. REFERENCES.....	21
5. MAISON INDIVIDUELLE MOZART + PAC ABSORPTION + RADIATEURS.....	22
5.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	22
5.2. MODELISATION DES COMPOSANTS - RADIATEUR.....	22
5.2.1. <i>Domaine d'application</i>	22

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

5.2.2.	<i>Description générale</i>	22
5.2.3.	<i>Modèle</i>	23
5.3.	PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	24
5.4.	VALIDATION UNITAIRE DU MODELE DE RADIATEUR	25
5.4.1.	<i>Améliorations futures</i>	26
5.4.2.	<i>Références</i>	26
5.5.	MODELISATION DES COMPOSANTS – PAC A ABSORPTION	26
5.6.	RESULTATS DE SIMULATION	26
6.	MAISON INDIVIDUELLE MOZART + PAC AIR/EAU + RADIATEURS	26
6.1.	DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	26
6.2.	MODELISATION DES COMPOSANTS	27
6.2.1.	<i>PAC air/eau</i>	27
6.2.2.	<i>Radiateur</i>	27
6.2.3.	<i>Réseau</i>	27
6.3.	PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	27
6.4.	RESULTATS DE SIMULATION	28
7.	MAISON INDIVIDUELLE MOZART + CHAUDIERE GAZ + RADIATEURS + RESEAU DE DISTRIBUTION	29
7.1.	DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	29
7.2.	MODELISATION DES COMPOSANTS	29
7.2.1.	<i>Radiateurs</i>	29
7.2.2.	<i>Chaudière gaz</i>	29
7.2.3.	<i>Réseau de distribution</i>	29
7.3.	PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	29
7.4.	RESULTATS DE SIMULATION	31
8.	MAISON INDIVIDUELLE MOZART + POELE A BOIS	32
8.1.	DESCRIPTION GENERALE DE LA CONFIGURATION	32
8.2.	MODELISATION DE POELE A BUCHES	32
8.2.1.	<i>Domaine technologique</i>	32
8.2.1.	<i>Description générale</i>	32
8.2.2.	<i>Bilan de matière sous différentes phases en fonction du temps</i>	34
8.3.	PARAMETRES GENERAUX DE LA SIMULATION	35
8.4.	RESULTATS DE SIMULATION	36
8.5.	AMELIORATIONS FUTURES	37
8.6.	REFERENCES	37
9.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	38

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

1. Introduction

L'objectif du livrable est de produire des modélisations de solutions techniques de bâtiment à partir de la plate-forme de modélisation OSMOSYS. Ces solutions techniques dédiées au secteur résidentiel ont été identifiées en concertation avec les groupes E12 et E15 d'ENERBAT.

La plate-forme OSMOSYS contient aujourd'hui des modèles de composants élémentaires de bâtiment (parois opaques, vitrées, systèmes énergétiques de production, distribution et émission, régulation, ...). Par conséquent, la simulation du comportement dynamique d'une solution technique demande l'assemblage préalable des modèles élémentaires tout en respectant des règles et conditions techniques de fonctionnement.

La plate-forme OSMOSYS repose sur le langage déclaratif (formel) de modélisation Modelica et la standardisation des connexions entre modèles est basée sur les échanges physiques entre les composants de bâtiment. Grâce aux connecteurs standardisés, l'assemblage des modèles élémentaires reflète la typologie du système physique modélisé. Une telle définition des modèles élémentaires favorise leur assemblage aisé ainsi que leur réutilisation. De plus, le langage formel nécessite très peu de compétences informatiques tout en permettant à un utilisateur non-averti de devenir facilement un développeur de modèles.

Les solutions techniques sélectionnées concernent uniquement le secteur résidentiel :

- maison individuelle Mozart + ECS thermodynamique + convecteurs électriques
- maison individuelle Mozart + ballon ECS électrique + convecteurs électriques
- maison individuelle Mozart + ECS (capteur solaire + appoint électrique + stockage) + convecteurs électriques
- maison individuelle Mozart + PAC absorption + radiateurs
- maison individuelle Mozart + PAC air/eau + radiateurs
- maison individuelle Mozart + chaudière gaz + radiateurs + réseau de distribution
- maison individuelle Mozart + poêle à bois

Les sections suivantes détaillent la modélisation des solutions techniques. Chaque assemblage est exposé sous la forme d'une fiche comportant :

- une description générale de la configuration
- la modélisation des composants de bâtiment (Pour les nouveaux modèles et les références pour les modèles existants déjà dans la plate-forme OSMOSYS)
- les paramètres généraux (par défaut) de la simulation et la description de l'assemblage de modèles élémentaires
- des exemples de résultats de simulation (afin de montrer quel type de résultats on peut obtenir)

Rappelons que la maison type utilisé (Mozart BBC) dans les assemblages présentés dans ce livrable a fait l'objet de deux rapports qui décrivent les caractéristiques géométriques et thermique et valident le modèle par intercomparaison avec d'autres logiciels validés expérimentalement notamment Clim

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

2000 [H-E14-2010-03061-FR]¹, [H-E14-2011-00306-FR]².

Les modèles des composants des systèmes existants déjà sous OSMOSYS ont fait l'objet d'un rapport [H-E14-2011-00959-FR]³ décrivant le concept de modélisation choisi, les entrées, les paramètres et les sorties de chaque modèle ainsi les résultats d'une validation unitaire.

Quelques précautions générales sont à prendre en considération lors de lecture de cette note et de l'utilisation ultérieure des assemblages :

- la note n'a pas le but de comparer les solutions techniques modélisées mais juste de montrer la faisabilité de l'assemblage,
- les solutions techniques modélisées ne doivent pas être assimilées à des solutions réglementaires malgré la présence de fortes exigences énergétiques par composants (exigences BBC essentiellement pour l'enveloppe du bâtiment) car elles ne sont pas complètes (elles n'intègrent pas tous les usages réglementaires),
- la majorité des modèles employés sont des modèles de comportement (et non pas de conception) adaptés uniquement à l'évaluation des performances énergétiques annuelles. Certains modèles et assemblages donneraient également une bonne satisfaction dans la prédiction des appels de puissance.

Les buts du livrable sont de démontrer l'assemblage aisé et de vulgariser le développement de modèles élémentaires d'OSMOSYS grâce à la standardisation des connexions. Les assemblages exposés et intégrés au sein de la plate-forme OSMOSYS constituent des cas de base permettant aux utilisateurs de passer à des configurations plus spécifiques, plus complexes. La richesse de modèles élémentaires OSMOSYS permet l'adaptation des configurations modélisées à différents besoins « métiers » : modélisation des appels de puissance, modélisation en appui aux évolutions réglementaires et normatives, études technico-économiques, études paramétriques et d'analyse de sensibilité, ...

¹ Comparaison des besoins de chauffage donnés par différents logiciels pour un bâtiment Mozart isolé au niveau BBC, A. KAEMMERLEN, Janvier 2011

² Validation du modèle monozone de la plateforme de modélisation OSMOSYS par intercomparaison avec Clim 2000, A. KAEMMERLEN, Mars 2011

³ Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, S.FILFLI, Juin 2011

2. Maison individuelle Mozart + ECS thermodynamique + convecteurs électriques

2.1. Description générale de la configuration

Il s'agit de comparer deux solutions d'installation d'un ballon d'ECS thermodynamique à l'intérieur d'un logement ou dans un local non chauffé sachant que la PAC utilisée tire son énergie, côté évaporateur, de l'ambiance où elle se trouve. L'objectif est de comparer les consommations électriques de chauffage et d'ECS et de voir également l'impact sur la température du local non chauffé dans les deux cas.

Le logement simulé est une maison individuelle type Mozart (monozone). Les apports internes ne sont pas pris en compte. Le seul apport interne est celui des pertes du ballon, quand celui-ci est installé dans le logement. Le local non chauffé équivaut à un sous-sol ventilé avec un taux de réduction de 0,2.

Le ballon d'ECS thermodynamique est un ballon de marque Stiebel Eltron, modèle WWK300 de 300 litres avec une puissance thermodynamique de 1600W (COP moyen = 2,74) et un appoint électrique de 1500W. Le volume moyen d'eau soutirée est de 200 litres par jour, ce qui correspond à une consommation d'eau annuelle de 42 m³ par an. Le scénario de puisage considéré est celui du mandat M324 décrit par le calendrier et le tableau suivant :

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Ju6	Ju7	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	
1	Lu	Je	Je	Di	Ma	Ve	Di	Me	Sa	Lu	Je	Sa	
2	Ma	Ve	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	Je	Di	Ma	Ve	Di	
3	Me	Sa	Sa	Ma	Je	Di	Ma	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	
4	Je	Di	Di	Me	Ve	Lu	Me	Sa	Ma	Je	Di	Ma	
5	Ve	Lu	Lu	Je	Sa	Ma	Je	Di	Me	Ve	Lu	Me	
6	Sa	Ma	Ma	Ve	Di	Me	Ve	Lu	Je	Sa	Ma	Je	
7	Di	Me	Me	Sa	Lu	Je	Sa	Ma	Ve	Di	Me	Ve	
8	Lu	Je	Je	Di	Ma	Ve	Di	Me	Sa	Lu	Je	Sa	
9	Ma	Ve	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	Je	Di	Ma	Ve	Di	
10	Me	Sa	Sa	Ma	Je	Di	Ma	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	
11	Je	Di	Di	Me	Ve	Lu	Me	Sa	Ma	Je	Di	Ma	
12	Ve	Lu	Lu	Je	Sa	Ma	Je	Di	Me	Ve	Lu	Me	
13	Sa	Ma	Ma	Ve	Di	Me	Ve	Lu	Je	Sa	Ma	Je	
14	Di	Me	Me	Sa	Lu	Je	Sa	Ma	Ve	Di	Me	Ve	
15	Lu	Je	Je	Di	Ma	Ve	Di	Me	Sa	Lu	Je	Sa	
16	Ma	Ve	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	Je	Di	Ma	Ve	Di	
17	Me	Sa	Sa	Ma	Je	Di	Ma	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	
18	Je	Di	Di	Me	Ve	Lu	Me	Sa	Ma	Je	Di	Ma	
19	Ve	Lu	Lu	Je	Sa	Ma	Je	Di	Me	Ve	Lu	Me	
20	Sa	Ma	Ma	Ve	Di	Me	Ve	Lu	Je	Sa	Ma	Je	
21	Di	Me	Me	Sa	Lu	Je	Sa	Ma	Ve	Di	Me	Ve	
22	Lu	Je	Je	Di	Ma	Ve	Di	Me	Sa	Lu	Je	Sa	
23	Ma	Ve	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	Je	Di	Ma	Ve	Di	
24	Me	Sa	Sa	Ma	Je	Di	Ma	Ve	Lu	Me	Sa	Lu	
25	Je	Di	Di	Me	Ve	Lu	Me	Sa	Ma	Je	Di	Ma	
26	Ve	Lu	Lu	Je	Sa	Ma	Je	Di	Me	Ve	Lu	Me	
27	Sa	Ma	Ma	Ve	Di	Me	Ve	Lu	Je	Sa	Ma	Je	
28	Di	Me	Me	Sa	Lu	Je	Sa	Ma	Ve	Di	Me	Ve	
29	Lu		Je	Di	Ma	Ve	Di	Me	Sa	Lu	Je	Sa	
30	Ma		Ve	Lu	Me	Sa	Lu	Je	Di	Ma	Ve	Di	
31	Me		Sa		Je		Ma	Ve		Me		Lu	

Scénario	Nombre de jours
UE1	100
UE2	150
UE3	66
UE4	8
UE5	5
Vacances	36

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Scénario	UE1	UE2	UE3	UE4	UE5
Nombre de prélèvements	11	23	24	29	30
Volume d'eau équivalent à 60°C	36 L	100 L	200 L	300 L	400 L

La simulation est effectuée sous Dymola/Modelica avec un pas de temps maximum de 300 secondes.

2.2. Modélisation du ballon ECS

Le ballon est discrétisé en N couches horizontales (ici N=10) de mêmes hauteur dz et volume V . Les couches sont numérotées de bas en haut. Chaque couche est caractérisée par une température moyenne T . Le bilan thermique d'une couche courante i s'écrit, à chaque instant, comme suit :

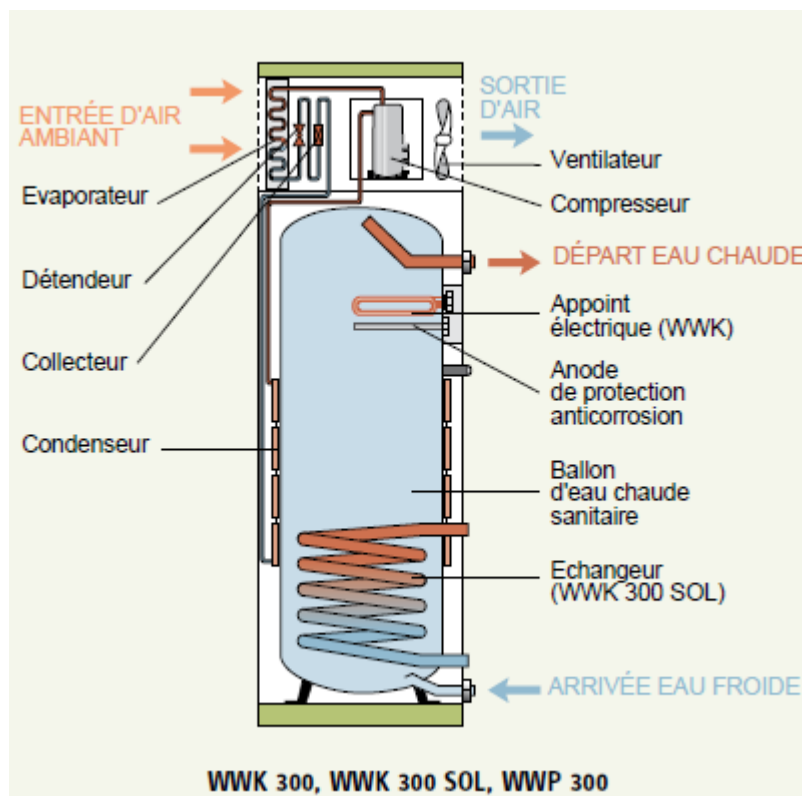
$$\rho C_p V \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda S_b \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{dz} + \dot{m} C_p (T_{i-1} - T_i) + US_e (T_{ext} - T_i) + P_i$$

Cette équation s'écrit respectivement pour les zones du bas et du haut comme suit :

$$\rho C_p V \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda S_b \frac{T_2 - T_1}{dz} + \dot{m} C_p (T_f - T_1) + US_{e1} (T_{ext} - T_1) + P_1$$

$$\rho C_p V \frac{\partial T_N}{\partial t} = \lambda S_b \frac{T_{N-1} - T_N}{dz} + \dot{m} C_p (T_{N-1} - T_N) + US_{eN} (T_{ext} - T_N) + P_N$$

L'alimentation en eau se fait dans la couche 1, le puisage dans la zone 10, l'appoint électrique dans la zone 9. Enfin, le condenseur entoure le ballon uniformément au niveau des couches 3 à 7 (voir figure).



2.3. Paramètres généraux de la simulation

La température de consigne est égale à 60°C avec un hystérésis de 5°C. En mode chauffage, la PAC a la priorité et développe une puissance thermique, côté condenseur, $Q_{\text{cond}} = 1600\text{W}$ correspondant à une puissance électrique de $E = 584\text{ W}$ environ ($1600/\text{COP}=1600/2,74$). Cette puissance est supposée être répartie uniformément sur les 5 couches de 3 à 7.

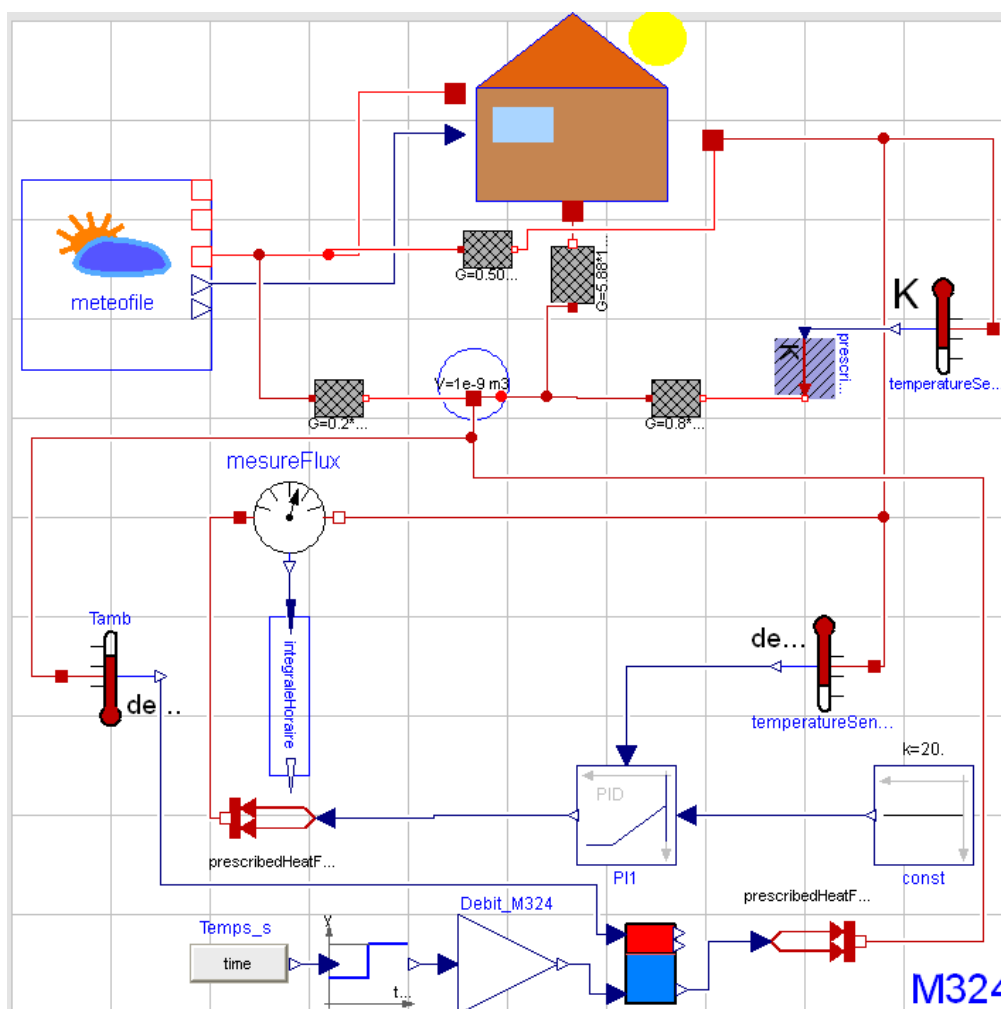
La chaleur puisée de l'ambiance, côté évaporateur, est égale à $Q_{\text{evap}} = (\text{COP} - 1)E$ (Premier principe sans considérer de pertes au cours des cycles thermodynamiques).

Les pertes du ballon sont injectées directement dans le nœud d'air représentant l'ambiance.

Les simulations sont effectuées sur une année avec la météo de Trappes et au pas de temps maximum de 300 secondes.

Le taux de ventilation est constant et de valeur 0,5 vol/h.

Les résultats observés sont axés sur les consommations électriques de chauffage et d'ECS ainsi que sur la température du sous sol.



Graphe de l'assemblage sous Dymola/Modelica dans le cas où le ballon est situé au sous-sol

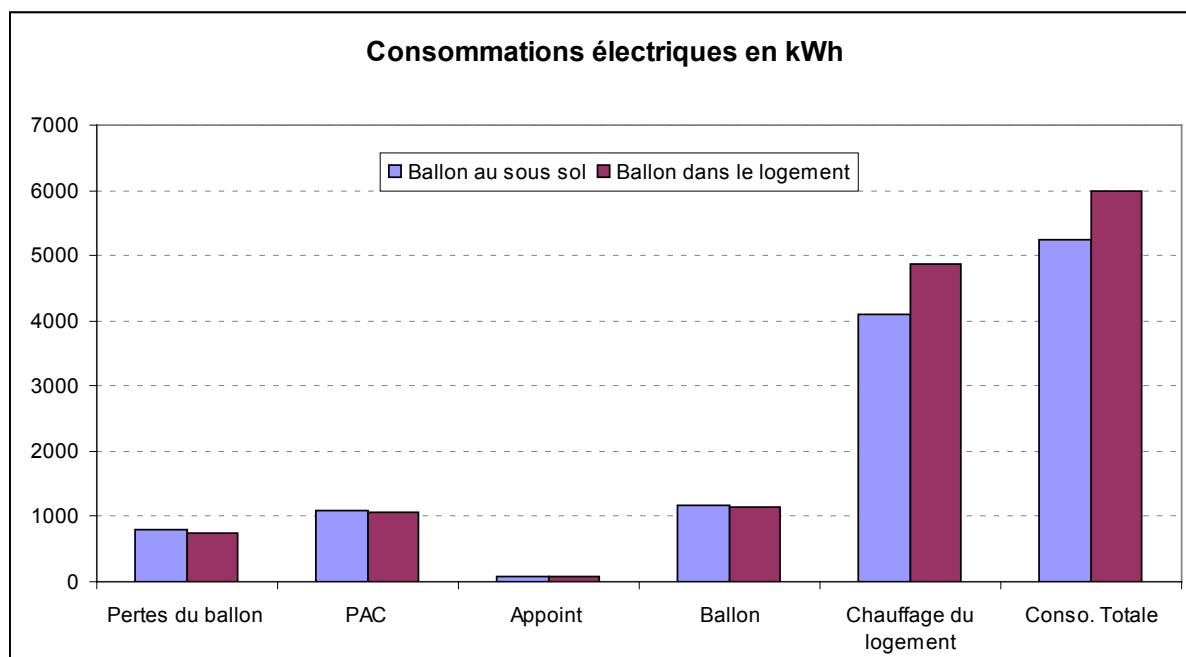
2.4. Résultats de simulation

Consommation d'eau : 42,025 m³

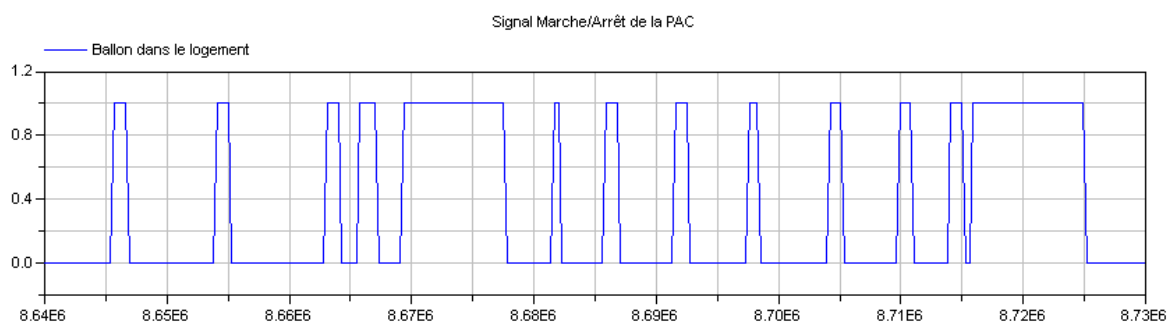
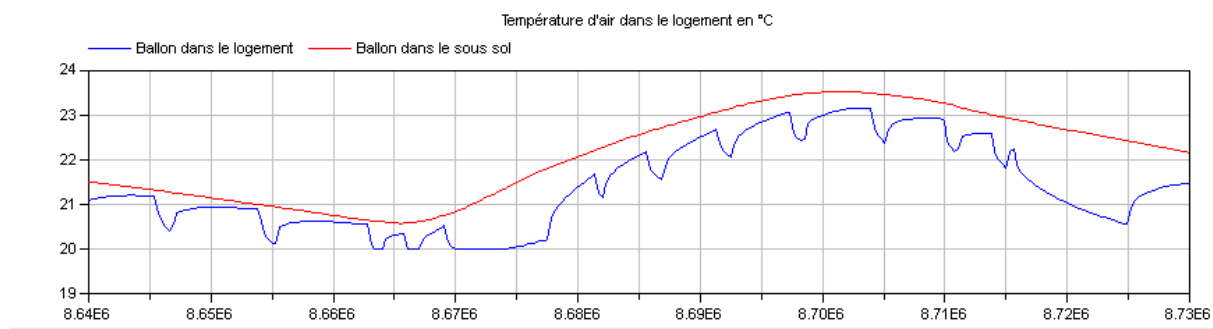
Energie nécessaire pour chauffer l'eau : 2257 kWh (eau froide à 13,8°C)

Consommation électrique en kWh	(1) Ballon au sous-sol	(2) Ballon dans le logement	Ecart relatif en % (2 – 1) / (1)
Pertes du ballon	792	737	-6,9
PAC	1084	1066	-1,7
Appoint	75	71	-5,3
Ballon	1159	1137	-1,9
Chauffage du logement	4092	4859	18,7
Consommation totale	5251	5996	14,2
Consommation unitaire en kWh/m ² (S = 100,86 m ²)	52,0	59,5	14,2

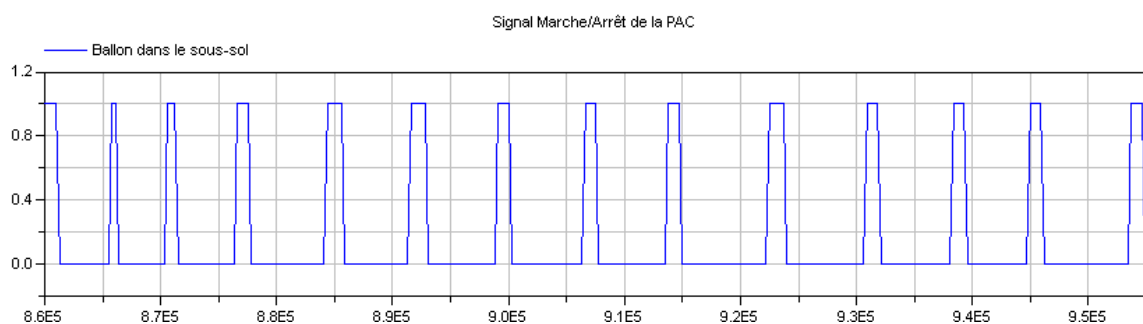
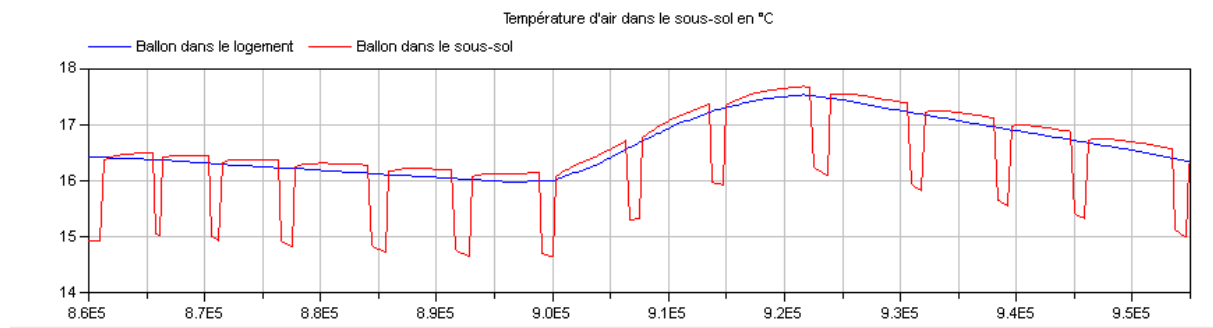
Tableau des consommations annuelles



Histogramme des consommations annuelles



Température intérieure dans le logement et signal Marche/Arrêt de la PAC



Température d'air dans le sous-sol et signal Marche/Arrêt de la PAC

3. Maison individuelle Mozart + ballon ECS électrique + convecteurs électriques

3.1. Description générale de la configuration

Il s'agit de modéliser une installation d'un ballon d'ECS solaire avec un appoint électrique (quand la puissance solaire ne suffit pas. Les résultats obtenus de l'étude de cet assemblage [BOU 2011] présentent un enjeu stratégique (normatif et réglementaire) important pour l'entreprise et par conséquent nous avons assuré leur confidentialité.

On retient l'assemblage précédent décrit en § 2.1 en remplaçant le ballon thermodynamique par un ballon électrique. (COP de PAC du ballon thermodynamique égale à 1) avec le paramétrage suivant.

Le ballon simulé correspond à un logement d'une famille de 5 personnes au moins : capacité de 300L, hauteur de 1,80m, puissance de 3kW. Son coefficient de transmission est de l'ordre de $1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (à affecter à la surface intérieure). Ce qui correspondrait à une déperdition de l'ordre de 3W/K. Si ce ballon est installé dans un local non chauffé à 12°C, en supposant que l'eau est chaude est à 60°C en permanence, un ordre de grandeur des déperditions annuelle est de $3 \times (60 - 12) \times 24 \times 365 \div 1000 \approx 1261 \text{ kWh}$.

L'eau froide est injectée par le bas (couche 1) à une température de 10°C. Le volume d'eau consommé annuel est égal à 36,2m³. La température ambiante extérieure au ballon est de 12°C. La régulation s'effectue avec une température de consigne à 60°C et une hystérésis de ±3°C.

La période de simulation est d'une année de 365 jours commençant un lundi. Les simulations sont effectuées pour les deux scénarios AICVF et M324 pour 2 configurations d'injections de puissance : permanente (P) puis sur deux plages horaires en heures creuses (HC) : de 0h à 6h et de 12h à 14h.

3.2. Modélisation des composants

On retient la configuration précédente décrit en § 2.1 en remplaçant le ballon thermodynamique par un ballon électrique. (COP de PAC du ballon thermodynamique égale à 1).

Autre que le scénario de puisage préconisé par le mandat européen M324 présenté dans le § 2.3, on présente celui préconisé par l'AICVF.

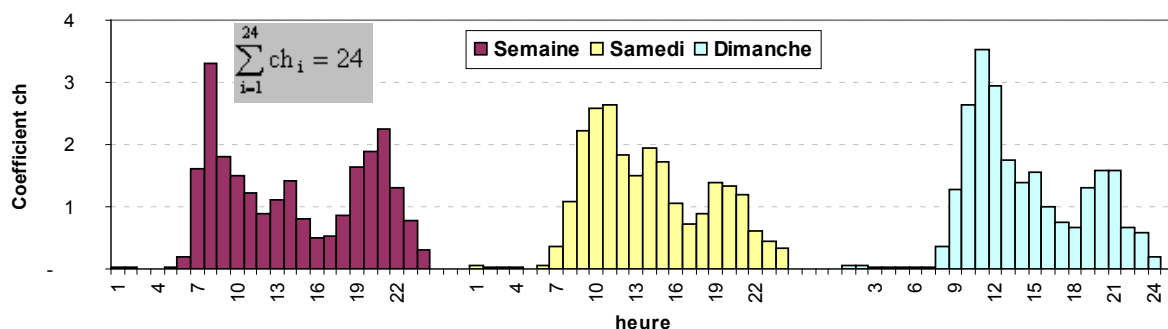
3.2.1. Scénario préconisé par l'AICVF

Les valeurs recommandées pour évaluer les besoins moyens d'ECS d'un logement en fonction du nombre de pièces, sont récapitulées dans le tableau suivant en gris. Les deux lignes supplémentaires indiquent le volume annuel consommé et l'énergie nécessaire pour ramener ce volume de 10°C à 60°C.

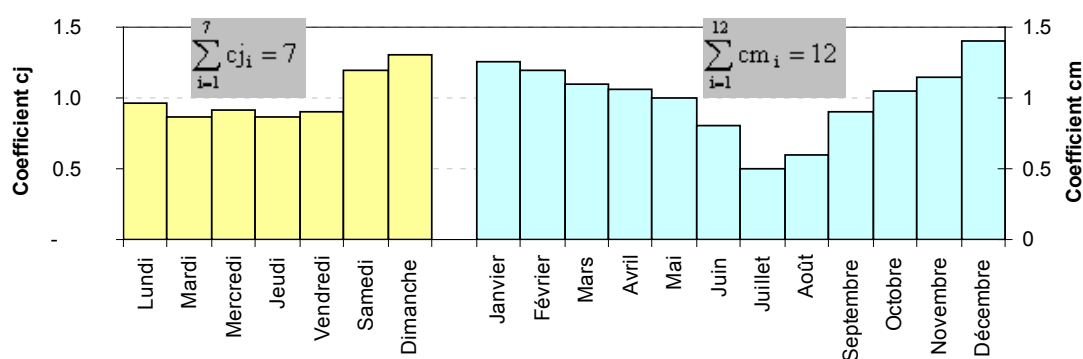
Nombre de pièces	1	2	3	4	5
Base des calculs techniques (L/jour)	75	105	150	180	240
Besoins annuels en m ³	27.4	38.3	54.8	65.7	87.6
Consommation en kWh	1591	2228	3182	3819	5092

Besoins moyens d'ECS à 60°

La répartition horaire du volume total est effectuée au prorata de coefficients de pondération dépendant de l'heure, du jour et du mois comme indiqué sur les figures suivantes.



Répartition horaire



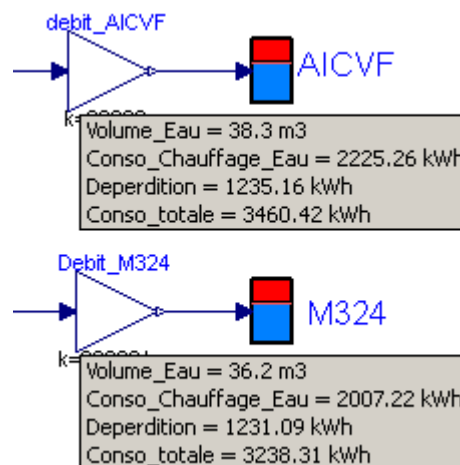
Répartitions hebdomadaire et mensuelle

3.3. Résultats

L'objectif de l'étude est d'étudier l'impact de scénarios de puisage sur la courbe de charge d'un ballon d'eau chaude électrique. Dans les conditions ci-dessus, si l'on utilise les deux scénarios AICVF ou M324 indépendamment, pour un volume d'eau annuel consommé d'environ 36m³, une estimation rapide de la consommation totale annuelle donnerait des résultats avec un écart relatif de 6,3% (tableau suivant). La figure suivant montre les résultats obtenus avec Dymola quand le nombre de couche est égal à 1 (eau considérée à température uniforme). Dans ce cas, l'écart est de 6,8%.

Scénario	M324	AICVF
Volume d'eau (m ³)	36,2	38.3
Consommation d'eau (kWh)	2020	2228
Déperditions (kWh)	1261	1261
Consommation totale (kWh)	3281	3488
Ecart relatif	-	6,3%

Consommation totale pour chaque scénario



Résultats Dymola

Pour les deux scénarios, la consommation de chauffage d'eau théorique du tableau 4 est légèrement plus élevée par rapport au calcul sous Dymola. Ceci est dû au fait que la température de sortie de l'eau peut, en cas de fort débit, être inférieure à la consigne.

D'autre part, la valeur trouvée pour les déperditions (tableau précédent) est une limite supérieure. En effet, la stratification thermique de l'eau dans le ballon et la hauteur d'injection de puissance partagent grossièrement le ballon en un volume bas froid et un volume haut à 60°C. Les pertes liées au volume froid sont moindres par rapport à l'estimation ci-dessus.

3.3.1. Consommations énergétiques

Le tableau suivant présente les résultats de simulation pour les deux scénarios (ballon discrétisé en 9 couches et volume d'eau annuel consommé de 36,2 m³). Ce tableau montre que l'incidence du scénario sur les consommations est quasi-nulle.

Période de chauffage	Chauffage permanent		De 0h à 6h et de 12 à 14h	
Scénario	AICVF	M324	AICVF	M324
Nombre de cycles	14774	9364	3451	2735
Chauffage en kWh	2221	2208	2144	2080
Déperditions en kWh	1222	1223	1115	1112
Consommation totale (kWh)	3443	3431	3254	3190
Ecart relatif	0,4%	-	2,0%	-

Consommations totale et nombre de cycles

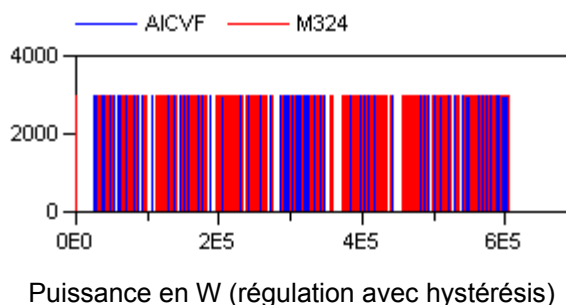
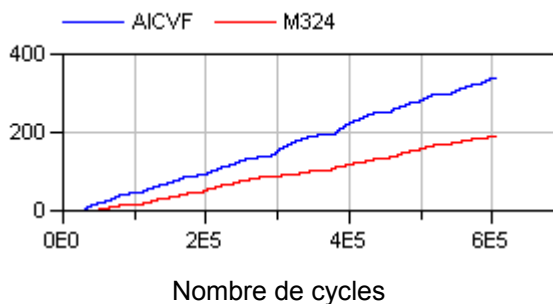
3.3.2. Puissance

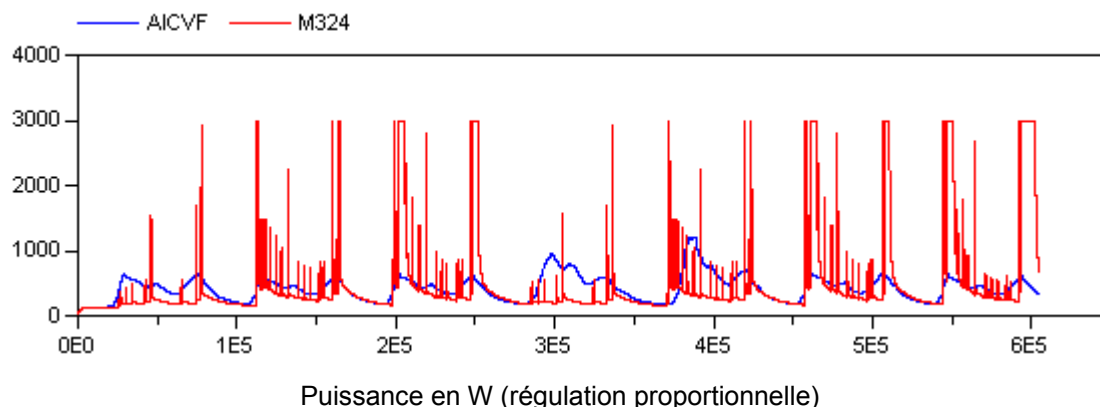
Dans le cas du chauffage permanent, le nombre de cycles est fortement dépendant du choix du scénario.

Ce qui est traduit par des appels de puissance non synchronisés et par une répartition des pics de puissances très différente dans le temps.

Un zoom sur les courbes des puissances lors de la première semaine de simulation est affiché.

Les profils des puissances dans le cas d'une régulation proportionnelle sont exposés. Ceci permet de mieux apprécier l'amplitude des pics et la répartition dans le temps de l'énergie consommée.





3.3.3. Conclusions et perspectives

Cette étude a montré que, pour les cas considérés, la consommation d'un chauffe-eau à accumulation par effet Joule, ne dépend pas du scénario à volume d'eau annuel consommé constant. Cependant, si ce chauffe-eau fonctionne avec une injection de puissance permanente pour assurer la consigne, la courbe de charge se trouve très influencée par le scénario utilisé. Des pics de puissance de fortes amplitudes apparaissent dans le cas d'un scénario de puisage plus près de la réalité ; surtout lors de prélèvements d'eau à forts débits sur de très courtes périodes. Il est donc nécessaire, pour estimer au plus juste la courbe de charge agrégée d'un parc de logements, de prendre un scénario réel moyen avec des variantes permettant de simuler le foisonnement du parc (décalage aléatoire du scénario réel en temps et amplitude par exemple).

3.4. Références

- [1] Guide de l'eau chaude sanitaire dans les bâtiments résidentiels et tertiaires : Conception et calcul des installations, Collection des guides thématiques de l'AICVF, Ouvrage de la Commission Technique, coordonné par Gilles Olive et Alain Triboulet, Première édition 1991.
- [2] CSTB, « Mandat au CEN et au CENELEC pour l'élaboration et l'adoption de normes de mesures relatives aux appareils domestiques », Annexe 3 du rapport d'étude n°DD/ESE-04.006RS, 2002.
- [3] F.X. Rongère, D. Bonneau, D. Covalet, B. Gautier, « CLIM 2000: un logiciel modulaire pour l'élaboration de modèles thermiques pour l'habitat », Revue Générale de Thermique 1989, vol. 28, no335-336, pp. 644-649.
- [4] Dymola « Dynamic Modeling Laboratory », Dassault Systèmes (Dynamis), 2009.
- [5] CSTB, « Etiquetage énergétique et Eco-conception pour les systèmes de production d'ECS », 26 mars 2008 (site internet : <http://www.enerplan.asso.fr/>)

4. Maison individuelle Mozart + ballon ECS (capteur solaire + appoint électrique + stockage) + convecteurs électriques

4.1. Description générale de la configuration

Il s'agit de modéliser une installation d'un ballon d'ECS solaire avec un appoint électrique (quand la puissance solaire ne suffit pas pour atteindre la consigne de la température d'eau dans le ballon). Le chauffage de la maison (type Mozart) est assuré par des convecteurs électriques.

Les caractéristiques du ballon d'ECS, le volume moyen d'eau soutirée et le scénario de puisage sont les mêmes considérés dans l'assemblage du paragraphe 2.

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

β , le coefficient de transmission du capteur dépend de l'isolation et de la nature de la couverture

T_p la température du panneau (K)

T_{ext} la température de l'air extérieur (K)

I_s le flux solaire global surfacique reçu par le panneau (W/m^2)

[CHO 1977] a effectué des expérimentations sur les capteurs plans vitrés permettant de dégager des corrélations moyennes pour les capteurs plans :

	Alpha : facteur optique	Beta : coefficient de transmission
Simple vitrage	0,75	7
Double vitrage	0,65	4

4.2.2.3. Modèle

La puissance Q absorbée et délivrée par le capteur est calculée en deux étapes :

- Le modèle FLUXsurfGLOH permet de donner le flux global incident à partir des flux solaires contenus dans les fichiers météo pour l'azimut, l'inclinaison et l'albédo paramétrés.
- La puissance délivrée par le panneau est déterminée à partir de l'efficacité calculée par l'équation donnée ci-avant :

$$Q = Surface \times (\alpha \times I_s - \beta \times (T_p - T_{Ext}))$$

On suppose que la température du panneau est homogène et est égale à la température d'entrée du fluide caloporteur.

Le type de régulation retenu permet de by-passer l'apport solaire une fois que la puissance nécessaire pour que la température de consigne d'eau soit atteinte est fournie.

4.3. Paramètres généraux de la simulation

Les paramètres de la simulation sont exposés dans le tableau suivant :

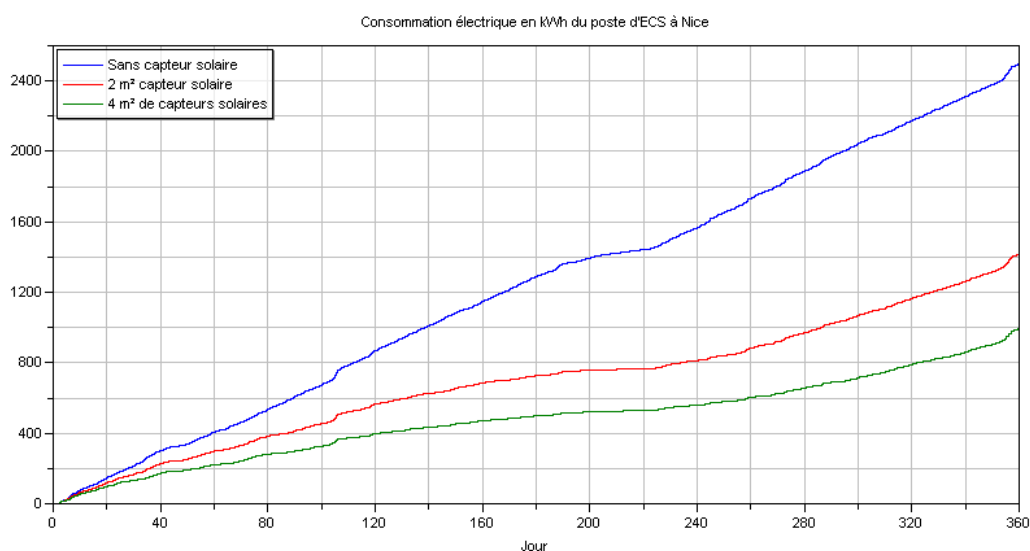
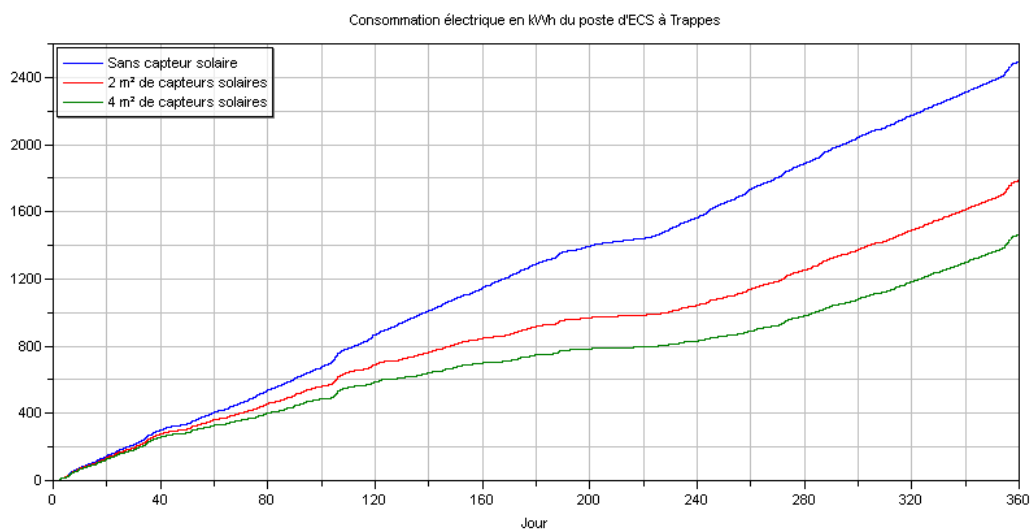
Paramètres			
Azimut	Azimut de la surface (Orientation par rapport au sud : S=0°, E=-90°, O=90°, N=180°)	30	degré
Inclinaison	Inclinaison de la surface par rapport à l'horizontale : vers le sol =180°, vers le ciel = 0°, verticale = 90°	30	degré
Albedo	Albedo de l'environnement	0,2	-
Surface	Surface du capteur solaire	2	m²
Alpha	Le facteur optique est généralement compris entre 0,5 et 0,9	0,65	-
Beta	Le coefficient de transmission du capteur dépend de l'isolation et de la nature de la couverture	4	-
Variables d'entrées			
Tp	La température moyenne du panneau	293,15	K
T _{ext}	Température extérieure	Données météo « Trappes.txt »	
MeteoFlux	Vecteur contenant les flux solaires		
Variables de sorties			
Q	Chaleur captée par le panneau	W	

4.1. Résultats

Trois surfaces de panneaux solaires sont étudiées :

- système à effet joule uniquement (0 m² de panneaux solaires)
- 2 m² de panneaux solaires
- et 4 m² de panneaux solaires

Les résultats affichés montrent la consommation annuelle en kWh de l'appoint électrique pour la météo de Trappes et de Nice. Ces résultats confirment les évolutions attendues suite à une installation d'un panneau solaire dans une maison BBC pour deux régions climatiques différentes.



4.2. Références

[BOUIA 2010] H. BOUIA, Modélisation d'un Capteur Plan Vitré, Fiche synthétique.

[CHO 1977] P. Chouard, H. Michel, M.F. Simon, Bilan thermique d'une maison solaire – méthode de calcul rapide. Editions EYROLLES, 1977

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

5. Maison individuelle Mozart + PAC absorption + radiateurs

5.1. Description générale de la configuration

Il s'agit d'une maison Mozart équipée d'une pompe à chaleur à absorption réversible (chauffage + rafraîchissement) relié à des émetteurs du type radiateur.

5.2. Modélisation des composants - radiateur

5.2.1. Domaine d'application

Le modèle de radiateur à eau présenté ci-après est un système d'émission devant être relié à un réseau de chaude à température fixe. Le radiateur est à puissance variable par régulation du débit d'eau circulant dans le radiateur. L'effet de l'inertie du radiateur est pris en compte.

Le modèle est basé sur le calcul de la puissance dissipée par le radiateur dans les normes français à l'aide d'une loi de puissance [NF-047]. Selon cette norme, le paramétrage du radiateur est standardisé à une puissance nominale pour laquelle la différence entre la température moyenne du radiateur et celle de l'air ambiant soit de 50K.

5.2.2. Description générale

La modélisation repose sur la discrétisation du radiateur en N tranches disposées en série. Cette discrétisation est détaillée dans le document EDF Type 13 Radiateur [EDF2000].

Pour le calcul, on pose l'hypothèse que la température est homogène pour une tranche donnée (température notée $T_{Rad}[i]$). La température d'entrée de la tranche $n+1$ est égale à celle de la tranche n .

Si l'augmentation de nombre de tranches permet d'affiner la valeur des résultats, cela augmente le temps de calcul. Afin de palier à cette problématique, un coefficient de correction permet d'ajuster les résultats pour des temps de calcul faibles. Sa valeur dépend du choix du nombre de tranches mais également de la puissance nominale du radiateur. Par défaut, un coefficient correctif égal à 1,1 est proposé pour un radiateur d'une puissance de 1 000 W et discrétisé en 8 tranches. [EDF2000]

Dans le modèle chacune des N tranches fait l'objet d'un bilan enthalpique avec un terme d'apport (fourni par l'eau chaud), d'accumulation (inertie de la tranche) et de pertes (flux de chaleur $P[i]$ vers la pièce).

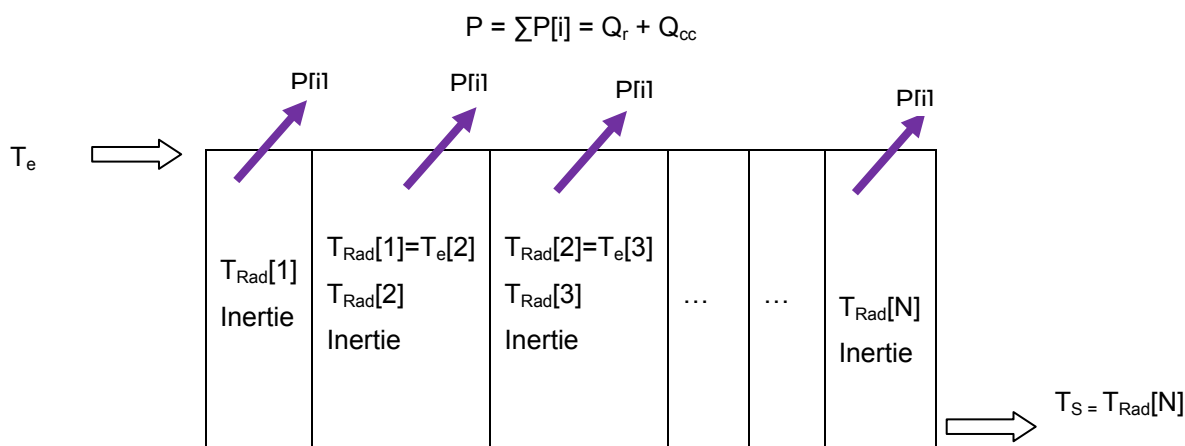


Schéma présentant les caractéristiques thermiques des tranches de discrétisation

Avec : T_e et T_s , les températures d'entrée et de sortie de l'eau chaude du radiateur

$T_e[i]$, la température d'entrée dans la $i^{\text{ème}}$ tranche

$T_{\text{Rad}}[i]$, la température homogène de la $i^{\text{ème}}$ tranche

5.2.3. Modèle

La modélisation du radiateur repose sur les hypothèses suivantes :

- le fluide est incompressible et ses propriétés thermiques sont indépendantes de la température
- la température d'ambiance est homogène
- dans chaque tranche, la température est homogène
- le débit d'eau est le même dans chacune des tranches du radiateur

Tout comme les radiateurs à vanne thermostatique, ce sont les besoins qui fixent le débit de circulation d'eau dans le radiateur. L'équation sur le débit est écrite de telle façon à être compris entre zéro et le débit nominal.

$$\text{Debit} = \frac{\text{Besoin}}{\text{Puissance50K}} \times \text{Debit50}$$

Afin de minimiser le nombre de paramètres à renseigner, des lois linéaires fonction de la puissance nominale définissent la masse du radiateur à vide et la masse d'eau contenue dans le radiateur (cf. tableau des paramètres). La capacité thermique d'une tranche est de

$$C_i = \frac{1}{N} \times (C_{p\text{Metal}} \times m_{\text{Sec}} + C_{p\text{Eau}} \times \rho_{\text{Eau}} \times V_{\text{Eau}})$$

Les équations suivantes s'appliquent aux N tranches du radiateur :

$$T_e[i+1] = T_{\text{Rad}}[i]$$

$$\text{Delta}T[i] = T_{\text{Rad}}[i] - T_a$$

$$P[i] = \frac{1}{N} \times \text{CoeffCorrectif} \times \text{Puissance50K} \times \left(\frac{\text{Delta}T[i]}{50} \right)^n$$

$$\text{Debit} \times C_{p\text{Eau}} \times (T_e[i] - T_{\text{Rad}}[i]) = P[i] + C_i \times \frac{d(T_{\text{Rad}}[i])}{dt}$$

La chaleur totale est la somme des N $P[i]$, qui dissipée par convection et par rayonnement. A ce jour, le coefficient est indépendant de la température.

$$P = \sum_{i=1}^N P[i]$$

$$T_s = T_{\text{Rad}}[N]$$

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

$$T_s = T_{\text{Rad}}[N]$$

$$Q_R = - \text{FracRad} \times P \text{ et } Q_{cc} = - (1 - \text{FracRad}) \times P$$

5.3. Paramètres généraux de la simulation

Le jeu de paramètres choisi est exposé dans le tableau suivant :

Paramètres			
Puissance50K	Puissance du radiateur à DeltaT=50K d'après la norme NF	1000	W
n	Pente de la droite d'émission	1,29	-
N	Nombre d'éléments	5	-
CoeffCorrectif	Coefficient de correction à ajuster suivant N et Puissance50K	1,04	-
Debit50	Débit d'eau nominal pour Delta=50K	0,01	kg/s
m _{Sec}	Masse du radiateur à vide (=0.0263*Puissance50K)	26,3	kg
V _{eau}	Volume d'eau contenu (=5.8E-6*Puissance50K)	5,8 E-3	m3
Cp _{Eau}	Capacité thermique de l'eau	4180	J/K.kg
Cp _{Air}	Capacité thermique de l'air	1005	J/K.kg
Cp _{Metal}	Capacité thermique du métal du radiateur	500	J/K.kg
FracRad	Part d'émission radiative vis à vis de la part convective	0,35	[0 ; 1]
HeatCapacitor	Capacité globale du radiateur (rempli d'eau) C=CpMetal*mSec + 1E-3*CpEau*Veau, T(start=323.15)	C	J/K
Variables d'entrées			
T _e	Température de l'eau en entrée	335,15	K
T _a	Température ambiante de la pièce (via Convection.T)	283,15	K
Besoin	Puissance que le radiateur doit dissiper	1000	W
Variables de sorties			
Sortie[-]	Vecteur : [1], température et [2], débit de l'eau en sortie	K	
Q _{CC}	Le modèle en tire la température de la pièce et indique la chaleur convective émise	W	
Q _R	Chaleur émise par rayonnement (via Radiation.Q_flow)	W	

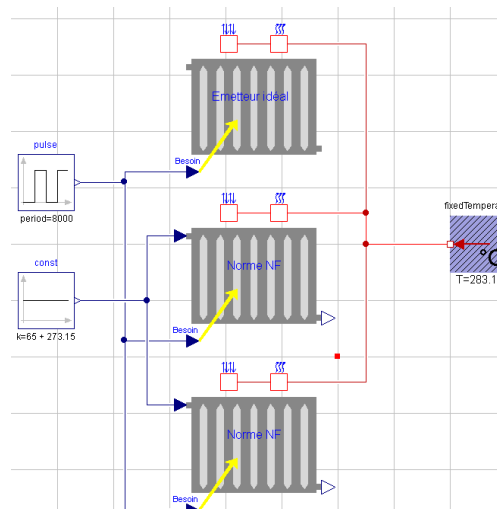
5.4. Validation unitaire du modèle de radiateur

Le test unitaire suivant compare trois radiateurs paramétrés à une puissance nominale de 418 W :

- Emetteur idéal (type effet Joule)
- Emetteur faible inertie (5 kg à vide)
- Emetteur forte inertie (30 kg à vide)

On impose des conditions de façon à se placer dans le cadre de caractérisations de la norme NF.

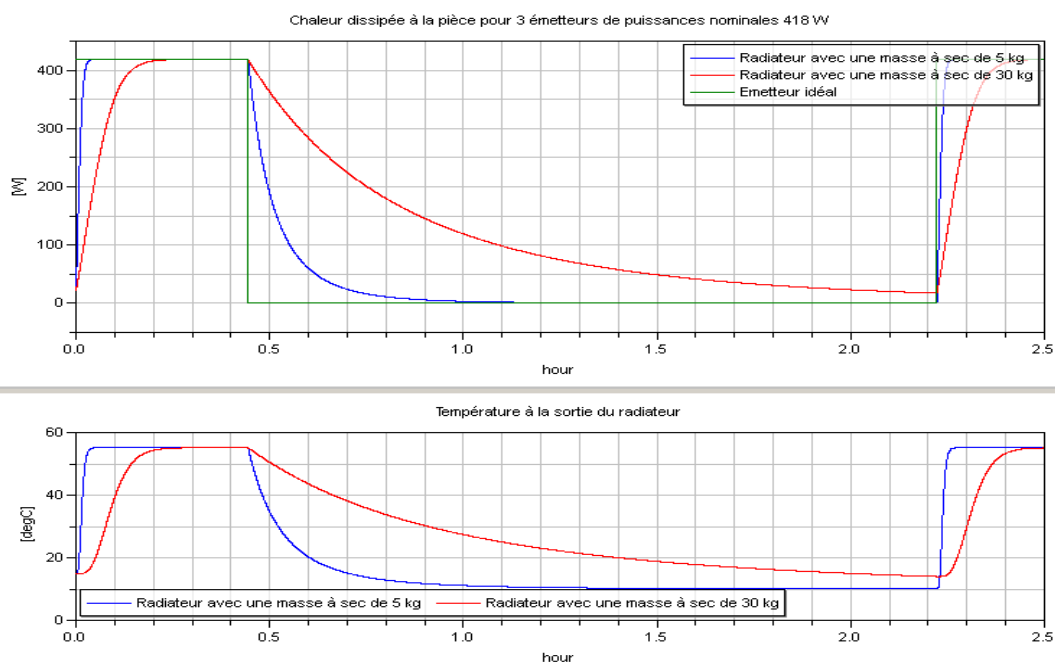
La différence entre le radiateur (moyenne de T_e et T_s) et l'air ambiant doit valoir 50 K. Pour cela, on fixe la température ambiante à 10°C et celle de l'eau en entrée à 65°C. Ces conditions permettent d'ajuster le coefficient de correction au nombre de tranches (on prend ici 5 tranches et une correction de 1,015). Afin d'observer l'effet de l'inertie sur les appels de puissance, on fixe des créneaux de chauffe de 25 minutes toutes les 2 heures.



On remarque que l'inertie lisse davantage la puissance délivrée à la pièce et entraîne un retard du pic de température. Cet effet de l'inertie a des impacts positifs et négatifs sur les bâtiments à basses consommations d'énergie, par exemple :

Assemblage pour le test unitaire

- positif, puisque la gestion des charge et des effacements de la génération de chaleur est plus aisée par le stockage de chaleur, dissipée ensuite dans le temps
- négative, puisque le radiateur va continuer à dissiper de la chaleur bien après avoir atteint la température de consigne. Cela peut créer consommations superflues ou des températures d'inconfort dans le cas de forts apports extérieurs survenant après la période de chauffe.



EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

5.4.1. Améliorations futures

Dans le cas d'études très précises, il est envisageable de réaliser un pré-processeur afin de trouver la meilleure valeur du coefficient correctif. Si le développement ultérieur de la modélisation des bâtiments devient sensible à la dissipation radiative vis-à-vis de celle conducto-conductive, il serait bon d'affiner le paramètre FracRad en le rendant dépendant de la température du radiateur.

5.4.2. Références

[NF-047] NF / AERAIQUE ET THERMIQUES « Radiateurs, convecteurs et panneaux rayonnants de plafonds », Annexe n°9

[EDF2000] Fiche descriptive de Cas-is, titre « Radiateur » - Groupe :3.Systèmes/Systèmes à eau/Terminaux/Radiateur à eau – dernière modification par M. Raguin

5.5. Modélisation des composants – PAC à absorption

Voir note H-E14-2011-00959-FR - Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, Juin 2011 - (mode chaud assimilée à une chaudière et mode froid assimilée à un groupe frigorifique avec les performances correspondant à l'utilisation d'une fluide à absorption).

5.6. Résultats de simulation

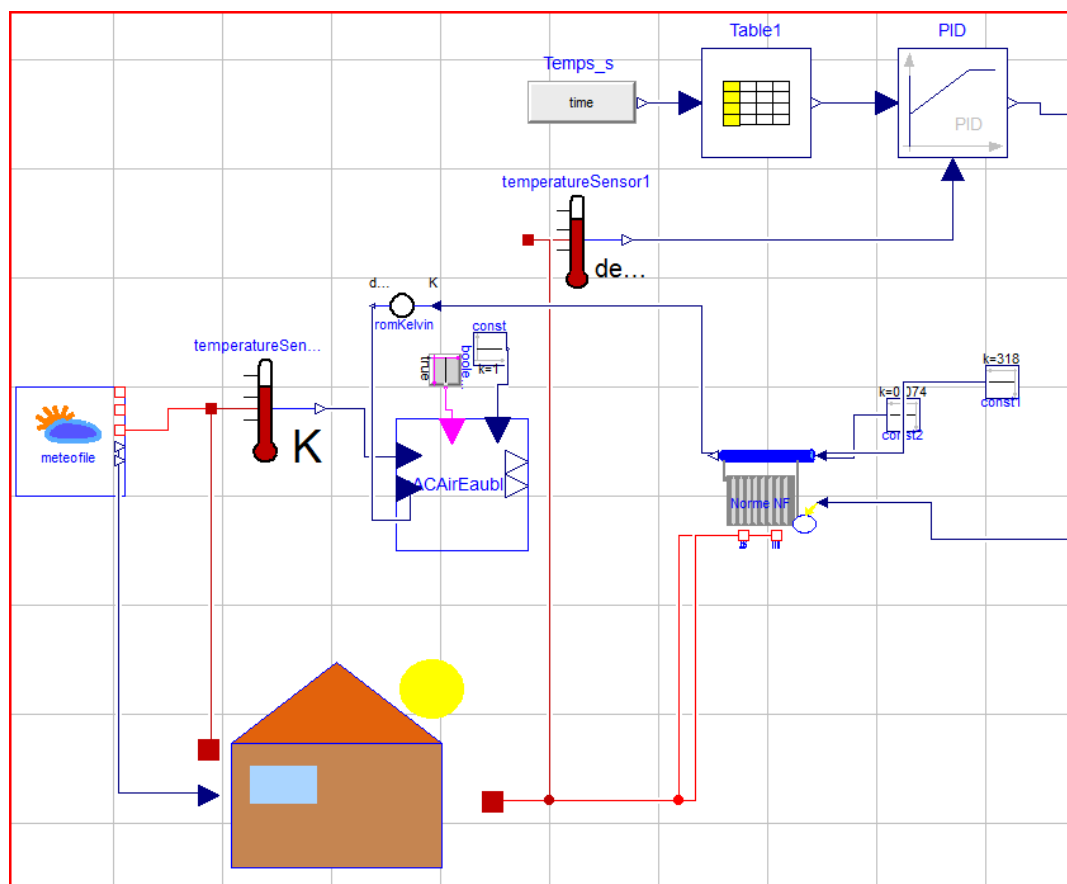
Les résultats numériques obtenus sont comparables avec ceux fournis par le même assemblage équipé d'une chaudière.

Pour le fonctionnement en mode froid (climatisation), les résultats sont à comparer avec ceux fournis par le comportement dynamique d'un group frigorifique.

6. Maison individuelle Mozart + PAC air/eau + radiateurs

6.1. Description générale de la configuration

Une PAC air /eau est connecté à un réseau de distribution pour alimenter des radiateurs dans une maison individuelle Mozart.



6.2. Modélisation des composants

6.2.1. PAC air/eau

Voir note H-E14-2011-00959-FR (Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, Juin 2011)

6.2.2. Radiateur

Voir paragraphe 5.2

6.2.3. Réseau

Voir note H-E14-2011-00959-FR (Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, Juin 2011)

6.3. Paramètres généraux de la simulation

Il s'agit d'une PAC air / eau CIAT (modèle YUNA, 20 H) de puissance nominale de 4.67 kW à un régime de 45°C / 7°C « conditions EUROVENT: 7°C DB/6°C WB (air); 40°C/45°C (eau) ». Le COP nominal est de 3.34.

Les conditions d'évolution du COP en fonction des températures de source et en fonction de taux de charge sont les paramètres par défaut donné par le modèle de PAC.

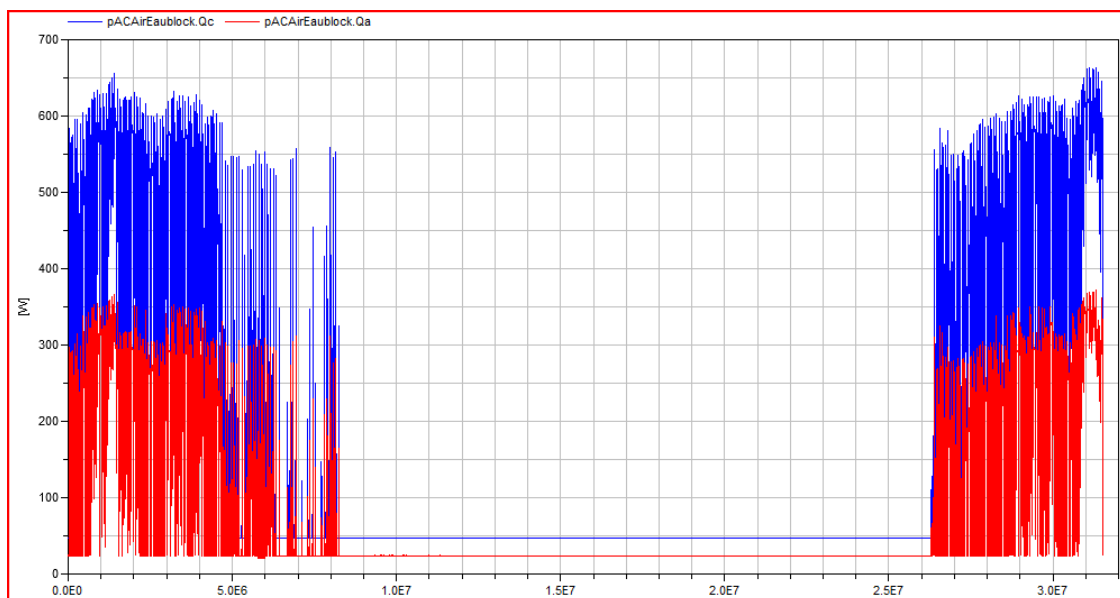
On s'intéresse qu'aux consommations de chauffage, avec une consigne de 20°C pour la simulation présentée ci-dessous.

L'assemblage pourra être en mode réversible aussi avec des blocs de différents scénarii (infiltrations, apports internes, consignes, occupation, bloc de calculs de consommations annuelles...).

Le montage dans Dymola est simple de ce point de vue (ajout, remplacement ou suppression de certaines options).

6.4. Résultats de simulation

La figure suivante expose les puissances instantanées fournies par le système de production et appelée par le bâtiment. Les résultats obtenus sont comparés avec les allures d'un système avec chaudière pour s'assurer de la bonne prise en compte de la COP PAC par rapport à un rendement de chaudière à gaz. Les résultats de la puissance fournie sont comparés à un ventilo-convecteur, les tendances et valeurs obtenues répondent à nos attentes.



Puissance fournie (bleu) et appelée (rouge) en W sur une année (à Trappes)

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

7. Maison individuelle Mozart + chaudière gaz + radiateurs + réseau de distribution

7.1. Description générale de la configuration

Il s'agit d'un modèle de chaudière à gaz (classique ou à condensation) installée dans une maison Mozart avec des radiateurs comme émetteurs et un réseau de distribution.

7.2. Modélisation des composants

7.2.1. Radiateurs

Présenté dans le paragraphe 5.2.

7.2.2. Chaudière gaz

Voir la note H-E14-2011-00959-FR (Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, Juin 2011) - (chaudière classique de 8 kW) avec des rendements moyens

7.2.3. Réseau de distribution

Voir la note H-E14-2011-00959-FR (Intégration des modèles de systèmes énergétiques sous OSMOSYS, Juin 2011)

7.3. Paramètres généraux de la simulation

La régulation consiste à faire fonctionner la chaudière pour une saison de chauffe (1^{er} octobre au 1^{er} mai dans l'exemple ci-dessous). Le réseau s'arrête en dehors de cette période.

Un scénario de consigne de température de chauffage adapté à Mozart est intégré. Il est constitué de deux jours types : jour de la semaine et jour de week-end avec 21 °C comme consigne durant l'occupation et un réduit de température de 18 °C (la nuit et en inoccupation).

- Chaudière

Teech	Température de consigne de la chaudière = température du réseau de distribution [degC]	70
Debit	Débit de circulation dans le réseau [kg/s]	0,1
CpLiq	Chaleur massique du fluide caloporteur du réseau [J/kg.K]	4180
Pchaudnom100	Puissance nominale de la chaudière à 100 % [W]	8 000
Tchaudnom100	Température de test à 100 % de charge [degC]	70
EffchaudnomPCI100	Efficacité de la chaudière à Tchaudnom100 [0-1]	0,87
Tchaudnom30	Température de test à 30 % de charge [degC]	50
EffchaudnomPCI30	Efficacité de la chaudière à Tchaudnom30 [0-1]	0,85
Rpcspci	Ratio pcs/pci [1-1.3]	1,111

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Cchaudnomact	Coefficient d'évolution des performances en fonction de la température de la chaudière [0,0005 - 0,008]	0,001
Perteschaudnom0	Pertes à l'arrêt nominales hors veilleuse [W]	80
dTchaudnom0	Dt nominal pour les pertes à l'arrêt hors veilleuse [degC]	30
Pveill	Puissance de la veilleuse [W]	10
Effveill	Efficacité de récupération de la veilleuse [0,5 - 1]	0,7
Tlocchaud	Température du local chaudière [degC]	20

- Réseau de distribution

Entrees/Sorties

Température	Débit de fluide dans le réseau [kg/s]	70
Débit	Température de consigne de départ d'eau chaude réseau [degC]	0,1
L	Longueur d'échange du réseau (si L = 0 alors calcul simplifié et forfaitaire des pertes selon QfouNom) [m]	20
U	Coefficient d'échange linéique, caractéristique du réseau d'eau [W/m]	0,04
CpLiq	Chaleur massique du fluide caloporteur du réseau [J/kg.K]	4180
Rpnre	Ratio des pertes thermiques non récupérables [0 – 1]	0,8
QfouNom	Puissance nominale fournie par la production centrale (pour calcul par défaut) [W]	8000
Cperte	Pertes par défaut évaluées à 2,5% de QfouNom	0,025

- Pompe

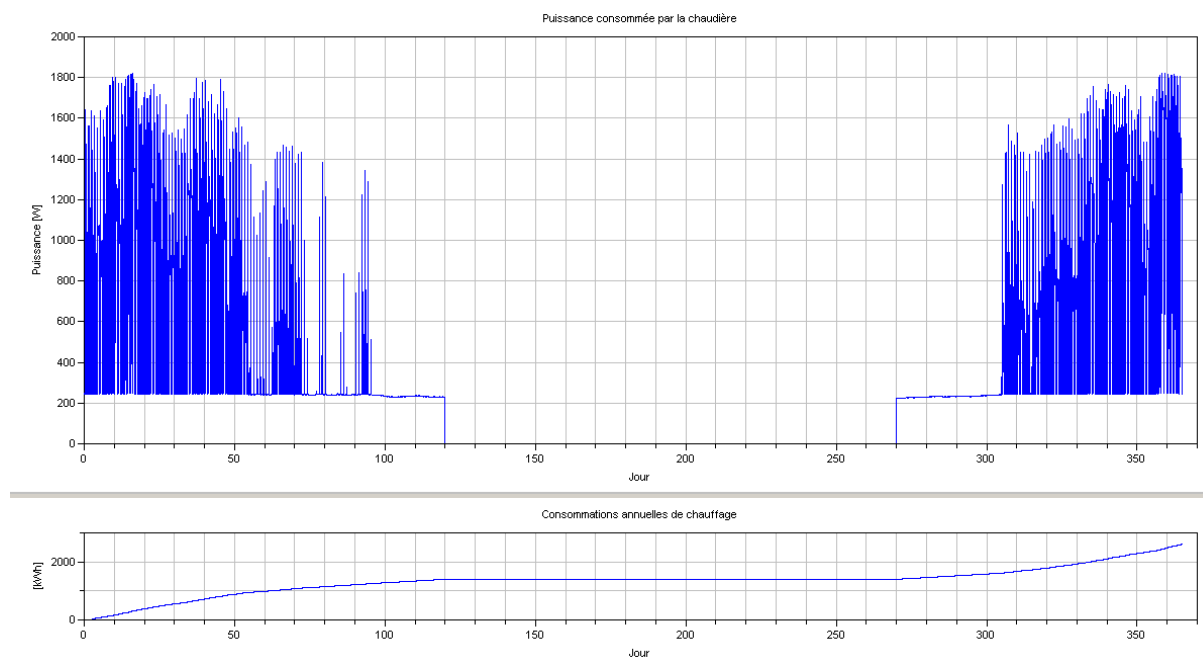
Rm	Rendement du moteur	0,85
FmPerte	Fraction des pertes du moteur transmis au fluide	0,5
Vrat	Débit volumique nominal [m3/s]	0.0001
VratMin	Débit volumique minimale de fonctionnement	0,00001
Wprat	Puissance totale nominale [W]	20
DPrat	Différence de pression nominale [Pa]	89700
C0	Coefficients de régression des performances à charges partielles	0,350712
C1	Coefficients de régression des performances à charges partielles	0,3085
C2	Coefficients de régression des performances à charges partielles	-0,54137
C3	Coefficients de régression des performances à charges partielles	0.8810
CpLiq	Chaleur massique du fluide [J/(kg.K)]	4180

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

rhoLiq	Masse volumique du fluide [kg/m3]	998
--------	-----------------------------------	-----

7.4. Résultats de simulation

La figure suivante illustre la puissance instantanée délivrée par la chaudière ainsi que la consommation annuelle. Ces résultats sont comparés avec un système classique à effet joule pour s'assurer de la bonne évolution de la puissance fournie et consommée. Le modèle réagit dans le bon sens aux différentes sollicitations.

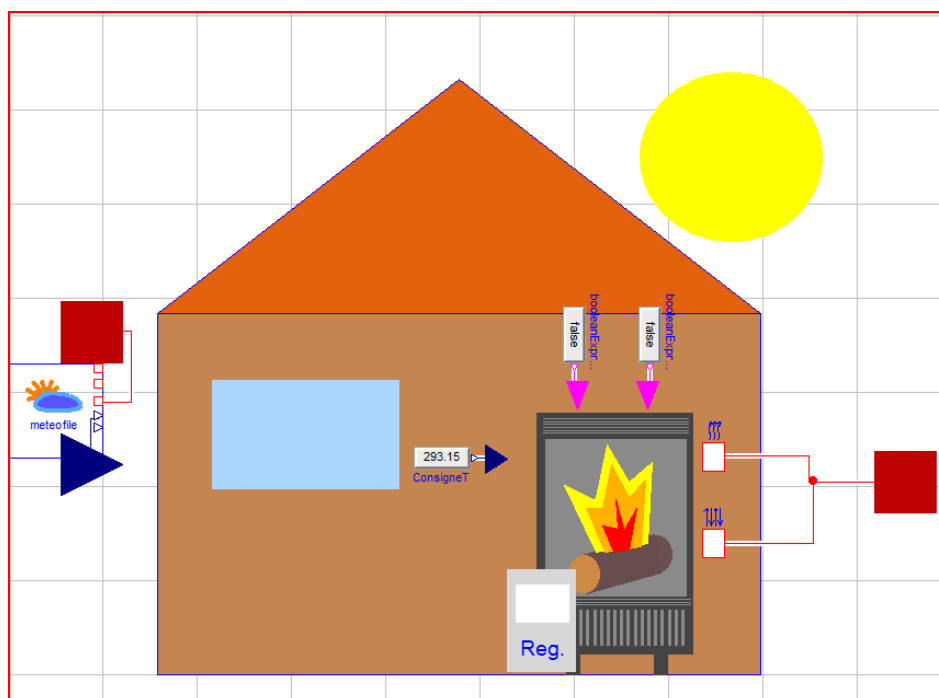


Puissance (W) consommée par la chaudière et consommation annuelle (kWh)

8. Maison individuelle Mozart + poêle à bois

8.1. Description générale de la configuration

Cette configuration montre la faisabilité d'installation d'un poêle à bûches dans une maison type Mozart. La régulation est du type simple avec un scénario de chargement fixé à l'avance. Il faut noter que les poêles à bûches existants sur le marché ont souvent une puissance supérieure aux besoins demandés par une maison BBC. En conséquence, dans l'exemple considéré, on est dans une configuration où la puissance installée est surdimensionnée.



Assemblage sous Dymola/Modelica de la configuration maison Mozart + poêle à bois

8.2. Modélisation de poêle à bûches

8.2.1. Domaine technologique

Il s'agit d'un modèle générique de poêle à bûches basé sur la physique de la combustion et de la thermique donnant les chaleurs convectives et radiatives dégagés par un poêle lors de la combustion d'une fournée de bois. L'approche est énergétique puisque l'on ne s'intéresse qu'à la puissance apportée à une pièce et non aux émissions de particules, ni à la nature des différents gaz émis. La modélisation de la combustion a été élaborée à partir de rapport d'essai réalisé par le LNE [LNE1997] et mis en équation suivant les normes NF par EDF et INSAVALOR [INAR2004-1] [INAR2004-2] [INAR2004-3]. Le caractère générique du modèle a été démontré sous TRNSys par EIFER avec des données expérimentales conduites en laboratoire d'essai ainsi qu'avec des données constructeur de trois poêles SUPRA [GIRA2011].

8.2.1. Description générale

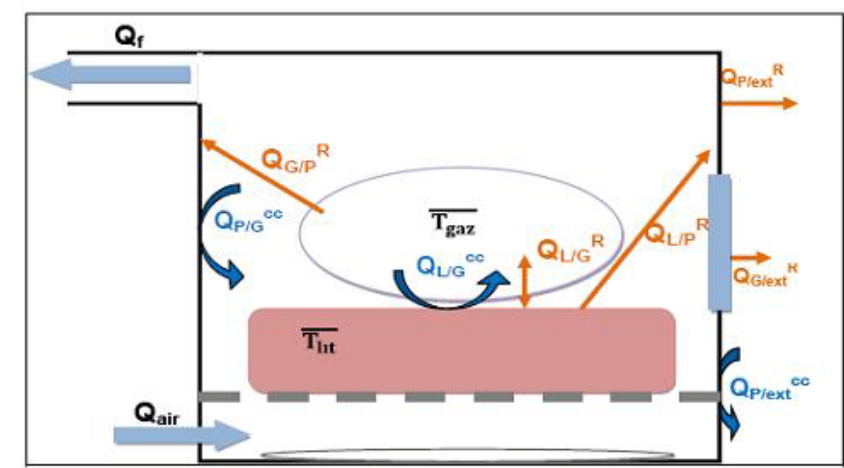
La combustion est un processus complexe qui consiste en une oxydation complète et très rapide du bois, libérant immédiatement une importante quantité de chaleur. Ce processus se déroule suivant

quatre phases successives qui ont, en réalité, tendance à se chevaucher.

- Séchage, période durant laquelle l'énergie apportée au combustible sert à vaporiser l'eau contenu dans le bois
- Pyrolyse. Après décomposition d'une part de la biomasse, il reste un résidu solide - le charbon de bois - représentant entre 15 et 40% de la masse initiale.
- Combustion de la phase gazeuse produite par la pyrolyse
- Oxydation du résidu charbonneux. Après combustion de la majorité des gaz produits par la pyrolyse, l'oxygène s'introduit dans le solide poreux provoquant une oxydation du charbon et le dégagement de chaleur par combustion.

Ces phases reposent sur des équations différentielles couplées, obtenues à l'aide de bilans thermiques sur les trois éléments étudiés : le lit de bûches, le gaz combustible et le poêle. L'ensemble des échanges thermiques a lieu dans l'enceinte de combustion et peut se résumer à l'aide du schéma ci-dessous pour lequel :

- les indices utilisées sont L : Lit, G : Gaz de la chambre de combustion, P : poêle, Ext : l'extérieur du poêle autrement dit la pièce, et f : les fumées
- quatre températures moyennes sont prises en compte : T_{lit} , T_{gaz} , $T_{poêle}$ et T_{ext}
- trois échanges conducto-convectifs, en bleu et annotés «cc» en exposant, sont pris en compte : du lit avec le gaz (Q_{LG}^{cc}), du gaz avec le poêle (Q_{GP}^{cc}) et du poêle avec l'extérieur.
- les échanges par rayonnement, en orange et annotés «r» en exposant, se font entre chacun éléments. Ils sont définis à partir de facteurs de formes explicités par la suite. La présence d'une vitre sur le poêle permet le rayonnement du gaz sur la pièce ($Q_{G/Ext}^r$).
- une partie de la chaleur est perdue dans les fumées. Un calcul détermine cette perte en fonction du débit et de la température des fumées (Q_f)



Echanges thermiques au sein de l'enceinte de combustion

Etant donné que la combustion est un processus complexe, seules les équations principales sont présentées dans cette note. En effet, certaines variables sont définies différemment suivant l'étape de combustion (par exemple la capacité thermique des fumées qui dépend de sa teneur en eau).

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

$Q_{comb} = -\frac{d(m_B)}{dt} \times PCI$	$Q_{PExt}^{cc} = -h_{PExt}^{cc} \times S_{PExt} \times (T_P - T_{P\acute{e}ce})$	$Q_{PL}^r = -e_P \times \sigma \times S_P \times (T_P^4 - C_1 \times T_L^4)$
$X = (m_B / (0,20 \times m_B^0))^2$		$Q_{PG}^r = -e_P \times \sigma \times S_P \times (T_P^4 - C_2 \times T_G^4)$
	$Q_F = -\frac{d(m_F)}{dt} \times C_{PF} \times (T_F - T_{P\acute{e}ce})$	$Q_{PExt}^r = -e_P \times \sigma \times S_{PExt} \times (T_P^4 - T_{P\acute{e}ce}^4)$
		$Q_{Vitre}^r = -e_G \times \sigma \times S_G \times (T_G^4 - T_{P\acute{e}ce}^4);$
	$Q_{Tot}^{cc} = Q_{PExt}^{cc}$	$Q_{Tot}^r = Q_{Vitre}^r + Q_{PExt}^r$

avec $A_1 = (1 + (1 - e_P) \times (e_L \times S_L \times T_L^4) / (e_P \times S_P \times T_P^4)) / (1 + (1 - e_P) \times (e_L \times S_L) / (e_P \times S_P))$, de même pour A_2, B_1, B_2, C_1, C_2

Calcul sur les fumées

$$\frac{d(m_F)}{dt} = (1 + (1 + Allure)^2) \times \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right) \times \frac{M(bois)}{M(Air)} \times -\frac{d(m_L)}{dt}, \quad \text{avec } \lambda = 1 + Allure \text{ et } 0,3$$

$$C_{PF} = 524 + 1,84 \times T_F - 3,7 \cdot 10^{-4} \times T_F^2 \text{ avec } h^r = 4 \times e_P \times \sigma \times T_P^3$$

Les fumées voient en moyenne 20 % de la surface interne du poêle

$$-0,20 \times S_P \times (h_P^{cc} + h^r) \left/ \frac{d(m_F)}{dt} \times C_{PF} \right.$$

$$T_F = T_P + (T_G - T_P) \times e$$

8.3. Paramètres généraux de la simulation

Le paramétrage par défaut du modèle de poêle à bois est présenté dans le tableau suivant :

Paramètres			
mL0	Masse initiale du lit de bûche (humide)	3,6	kg
H	Humidité du bois en %	15	%
Hpy	Enthalpie de la réaction de pyrolyse	125,9	kJ/kg
Hevap	Enthalpie d'évaporation	2 260	kJ/kg
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur du bois	20 000	kJ/kg
Vp	Volume de la chambre de combustion	0,08	m ³
mP	Masse du poêle	113	kg
SL	Surface du lit	0,03	m ²
SG	Surface du gaz	0,12219	m ²
SP	Surface intérieure du poêle	1,07	m ²
SVitre	Surface de la vitre	0,1421	m ²
SPExt	Surface extérieure du poêle	3,5	m ²
eL, eG et eP	Emissivité du lit, du gaz et à l'intérieur du poêle	0,9 ; 1 ; 0,3	-
hccL	Coefficient convectif du lit	15,432	W/m ² /K
hccP	Coefficient convectif du poêle à l'intérieur	30,864	W/m ² /K
hccPExt	Coefficient convectif du poêle à l'extérieur	6,173	W/m ² /K
dmi	Taux de perte de masse initiale	2,77	kg/h
τ	Paramètre temporel utilisé pour la gestion des phases	0,4	h

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

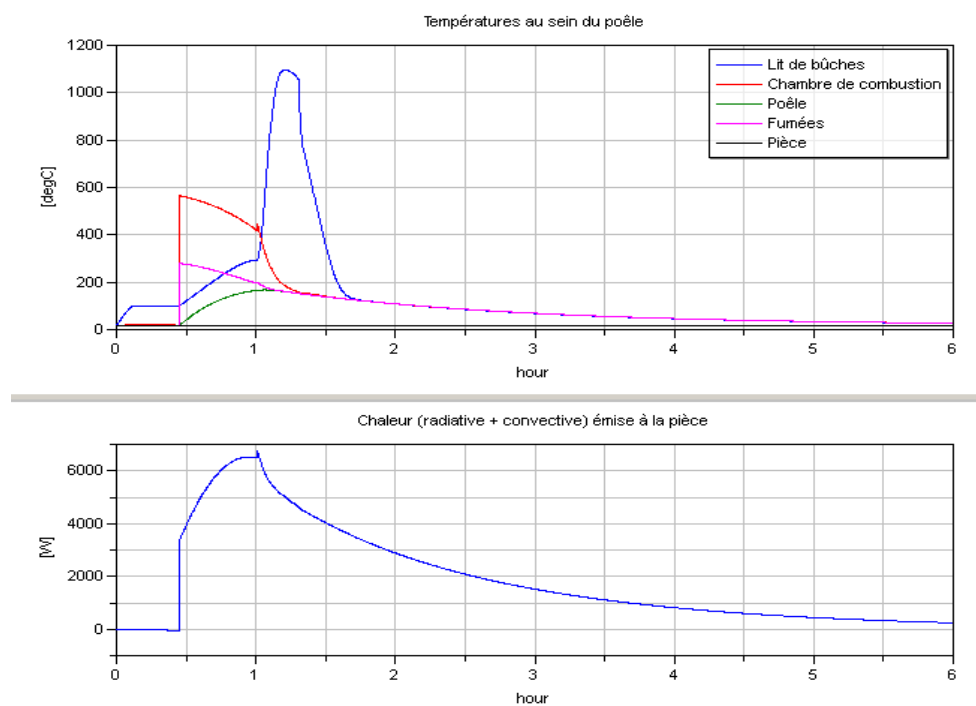
τ^*CR	Constante de temps adimensionnelle	1,6	-
a et b	Coefficients du polynôme de la combustion du lit	0,7957328 0,1855738	-
TSech	Temps de séchage en seconde	0,1	h
mPhase3	Masse à partir de laquelle c'est la 3e phase : le feu est éteint	0,01	kg
Variables d'entrées			
Allure	Excès d'air (compris entre 0,1 et 0,3)	0,3	-
Tpièce	Température de la pièce (via Convection.T)	288.15	K
Variables de sorties			
Qcctot	Puissance dissipée à la pièce par convection (via Convection.Q_flow)	W	
Qrtot	Puissance dissipée à la pièce par rayonnement (via Radiation.Q_flow)	W	

8.4. Résultats de simulation

Le modèle a été simulé avec les variables (par défaut) données dans le tableau des paramètres donné ci-avant dans le cas d'un unique chargement dans une pièce à 20°C. Les résultats obtenus sous Dymola ont été comparés à ceux de TRNSys : le profil global des courbes sont en adéquation, alors que les valeurs de température atteintes ne le sont pas (environ 200°C de moins sous Dymola que sous TRNSys).

Cet écart de températures pourrait s'expliquer par la méthode de résolution des différents environnements puisqu'il s'agit d'un modèle ayant de très forte variation. Or dans le code Fortran de TRNSys, les dérivées sont des variables à part entière qui sont définies par une expression donnée par le programmeur. En revanche, le langage Modelica comprend les dérivées temporelles des variables ce qui peut influencer la valeur de ces dérivées.

Afin de valider le modèle sous Dymola, il serait donc judicieux de comparer les résultats à des données expérimentales.



Evolutions des températures du gaz de la chambre de combustion, du lit, du poêle et des fumées lors

de chargements successifs d'un poêle à bûches mis en parallèle avec l'évolution des flux de chaleurs

Nota : Malgré la complexité apparente du modèle, la plupart des valeurs sont proposées par défaut et l'utilisateur n'a que 4 paramètres à renseigner comme le montre le schéma suivant.

8.5. Améliorations futures

Une gestion de régulation du poêle est en train d'être implémentée dans le modèle en adéquation avec la présence des occupants. Il serait intéressant de lier la valeur d'entrée de l'excès d'air à la vitesse de la combustion puisqu'à ce jour cette valeur ne fait varier que le débit des fumées.

8.6. Références

- [GIRA2011] *Simulation de systèmes bi-energie « bois+électricité » pour le chauffage d'une maison individuelle*, HN-41/10/036, EIFFER, S. GIRARD, C. SAILLY, Avril 2011
- [INAR2004-1] *Développement d'un modèle d'insert et de sa commande : Intégration dans CLIM2000, Rapport 1*, Convention EDF/INSAVALOR, H. BOUIA, C. INARD, Contrat n° 7E2410/AEE2004
- [INAR2004-2] *Intégration du modèle d'insert et de sa commande dans CLIM2000 : Premiers résultats, Rapport 2*, Convention EDF/INSAVALOR, H. BOUIA, C. INARD, Contrat n° 7E2410/AEE2004
- [INAR2004-3] *Modélisation de la puissance de chauffe fournie par un insert. Intégration du nouveau modèle d'insert dans CLIM2000 et résultats de simulations, Rapport 3*, Convention EDF/INSAVALOR, H. BOUIA, C. INARD, Contrat n° 7E2410/AEE2004
- [LNE1997] *Essais : Puissance diffusée par un foyer fermé dans un local*, Rapport d'essais ;

EDF R&D	Modélisation sous OSMOSYS des assemblages de solutions techniques pour le secteur résidentiel	H-E14-2011-01955-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

9. Conclusions et perspectives

La plupart des composants principaux sont modélisés aujourd'hui sous Dymola. Il faut noter que chaque configuration peut être spécifique en fonction des besoins de l'étude. Ce livrable a montré la faisabilité des assemblages bâtiment monozone-système sous Dymola. Le temps de simulation est satisfaisant (de l'ordre de 1 à 3 minutes). Les axes principaux constituant la boucle bâti-système sont présentés :

- Maison individuelle Mozart avec les variantes en fonction des exigences d'enveloppe, du climat et du mode de régulation (les fonctions de régulation interviennent au niveau central et au niveau terminal).
- Gestion (scénarii, ventilation, infiltrations, apports internes,...).
- L'eau chaude sanitaire élément indispensable dans les maisons individuelles avec différentes sources (solaire, effet joule, thermodynamique, ...).
- Le système de production notamment la PAC (air/air, air/eau, ...) et la chaudière (condensation, classique, ...), le poêle à bois.
- Les systèmes d'émissions notamment les radiateurs dans le parc résidentiel.
- Un réseau de distribution qui relie le système de production au système d'émission.

Certaines règles de modélisation ont été revisitées et seront approfondi dans un travail futur (pas de temps, inertie des composants, ...). Les travaux futurs d'assemblage des modèles s'attarderont également sur la modélisation des systèmes énergétiques plus complexes (PAC 3 en 1 par exemple) et sur l'intégration des systèmes énergétiques dans une maison individuelle multizones.