

Une méthode d'estimation des gains solaires effectifs dans un bâtiment en fonction du rayonnement global horizontal extérieur: application aux prévisions météorologiques pour le contrôle prédictif optimal du confort.

Jonathan Leclere¹ (jonathan.leclere@g2elab.grenoble-inp.fr), **Frédéric Wurtz**¹, **Etienne Wurtz**²

¹ CNRS-G2ELAB, Grenoble, France

² CEA-INES, Le Bourget du Lac, France

RESUME. Dans le cadre du contrôle anticipatif optimal des bâtiments, cet article présente une méthode simple et reproductible d'estimation de la quantité de rayonnement solaire passant par les vitrages d'une zone à contrôler en fonction du rayonnement global horizontal extérieur et de la couverture nuageuse. Ces données sont issues d'un service de prévisions météorologiques. L'idée est simple: utiliser les capacités de modélisation d'enveloppe de Sketchup couplées aux modèles analytiques intégrés à EnergyPlus pour connaître, pour chaque instant, le lien entre le rayonnement global horizontal extérieur, en W/m², et le gain solaire effectif dans la zone à contrôler, en W. La méthodologie est détaillée et des discussions sur ses limites ainsi que les perspectives d'amélioration sont abordées

MOTS-CLÉS : contrôle anticipatif optimal, estimation des gains solaires, EnergyPlus

ABSTRACT. In the context of model-based predictive controls of buildings, this paper presents a simple and reproducible way for estimating the amount of solar radiations which pass through windows of a controlled thermal zone, based only on exterior global horizontal radiation, and cloud coverage fraction. Such data come from a weather forecasts service. The idea is to use both Sketchup building geometry modeling capabilities and EnergyPlus solar radiation integrated models to create a link between exterior global horizontal radiation, cloud coverage fraction and effective solar gains in the zone. The methodology is fully explained and some discussions and drawbacks are briefly discussed.

KEYWORDS : Model predictive control, solar gains prediction, EnergyPlus

1. INTRODUCTION

La prochaine réglementation thermique française, la RT 2020, imposera, à l'horizon 2020, que les bâtiments neufs produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour les usages suivants: chauffage / climatisation, ECS, éclairage et auxiliaires. Pour arriver à de tels résultats, hormis les efforts sur l'amélioration de l'enveloppe, l'utilisation massive des énergies renouvelables (solaire thermique et photovoltaïque principalement) pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ainsi que l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes CVC (chauffage ventilation et climatisation) sont incontournables. Aujourd'hui, la régulation de ces systèmes est majoritairement de nature empirique (lois d'eau, etc...) et peut être améliorée. Les bâtiments sont "obéissants"; ils réagissent en fonction de leur état à l'instant présent. Le système de régulation n'a aucun moyen pour calculer ni même anticiper les besoins du bâtiment. Le contrôle est dit "réactif". A l'inverse, le contrôle "prédictif" optimal (Model Predictive Control), qui représente pour les bâtiments la stratégie de régulation la plus avancée à l'heure actuelle (Privara et al. 2010), prend en compte les prévisions météorologiques et permet ainsi

d'optimiser la gestion du bâtiment en anticipant son évolution. Des modèles (enveloppe thermique et systèmes CVC associés) permettent de prédire l'état futur du bâtiment, et en parallèle, un algorithme d'optimisation se charge de trouver le plan de gestion optimal du bâtiment. L'objectif est bien entendu de réduire les consommations énergétiques (ainsi que les appels de puissance) tout en assurant le confort des occupants. De nombreux travaux (Hazyuk 2011; Kolokotza et al. 2008) ont montré que des économies d'énergie de 15 à 25% étaient réalisables par rapport à un système de régulation classique. Les contrôleurs prédictifs optimaux permettent également des économies financières sur l'investissement (puissance nominale inférieure) et la maintenance (réduction du nombre de cycles marche/arrêt) des systèmes énergétiques. Ils nécessitent néanmoins de connaître les sollicitations appliquées au bâtiment. Dans le cas de bâtiments performants (bien isolés, étanches et/ou ayant une surface vitrée importante), l'énergie solaire rentrant dans le bâtiment peut influencer fortement sur la température de l'air intérieur. Une mauvaise évaluation de cette dernière pourra aboutir à une régulation optimale prédictive non adaptée à la réalité du bâtiment, et finalement non optimale. Ce papier propose une méthodologie aisément reproductible et applicable à tout bâtiment pour prédire l'énergie solaire qui passera à travers les vitrages d'un bâtiment en fonction des prévisions météorologiques disponibles: rayonnement solaire global horizontal extérieur et couverture nuageuse.

2. CONTEXTE ET INTERET DU DEVELOPPEMENT DE CETTE METHODOLOGIE

2.1. LA MODELISATION D'ORDRE REDUIT POUR LE CONTROLE OPTIMAL PREDICTIF

Pour le contrôle optimal prédictif, des modèles d'ordre réduit sont nécessaires pour modéliser l'enveloppe et permettre une phase d'optimisation qui converge et aboutisse en un temps adapté à cette application. De nombreux travaux traitent de la modélisation et la calibration des paramètres d'un modèle d'enveloppe thermique d'ordre réduit, adapté au contrôle prédictif optimal du confort (Leclere et al. 2013). Le modèle présenté dans ce papier a pour sortie la température d'air dans la zone à contrôler. Il a été calibré sur des données de simulation EnergyPlus, où toutes les sollicitations étaient maîtrisées et connues: température extérieure, température du sol et gains internes (occupation, gain solaire effectif dans la zone). Dans ce contexte idéal, les résultats obtenus sont satisfaisants et le modèle simplifié suit très bien la dynamique du modèle EnergyPlus. Lorsque l'on se projette dans l'application réelle, à savoir l'utilisation de ce modèle pour le contrôle prédictif, de nombreuses variables ne sont plus maîtrisées, car obtenues ou déduites de prévisions météorologiques, intrinsèquement inexacts. Typiquement, le flux solaire effectif transmis dans la zone à contrôler (rayonnement solaire passant par les vitrages) n'est plus connu, mais "à calculer", en fonction des prévisions météorologiques. Il faudra donc utiliser des modèles pour obtenir cette information.

2.2. UNE MODELISATION DU FLUX SOLAIRE TRANSMIS COUTEUSE

Compte tenu des seules données météorologiques disponibles (rayonnement global horizontal à l'extérieur et couverture nuageuse du ciel), il est compliqué et coûteux (en temps) de quantifier avec précision le rayonnement solaire qui passera effectivement à travers les fenêtres de la zone considérée. Cette valeur dépend de nombreux paramètres comme la part de rayonnement direct et diffus (Notton et al. 2004; Maxwell 1987), fonction de la couverture nuageuse, du trouble de linke, de la position du soleil, des ombres portées du bâtiment sur les fenêtres, etc... Il serait possible, au prix d'importants efforts de modélisation analytique, d'établir une relation liant les deux données de prévisions météorologiques au gain solaire effectif dans la zone, mais cette dernière induirait forcément de fortes

incertitudes (Notton et al. 2004; Iqbal 1980; Perez et al. 1987). Afin d'éviter ces efforts inutiles au regard de la précision des résultats escomptés, on proposera ici une solution permettant de les contourner et ainsi réduire les coûts de modélisation.

2.3. L'UTILITE DE LA METHODE PROPOSEE: MINIMISER LES COUTS DE MODELISATION

Cette méthodologie a été développée en partant du constat que la modélisation analytique du rayonnement solaire sur un bâtiment simple est non seulement longue et fastidieuse à réaliser (géométrie de l'enveloppe, ombres portées, parts de diffus et direct), mais elle est surtout exclusive au bâtiment concerné. Pour des géométries d'enveloppes compliquées, cela devient impossible à réaliser dans un contexte de bureau d'étude en raison d'évidentes contraintes temporelles et économiques. En imaginant le développement futur des services de contrôle optimal prédictif et son application à des bâtiments de grande échelle, il semble évident que des solutions plus rapides à mettre en œuvre et pérennes doivent être créées. La méthode proposée permet de s'affranchir des fastidieux travaux de modélisations analytiques de la géométrie d'un bâtiment et du rayonnement solaire transmis. Elle est également reproductible aisément et à moindre coût pour tout bâtiment, quelque soit la complexité de la géométrie de celui-ci.

2.4. PHILOSOPHIE DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE

La philosophie de la méthodologie est simple. Elle consiste à utiliser les capacités de modélisation géométrique du logiciel Sketchup couplées aux modèles analytiques intégrés à EnergyPlus pour connaître, pour chaque instant, le lien entre le rayonnement global horizontal extérieur, en W/m^2 , et le gain solaire effectif dans la zone à contrôler, en W . On récupère ensuite les prévisions de rayonnement solaire global horizontal extérieur et de couverture nuageuse issues du service météorologiques. On obtient ainsi les prédictions de gains solaires effectifs à renseigner au modèle d'enveloppe thermique pour élaborer le plan de gestion optimal prédictif.

3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODOLOGIE

3.1. PRESENTATION DE SKETCHUP ET ENERGYPLUS

Le logiciel EnergyPlus est un outil d'analyse du comportement thermique dynamique du bâtiment robuste et précis (Witte et al. 2003; Shrestha et Maxwell 2011), disponible gratuitement en téléchargement. Il offre une multitude de variables de sortie disponibles, que sont les sollicitations et les variables d'état calculées par le solveur à chaque pas de temps de simulation. On peut par exemple connaître à chaque pas de temps, le flux solaire (diffus, direct, global, réfléchi) reçue par chaque surface et chaque zone. Le plug-in OpenStudio (Ellis et al. 2008), en téléchargement gratuit, offre une interface graphique au logiciel EnergyPlus (Crawley et al. 2008).



Figure 1: vue "est" de la modélisation de la géométrie du bâtiment sous Sketchup

Il permet d'importer dans le modèle EnergyPlus la géométrie de l'enveloppe thermique, ainsi que ses masques, modélisés aisément sous Sketchup (*Figure 1*). Il crée un pont avec EnergyPlus et permet d'accéder aux propriétés de nombreux objets du modèle EnergyPlus (composition des parois, vitrages, etc...) mais offre aussi une interface graphique très intéressante pour la visualisation des résultats de simulation EnergyPlus (Guglielmetti 2011). A noter que le logiciel Sketchup est également disponible en téléchargement gratuit.

3.2. UTILISATION DE SKETCHUP ET ENERGYPLUS

La géométrie du bâtiment à contrôler a donc été modélisée sous Sketchup (*Figure 1*) et importée sous EnergyPlus grâce au plug-in OpenStudio. On utilisera pour la suite de la méthode les modèles de rayonnement solaire intégrés à EnergyPlus, explicités brièvement ci-après. On sait que pour un même instant de l'année (même position du soleil), le flux solaire transmis dans la zone à contrôler sera fonction des conditions d'ensoleillement extérieures, et donc des conditions de ciel. Afin de connaître pour chaque heure de l'année, et pour toute condition de ciel, le lien entre le rayonnement global horizontal extérieur et le flux solaire effectif reçu dans la zone à contrôler, on effectue plusieurs simulations annuelles, en imposant des conditions de ciel constantes pour chaque simulation, et en faisant varier ces conditions de ciel entre chaque simulation. Pour cela, on utilisera l'objet "DesignDay" d'EnergyPlus (*Figure 2*) qui permet d'imposer les sollicitations extérieures que l'on souhaite pour un jour donné:

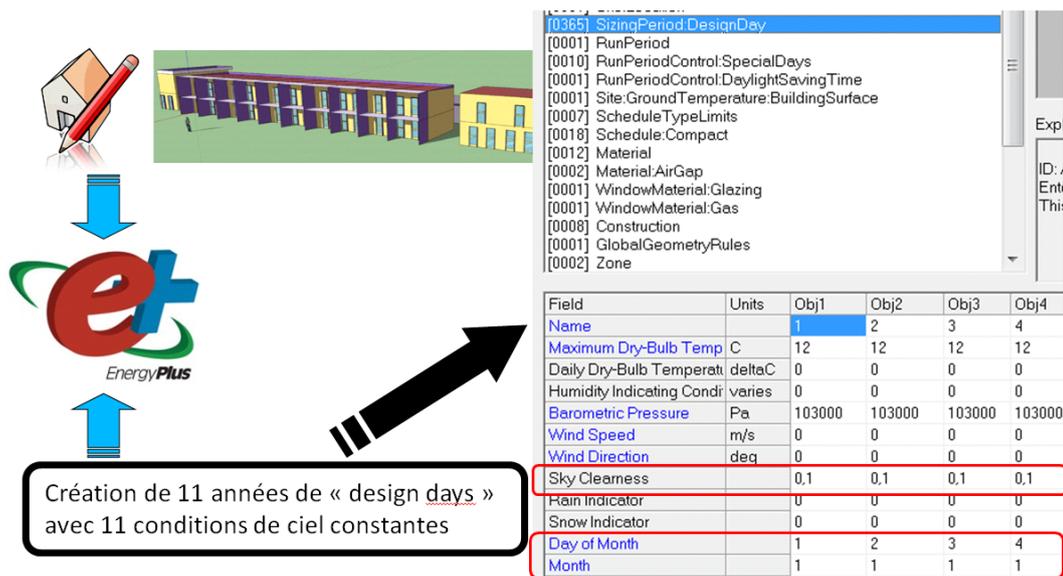


Figure 2 : DesignDay et SkyClearness sous EnergyPlus

Dans cet objet, on peut décider des conditions de ciel via l'entrée "SkyClearness", ε (*Figure 2*). Il représente la "clarté du ciel" et permet de simuler une couverture nuageuse. Il calcule en conséquence les parts de rayonnement direct et diffus. Il est défini ainsi:

$$\varepsilon = \frac{(I_h + I) / I_h + \kappa Z^3}{1 + \kappa Z^3} \quad (1)$$

Où I_h = rayonnement solaire global horizontal [W/m^2], I = rayonnement solaire direct [W/m^2], $k = 1.041$, Z = angle zénithal [rad]. SkyClearness = 1 représente un ciel complètement clair, soit une couverture nuageuse de 0%. A l'inverse, SkyClearness = 0 signifie que les rayonnements I_h et I sont nuls, et donc qu'il fait nuit. On simulera 11 années de 365 "DesignDay" avec ε = constante, variant de

0 à 1 par pas de 0,1. Ainsi, les modèles de rayonnement d'Energyplus permettront de calculer pour chaque pas de temps de simulation, la position exacte du soleil, ainsi que le rayonnement reçu et transmis par les vitrages dans la zone, quelque soit la complexité des masques éventuels. On récupère ensuite en sortie du modèle, le rayonnement global horizontal extérieur (Surface Ext Solar Incident) ϕ_{ghe} , en W/m^2 , et le flux solaire transmis à la zone (Zone Transmitted Solar), Φ_{trs} , en W.

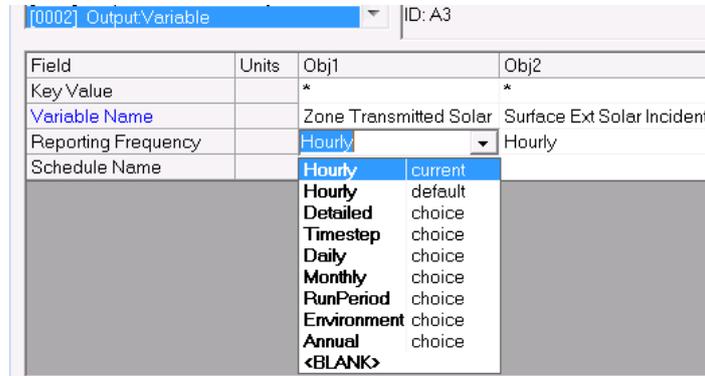


Figure 3: Variables de sortie du modèle EnergyPlus

Comme on peut le voir en Figure 3, on peut choisir d'obtenir les variables de sortie soit pour chaque pas de temps de simulation, soit intégrées sur une heure, une journée, un mois, etc... On choisira pour cette étude des variables de sortie intégrées sur chaque heure.

4. TRAITEMENT ET UTILISATION DES RESULTATS DE SIMULATION ENERGYPLUS

4.1. CREATION DE LA MATRICE DE RESULTATS ENERGYPLUS

Pour chaque heure de l'année, et pour les 11 conditions de ciel, le rapport F_{sol} est évalué:

$$F_{sol} = \frac{\Phi_{trs}}{\phi_{ghe}} \quad (2)$$

Il exprime le rapport entre le flux solaire transmis à la zone Φ_{trs} , en W, et la densité de flux solaire global horizontal extérieur ϕ_{ghe} , en W/m^2 . Les valeurs $F_{sol}(h)$ sont ensuite regroupées dans une matrice de 8760 lignes et de 11 colonnes:

F _{sol}	SkyClearness ε										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
01/01 01:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 02:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 03:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 04:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 05:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 06:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 07:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 08:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01/01 09:00:00	0,0	0,6	0,8	1,2	1,7	2,8	3,6	4,7	11,9	11,8	11,7
01/01 10:00:00	0,0	0,6	0,8	1,3	1,8	2,6	3,3	3,7	5,9	5,8	5,8
01/01 11:00:00	0,0	0,6	0,7	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2	3,0	3,0	3,0
01/01 12:00:00	0,0	0,6	0,6	0,8	1,1	1,1	1,3	1,4	1,6	1,6	1,6
01/01 13:00:00	0,0	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
01/01 14:00:00	0,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
01/01 15:00:00	0,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
01/01 16:00:00	0,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
01/01 17:00:00	0,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	1,1	1,1	1,1
01/01 18:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figure 4: Visualisation des 18 premières lignes de la matrice de résultats F_{sol}

Les 8760 lignes représentent les 8760 heures de l'année et les colonnes 1 à 11 représentent le "SkyClearness" ε croissant, respectivement: [0,0.1,0.2,[...] 1]. On remarque des valeurs fortes de F_{sol}

pour les heures matinales (surlignées en rouge) car la quasi-totalité des vitrages est orientée à l'est (*Figure 1*). On a par exemple, pour $\varepsilon=0.8$, à 9h (8h à 9h), $F_{sol} = 11,8$. Soit de 8h à 9h, $\Phi_{trs} = 11,8 \varphi_{ghe}$. Cette matrice de résultats peut maintenant être utilisée dans le cadre de la gestion optimale prédictive pour calculer et prédire le flux solaire transmis dans la zone Φ_{trs} pour les 48 prochaines heures. Pour cela, on utilise les prévisions météorologiques pour le site considéré.

4.2. RECUPERATION DES PREVISIONS METEOROLOGIQUES

Le service météorologique Foreca renseigne, entre autres, les valeurs de rayonnement solaire global horizontal extérieur φ_{ghe} et de taux de couverture nuageuse ψ pour les 48 heures prochaines heures. Ces données sont mises à jour à chaque début d'heure et sont accessibles directement via la plateforme de simulation et d'optimisation utilisée pour générer des plans de gestion anticipatifs optimaux. Le taux de couverture nuageuse ψ est une valeur comprise entre 0 et 1 qui représente le pourcentage de couverture nuageuse de la voûte céleste. ψ peut prendre 5 valeurs différentes ($\psi \in [0,095; 0,32; 0,565; 0,8; 0,97]$) qui correspondent aux valeurs médianes des 5 intervalles de couverture nuageuse renseignées par le service météorologique Foreca.

4.3. UTILISATION DE LA MATRICE DE RESULTATS

Connaissant les prévisions météorologiques et les valeurs de F_{sol} pour chaque heure de l'année, nous pouvons à présent retrouver le flux solaire transmis dans la zone Φ_{trs} . Une hypothèse importante est prise par rapport à la couverture nuageuse ψ renseignée:

$$\psi = 1 - \varepsilon \quad (3)$$

Cette première hypothèse, simplificatrice, signifie que la couverture nuageuse ψ est l'opposé de la clarté du ciel (SkyClearness) ε , ce qui n'est pas faux dans le fond mais abusif aux vues de l'équation 1. Cette hypothèse sera discutée plus loin. la méthodologie employée est schématisée ainsi:

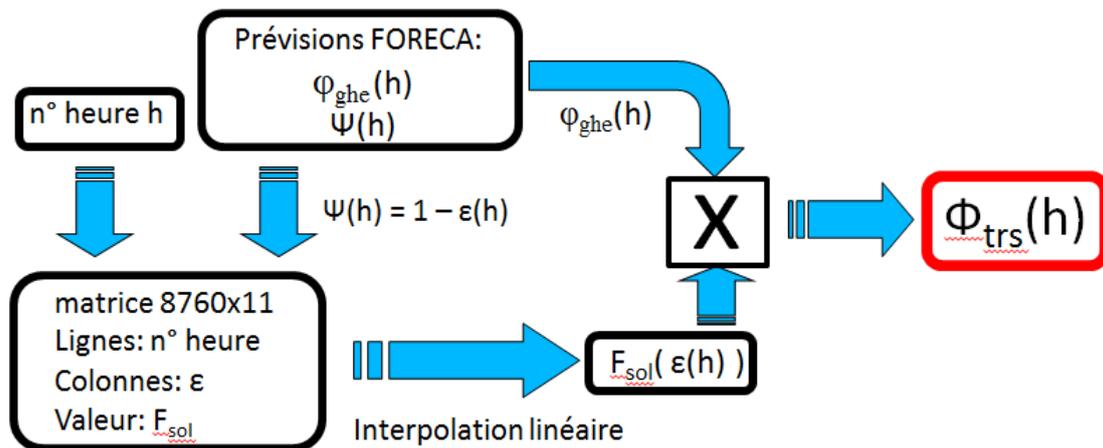


Figure 5: Schéma d'utilisation de la matrice de résultats F_{sol} pour obtenir Φ_{trs}

On utilise le numéro d'heure de l'année h et la valeur $\varepsilon(h) = 1 - \psi(h)$ renseignée par le service de prévisions météorologiques et on obtient par interpolation linéaire la valeur $F_{sol}(\varepsilon(h))$. $F_{sol}(\varepsilon(h))$ est la valeur du rapport entre $\Phi_{trs}(h)$ et $\varphi_{ghe}(h)$, comme exprimé dans l'équation (2). Il suffit ensuite de multiplier $F_{sol}(\varepsilon(h))$ par le rayonnement global horizontal $\varphi_{ghe}(h)$ fournit par le service météorologique pour obtenir le flux solaire transmis $\Phi_{trs}(h)$ dans la zone à contrôler.

5. COMPARAISON SERVICE METEOROLOGIQUE / ENERGYPLUS

On se servira ici de l'historique de prévisions météorologiques du service Foreca pour la période du 20 juin au 31 juin 2013. On compare pour cette période la prévision de rayonnement solaire global horizontal $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ au rayonnement solaire global horizontal estimé par EnergyPlus, $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$, obtenu en renseignant la prévision de couverture nuageuse $\psi(\text{Foreca})$. On visualise sur la *Figure 5* $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ en rouge, $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$ en noir et $\psi(\text{Foreca})$ ($\times 1e^3$) en bleu:

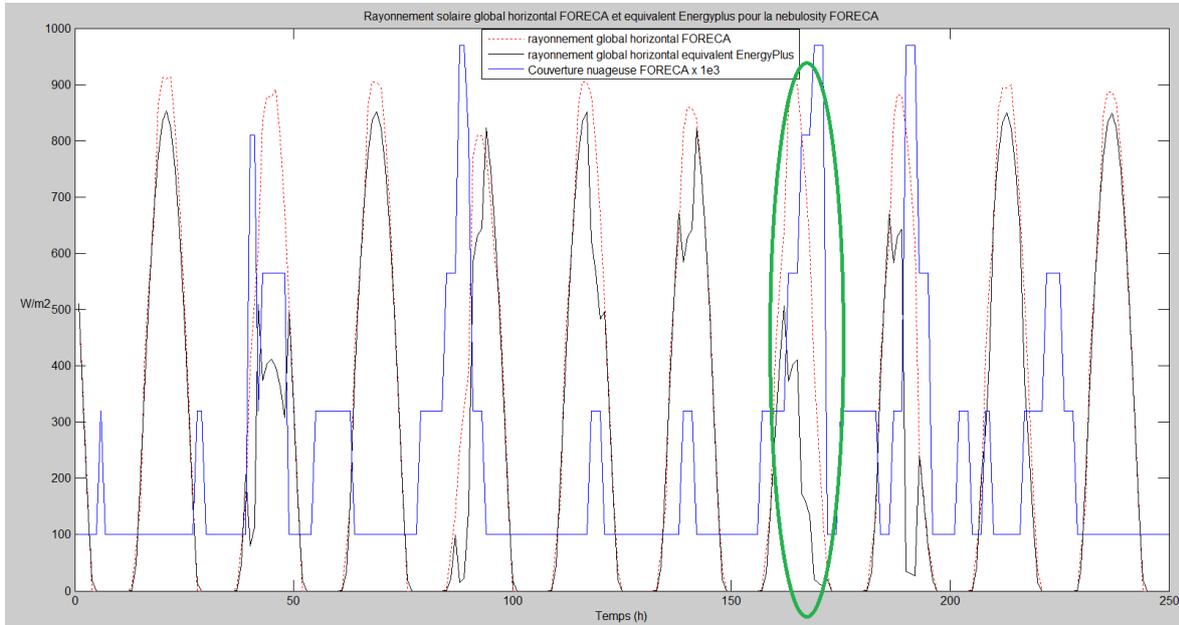


Figure 5: Comparaison de $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ et $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$ équivalent pour $\psi(\text{Foreca})$

Pour les couvertures nuageuses $\psi(\text{Foreca})$ faibles ($\psi = 0.095$ et $\psi = 0.32$) correspondant respectivement à un ciel dégagé et un ciel faiblement nuageux, on note une très bonne correspondance entre $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ et $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$, et donc une Lorsque la couverture nuageuse $\psi(\text{Foreca})$ augmente, la différence entre $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ et $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$ augmente également. Pour des couvertures nuageuses $\psi(\text{Foreca})$ fortes, correspondant à un ciel moyennement à fortement nuageux, on note (entouré vert) une surestimation évidente de $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$. Par exemple pour $\psi=0.565$, à 12h, on a $\Phi_{ghe}(\text{Foreca}) = 900\text{W}/\text{m}^2$, ce qui est clairement surestimé. Pour la même heure, $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus}) = 400\text{ W}/\text{m}^2$, est plus réaliste. On remarque néanmoins des valeurs de $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$ trop faibles pour les valeurs de $\psi(\text{Foreca})$ fortes ($\psi = 0,81$ et $\psi = 0,97$). En outre, le profil de $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ semble quasiment insensible à la couverture nuageuse $\psi(\text{Foreca})$.

6. VOIES D'AMELIORATION ET PERSPECTIVES

On pourra comparer les prévisions $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ et $\Phi_{ghe}(\text{EnergyPlus})$ à des mesures de Φ_{ghe} réelles sur site. Il faudra évaluer en même temps la couverture nuageuse réelle sur site pour différencier les erreurs de prévision sur $\psi(\text{Foreca})$ et le biais sur l'estimation de $\Phi_{ghe}(\text{Foreca})$ que l'on cherche à estimer. Il s'agira d'ajuster la relation $\varepsilon(h) = f(\psi(h))$ afin de trouver la meilleure corrélation possible et estimer au mieux le rayonnement global horizontal en fonction des prévisions $\psi(\text{Foreca})$. On pourra ensuite comparer la température de sortie du modèle d'ordre réduit aux mesures de température sur site (Leclere et al. 2013), en utilisant cette méthodologie (et l'historique $\psi(\text{Foreca})$) pour renseigner $\Phi_{trs}(h)$ au modèle d'ordre réduit. Ainsi, si la température de sortie du modèle d'ordre réduit est suffisamment

proche de la température mesurée, cela montrera que cette méthodologie peut être utilisée pour le contrôle prédictif optimal.

7. CONCLUSION

Dans ce contexte, cette étude présente une méthodologie pour estimer les gains solaires effectifs dans un bâtiment en fonction de la couverture nuageuse du ciel et du rayonnement global horizontal renseignés par un service météorologique. Pour les conditions de ciel ensoleillées et faiblement nuageuses ($\psi = 0.095$ et $\psi = 0.32$), les résultats sont très satisfaisants. L'intérêt principal et l'originalité de cette méthodologie sont sa simplicité de mise en œuvre et sa reproductibilité aisée quelque soit la complexité de la géométrie du bâtiment. Elle a été construite par et pour les acteurs de la gestion optimale prédictive des bâtiments et se destine non seulement au milieu de la recherche mais également aux futurs prestataires de services de supervision optimale des bâtiments.

8. BIBLIOGRAPHIE

- Crawley, D.B., J.W. Hand, M. Kummert, et B.T. Griffith. 2008. « Contrasting the Capabilities of building Energy Performance Simulation Programs ». *Building and Environment* 43: 661-673.
- Ellis, P.G., P.A. Torcellini, et D.B. Crawley. 2008. "Energy Design Plug-in: An EnergyPlus Plug-in for SketchUp." *In Proceedings of the IBPSA-USA SimBuild Conference*, Berkeley, California.
- Guglielmetti, R., D. Macumber, et N. Long. 2011. « OpenStudio: An Open Source Integrated Analysis Platform ». *In Proceedings of Building Simulation 2011*, Sydney, Australia.
- Hazyuk, Ion. 2011. « Dynamical optimisation of renewable energy flux in buildings ». Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.
- Iqbal, M. 1980. « Prediction of hourly diffuse solar radiation from measured hourly global radiation on a horizontal surface ». *Solar Energy* 24: 491 – 504.
- Kolokotsa, D., A. Pouliezios, G. Stavrakakis and C. Lazos. 2009. « Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings ». *Building and Environment* 44 (2009) 1850–1863.
- Leclere, Jonathan, Etienne Wurtz, Frédéric Wurtz. 2013. « A low order envelope model for optimised predictive control of indoor temperature: development methodology and calibration with a numerical model ». *In Proceedings of Building Simulation 2013*, Chambéry, France.
- Maxwell, Eugène L. 1987. « A quasi-physical model for converting hourly global horizontal to direct normal insulation ». Report SERI/TR-215-3087, Solar Energy Research Institute, Golden, CO.
- Notton, G., C. Cristofari, M. Muselli, P. Poggi. 2004. « Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiations from global data for horizontal surfaces in Ajaccio ». *Energy Conversion and Management* 45: 2849 – 2866.
- Perez, R., R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart, D. Menicucci. 1987. « A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces ». *Solar Energy* 39: 221 – 31.
- Prívará, Samuel, Jan Siroky, Lukás Ferkl et Jirí Cigler. 2010. « Model predictive control of a building heating system: The first experience ». *Energy and Buildings* 43: 564 – 572.
- Shrestha, Som et Gregory Maxwell. 2001. « Empirical validation of building energy simulation software: energyplus ». *Proceedings of Building Simulation 2011*.
- Witte, M.J., R.H. Henninger et D.B. Crawley. 2003 « Experience Testing EnergyPlus with the IEA HVAC BESTEST E100-E200 Series ». *Proceedings of Building Simulation 2003*.