

# Application du modèle à d'autres cellules d'inerties différentes

## 4.1 Description des 3 cellules étudiées

Afin d'élargir nos observations, nous avons appliqué nos modèles à trois autres cellules d'inertie différentes :

- les parois de la première cellule, nommée « cellule 1 » tout au long de cette partie, est composée de 2 cm d'enduit à l'extérieur, d'une couche d'isolant de 20 cm et de 1,3 cm de plâtre dans la cellule. Au sol, la couche d'isolant est recouverte d'un plancher bois de 2 cm (Fig. IV.34).

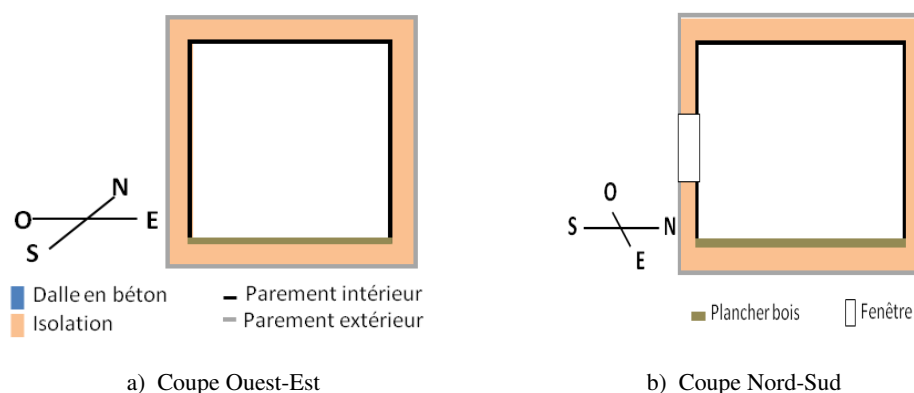


FIGURE IV.34 – Présentation des différentes couches constitutives des parois de la cellule 1

- les parois de la seconde cellule, nommée « cellule 2 », sont composées de couches identiques à la cellule 1, excepté au niveau du sol qui est une dalle béton de 20 cm (Fig. IV.35).
- les parois des murs de la troisième cellule, nommée « cellule 3 », sont composées d'un enduit de 2 cm à l'extérieur, d'une couche d'isolant de 20 cm et d'une couche de 20 cm de béton (Fig. IV.36).

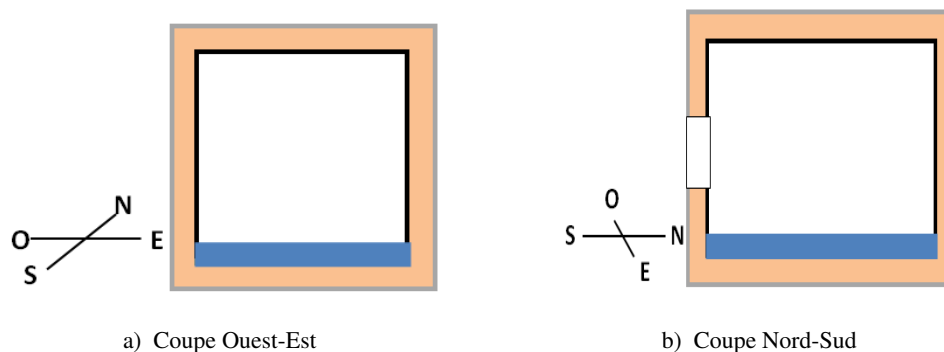


FIGURE IV.35 – Présentation des différentes couches constitutives des parois de la cellule 2

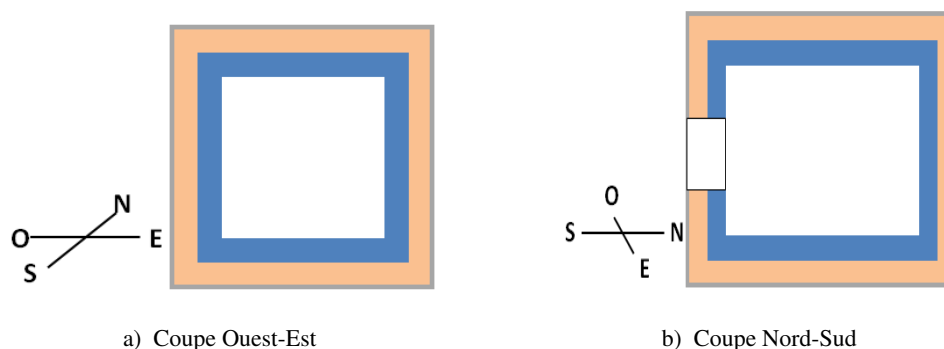


FIGURE IV.36 – Présentation des différentes couches constitutives des parois de la cellule 3

Les caractéristiques physiques des différents matériaux composant les parois des trois cellules sont présentées dans le tableau IV.7.

	Matériau	Épaisseur [m]	Conductivité thermique [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	Capacité thermique massique [J/(kg.K)]
<i>Extérieur</i>					
Parement extérieur	ENDUIT	0,02	0,34	1265	1000
Isolation	ISOLANT	0,20	0,037	67	1400
Parement intérieur	PLATRE	0,02	0,313	816	800
Mur et/ou Dalle plancher	BETON	0,20	1,75	2500	1000
Plancher	PANNEAUX CTBX	0,02	0,12	1250	1200
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE IV.7 – Matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant l'ensemble des parois des cellules

Les trois nouvelles cellules imaginées ont des dimensions intérieures identiques, à savoir  $3 \times 3 \times 3$  m et donc un volume intérieur de  $27 \text{ m}^3$ . Elles sont munies d'une fenêtre de 1,42 m de hauteur et 1,52 m de largeur dotée du double vitrage du même type que la cellule BESTlab. Dans les tests réalisés, cette fenêtre sera orientée Ouest ou Sud.

Le comportement dynamique des trois pièces étudiées, ainsi que leur niveau d'isolation et leur inertie, peuvent être caractérisés en s'appuyant sur l'étude de la réponse dynamique de la cellule à un échelon de

température ambiante extérieure passant de 0 °C initialement à 20 °C ensuite, toute autre sollicitation extérieure restant nulle, et aucune puissance de chauffage n'étant injectée. Pour ce test, les températures de parois et d'air intérieur des cellules sont initialement nulles.

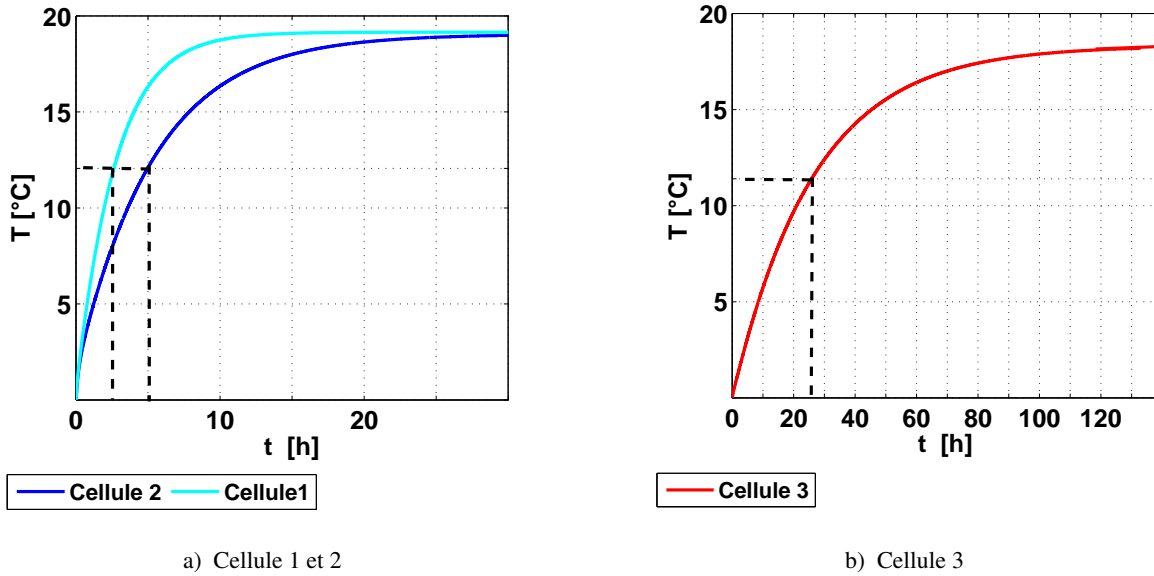


FIGURE IV.37 – Evaluation de l'inertie des cellules étudiées

Nous observons que pour cette sollicitation, les températures intérieures des trois cellules atteignent asymptotiquement différentes valeurs seuils, déterminant le gain en température (Fig. IV.37) : 19,10 °C pour les cellules 1 et 2, 18,16 °C pour la cellule 3. Dans ce test, la constante de temps désigne l'instant  $\tau_{63\%}$  pour lequel la température d'air intérieur du bâtiment a atteint 63 % du gain en température. Pour les cellules 1 et 2, on trouve des constantes de temps de respectivement de 2h37' et 4h59' (Fig. IV.37.a) contre une constante de temps plus importante de 23h48' pour la cellule 3 (Fig. IV.37.b). Les deux premières cellules peuvent être qualifiées de faiblement inertes, contrairement à la cellule 3 qui est très inerte.

Les temps de réponse des cellules à cette température ambiante et les gains en températures sont liés aux caractéristiques de diffusivité et d'effusivité thermiques de leurs matériaux. Ces deux grandeurs donnent des informations importantes sur la transmission de la chaleur :

- la diffusivité thermique  $D$  qui décrit la capacité d'un matériau à transmettre de la chaleur et donc la rapidité du déplacement de la chaleur à travers la masse d'un matériau. Elle s'exprime selon la relation

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} \quad (IV.7)$$

- l'effusivité  $E$  d'un matériau qui décrit sa capacité à absorber des calories. Elle est donnée par l'équation :

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C} \quad (IV.8)$$

Un matériau à effusivité élevée absorbe alors de la chaleur sans s'échauffer significativement. A l'inverse, plus l'effusivité est faible et plus vite le matériau se réchauffe.

Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur des cellules tendent à être minimisées par propagation de la chaleur par conduction. Les deux premières couches des parois en partant de l'extérieur étant identiques pour les trois cellules, 2 cm d'enduit puis 20 cm d'isolant, les différences de dynamiques sont liées aux dernières couches en contact avec l'air intérieur de la cellule.

La cellule 1 a la plus faible inertie des trois cellules. A l'intérieur, les parois latérales et le plafond sont constituées de plâtre alors que le sol est recouvert d'un plancher bois : ces matériaux ont une effusivité et une diffusivité assez faible : ils se réchauffent donc assez rapidement et restituent assez vite de la chaleur vers le nœud d'air. La cellule 2 quant-à elle est identique à la cellule 1, à l'exception du sol où une dalle béton remplace le plancher en bois. Le béton a une effusivité plus élevée que celle du bois et une diffusivité dix fois plus importante. Il se réchauffe donc moins vite, transmet rapidement de la chaleur en son sein et ne permet de chauffer le nœud d'air que lentement. Le sol de la cellule 2 a donc une inertie beaucoup plus importante que celui de la cellule 1, alors que les parois ont la même inertie, l'inertie de la pièce dans sa globalité est donc plus élevée. Enfin, la couche interne des parois et du sol de la cellule 3 sont constituées de 20 cm de béton. Cette fois, les parois sont plus inertes que celles des cellules 1 et 2 et l'inertie globale de la cellule s'en ressent.

L'intérêt du modèle 3D vis-à-vis du modèle  $M_{1D,sol}$  pour le calcul des températures d'air et de surfaces à l'intérieur de ces trois cellules sera étudié dans la suite de ce chapitre. Dans cette optique, l'impact de l'inertie des cellules, ainsi que l'influence de leur orientation sur les différences entre les sorties des deux modèles seront prospectés.

## 4.2 Cellules orientées Ouest

Le comportement thermique d'une pièce est directement lié à ses caractéristiques thermiques et géométriques qui conditionnent l'impact des conditions environnementales sur son enveloppe. Ainsi, des cellules plus ou moins inertes ou dont la fenêtre est orientée Ouest ou Sud ne connaîtront pas les mêmes ambiances internes. Par ailleurs, nous pouvons anticiper que ses caractéristiques peuvent avoir de l'influence sur la précision et donc la pertinence des modèles utilisés pour le calcul des températures d'air et de surface de l'enceinte. Dans cette section, nous nous focaliserons particulièrement sur l'impact de la composition des couches constituant les parois d'une pièce sur sa dynamique thermique et son mode de calcul.

Des simulations du comportement thermique des cellules 1, 2 et 3 dont la fenêtre est orientée Ouest, ont été réalisées à partir de mesures de rayonnement solaire et de températures issues de la station météorologique de Vaulx-en-Velin en Septembre 2013 (Fig. IV.38). Pour ces tests, les cellules étudiées ne sont pas incluses dans un bâtiment, de telle sorte que toutes leurs parois sont soumises aux conditions extérieures : chacune des

parois reçoit le rayonnement solaire qui lui est incident et est sujette à la température extérieure et au vent. Seul le sol ne reçoit logiquement aucun rayonnement et est soumis à une température constante de 20 °C. Les propriétés optiques du vitrage de la fenêtre et les propriétés d'absorption et de réflexion des flux radiatifs des parements intérieurs et extérieurs des parois sont les mêmes que ceux de BESTLab.

Numériquement, si les 3 cellules ont été discrétisées de la même façon au niveau des plans des parois, leur maillage selon leur épaisseur diffère en fonction de l'inertie des matériaux de leur couches superficielles internes : la couche de plâtre des parois des cellules 1 et 2 ainsi que la couche de bois du plancher de la cellule 1 sont constituées de 2 mailles, alors que le sol de la cellule 2 et l'ensemble des parois de la cellule 3, en béton, sont plus maillés, composées de 8 mailles s'affinant quand on s'approche de l'intérieur de la cellule. En tout, la cellule 1 compte 17000 mailles, la cellule 2, 18000 et la cellule 3, 22000. Notons enfin que le processus d'initialisation nécessaire pour s'éloigner des conditions initiales arbitrairement fixées (Fig. II.12), demande des séquences plus longues quand les cellules sont plus inertes, si bien que des simulations sur 3 semaines ont été réalisées pour que seuls les 4 derniers jours soient étudiés.

Nous pouvons constater que les tendances globales des températures d'air calculées par notre modèle 3D restent comparables pour les trois cellules : les températures montent en début de matinées pour atteindre un maximum en milieu d'après-midi puis redescendent pendant la soirée et la nuit. Cependant, les amplitudes entre températures d'air minimales et maximales de chaque jour sont plus importantes dans la cellule 1 peu inerte que dans la cellule 2 dont l'inertie est augmentée par la présence d'un sol en béton et la cellule 3 très inerte, pour des conditions environnementales identiques. Nous observons ainsi que les températures d'air de la cellule 1 varient journalièrement d'environ 9 °C le 2 Septembre et de 5 °C le 3 Septembre pour la cellule 1 alors que ces amplitudes sont respectivement de 5,5 °C et de 3,6 °C pour les mêmes dates dans la cellule 2. D'ailleurs, les températures d'air dans cette cellule atteignent des maxima aussi élevés voire plus élevés que dans la cellule 1, mais les minima n'y sont pas aussi bas. Enfin, les variations journalières de températures d'air n'atteignent que 0,5 °C dans la cellule 3.

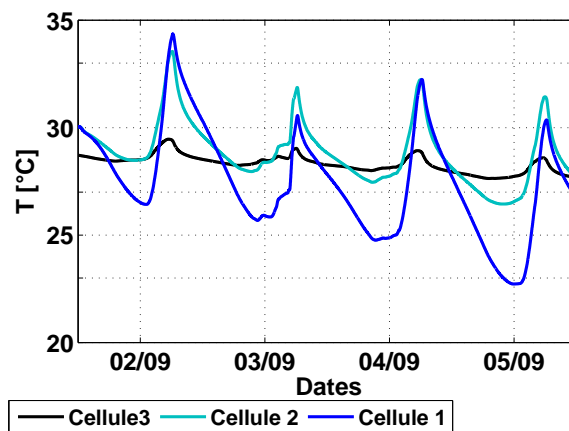


FIGURE IV.38 – Températures d'air calculées par le modèle 3D pour les trois cellules étudiées

La température d'air dans les enceintes étant directement liés aux températures des parois, nous pouvons attribuer leurs différences de dynamiques observées aux différences d'inertie des parois et du sol des trois cellules. On observe ainsi que pour les mêmes apports solaires, au même instant de la journée, les distributions de températures de surface et en particulier au sein de la tache solaire sont très différentes d'une cellule à l'autre. A 16h40 par exemple, la tache solaire frappe le sol, la paroi Nord et Est (Fig. IV.39 et IV.40).

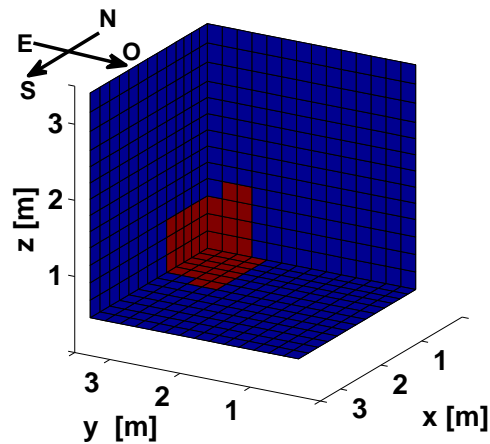


FIGURE IV.39 – Localisation de la tache solaire (en marron, représentation 3D vue de l'extérieur) pour les cellules étudiées, le 02 Septembre 2013 à 16h40.

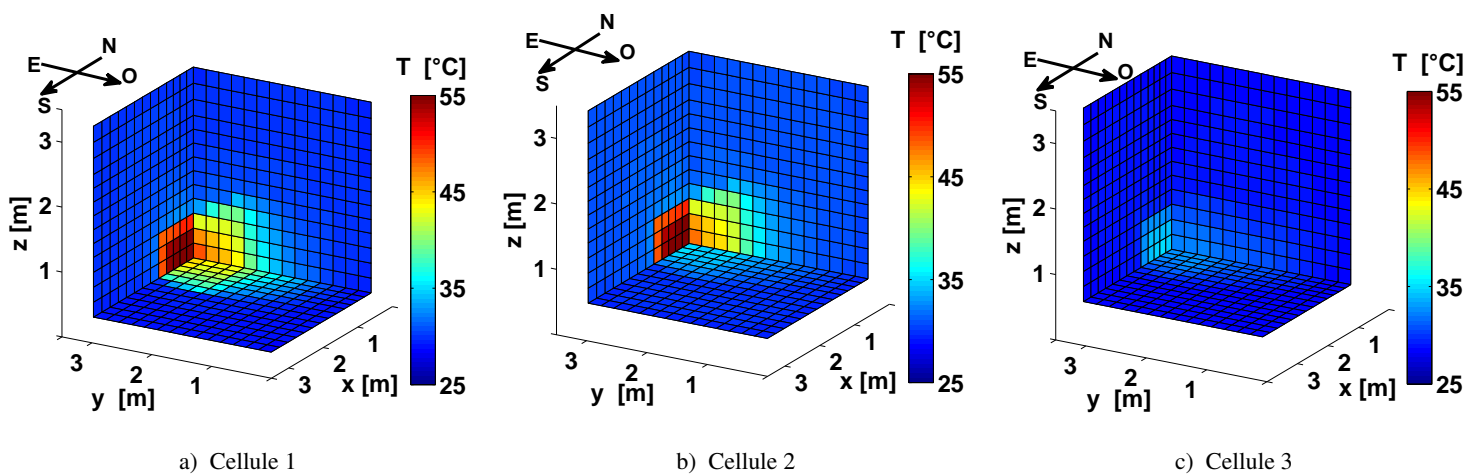


FIGURE IV.40 – Températures de surfaces intérieur (représentation 3D vue de l'extérieur) des trois cellules orientées Ouest, le 02 Septembre 2013 à 16h40

Pour la cellule 1, les températures des mailles de la tache solaire au niveau de la paroi Est sont les plus élevées atteignant 55 °C contre 45 ° au niveau du sol et 50 °C au niveau de la paroi Nord (Fig. IV.40.a). Ces différences de températures au sein de la tache solaire s'explique par les apports solaires, puisque le rayonnement solaire à cet instant de la journée est presque perpendiculaire à la paroi Est et donc plutôt rasant au niveau du sol et de la paroi Nord (Fig VI.9). Les différences d'inertie des matériaux des parois et du sol n'influent que modérément sur ces différences de température. Par contre, en ce qui concerne la cellule 2, nous pouvons observer que les températures des mailles de la tache solaire au niveau des parois verticales

Nord et Est sont proches de celles de la cellule 1, mais celles des mailles situées au sol sont beaucoup plus basses, ne dépassant pas 35 °C (Fig. IV.40.b). Pour cette cellule, le sol est en béton, un matériau beaucoup plus lourd dont la diffusivité et l'effusivité sont bien supérieures au plancher de la cellule 1 : le sol chauffe alors beaucoup moins. Enfin, pour la cellule 3, nous pouvons voir que quel que soit la paroi, les mailles de la tache solaire chauffent très peu, les températures au niveau de la paroi Est ne dépassant pas 35 °C et celles du sol et de la paroi Nord restant à 28 °C environ (Fig. IV.40.c). Dans ce cas, toute la couche superficielle intérieure à la cellule est en béton, l'inertie limite beaucoup les montées en températures.

Ces constats peuvent être généralisés à tous les instants testés. Les graphiques de la figure IV.41 montrent les plages de températures de surface de l'ensemble des mailles du sol et de la paroi Est. On peut y observer que ces plages de températures au niveau de la paroi Est, pour les cellules 1 et 2 restent similaires et synchronisées (Fig. IV.41.b et Fig. IV.41.d). Pour ces deux cellules, le 02 Septembre par exemple, ces plages s'étendent en effet sur des amplitudes pouvant atteindre 29 °C à certains instants en milieu d'après-midi, de 30 °C pour la maille la plus froide à 59 °C pour la maille la plus chaude. Le 03 septembre, ces plages sont moins amples, entre 29 °C et 50 °C. Au niveau du sol par contre, ces plages de températures sont très différentes d'une cellule à l'autre : lorsque la tache solaire frappe le sol, créant des hétérogénéités dans les champs de températures, il y a moins de différence entre températures des mailles les plus froides et de mailles les plus chaudes pour la cellule 2, dont le sol est en béton : les plages de températures s'étalent entre 30 °C et 35 °C le 02 septembre, alors qu'elles présentent des amplitudes de 20 °C pour la cellule 1, entre 26 °C et 45 °C pour cette même journée (Fig. IV.41.a et Fig. IV.41.c).

Enfin, les différences entre températures minimales et maximales au sein de la paroi Est et du sol, pour la cellule 3, présentent les mêmes profils (Fig. IV.41.e et Fig. IV.41.f) : les plages restent resserrées, les écarts entre températures des mailles les plus froides et mailles les plus chaudes étant, aux instants pendant lesquels il y a le plus d'hétérogénéités, de l'ordre de 5 °C.

Nous pouvons par ailleurs noter que les plages de températures des parois en béton de la cellule 3 et du sol de la cellule 2 demeurent légèrement épaissies tout le temps : des différences de températures semblent persister entre les mailles d'une même paroi, même lorsque qu'aucune tache solaire ne crée d'hétérogénéités aux seins des champs de températures de ces parois. Ces écarts de températures peuvent être attribués à une empreinte laissée lors du passage de la tache solaire : les mailles frappées ont alors chauffé, même très modérément, mais elles restent plus chaudes que les mailles hors tache solaire, pendant quelques heures.

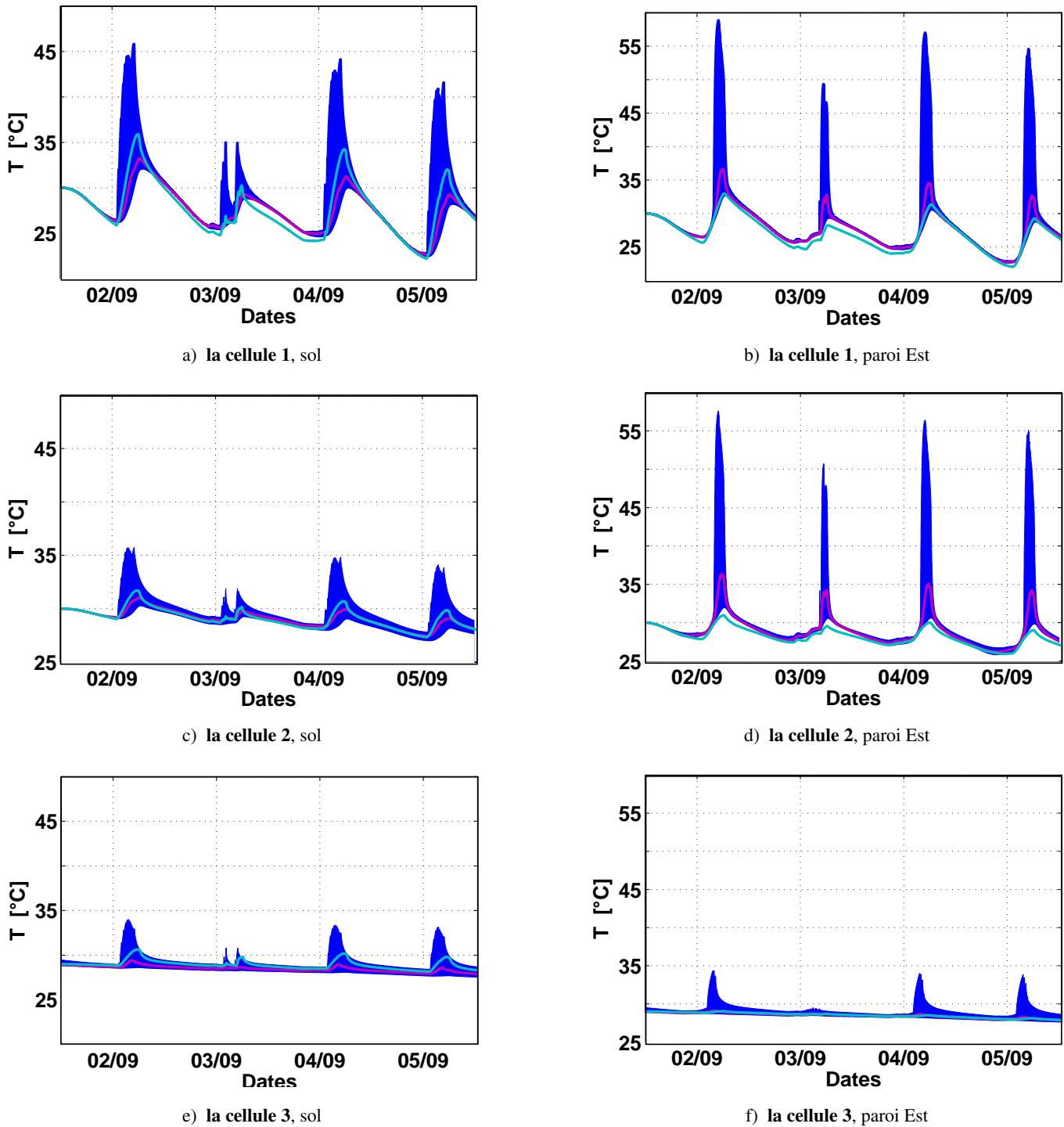


FIGURE IV.41 – Températures de surface (Sol et Est) calculées avec  $M_{1D,sol}$  (ligne cyan) pour les trois cellules, **orientée Ouest**. La plage des températures calculées par le modèle 3D pour toutes les mailles d'une paroi aux instants étudiés apparaît sous forme d'une aire bleue, la température moyenne apparaissant en magenta.

Par la suite, les comportements thermiques de ces cellules ont été simulés par le modèle unidimensionnel  $M_{1D,sol}$  et les résultats obtenus ont été comparés aux sorties du modèle 3D complet. Les températures d'air sont ainsi comparées, pour les trois cellules, et présentées dans les graphiques de la figure IV.42.



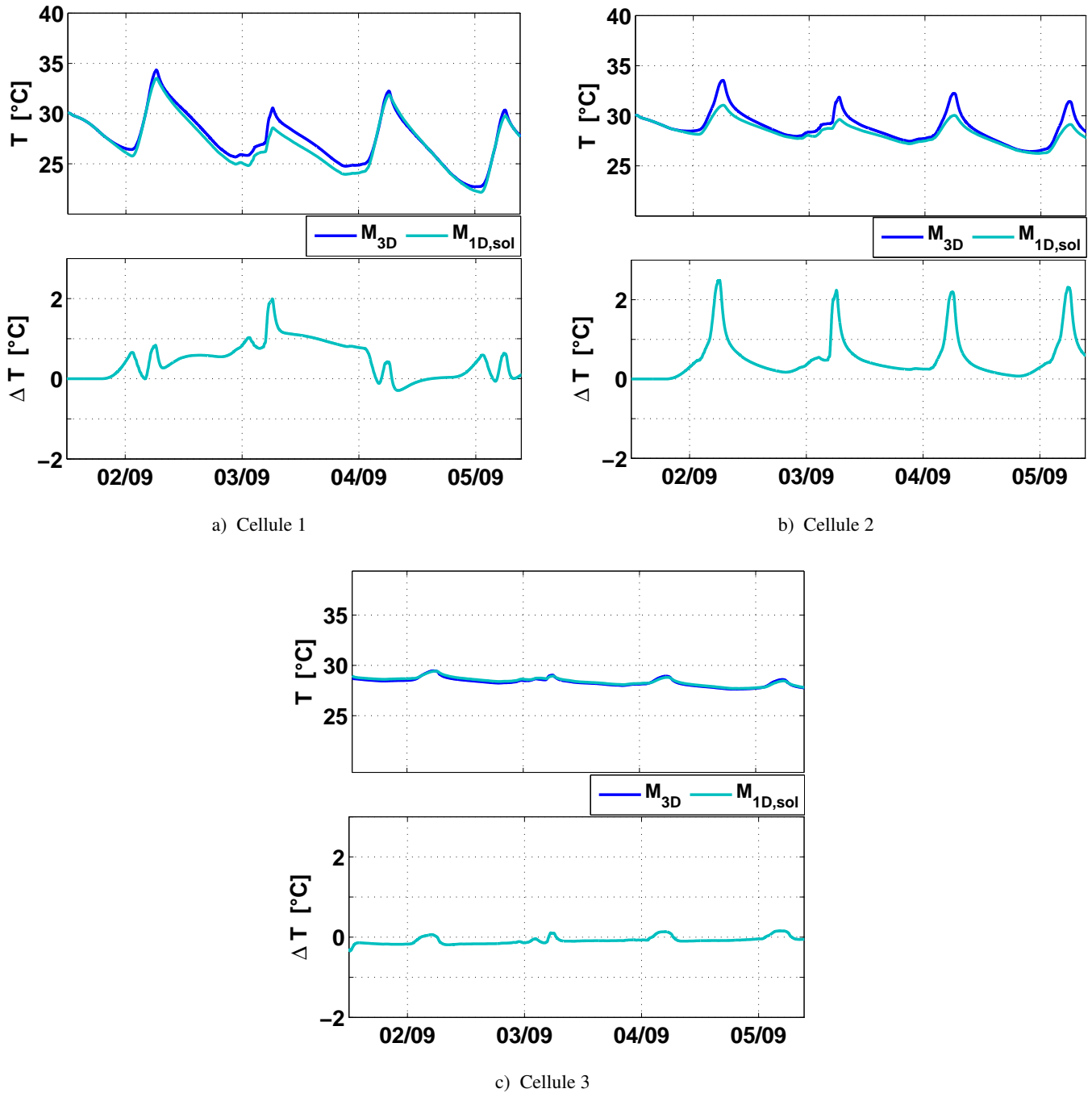


FIGURE IV.42 – Températures d’air calculées avec le modèle 3D et  $M_{1D,sol}$  dans les trois cellules d’inertie différentes. En bas : Différences entre simulations

Nous pouvons constater que les températures d’air calculées par le modèle 3D et  $M_{1D,sol}$  sont très proches pour les cellules 1 et 3 :

- au niveau de la cellule 1, les températures d’air obtenues par  $M_{1D,sol}$  restent inférieures à celles calculées par le modèle 3D, présentant des écarts de l’ordre de 1 °C, atteignant marginalement 2 °C le 03 Septembre ;
- au niveau de la cellule 3,  $M_{1D,sol}$  donne des températures d’air inférieures d’au plus 0,1 °C.

Au niveau de la cellule 2 par contre, des écarts plus importants, de l'ordre de 2,5 °C sont perceptible tous les jours, en après-midi, alors qu'en soirée et le matin, les deux modèles donnent sensiblement les mêmes résultats.

Ces différences ne semblent pas directement attribuables aux différences d'apports solaire qu'il existe entre les deux modèles mais à la distribution de ces apports énergétiques sur les parois des cellules. En effet, si la surface de transmission réelle de la fenêtre modulant le rayonnement solaire dans  $M_{1D,sol}$  est au mieux comparable, au pire plus petite que la surface réelle de la tache solaire (Fig. IV.43), nous pouvons observer que les flux CLO moyens absorbés par les cellules sont comparables d'un modèle à l'autre (Fig. IV.44).

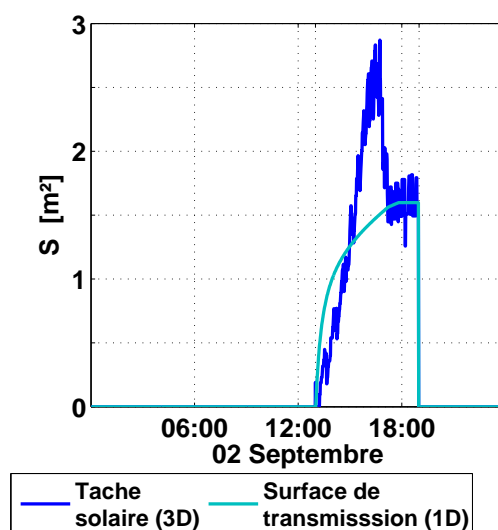


FIGURE IV.43 – Surface de transmission du rayonnement solaire pour le modèle 1D comparé à la surface de la tache solaire considérée pour le modèle 3D pour les 3 cellules orientées Ouest

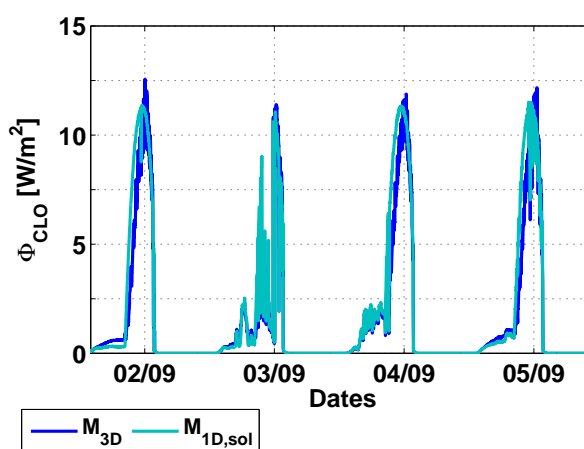


FIGURE IV.44 – Densités de flux CLO moyen absorbés par les parois des 3 cellules orientées Ouest

D'un autre côté, dans le modèle 3D, les apports solaires sont distribués sur l'ensemble des parois frappées par la tache solaire tandis qu'ils ne le sont qu'au niveau du sol avec  $M_{1D,sol}$ . Si les matériaux constituant le sol et les autres parois ont des caractéristiques thermiques semblables ou proches, le mode de distribution du rayonnement solaire aura moins d'impact sur la température d'air : que les apports énergétiques soient

absorbés par le sol ou les parois, la restitution vers le nœud d'air sera similaire. C'est le cas pour la cellule 1 dont la couche superficielle intérieure du sol est en bois et celle de chacune des parois en plâtre et pour la cellule 3 dont la couche superficielle de toutes les parois est en béton : les deux modèles donnent alors des résultats très proches.

Par contre, le mode de distribution du rayonnement solaire aura un impact sur les températures d'air si les matériaux de l'ensemble des parois n'ont pas les mêmes comportements thermiques : la restitution de l'énergie vers le nœud d'air est en effet différente lorsqu'une paroi est en béton que lorsque celle-ci est en plâtre ou en bois. Les écarts de températures d'air observés en après-midi au niveau de la cellule 2 peuvent s'expliquer ainsi. A ces moments de la journée, la tache solaire simulée par le modèle 3D touche le sol, dont la couche superficielle est en béton, mais surtout les parois Est et Nord constituées de plâtre et d'isolant, donc faiblement inerte, alors que  $M_{1D,sol}$  ne distribue le rayonnement solaire qu'au sol. Or nous avons pu observer que les parois de cette cellule chauffent fortement tandis que le sol ne chauffe que modérément en cas d'apports solaires importants (Fig. IV.40.b, Fig. IV.41.c et Fig. IV.41.d). La restitution d'énergie du sol vers le nœud d'air est donc inférieure à la restitution des parois verticales vers le nœud d'air. Finalement, dans ce cas, pour des apports énergétiques globaux pourtant semblables (Fig. IV.44), le comportement thermique de la pièce est très différents qu'il soit simulé par le modèle 3D ou par  $M_{1D,sol}$ .

Ainsi, pour le calcul des températures d'air, le modèle 3D présente un intérêt particulier pour des cellules dont les constitutions des parois et leurs caractéristiques thermiques sont très différentes.

Enfin, le modèle 3D a toujours beaucoup d'intérêt pour le calcul des températures de surface, quel que soit la composition des parois des cellules : nous avons pu en effet observer que pour les 3 cellules étudiées, des hétérogénéités plus ou moins importantes existaient entre mailles d'une même paroi. Ces hétérogénéités sont bien prises en compte par le modèle 3D tandis que  $M_{1D,sol}$  ne permet de calculer qu'une température par paroi (Fig. IV.41).

### 4.3 Cellules orientées Sud

L'impact de l'orientation des cellules 1, 2 et 3 sur les performances des modèles 3D et  $M_{1D,sol}$  utilisés pour les simulations de leur comportement thermique est étudié dans cette section. Dans le cas présent, nous considérons que la fenêtre des cellules présentées précédemment n'est plus orientée Ouest, mais Sud. Les températures d'air simulées par les deux modèles pour les 3 cellules ainsi que les différences absolues entre elles sont présentées dans les graphiques de la figure IV.45.

Nous pouvons remarquer qu'à l'instar de ce qui avait été observé lorsque la fenêtre était orientée vers l'Ouest, quel que soit la cellule modélisée, les températures d'air calculées par  $M_{1D,sol}$  sont toujours au-dessus de celles calculées par le modèle 3D complet. Les écarts avec les températures d'air calculées par le modèle 3D restent modérés :

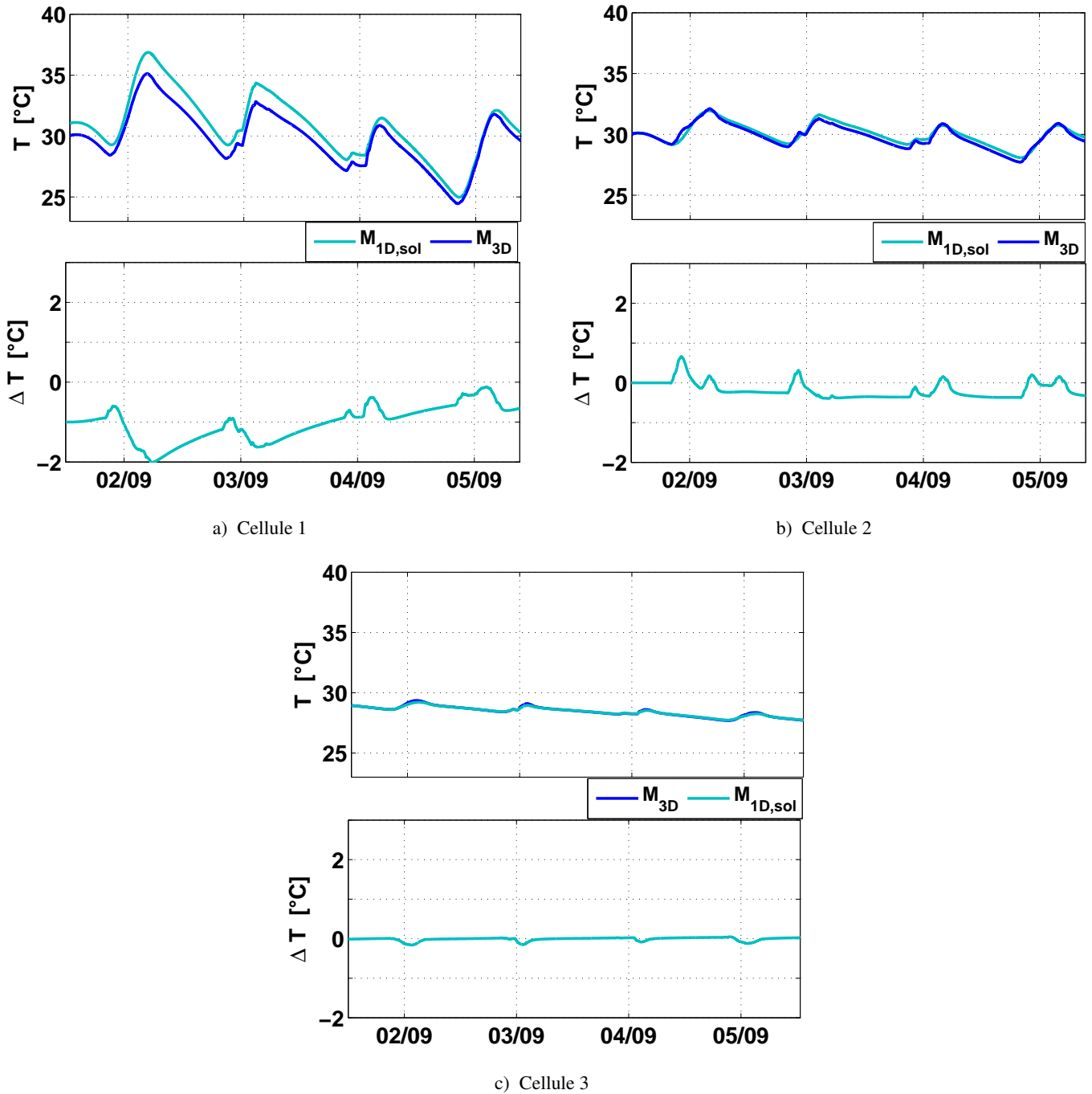


FIGURE IV.45 – Températures d’air calculées avec le modèle 3D et  $M_{1D,sol}$  dans les trois cellules d’inertie différentes. En bas : Différences entre simulations

- pour la cellule 1, les 02 et 03 Septembre, ils atteignent marginalement 2 °C tandis qu’ils dépassent rarement 0,5 °C les 04 et 05 Septembre (Fig. IV.45.a) ;
- pour la cellule 2, sur toute la période de simulation, ils dépassent rarement 0,5 °C (Fig. IV.45.b)
- pour la cellule 3, sur toute la période de simulation, il restent de l’ordre de 0,1 °C (Fig. IV.45.c).

Les différences de températures d’air calculées par les deux modèles peuvent résulter directement des différences de flux CLO absorbés par les parois, issus d’un rayonnement solaire pénétrant dans la pièce

traité de façon différente dans les deux modèles : ici, la surface de transmission de la fenêtre, modulant le rayonnement solaire transmis dans le cas de  $M_{1D,sol}$  est légèrement plus grande que la tache solaire calculée par le modèle 3D (Fig. IV.46). Le rayonnement solaire global pénétrant dans la cellule et absorbé par les parois est alors généralement plus important dans  $M_{1D,sol}$  que dans le modèle 3D (Fig. IV.47). D'ailleurs, quel que soit la cellule, les deux modèles donnent des températures d'air très proches les 04 et 05 Septembre, alors que les densités de flux CLO absorbées sont équivalentes et que le rayonnement solaire à une composante directe moins importante.

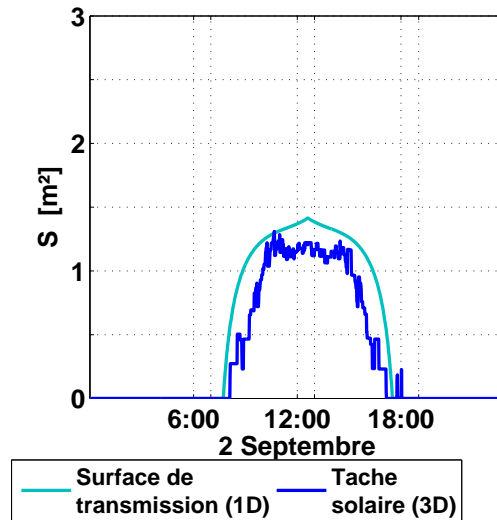


FIGURE IV.46 – Surface de transmission du rayonnement solaire pour le modèle 1D comparé à la surface de la tache solaire considérée pour le modèle 3D pour les 3 cellules orientées Sud

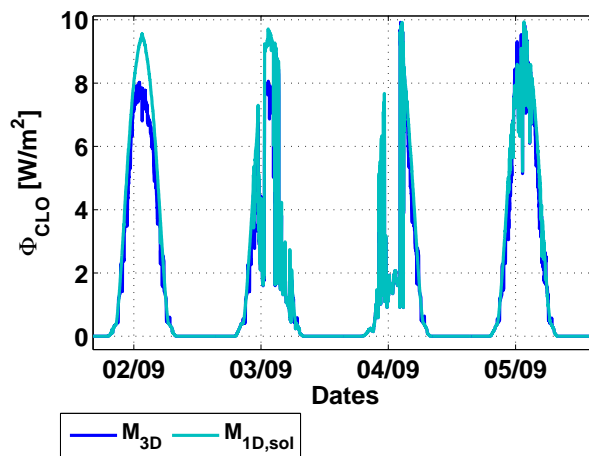


FIGURE IV.47 – Densités de flux CLO moyen absorbées par les parois des 3 cellules orientées Sud

Contrairement au cas où la fenêtre est orientée à l'Ouest, alors que la tache solaire touche plus régulièrement les parois verticales Nord et Est (Fig. IV.48.a) et est plus importante au niveau de la paroi Est, dans le cas où la fenêtre est au Sud, la tache solaire frappe plus souvent le sol (Fig. IV.48.b) et sa surface est plus grande au niveau du sol qu'au niveau des parois latérales. Alors, le fait de ne diluer le rayonnement solaire

direct pénétrant dans la pièce qu'au sol dans  $M_{ID,sol}$  ne constitue plus une hypothèse simplificatrice très importante : lorsque la fenêtre est orientée Sud, les rayonnements solaires sur parois verticales sont plutôt marginaux et influencent peu le comportement thermique de ces parois et de la cellule. Aussi, les différences de composition du sol par rapport aux autres parois, dans le cas de la cellule 2, n'ont alors que peu d'impact sur les températures d'air.

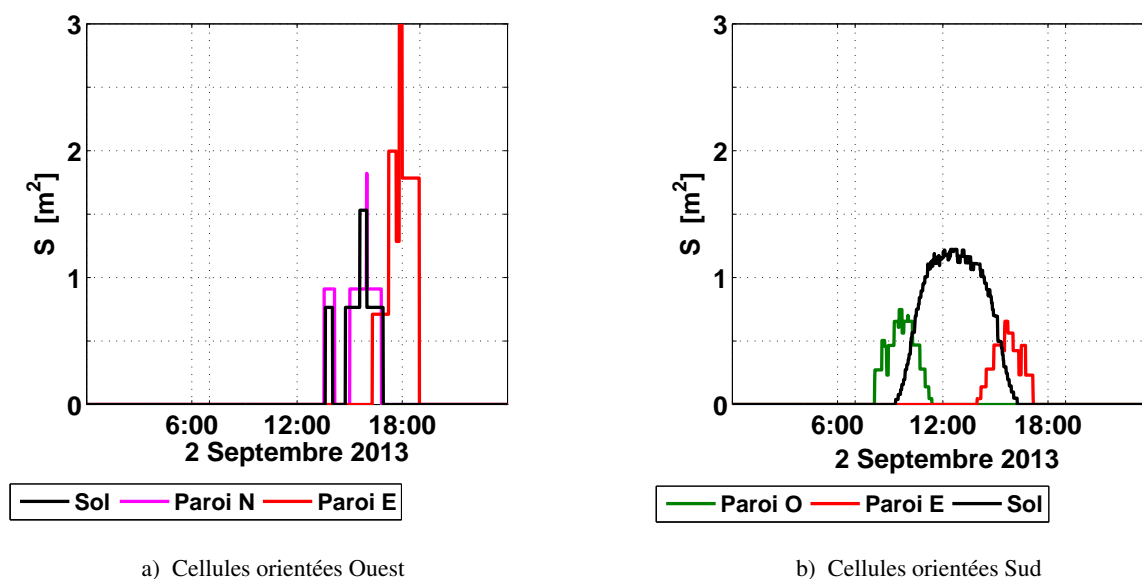


FIGURE IV.48 – Evolution de la surface de la tache solaire, selon paroi touchée, pour les trois cellules considérées en Septembre

Ainsi, dans le cas où la fenêtre des cellules est orientée Sud,  $M_{ID,sol}$  présente des performances comparables au modèle 3D quelque soit la cellule. Les compositions et les comportements thermiques différenciés des parois et du sol n'ont pas autant d'influence que lorsque la cellule est orientée Ouest.

#### 4.4 Bilan des tests sur les 3 cellules

L'intérêt du modèle 3D présenté dans cette thèse est discuté dans ce chapitre pour différents types de cellules d'inertie différente. Ces cellules sont dans un premier temps introduites : il s'agit de trois pièces parallélépipédiques  $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3\text{ m}$  munies d'une petite fenêtre dont l'orientation sera Ouest ou Sud selon les tests. Les couches superficielles intérieures sont différentes d'une cellule à l'autre, si bien que leur comportement thermique est complètement différent : la cellule 1, dont les parois sont en plâtre et le sol en bois, a tendance à chauffer rapidement et monter assez haut en température, alors que la cellule 2, dont le sol est en béton, chauffe moins vite. Enfin, la cellule 3 dont les parois et sol sont en béton, chauffe moins vite.

Les simulations réalisées avec le modèle 3D et  $M_{ID,sol}$  pour ces trois cellules dont la fenêtre est orientée Ouest ont confirmé les différences de comportements thermiques en conditions réelles : les amplitudes de températures d'air journalières sont plus importantes pour la cellule 1 que pour la cellule 2, tandis que la

température d'air dans la cellule 3 n'évolue quasiment pas pendant la journée.

Par ailleurs, nos tests ont démontré que le modèle 3D donne des résultats différents de  $M_{1D,sol}$  :

- au niveau des températures de surfaces, les hétérogénéités de températures au sein de parois touchées par la tache solaire sont importantes quand celles-ci sont en plâtre ou en bois, pour la cellule 1 ou les parois verticales de la cellule 2 et sont moindres quand elles sont en béton pour la cellule 3.
- au niveau des températures d'air, des écarts importants sont observables au niveau de la cellule 2 : nous avons pu en effet relever des écarts de températures d'air intérieur atteignant 2,5 °C. Des différences moins importantes de températures d'air ont été notées au niveau des cellules 1 et 3. Les différences ne sont pas attribuables directement aux modes de calcul des apports énergétiques solaires, qui demeurent sensiblement les mêmes quel que soit le modèle, mais au fait que ces apports sont dilués sur le sol dans  $M_{1D,sol}$  d'un côté, et sur l'ensemble des parois frappées par la tache solaire avec le modèle 3D. Ainsi, si les constitutions et le comportement thermique des parois et du sol d'une cellule diffèrent, les comportements thermiques globaux simulés par les modèles seront différents.

Lorsque la fenêtre était orientée vers le Sud, des observations différentes ont été faites : les écarts entre  $M_{1D,sol}$  et le modèle 3D sont plus importants au niveau de la cellule 1 et nous avons noté qu'ils tendent à s'atténuer, pour des flux CLO similaires, lorsque l'inertie des cellules augmente. Avec cette orientation, pendant la période étudiée, la tache solaire reste régulièrement au sol, si bien que les différences de constitution entre parois verticales et le sol n'expliquent pas les différences entre les sorties des modèles. Alors, une mauvaise distribution de rayonnement engendre plus d'erreur pour une cellule dont les matériaux constituant les couches superficielles intérieures des parois et du sol sont peu diffusifs et effusifs : ces surfaces de parois ont tendance à plus chauffer et les champs de températures y sont plus hétérogènes. Finalement, dans cette configuration, les écarts entre le modèle 3D et  $M_{1D,sol}$  demeurent faibles quel que soit la cellule, si bien que  $M_{1D,sol}$  peut suffire pour le calcul de températures d'air.