

## 1. Introduction :

Au cours de ces dernières années, les outils de simulation numérique de l'éclairage ont effectué des progrès considérables. Ils jouent un rôle très important dans l'analyse de la disponibilité de la lumière naturelle pour en déduire un dimensionnement et une stratégie de contrôle optimisés des systèmes d'éclairage. Aujourd'hui on constate une grande augmentation du nombre des logiciels de simulation numérique d'éclairage au niveau international.

Lors d'une comparaison des simulations numériques aux mesures expérimentales dans des maquettes ou dans des bâtiments existant, le problème principal reste dans l'incertitude liée aux valeurs mesurées et à la description du scénario. Cette incertitude est liée au nombre souvent élevé de sources d'erreurs.

Ainsi, d'une part, nous nous trouvons souvent avec des références expérimentales associées à une marge d'incertitude trop importante. D'autre part, nous nous trouvons avec des complexes où il est difficile d'identifier les sources de différences entre la simulation et les mesures. Avec ce type de scénarios nous risquons également de ne pas identifier toutes les sources d'erreurs car certaines peuvent être composées par d'autres, (Maamri, 2002).

La majorité des travaux de validation existants se situent en général dans trois catégories :  
 i) validation par comparaison entre simulation et mesures dans des maquettes expérimentales (Grynberg,1988) (Aizlewood,1979) )(Caroll,1999)( fontoynt,1999, ii) validation par comparaison entre simulation et mesures dans des scènes réelles(Chuarr,1989) (Love,1991) (Mahdavi,1993) (Arvis,1997) )(Galasiu,1998) )(Mardaljevic,2001) iii) validation par comparaison entre simulation de différents logiciels(Selkowitz,1982) (Bresciani,1989) (Houser,1996) (Khodulev,1996) (Fontoynt,1999)](Maamri,2003)

Ce chapitre consistera en une validation au moyen de technique de la première et troisième catégorie. La première est une comparaison des valeurs d'éclairement horizontal obtenus par les mesures opérées dans le model réduit et ceux obtenus grâce aux logiciels Radiance et Ecotect. La deuxième validation : on compare les valeurs d'éclairement obtenus par les logiciels Radiance 2 et Ecotect 5.5 .

## 2. Validation expérimentale :

La validation des résultats obtenus au moyen d'une simulation numérique a mené à la construction d'un modèle réduit.

Pour la validation des résultats de l'éclairage simulé reçu sur le plan de travail par le logiciel "Radiance 2", on a opté, rappelons le, pour deux catégories de validation :

- 1) La validation avec les résultats de mesure sur un modèle réduit
- 2) La validation avec les résultats simulés par le logiciel "Ecotect 5.5"

### 2.1. Description du modèle réduit et les configurations testées :

L'expérimentation sur le modèle réduit se déroule sous un ciel réel clair ensoleillé. Le choix de cette option (test sous les conditions d'un ciel réel) est en raison de la facilité et du faible coût en comparaison au cas du ciel artificiel

Notre modèle réduit est conçu à une échelle de (1/8). Cette dernière permet d'avoir une vue intérieure très détaillée (photos ou vidéos) et ; étudier avec précision la pénétration de la lumière naturelle. Le modèle a les mêmes caractéristiques géométriques et photométriques que celui simulé.

Le modèle a été réalisé avec le carton mousse d'une épaisseur de 2cm (Fig.VIII.1). les parois intérieures ont été couvertes par un papier d'une couleur crème (Fig.VIII.2 ) qui est la couleur utilisée dans la majorité des bâtiments tertiaires dans la ville de Biskra.

Nous avons effectués des trous dans la paroi verticale afin de faire passer la sonde du Luxmètre (Fig.VIII.3). Cette dernière sera fixée aux points désignés sur le plan de travail à l'intérieur de la maquette (Fig.VIII.4). Le raccordement des parois est effectué à l'aide de bande noire pour éviter toute pénétration parasite de lumière (Fig.VIII.5)



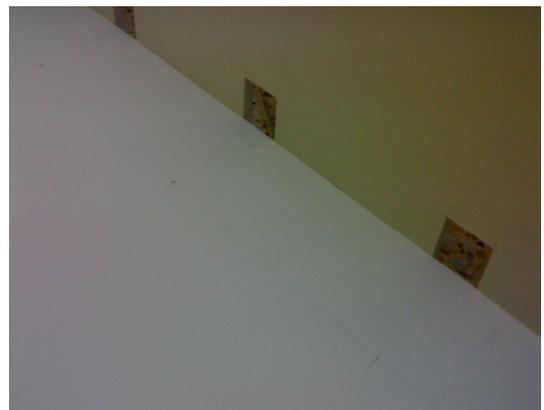
**Figure VIII.1: Carton mousse utilisé pour la réalisation de la maquette (Source: Auteur)**



**Figure VIII.2: Collage du papier cocons pour la couleur des parois intérieures (Source: Auteur)**



**Figure VIII.3: Les ouvertures dans les parois pour placer les sondes des luxmètres. (Source: Auteur)**



**Figure VIII.4: Implantations des points de mesures (Source: Auteur)**



**Figure VIII.5: Raccordement des parois à l'aide de bande noire pour éviter toute pénétration parasite de lumière. (Source: Auteur)**

Les dimensions du modèle sont de 7,87m x 5,25m, une hauteur de 3,5m, et une ouverture en façade de 5,25m x 3,5m (voir section 3.2 ; chap.III).

Les équipements de mesures utilisés dans cette expérimentation sont un luxmètre pour les mesures des éclairements intérieur (Fig.VIII.6) et le luxmètre pour les mesures des éclairements extérieur (Fig.VIII.7) .



**Figure VIII.6: luxmètres pour les mesures intérieur. (Source: Auteur)**



**Figure VIII.7: luxmètres pour les mesures extérieur. (Source: Auteur)**

Notre choix a été porté sur deux orientations : i) L'orientation Est équipée d'un système de protection « Flancs » ii) L'orientation sud équipée d'un système « Light shelf ». Cette expérimentation va se dérouler sous un ciel réel pour un moment de la journée du 21 septembre à 12h.

Les points de mesure constituent une grille dont l'intervalle en profondeur est de 100cm à partir de la baie en façade, et en largeur est de 100cm (Fig.VIII.8). Un nombre total de 35 points est fixé. La hauteur de ces points a été fixée à 75cm du sol (Fig.VIII.9).

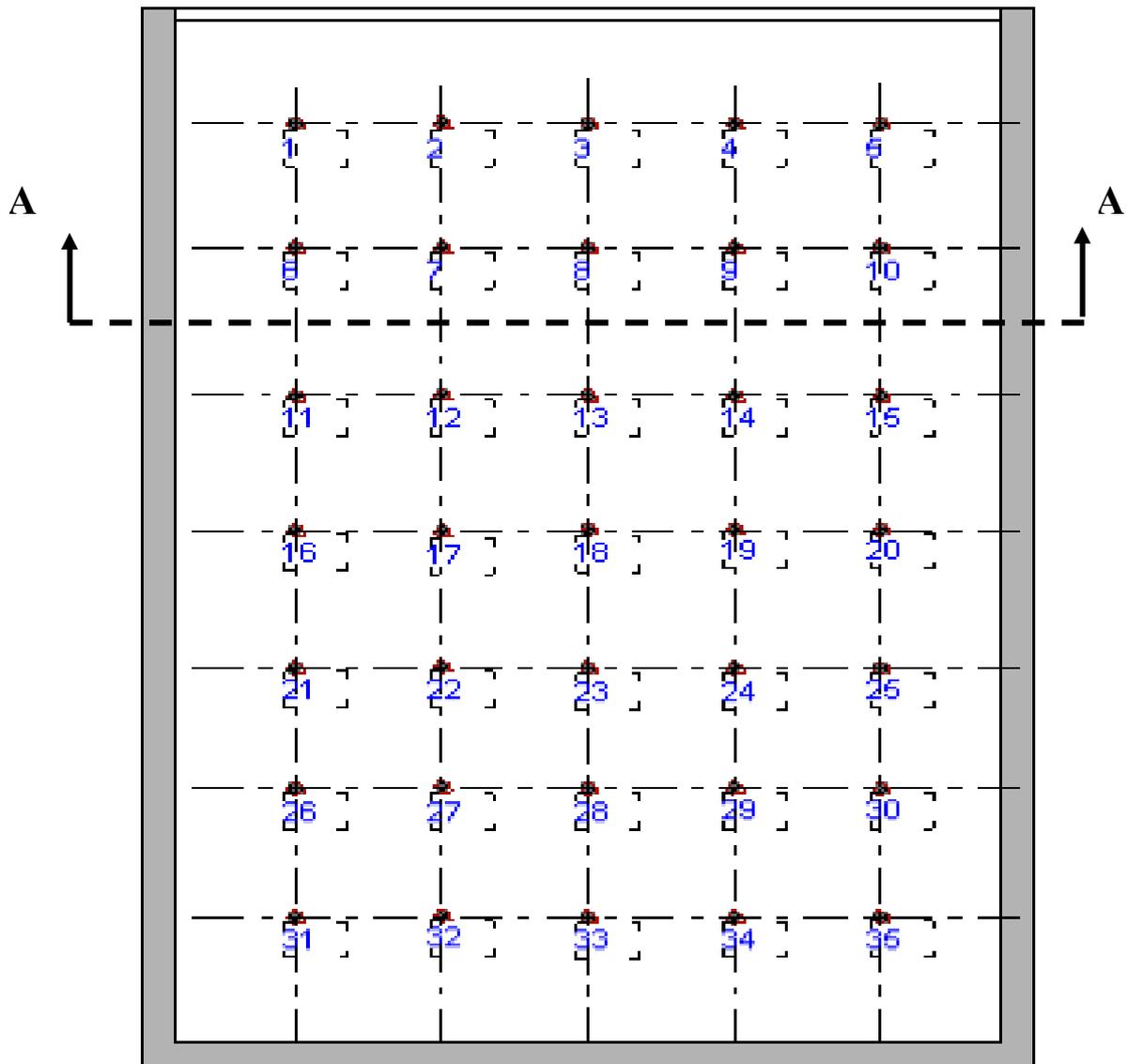


Figure VIII.8: Vue en plan du modèle – positionnement des points de mesure  
(Source: Auteur)

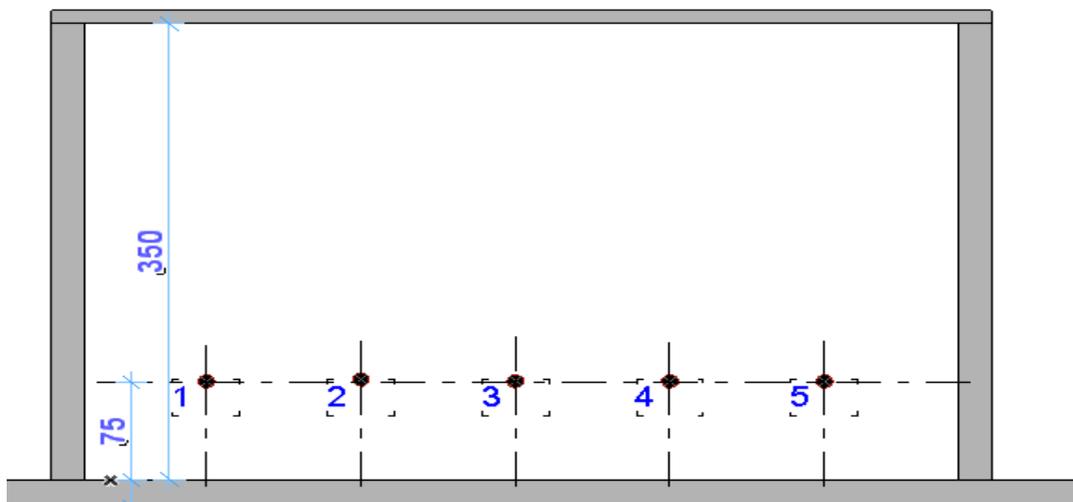


Figure VIII.9: Coupe (AA) indiquant le niveau de prise de mesure  
(Source : Auteur)

## 2.2. Les résultats de l'expérimentation :

L'expérimentation du modèle réduit a été menée pour les deux orientations, Sud et Est avec comme dispositif solaire, respectivement, le Light shelf et les Flancs. Deux rendus graphiques illustrent ces résultats Fig.VIII.10, Fig.VIII.11 .

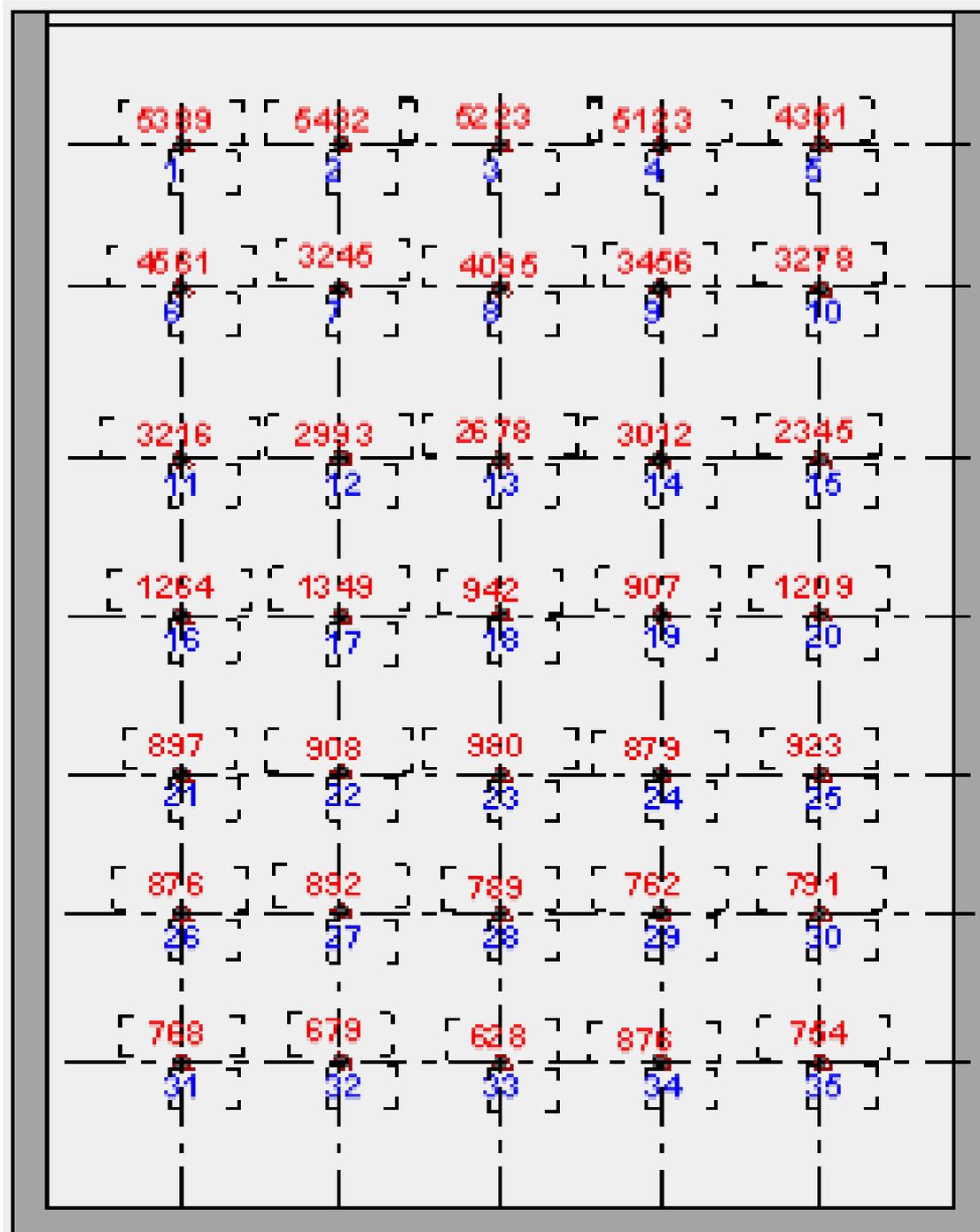


Figure VIII.10: Valeurs d'éclairage mesurés sur le plan de travail d'un modèle réduit de bureau équipé de Light shelf , orientation Sud, pour le mois de septembre à 12h .  
(Source : Auteur)

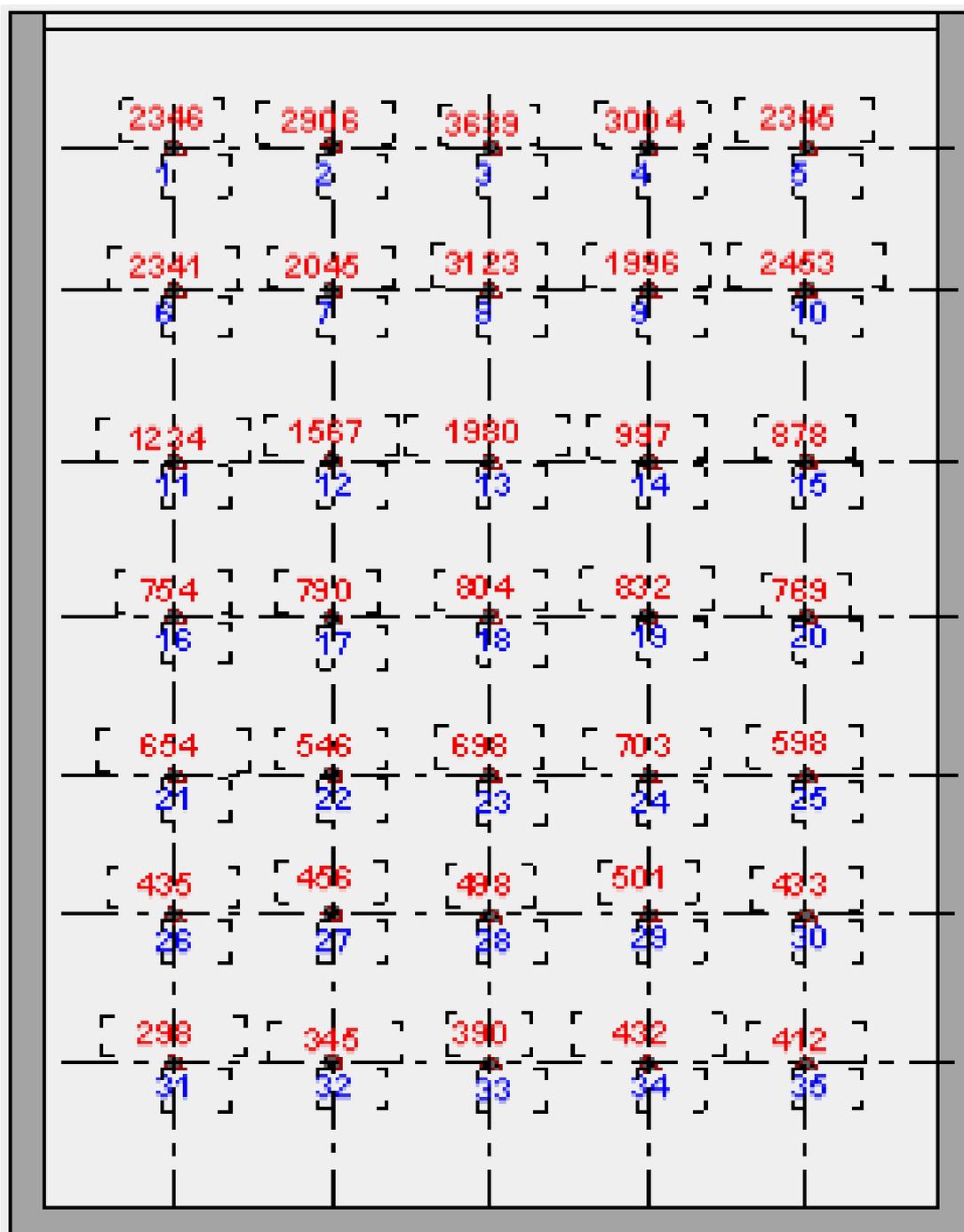


Figure VIII.11: Valeurs d'éclairage mesurés sur le plan de travail d'un modèle réduit de bureau équipé de Flancs , orientation Est, pour le mois de septembre à 12h .  
(Source : Auteur)

### 2.3. Résultats des éclairagements simulés par le logiciel Ecotect 5.5

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel Ecotect 5.5 ont permis de mesurer l'éclairage horizontal à 75 cm du plancher pour les deux orientations Sud et Est. Tel qu'il est respectivement illustré à la figure. VIII.12 et la figure. VIII.13.

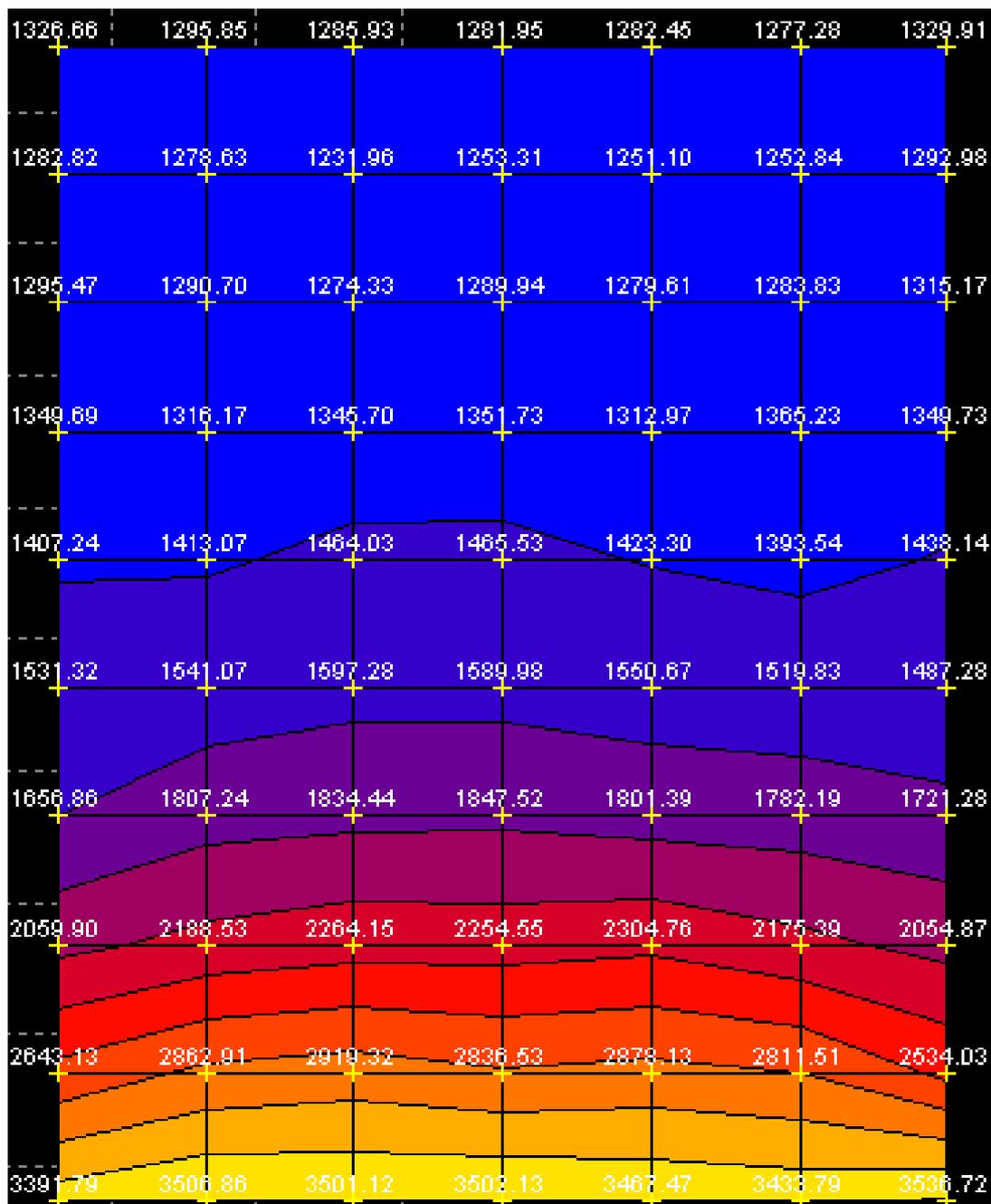


Figure VIII.12: Valeurs d'éclairagements sur le plan de travail simulé par Ecotect de bureau équipé de Light shelf, orientation Sud, pour le mois de septembre à 12h .  
(Source : Auteur)

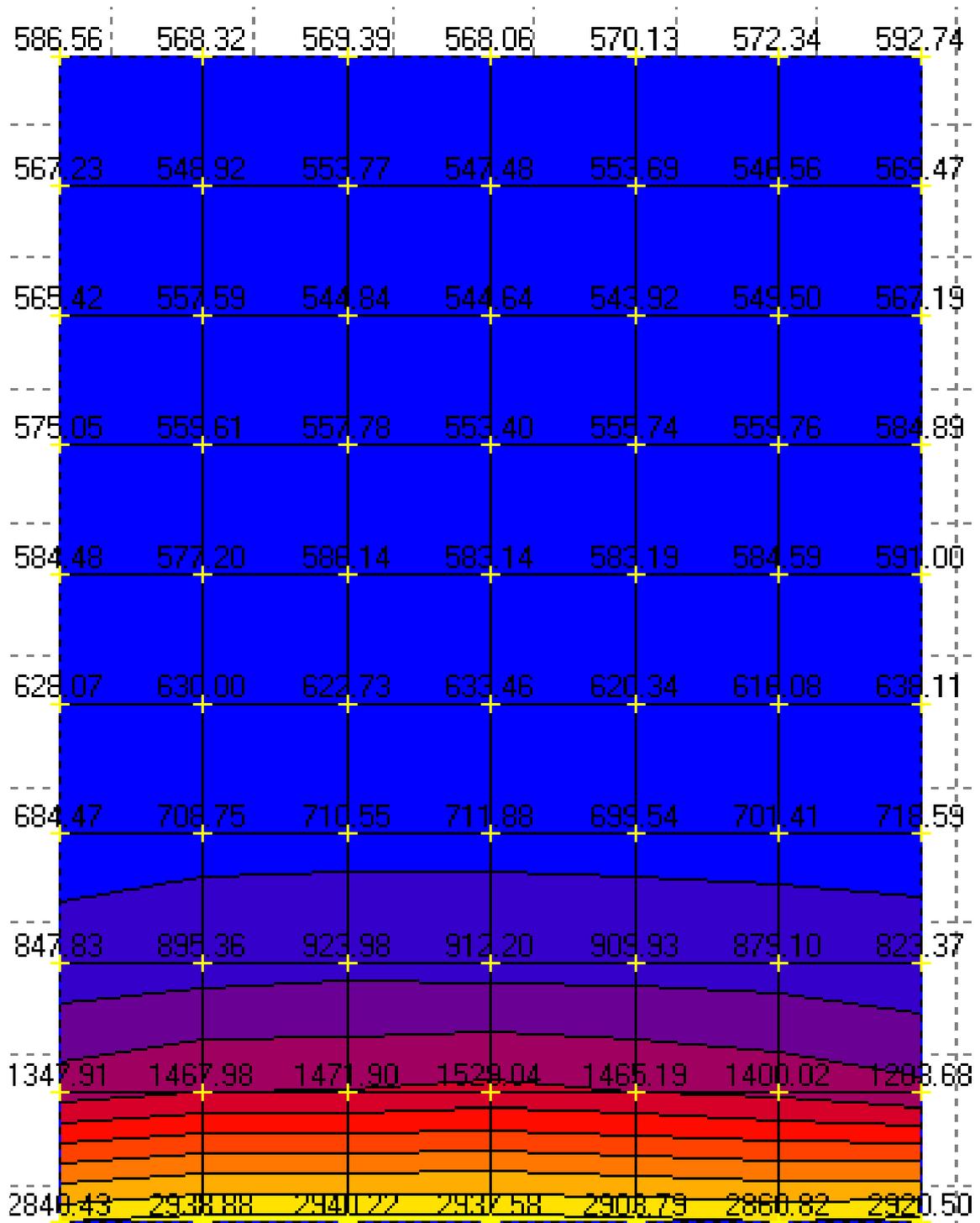


Figure VIII.13: Valeurs d'éclairements sur le plan de travail simulé par Ecotecte de bureau équipé de Flancs , orientation Est, pour le mois de septembre à 12h  
(Source : Auteur)

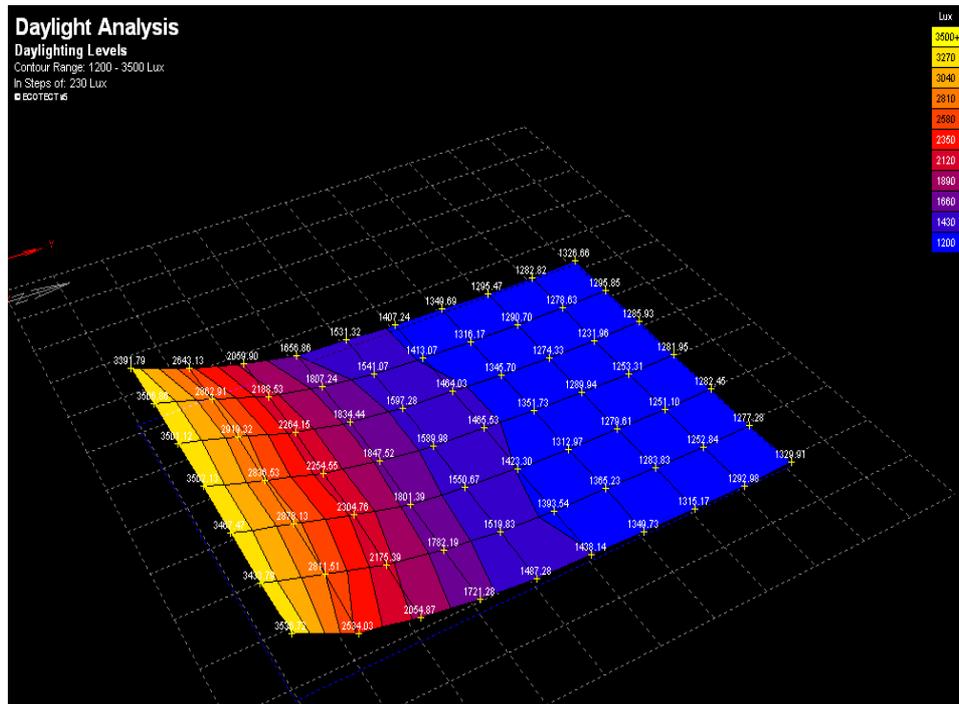


Figure VIII.14: Rendu 3D d'éclairagements sur le plan de travail simulé par Ecotecte de bureau équipé de Light shelf , orientation Sud, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)

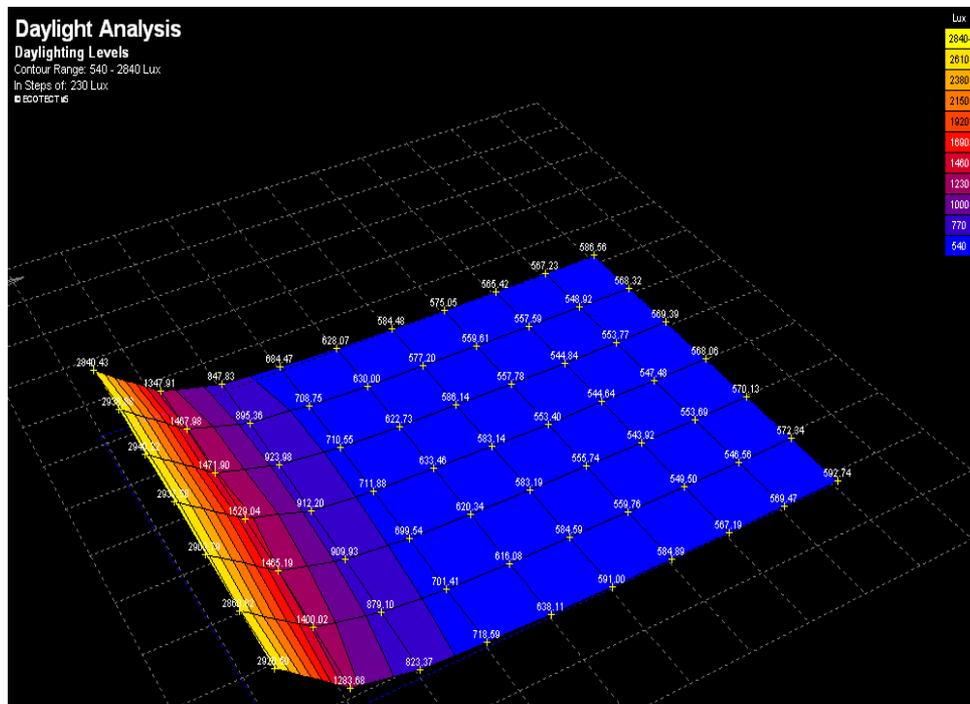


Figure VIII.15: Rendu 3D d'éclairagements sur le plan de travail simulé par Ecotecte de bureau équipé de Flancs , orientation Est, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)

## 2.4. Résultats des éclairagements simulés par le logiciel Radiance

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel Radiance ont permis de mesurer l'éclairage horizontal à 75 cm du plancher pour les deux orientations Sud et Est. Tel qu'il est respectivement illustré à la figure. VIII.16 et la figure. VIII.17.



**Figure VIII.16: Valeurs d'éclairagements sur le plan de travail simulé par 'Radiance' de bureau équipé de Light shelf, orientation Sud, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)**

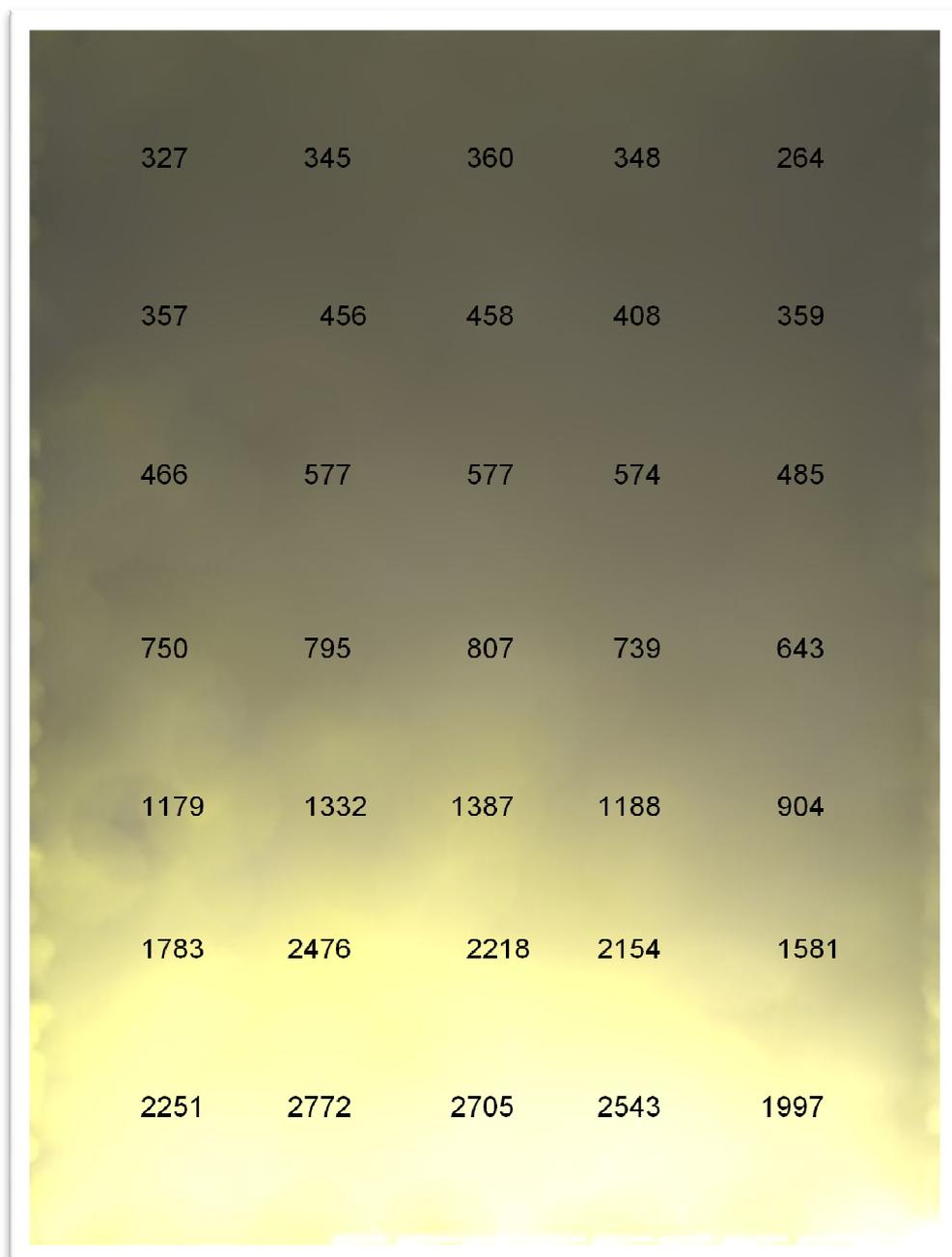


Figure VIII.17: Valeurs d'éclairements sur le plan de travail simulé par 'Radiance' de bureau équipé de Flancs , orientation Est, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)

## 2.5. Validations par comparaison entre simulation du logiciel "Radiance", Ecotect et les mesures sur le modèle réduit :

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des éclairements des 35 points de la grille dans le bureau orienté Sud et Est pour les trois outils de mesure d'éclairement.

POINT	(E) en lux MAQUETTE		(E) en lux RADIANCE		(E) en lux ECOTECT	
	FLANC	LIGHT SHELF	FLANC	LIGHT SHELF	FLANC	LIGHT SHELF
P1	2346	5389	1997	3649	1400	2812
P2	2906	5432	2543	3973	1465	2878
P3	3639	5223	2705	4293	1529	2837
P4	3004	5123	2772	4112	1472	2919
P5	2345	4351	2251	4028	1468	2862
P6	2341	4561	1581	3093	879	2175
P7	2045	3245	2145	3718	910	2304
P8	3123	4095	2318	4238	912	2254
P9	1996	3456	2476	4181	924	2264
P10	2453	3278	1783	3695	895	2188
P11	1234	3216	904	2477	701	1782
P12	1567	2993	1188	2907	699	1801
P13	1980	2678	1387	3284	712	1847
P14	997	3012	1332	3213	711	1834
P15	978	2345	1179	2811	709	1807
P16	754	1264	643	1853	616	1519
P17	790	1349	739	2092	620	1550
P18	804	942	807	2219	633	1589
P19	832	907	795	2174	623	1597
P20	769	1209	750	2030	630	1541
P21	654	897	485	1248	584	1393
P22	546	908	574	1373	583	1423
P23	698	980	577	1475	583	1465
P24	703	879	577	1443	586	1464
P25	598	923	466	1357	577	1413
P26	435	876	359	778	549	1365
P27	456	892	408	894	544	1312
P28	498	789	458	906	546	1351
P29	501	762	456	918	558	1345
P30	433	791	357	874	547	1316
P31	298	768	264	632	554	1252
P32	345	679	348	708	548	1251
P33	390	628	360	756	554	1253
P34	432	876	345	734	545	1231
P35	412	754	327	656	553	1278

Tableau VIII.1: Tableau récapitulatif des valeurs d'éclairément reçus sur le plan de travail pour les trois outils de mesure 'Modèle réduit ,Ecotecte et Radiancé'.(Source : Auteur)

Les valeurs maximales et minimales des deux orientations Sud et Est pour les trois outils de mesure, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

		Maquette	Radiance	Ecotect
Light shelf	E max	5432	4293	2919
	E min	628	656	1231
Flancs	E max	3639	2772	1529
	E min	298	264	544

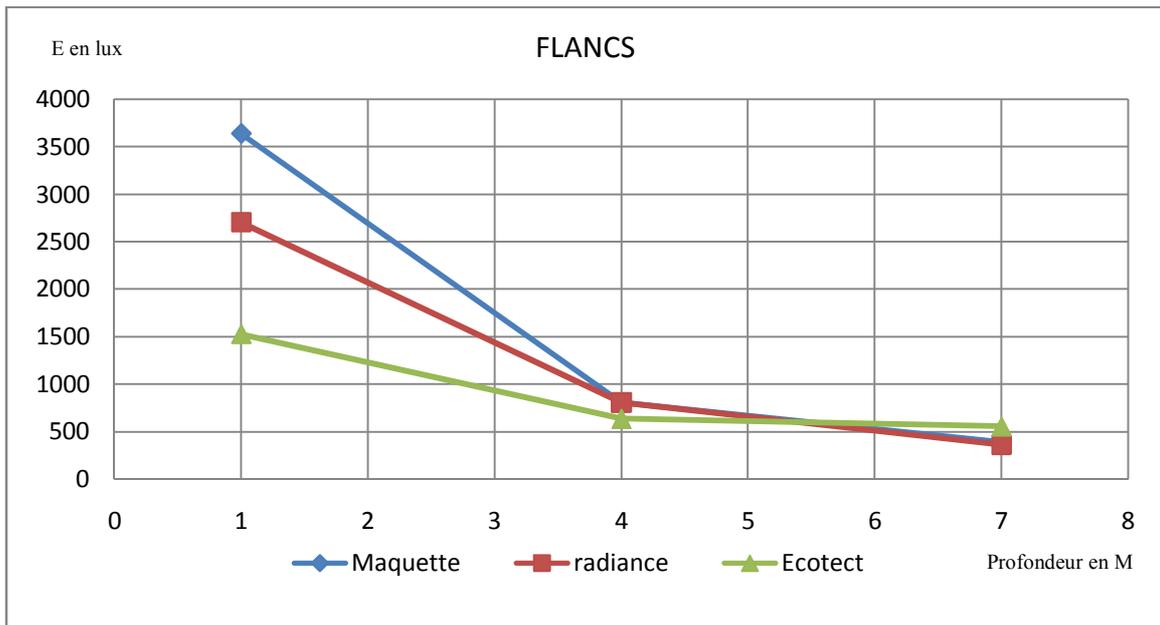
**Tableau VIII.2: Valeurs d'éclairéments Minimales et maximales reçus sur le plan de travail pour les trois outils de mesure 'Modèle réduit ,Ecotecte et Radiance'. (Source : Auteur)**

Les points sélectionnés pour la comparaison entre les valeurs de l'éclairément lumineux sont( point p3 , p18 et p33). Les valeurs sur le Tableau VIII.1 , ont été compilées en un seul tableau (Tab.VIII.3) et transformées en une présentation graphique allant une lecture comparative (Fig.VIII.18) et Fig.VIII.19).

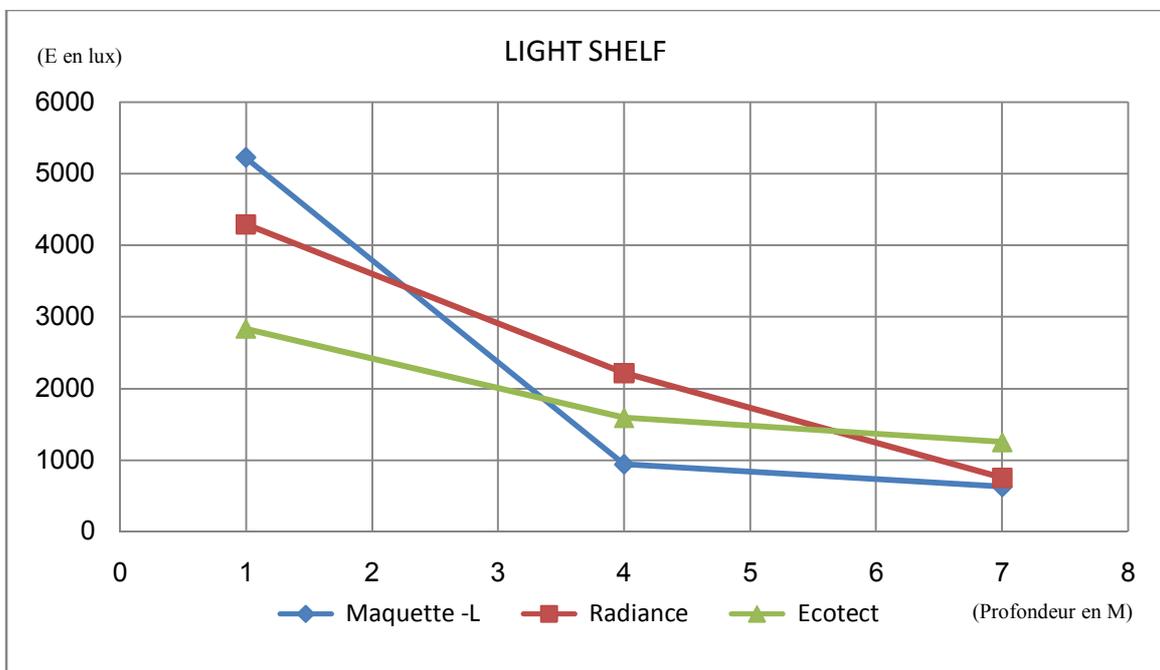
La comparaison entre les trois rendus s'est opérée à travers une lecture de trois valeurs pour chacun d'eux. La première valeur est celle du point de mesure situé sur l'axe central du bureau et la première ligne de mesure proche de la fenêtre .La deuxième valeur est celle du point de mesure situé sur l'axe central du bureau et la quatrième ligne de mesure au milieu de la fenêtre. La troisième valeur est celle du point de mesure situé sur l'axe central du bureau et la septième ligne de mesure au fond de la fenêtre et cela pour les deux orientations.

Outil de mesure des valeurs d'éclairément	(E) en Lux Proche de la fenêtre		(E) en Lux Au milieu		(E) en Lux Au fond	
	FLANC	LIGHT SHELF	FLANC	LIGHT SHELF	FLANC	LIGHT SHELF
<b>Maquette</b>	3639	5223	804	942	390	628
<b>Radiance</b>	2705	4293	807	2219	360	756
<b>Ecotect</b>	1529	2837	633	1589	554	1253

**Tableau VIII.3: Les points sélectionnés pour la comparaison entre les outils de simulation de l'éclairément lumineux (points P3,P18 et P33) (Source : Auteur)**



**Figure VIII.18: Valeurs d'éclairéments reçus sur le plan de travail simulé par Ecotecte de bureau équipé de Flancs , orientation Est, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)**



**Figure VIII.19: Valeurs d'éclairéments reçus sur le plan de travail simulé par Ecotecte de bureau équipé de Light shelf , orientation Sud, pour le mois de septembre à 12h (Source : Auteur)**

A partir du point P18 (au milieu) jusqu'au point P33 (au fond) les courbes suivent la même allure pour le bureau orienté Est (Fig.VIII.18). Pour l'orientation Sud on constate que l'écart entre les courbes est toujours présent jusqu'au point P33(Fig.VIII.19). On remarque une intersection des courbes au niveau de trois profondeurs différentes, on remarque aussi que la courbe (maquette) qui présente la valeur maximale dans la zone proche de la fenêtre, présente les valeurs les plus basses au milieu et au fond par rapport à la courbe de Ecotect et Radiance.

### 3. Discussion :

Les résultats présentés dans les figures( Fig.VIII.18) et(Fig.VIII.19) montrent que les valeurs les plus élevées d'éclaircements se situent dans les points près de la fenêtre pour les trois outils de mesures. Cette augmentation est liée à la fenestration de quantité importante de lumière par le vitrage transparent qui contribue à en maximiser l'éclaircissement dans cette zone.

La validation des résultats se fera par la comparaison des valeurs d'éclaircements simulées et mesurées en termes de différences en pourcentage. Cette valeur est calculée comme suite :

- Calculer la différence entre deux valeurs.
- La différence sera transformée en pourcentage.
- Cette valeur en( % ) représente la différence entre ces deux valeurs.

La comparaison des valeurs d'éclaircissement entre Radiance, Ecotect et la maquette se limite aux cas des orientations : Est et Sud (Tab.VIII.4) (Tab.VIII.5).

	Différence en % Près de la fenêtre	Différence en % Au milieu	Différence en % Au fond
Maquette et Radiance	25.66 %	0.37 %	7.69 %
Maquette et Ecotect	57.98 %	21.26 %	29.60 %
Ecotect et Radiance	43.47 %	21.56 %	35.01 %

**Tableau VIII.4: Valeurs de différence (%) d'éclaircements reçus sur le plan de travail des trois outils de mesure pour l'orientation Est à 12 H (source : Auteur)**

	Différence en % Près de la fenêtre	Différence en % Au milieu	Différence en % Au fond
Maquette et Rdiance	17.80%	57.54 %	16.93 %
Maquette et Ecotect	45.68 %	40.71 %	49.88 %
Ecotect et Rdiance	33.91 %	28.39 %	39.66 %

**Tableau VIII.5: Valeurs de différence d'éclairéments reçus sur le plan de travail des trois outils de mesure pour l'orientation Sud à 12 H (source : Auteur)**

Les valeurs présentées dans les tableaux VIII.4 et tableau VIII.5 montrent des différences importantes qui vont de ( $\frac{1}{4}$ ) jusqu'à( $\frac{1}{2}$ ) cependant, la comparaison (Maquette et Radiance, système Flancs) au milieu (une différence de 0.37 %) et au fond (7.69 %) atteste que cette différence est négligeable. La comparaison (Maquette et Radiance) pour les deux orientations présente les différences les moins importantes que la comparaison (Maquette et Ecotect ou Ecotect et Radiance).

En résumé, les données démontrent qu'une validation des résultats réalisés sur l'éclairage est très complexe à cause de la confrontation de la validation à des obstacles considérables.

Le premier est lié à l'incertitude qui existe dans la valeur mesurée, et cela quelle que soit la précision du modèle réduit appliqué. Cette incertitude est liée la précision de l'appareil de mesure et son positionnement. Dans notre cas, les mesures des 35 points sont réalisées avec un seul luxmètre. Ceci signifie que les mesures n'ont pas été prises en même temps ;ce qui implique aussi un changement dans les valeurs de l'éclairage extérieur.

#### **4. Conclusion :**

On conclusion, nous considérons qu'un travail de validation des résultats réalisés sur l'éclairage demeure difficile et complexe. Il nécessite une validation du logiciel de simulation, des moyens humains et un équipement performant pour des mesures menées sous ciel réel.

Dans travail de Mardeljevic (1995) qui a comparé l'éclairage obtenue par simulation informatisée à des mesures effectuées dans une pièce à échelle réelle, les résultats ont démontrés une faible erreur relative moyenne de 5.6% entre les données mesurées et simulées. Cette concordance des données a permis d'affirmer que le logiciel Radiance prédit adéquatement l'éclairage.

---

Pour le choix final du logiciel de simulation en éclairage pour notre cas, 'Radiance' présente les valeurs d'éclairement les plus acceptables et proches des valeurs menées sous un ciel réel dans le modèle réduit comparativement à Ecotecte.