



Potentiel d'économie d'énergie d'un bâtiment résidentiel. Le cas d'un climat semi-aride.

*BOUKARTA Soufiane 1⁽¹⁾, 2⁽²⁾

(1) Institut d'architecture et d'urbanisme, Université Sâad Dahleb, Blida 1.

(2) Laboratoire VUDD (EPAU d'Alger),

sofiansasse@gmail.com

Résumé

Dans la présente communication, une méthode d'aide à la conception visant la réduction de la demande énergétique des bâtiments résidentiels est développée. En se basant sur un archétype de logement caractérisé par des facteurs liés à l'environnement, à l'enveloppe et à la forme. Chaque facteur est considéré selon un intervalle de variation. Le protocole de simulation est obtenu par tirage aléatoire des facteurs. Une modélisation par régression linéaire généralisée est effectuée sur la base d'un échantillon corrigé de 84 simulations thermiques dynamiques et avec une précision dépassant 97% nous a permis d'identifier l'impact de chaque paramètre. En tête, on trouve la résistance thermique des murs extérieurs et fenêtres qui peuvent réduire la demande énergétique jusqu'à -86 et -33 KWh/m².an respectivement, suivi par l'orientation et la compacité, -17.51 et -15.5 KWh/m².an. Un taux de vitrage de 10% et un prospect de 3 pourraient conduire à une économie d'énergie de -7.66 et -7.11 KWh/m².an respectivement.

Mot-clé : Bâtiments résidentiels, Archétype, Modélisation, Simulation thermique dynamique, Outil d'aide à la conception.

1. Introduction

Les récentes données de l'APRUE (2015) confirment que le secteur résidentiel en Algérie est responsable de 41% de la consommation finale de l'énergie, traduite concrètement par une





consommation de 142 Mtep, répartie en 121mtep pour l'électricité et 12mtep pour la consommation du gaz. Afin de faire face à la menace de crise énergétique, l'Algérie a adopté une politique de maîtrise de l'énergie basée principalement sur quatre stratégies : (i) une stratégie incitative qui voudrait encourager les habitants à utiliser les énergies renouvelables avec objectif d'atteindre 40% à l'horizon 2030, par exemple par l'usage des panneaux solaires pour l'eau chaude ou par l'équipement des voitures par des bouteilles à gaz naturel, en finançant le coût de l'installation à la hauteur de 45 à 55% (Aprue site web) Peu médiatisée, cette tendance reste cependant timide ; (ii) une stratégie de projets pilotes de construction, à travers lesquels des prototypes ont été testés. Les projets réalisés ont bénéficié principalement d'une isolation importante, toutefois le retour d'expérience a montré un décalage entre l'étude et la réalisation, ce qui met en exergue l'importance du monitoring dans ce type de projet ; (iii) une stratégie de formation via laquelle un nombre important d'ingénieurs et architectes sont formés dans le cadre de maîtrise des énergies dans le secteur du bâtiment. L'impact de ce type de formation reste malheureusement sans effet en raison de l'insuffisance du cadre juridique actuel de la construction qui n'impose point des normes ou des modes constructifs particuliers pouvant aider la mise en œuvre de ce savoir-faire ;(iv) une stratégie de marketing et de management, à travers laquelle l'Algérie a mis en œuvre un système d'évaluation énergétique des équipements électroménagers, comme par exemple les réfrigérateurs. Cette stratégie sera orientée dans un futur proche sur les bâtiments, qui, eux, restent énergivores et échappent à toute évaluation portant sur la demande énergétique dans le cadre juridique actuel (Boukarta et Berezowska-Azzag : 2017).

La politique de maîtrise de l'énergie en Algérie est encore à ses débuts et elle suit toujours une logique *Top-Down* de portage politique. A l'échelle locale, l'énergie n'est pas un sujet d'attention particulière, essentiellement en raison du faible coût de l'énergie, de l'ordre de 4.5 DA/KWh (équivalent 3 centime d'euro). Etant donné que le parc immobilier algérien connaît un développement rapide sous la pression de la demande grandissante de logements, un cadrage juridique plus contraignant que l'actuel entrainera une augmentation dans la durée des études, ce qui pourrait provoquer un retard dans la réalisation des programmes d'habitat et l'augmentation de leurs coûts. Par conséquent, il semble important de porter l'attention sur le secteur du bâtiment, peu connu en termes de consommation d'énergie, les données existantes étant disponibles seulement à l'échelle macro, ce qui rend difficile l'appréciation des indicateurs pouvant influencer directement





la consommation d'énergie et aider les politiques à se positionner dans leurs stratégies de maîtrise de l'énergie. La présente communication tend à alimenter le jargon architecturale par la portée énergétique de certains éléments de la composition architecturale. Notre choix s'est portée sur l'étage climatique semi-aride car cette zone est vouée à l'urbanisation selon les orientations du SNAT 2030.

La section 2 portera sur la littérature scientifique en mettant en exergue les méthodes qui existent pour caractériser la portée énergétique des bâtiments et la section 3 portera sur la méthodologie utilisée. La section 4 comportera la présentation de nos résultats avec une discussion sous la lumière d'autres études. Enfin, en conclusion, une synthèse est dressée avec une ouverture sur des travaux de recherche en extension à la présente communication.

2. Littérature scientifique

La question de la réduction de la demande énergétique a pris une dimension grandissante dans la littérature scientifique. D'après l'examen de la littérature scientifique il existe deux grandes approches : (a) une approche dite historiciste qui se base principalement sur une modélisation de la *Big Data* en croisant les données de la consommation d'énergie avec une caractérisation plus ou moins fines du parc immobilier (Dascalaki et al : 2010, Marique : 2013). Cette méthode est utilisée même dans le cadrage de la demande énergétique (Dall'o : 2012). L'avantage premier de cette méthode est qu'elle porte sur des données réelles de la consommation d'énergie mais l'inconvénient reste dans le fait que cette méthode ne permet pas l'appréciation de la nouvelle technologie. (b) La méthode dite d'ingénierie : cette méthode s'appuie directement sur des logiciel de simulation énergétique. L'avantage premier de cette approche est qu'elle permet de tester un nombre important de paramètres tout en incluant la technologie nouvelle (Boukarta : 2019, Bouyer :2009, Amiri et al : 2015). L'inconvénient réside dans le fait qu'il y a un décalage possible entre les simulations et la consommation réelle appréciée parfois de l'ordre de 50 à 200% (D'Allo : 2012). Certains chercheurs procède à une calibration de la simulation en croisant le réel avec le simulé puis en changeant les entrées de la simulation jusqu'à ce que le gap entre les deux mesures soit réduit et l'erreur moyenne de biais doit être (*Mean bias error*) +/- 10% pour les mesures horaires et de +/-5% pour les mesures mensuelle (ASHRAE : 2002).





Les méthodes utilisées dans la modélisation de la demande énergétique, nous avons recensé les méthodes dites statistique. Il en existe une série de méthode et chacune est spécialisée dans une tâche que d'autre. Pour la modélisation de la classification des bâtiments selon leur consommation d'énergie, la régression logistique est préférée (McLoughlin et al: 2015), et pour la caractérisation des causes de la demande d'énergie une approche structurale telle que l'analyse des trajectoires est préférée (*path analysis*) (Chen et al : 2013, Boukarta : 2018) ou l'analyse par équation structurelle (*structural equation modelling*). Ces deux dernières méthodes permettent de déceler les effets indirects des paramètres introduits dans le modèle. Pour la prédiction de la demande énergétique il est possible d'utiliser les réseaux de neurones artificiels (ANN) (Ekici et Aksoy : 2009), et l'analyse par régression linéaire (Amir et al : 2015) qui reste préférée de par sa souplesse, flexibilité et facilité d'interprétation des résultats ainsi que la reproduction des mêmes effets (Boukarta 2019, 2021, Semahi et al : 2019). Cette dernière méthode a l'inconvénient de ne pas considérer les effets indirects des interactions potentielles entre les variables. Enfin, pour déceler l'importance des variables explicatives certaines approches utilisent la régression linéaire généralisée et qui a comme objectif de considérer les variables même continues comme étant catégoriques ce qui permet de préciser l'intervalle de performance avec une précision meilleure (Chen et al : 2013). Aussi cette dernière approche permet d'apprécier les interactions entre les variables selon l'orientation du chercheur (Boukarta : 2019).

Pour l'évaluation du potentiel d'économie d'énergie des variables explicatives de la demande énergétique, nous avons préféré la méthode d'analyse par régression linéaire généralisée. La section suivante explique avec plus de détail la méthode prônée.

3. Méthode :

Pour être en mesure d'apprécier le potentiel d'économie d'énergie d'un bâtiment résidentiel nous avons suivi quatre grandes étapes (voir figure 1).



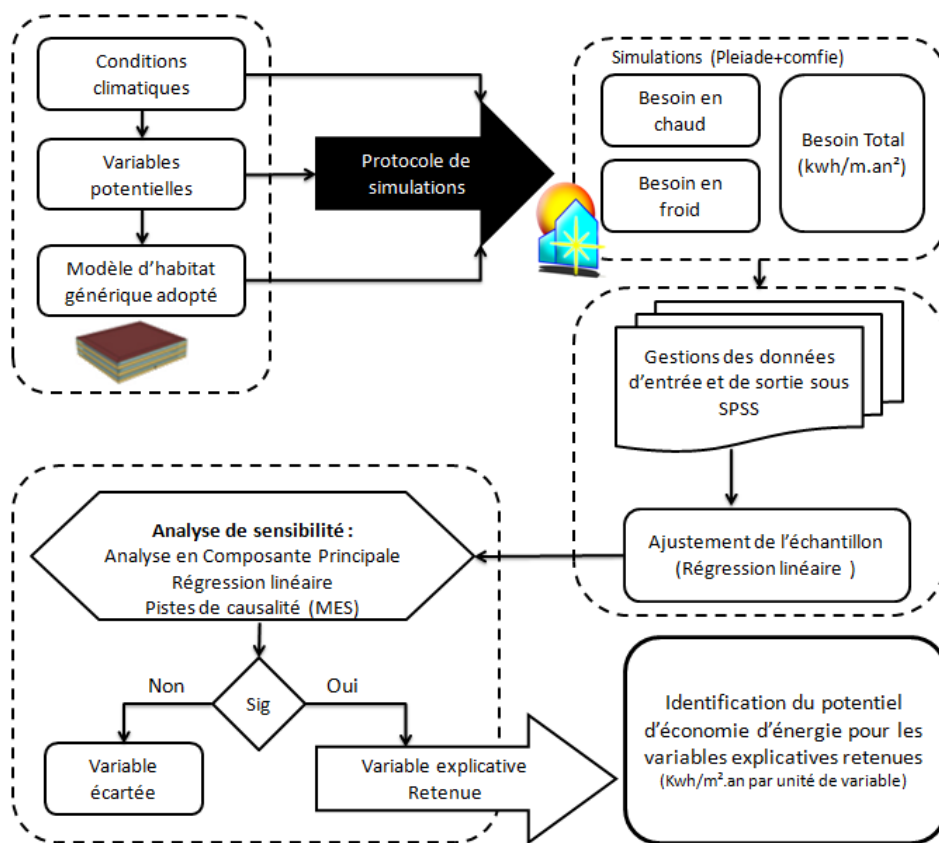


Figure 1 : Etapes de la méthode adoptée.

(i) **La première étape** consiste en la préparation des données climatique et de l'archétype sur lequel la variation paramétrique sera appliquée. Les données climatiques sont obtenues à l'aide du logiciel Meteotest 7 (METEOTEST: 2016) couvrant la décennie 2000-2009, voir annexe A-1. Le HDD₂₀ (degré jour pour le chauffage) et le CDD₂₇ (degré jour pour la climatisation) selon une plage de confort de 20-27 ° (DTR C3.2 et C3.4 : 2004) sont respectivement de 2216 et 265 °C dans la commune chef-lieu de Djelfa selon nos calculs sous Ecotect 11. Le logement type considéré dans la présente étude comprend deux chambres, un séjour, une cuisine, une salle de bain et un WC. On a considéré que le logement est occupé par 4 personnes et dont l'occupation est présentée dans l'annexe A-2. L'occupation du logement est considérée comme fixe afin de n'avoir dans les résultats que l'impact des paramètres liés au logement.



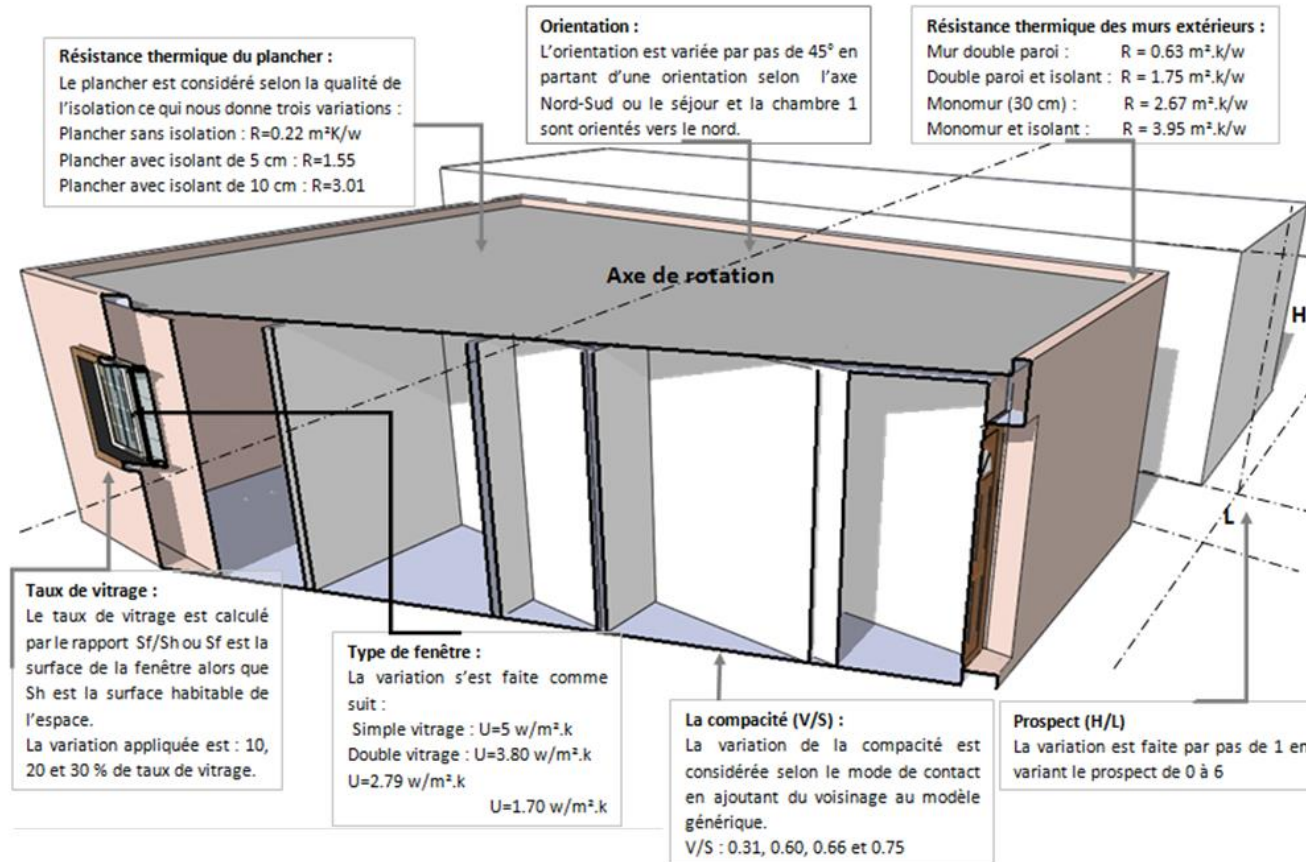


Figure 2 : l'archétype et la variation paramétrique considérés dans le protocole de simulation





(ii) **La deuxième étape** serait dans la préparation d'un protocole de simulation contenant les paramètres obtenus de la littérature scientifique et, qui, potentiellement peuvent expliquer la demande énergétique de notre logement type dans l'étage climatique semi-aride. Le protocole de simulation est obtenu par tirage aléatoire des paramètres afin de représenter au maximum les possibles combinaisons des paramètres. En tout, nous avons considéré 7 paramètres, 2 liés à l'environnement (l'orientation et le prospect), 1 lié à la forme (la compacité) et 4 liés à l'enveloppe (l'isolation des murs extérieurs et planchers, la performance thermique des fenêtres et le taux de vitrage), voir figure 2 ci-dessus.

Les caractéristiques thermiques sont considérées comme fixes pour les éléments présentés dans le tableau 1 ci-dessous. Une campagne de 100 simulation été lancé pour obtenir le besoin en chaud et en froid pour la ville de Djelfa sous le logiciel de simulation thermique dynamique Pléiade+Comfie.

Tableau 1 : Les caractéristiques thermiques éléments invariables du modèle

Eléments	Valeur (unité)
Porte extérieure	0.2 (m ² .K/W)
Mur intérieur (10 cm)	0.2 (m ² .K/W)
Ventilation naturelle	0.6 (vol/H)
Puissance dissipée par personne	80 (W/personne)
Pont thermique	0.2*périmètre (introduit automatiquement).

(iii) **La troisième étape** consiste à gérer la base de données développée dans le logiciel SPSS. L'échantillon obtenu de 100 cas a été corrigé en se basant sur la distance de Cook et en éliminant toutes les valeurs dépassant le seuil de 0.2 et le modèle est passé de R²=0.576 à R² = 0.711. Pour améliorer davantage le modèle, nous avons transformé la nature de la variable « résistance des murs extérieurs » de variable continue à variable catégorielle. Cette deuxième amélioration nous a permis d'ajuster le modèle pour que la qualité de prédiction dépasse les 94% (voir tableau 2 ci-dessous). Un échantillon de 84 simulations a été considéré pour la suite des analyses. Voir annexe A-3.

Tableau 2 : Ajustement du modèle.

Les modèles	R	R ²	R ² ajusté	Erreur type
Sans ajustement	,759 ^a	.576	.544	25.42806
Distance de Cook	,843 ^b	.711	.684	18.96437
RT* des murs considérée comme variable catégorielle	,971 ^c	.942	.935	8.61780

*RT: Résistance thermique.





(iv) La quatrième étape consiste à analyser les données à travers une modélisation par régression linéaire généralisée. Pour que le modèle soit valide, il faudra que : (1) les variables soient totalement indépendantes et aucune similitude ne soit détectée. Pour vérifier ce premier point, on s'appuie sur le test de multicollinéarité le VIF, *the variance inflation factor* dont la valeur doit être inférieure à 5 et la tolérance supérieure à 0.2. (2) La valeur *Pvalue* du modèle et variable doit être inférieure à 0.5 ce qui voudrait dire que l'intervalle de confiance dépasse les 95% (Li and Wu: 2018). Une fois la modélisation lancée, vérifiée et validée, les résultats de l'analyse seront présentés dans la section suivante.

4. Résultats et discussion :

Pour valider le modèle qui nous permettra d'identifier le potentiel d'économie d'énergie dans la zone semi-aride de Djelfa, nous avons lancé une modélisation par régression linéaire afin de vérifier les valeurs de signification de chaque variable ($Pvalue < 0.05$) et la multicollinéarité à travers le VIF et la tolérance. Tous les paramètres de contrôle du modèle sont vérifiés et le modèle pourrait bien être utilisé pour la prédiction et pour l'évaluation du potentiel d'économie d'énergie.

Tableau 3 : Sommaire du modèle après ajustement de l'échantillon.

Modèle	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig. P	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	130.999	6.174		21.217	.000		
Prospet	-.940	.493	-.057	-1.904	.061	.877	1.140
Compacité	-9.666	9.115	-.045	-1.060	.292	.427	2.341
Taux de vitrage	.588	.130	.141	4.518	.000	.810	1.234
Type de fenêtre (Uw)	7.820	.647	.364	12.086	.000	.867	1.153
Orientation	.037	.010	.118	3.637	.001	.751	1.331
Résistance_Plancher	-1.606	1.366	-.050	-1.176	.244	.433	2.311
Résistance Mur_1,75	-66.851	3.385	-.911	-19.749	.000	.369	2.709
Résistance Mur_2,79	-82.751	3.450	-1.100	-23.985	.000	.374	2.677
Résistance Mur_3,95	-78.718	3.427	-1.046	-22.971	.000	.379	2.641

$R^2 : 0.942$

IPE total comme variable dépendante.

De prime à bord, il paraît que les valeurs de Beta standardisé et de $t_{student}$ montrent clairement que les variables explicatives les plus importantes sont la résistance thermique des murs extérieurs suivi par la performance thermique des fenêtres, le taux de vitrage et l'orientation. Pour évaluer avec précision les économies potentielles de chaque variable, nous avons lancé une modélisation par





régression linéaire généralisée avec un pouvoir explicatif de 98%. Les résultats sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Sommaire du modèle linéaire généralisé.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92694,943 ^a	27	3433.146	102.210	.000
Intercept	15398.157	1	15398.157	458.428	.000
prospect	337.926	5	67.585	2.012	.091
compacité	668.016	3	222.672	6.629	.001
taux_de_vitrage	607.941	2	303.971	9.050	.000
Type_de_vitrage	7779.990	4	1944.998	57.906	.000
Orientation	2378.017	8	297.252	8.850	.000
Résistance_Plancher	204.732	2	102.366	3.048	.055
Résistance Mur_1,75	18919.217	1	18919.217	563.256	.000
Résistance Mur_2,79	28903.268	1	28903.268	860.498	.000
Résistance Mur_3,95	26493.954	1	26493.954	788.768	.000
Error	1880.985	56	33.589		
Total	826949.668	84			
Corrected Total	94575.927	83			

a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,971)
Dependent Variable: IPE TOTAL (Kwh/m².an)

Df : degré de liberté.

IPE : indice de performance énergétique en KWh/m².an

F: *f-statistic* de toutes les variables sont supérieures à 0 ce qui nous permet de rejeter l'hypothèse nulle et considérer le modèle comme bon pour la suite de l'analyse.

L'organisation des variables explicatives selon leur potentiel d'économie d'énergie s'est faite en se basant sur l'association des valeurs moyennes de l'indice de performance énergétique et les valeurs des variables explicatives lui correspondant, voir figure 3 et 4 ci-dessous. **En** tête de classement se trouve la résistance thermique des murs extérieurs avec une valeur préférentielle de 2.79 m².K/w et qui peut générer des économies d'énergie pouvant atteindre -86 KWh/m².an. Une valeur de résistance thermique supérieure à 2.79 pourrait conduire à la formation de l'effet de thermos qui est l'accumulation de la chaleur à l'intérieur de l'espace sans dissipation possible. Cette valeur de résistance thermique s'inscrit dans l'intervalle préconisé par le Guide élaboré par l'APRUE et GIZ et qui fixe le U_{wall} entre 0.25 et 0.5 W/m².K (APRUE et GIZ : 2016). **Toujours** en liaison avec la qualité de l'enveloppe, le type de fenêtre caractérisée par le coefficient U_w se pose en deuxième position avec une économie d'énergie potentielle de -33KWh/m².an et pour une fenêtre triple vitrage à 0.72 comme U_w . Un résultat proche du nôtre a été obtenu pour différents étages climatiques par Ascione et al (2016). La performance thermique des ouvertures à tendance à s'approcher de celle des murs extérieurs. Arrive en troisième place, **l'orientation**, avec un potentiel d'économie d'énergie moyen de -17.51 kWh/m².an pour une orientation de 180°. A cette orientation, nous aurons le séjour et une chambre orientés vers les sud alors que les autres espaces





se trouvent orientés vers le nord. Ce résultat peut être expliqué par le fait que la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation se trouvent concentrée sur la partie comprenant le séjour et la chambre 1 ce qui fait qu'avec une orientation sud la demande énergétique pourrait être réduite pour le chauffage. L'autre partie du logement comprenant la cuisine et la salle de bain dont la demande en énergie n'est considérée que pour le chauffage, la climatisation n'a pas été introduite dans ces espaces pour les considérations fonctionnelles et réglementaires exigées et la façade nord satisfait plus que les autres orientations cette exigence.

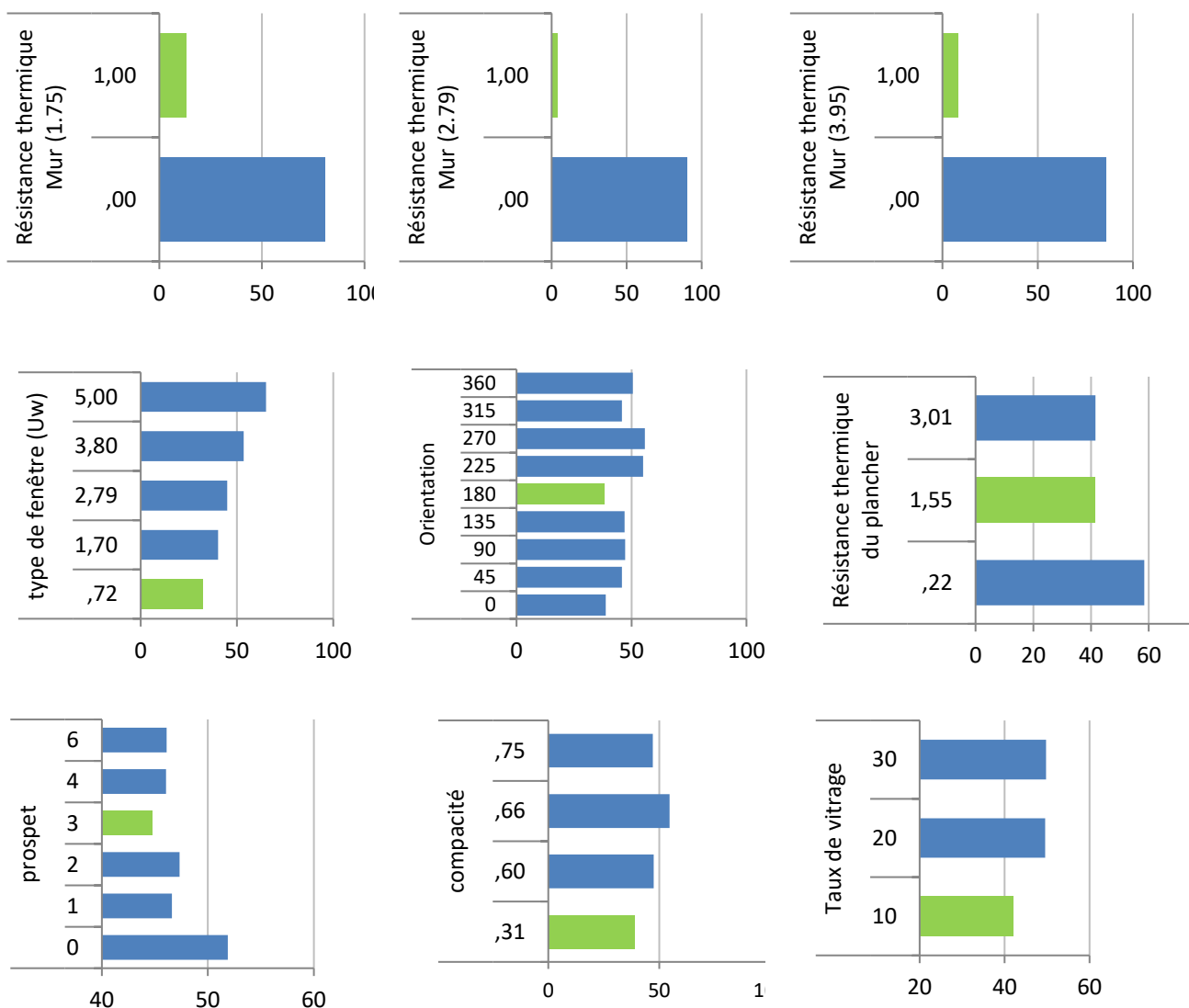


Figure 3 : Potentiel d'économie d'énergie généré par la variation paramétrique de chaque variable.





En quatrième position arrive la résistance thermique du plancher avec un effet plutôt similaire à celui de l'orientation et avec une réduction avoisinant la moyenne de $-17.15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ pour une valeur limite de $1.5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. au-delà de cette valeur seuil, il faut s'attendre à une augmentation de la demande énergétique avec une formation potentielle de l'effet de thermos. En **cinquième** position arrive la compacité qui est ici représentée par le mode de contact. Cette dernière présente une économie d'énergie potentielle dépassant les $-15.5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ pour une compacité (V/S) de 0.31 ce qui représente dans notre protocole une habitation sans contact. Ce résultat peut paraître contradictoire à ce que d'autres chercheurs ont pu trouvé tel que Singh et al (2013) qui ont trouvé que la demande énergétique baisse en augmentant la face de contact entre les habitation mais ce résultat n'est fiable que pour les habitation mal isolées. Ascione et al (2016) se sont appuyés sur une maison individuelle détachée tout en se fixant l'objectif d'atteindre *Nearly Zero Energy Building*, ce qui confirme davantage nos résultats. Le rôle de la compacité est plutôt d'ordre économique car ça permet de réduire le coût de l'isolation en réduisant le contact des murs extérieurs avec l'air ambiant et elle a tendance à perdre totalement son rôle dans le cas d'une habitation ayant des murs extérieurs bien isolés. En **sixième** position arrive le taux de vitrage préférentiel de 10 % pour le meilleur potentiel d'économie d'énergie avec une valeur de $-7.66 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Au-dessus de cette valeur, la demande énergétique a tendance à augmenter. Enfin, arrive en septième position le prospect avec une valeur préférentielle de 3 et pour une économie potentielle de la demande énergétique avoisinant les $-7.11 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$.

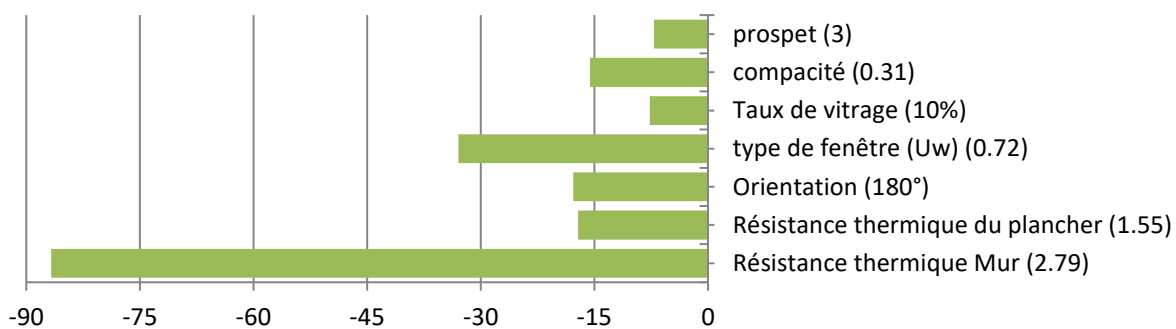


Figure 4: Potentiel d'économie d'énergie généré par les meilleures variables.

La méthode par régression linéaire généralisée nous a permis de retenir les meilleurs valeurs de performance énergétique de 7 indicateurs que les architectes ont tendance à utiliser. Nous avons aussi observé qu'il ne s'agit pas d'augmenter la résistance thermique des murs extérieurs et





planchers mais il y a bel et bien un compromis à trouver car ces éléments interagissent entre eux et tout dépassement des valeurs de performances pourrait réduire la performance énergétique de la construction en question.

Conclusion

Comme synthèse de l'évaluation des économies potentielles générables par les paramètres explicatifs choisis et que les architectes ont tendance à utiliser, il semble que la performance thermique de l'enveloppe des habitations joue un rôle prépondérant et structurant de par leur résistance thermique. Mais il y a bel et bien une limite seuil à ne pas dépasser sinon le phénomène de thermos se forme et cause des périodes de surchauffe tout en augmentant la demande énergétique. Une économie d'énergie potentielle se trouve possible si l'on arrive à conjuguer les résultats de nos analyses avec le parc immobilier existant, une économie d'échelle pourrait bien se produire. Dans la présente communication, nous n'avons considéré que les économies d'énergie possibles sans évoquer le coût qui découle d'une éventuelle réhabilitation thermique des habitations. Ce volet nous paraît judicieux à prendre dans les futures pistes de recherche car devant le coût faible de l'énergie, la profitabilité d'une réhabilitation thermique pourrait bien se poser comme un frein dans l'application des mesures réductrices de la demande énergétique en Algérie.

Références bibliographiques :

1. Amiri, S. S., Mottahedi, M., & Asadi, S. (2015). Using multiple regression analysis to develop energy consumption indicators for commercial buildings in the US. *Energy and Buildings*, 109, 209-216.
2. APRUE et GIZ, (2016), Guide pour une construction Eco-énergétique en Algérie.
3. APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2015), La situation énergétique nationale, chiffre 2013, édition 2015.
4. Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2016). Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. *Applied energy*, 183, 938-957.
5. ASHRAE, Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings, ASHRAE, Atlanta. Georgia, 2002.
6. Autodesk, (2011), Ecotect weather tool.
7. Boukarta Soufiane, (2021), *Evaluation de l'implication des facteurs climatiques et socio-économiques dans la consommation d'électricité en Algérie*, In Séminaire International sur les Sciences de la Terre et de l'Univers. Webinaire par Google Meet.



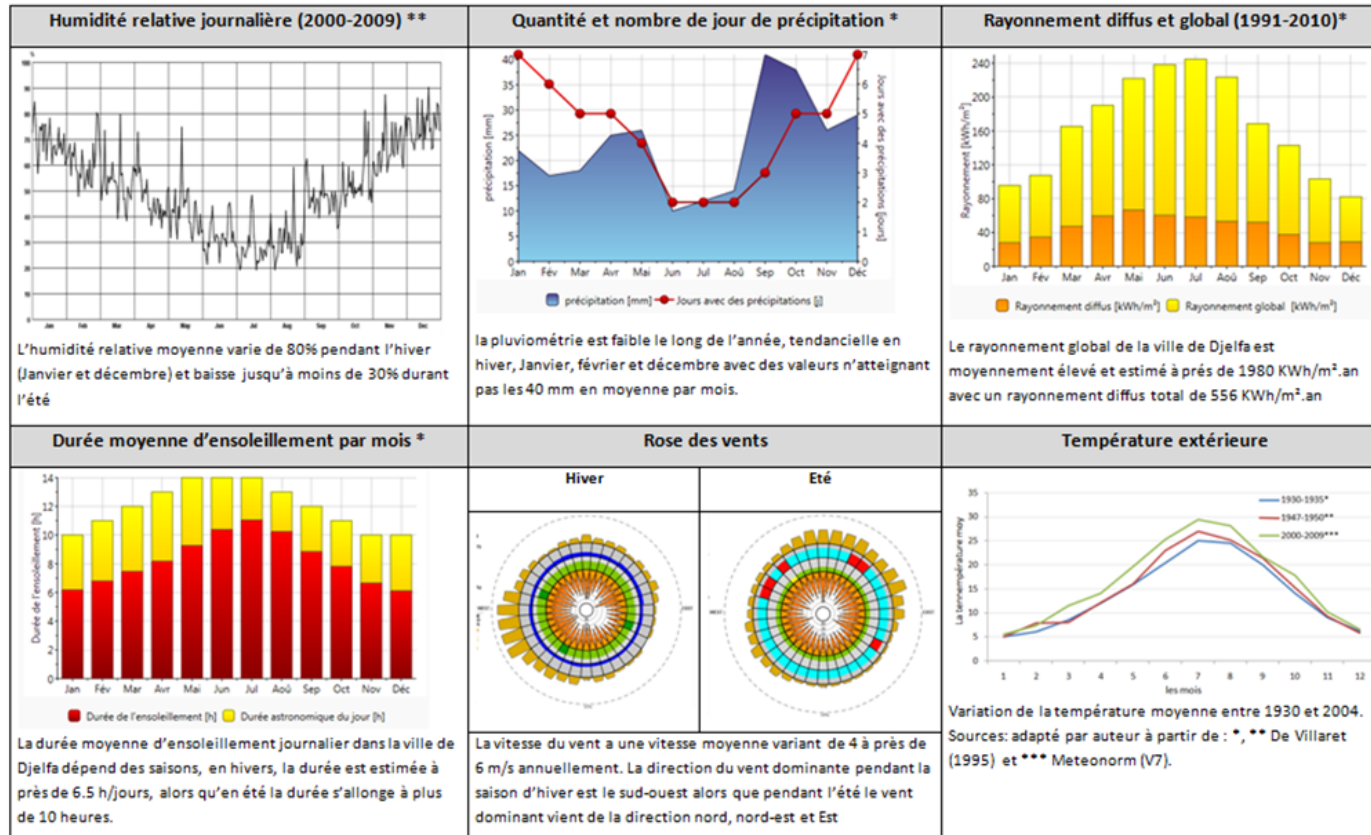


8. Boukarta Soufiane, (2019). *Déterminants de la forme urbaine générant le potentiel de maîtrise de l'énergie en zone semi-aride*, thèse de doctorat, EPAU, Alger).
9. Boukarta, S. & Berezowska-Azzag, (2018), Assessing household gas and electricity consumption, case study of Djelfa, *Quaestiones Geographicae*, vol 37, issue 4. <https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0034>
10. Boukarta, S., & Berezowska-Azzag, E. (2017), "Urban island" as an energy assessment tool. The case of Mouzaia, Algeria, , doi:10.5937/jaes15-12951. *Journal of applied engineering science* 15 (2), 128 – 139.
11. Chen, J., Wang, X., & Steemers, K. (2013). A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China. *Energy and Buildings*, 66, 193-202.
12. Dall'O Giuliano , Annalisa Galante, Marco Torri, "A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale". *Energy and Buildings* 48 (2012) 211–219.
13. Dascalaki, E. G., Drousa, K., Gaglia, A. G., Kontoyiannidis, S., & Balaras, C. A. (2010). Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), 1231-1237.
14. DTR C3.2, C3-4 Règlement Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques, Fascicule 1, Document Technique Réglementaire, Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, CNERIB, Alger, 2004.
15. Ekici, B. B., & Aksoy, U. T. (2009). Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 40(5), 356-362.
16. Julien Bouyer, (2009), "Modélisation et simulation des microclimats urbains – Etude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments", these PHD, université de Nantes.
17. Li, C., Li, J., & Wu, J. (2018). What drives urban growth in China? A multi-scale comparative analysis. *Applied Geography*, 98, 43-51.
18. Maïzia Mindjid, Claire Sèze, Sébastien Berge, Jacques Teller, Sigrid Reiter, Raphael Ménard, "Energy Requirements Of Characteristic Urban Blocks", in Proc. of CISBAT 2009 - Renewables in a changing climate - From Nano to urban scale.
19. Marique, A. F. (2013). *Méthodologie d'évaluation énergétique des quartiers périurbains. Perspectives pour le renouvellement périurbain wallon* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique)
20. McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2015). A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data. *Applied energy*, 141, 190-199.
21. METEOTEST, Software METEONORM 7, 2016. <https://meteonorm.com/en/>
22. Semahi, S., Zemmouri, N., Singh, M. K., & Attia, S. (2019). Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria. *Building and Environment*, 161, 106271.
23. Singh, M. K., Mahapatra, S., & Teller, J. (2013). An analysis on energy efficiency initiatives in the building stock of Liege, Belgium. *Energy policy*, 62, 729-741



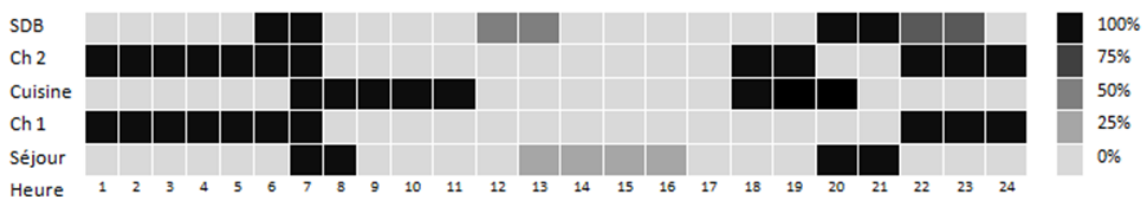


Annexes A-1: les conditions climatiques de la ville de Djelfa. Source : * meteonorm et ** Climate consultant à partir des données de Meteonorm.

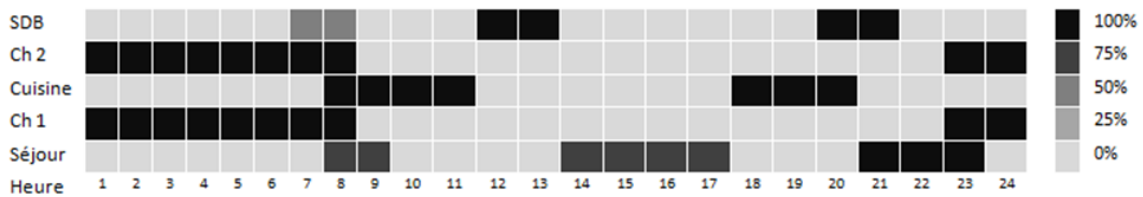




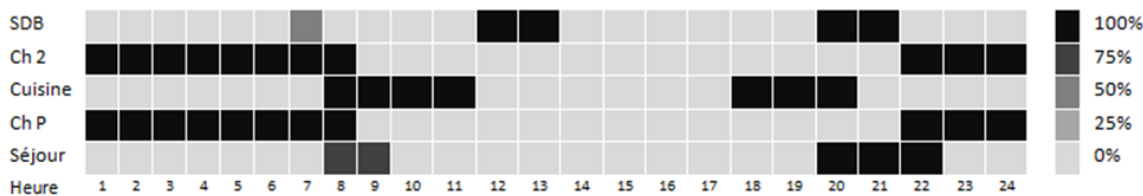
Annexes A-2: Occupation des zones.



Occupation des zones pendant les journées ouvrables.



Occupation des zones pendant les vendredis



Occupation des zones pendant les samedis. Représentation graphique





Annexes A-3: Protocole de simulation et résultat des simulations.

Cas	Prosp	Compacité	Taux vitrage	Uf	Orientn	Mur	Plancher	Chauf	clim	Total
1	0	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
2	0	0.6	20	2.79	0	1.75	3.01	39.29	37.90	77.19
3	0	0.66	30	2.79	45	1.75	1.55	45.90	60.17	106.07
4	0	0.66	20	0.72	90	2.67	3.01	31.33	35.44	66.77
5	0	0.31	10	3.8	135	3.95	3.01	36.47	41.17	77.64
6	0	0.31	30	3.8	225	2.67	0.22	42.23	65.11	107.34
7	0	0.66	30	5	45	2.67	3.01	44.10	66.27	110.37
8	0	0.75	10	1.7	270	3.95	1.55	31.36	44.71	76.07
9	0	0.31	30	0.72	315	1.75	0.22	45.29	49.99	95.27
10	0	0.75	20	0.72	180	0.63	1.55	58.61	39.66	98.27
11	1	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
12	1	0.6	30	3.8	45	1.75	1.55	44.11	44.21	88.33
13	1	0.75	20	0.72	180	3.95	3.01	26.56	30.83	57.39
14	1	0.66	30	1.7	225	2.67	1.55	23.93	60.29	84.21
15	1	0.66	10	3.8	90	1.75	3.01	49.67	50.10	99.77
16	1	0.31	20	5	315	3.95	0.22	53.93	58.84	112.77
17	1	0.31	10	2.79	135	0.63	0.22	93.57	60.43	154.00
18	1	0.75	10	3.8	270	2.67	3.01	31.07	44.97	76.04
19	1	0.66	20	0.72	0	3.95	1.55	36.19	27.80	63.99
20	1	0.6	20	1.7	270	1.75	1.55	36.56	56.06	92.61
21	2	0.6	10	5	0	0.63	3.01	104.56	61.07	165.07
22	2	0.6	20	3.8	315	2.67	1.55	31.80	48.10	79.90
23	2	0.75	20	2.79	90	1.75	1.55	40.53	56.89	97.41
24	2	0.75	30	0.72	45	2.67	3.01	20.19	39.53	59.71
25	2	0.66	20	3.8	90	2.67	1.55	37.03	55.26	92.29
26	2	0.66	30	0.72	180	3.95	3.01	26.84	36.07	62.91
27	2	0.31	30	5	270	1.75	0.22	63.14	90.51	153.66
28	2	0.31	10	1.7	225	1.75	0.22	63.14	90.51	153.66
29	2	0.6	20	0.72	90	1.75	1.55	37.43	41.00	78.43
30	2	0.31	30	3.8	0	3.95	0.22	49.51	43.33	92.84
31	3	0.31	20	0.72	270	1.75	0.22	49.60	47.34	96.94
32	3	0.6	10	5	0	0.63	3.01	104.56	61.07	165.63
33	3	0.6	30	1.7	45	1.75	1.55	32.13	50.13	82.26
34	3	0.75	20	3.8	270	2.67	3.01	31.96	58.63	90.59
35	3	0.75	10	2.79	180	1.75	1.55	38.39	36.14	74.53
36	3	0.66	20	0.72	225	0.63	3.01	27.76	35.13	62.89
37	3	0.66	30	1.7	90	0.63	1.55	83.00	91.03	174.03
38	3	0.31	10	3.8	135	3.95	0.22	49.74	43.16	92.90
39	3	0.75	30	5	315	1.75	3.01	49.23	81.11	130.34
40	3	0.66	10	3.8	0	2.67	1.55	33.60	29.23	62.83
41	4	0.6	30	2.79	180	3.95	3.01	31.03	36.49	67.51
42	4	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
43	4	0.75	20	0.72	90	1.75	3.01	35.81	43.67	79.49
44	4	0.75	10	1.7	225	2.67	1.55	24.39	36.13	60.51
45	4	0.66	30	0.72	45	1.75	3.01	37.37	46.30	83.67
46	4	0.66	20	3.8	315	3.95	1.55	42.69	53.39	96.07
47	4	0.31	20	1.7	270	2.67	0.22	36.80	52.27	89.07
48	4	0.31	10	0.72	180	0.63	0.22	88.54	47.27	135.81
49	4	0.6	20	1.7	315	1.75	1.55	33.29	39.79	73.07
50	4	0.75	30	3.8	135	1.75	1.55	33.29	39.79	73.07
51	6	0.6	10	3.8	0	0.63	3.01	102.26	58.47	160.73
52	6	0.75	30	0.72	270	2.67	1.55	20.99	50.04	71.03





Colloque international
Confort, Habitat en milieu sensible et Ville Résiliente CHSVR 2021
Université 8 Mai 1945 – Guelma, Département d'Architecture
13 & 14 octobre 2021



53	6	0.6	20	1.7	90	1.75	1.55	36.91	52.76	89.67
54	6	0.75	10	2.79	180	3.95	3.01	31.11	32.16	63.27
55	6	0.66	20	5	45	1.75	1.55	52.46	57.34	109.80
56	6	0.66	10	2.79	315	2.67	3.01	33.83	37.60	71.43
57	6	0.31	20	3.8	180	3.95	0.22	45.01	39.80	84.81
58	6	0.31	30	5	225	0.63	0.22	96.60	91.21	187.81
59	6	0.6	10	0.72	225	3.95	1.55	45.67	23.94	69.61
60	6	0.31	10	1.7	90	2.67	0.22	35.46	28.56	64.01
61	0	0.66	10	3.8	315	3.95	1.55	41.06	43.54	84.60
62	0	0.75	30	2.79	0	1.75	1.55	42.70	44.97	87.67
63	1	0.31	30	3.8	90	2.67	0.22	45.71	70.56	116.27
64	1	0.6	10	0.72	135	3.95	1.55	33.06	30.19	63.24
65	2	0.75	10	1.7	315	0.63	3.01	91.29	68.79	160.07
66	2	0.66	30	5	0	1.75	1.55	52.14	55.97	108.11
67	3	0.31	20	2.79	180	2.67	0.22	34.79	34.81	69.60
68	3	0.6	20	0.72	270	3.95	1.55	30.50	39.74	70.24
69	4	0.66	10	5	0	0.63	3.01	97.74	61.79	159.53
70	4	0.31	30	3.8	45	3.95	0.22	52.84	59.66	112.50
71	6	0.6	10	1.7	180	1.75	1.55	49.34	25.40	74.74
72	6	0.75	10	5	90	3.95	3.01	97.64	76.06	173.70
73	0	0.66	30	3.8	225	3.95	1.55	42.23	69.29	111.51
74	0	0.31	10	5	180	1.75	0.22	53.76	39.91	93.67
75	1	0.6	10	0.72	90	3.95	3.01	32.30	25.43	57.73
76	1	0.66	20	5	270	1.75	3.01	64.41	62.83	127.24
77	2	0.31	30	1.7	45	0.63	0.22	80.46	70.73	151.19
78	2	0.6	20	2.79	135	1.75	3.01	98.84	74.06	172.90
79	3	0.75	20	3.8	180	2.67	1.55	26.47	37.90	64.37
80	3	0.31	30	0.72	90	2.67	0.22	29.43	31.40	60.83
81	4	0.6	10	1.7	180	1.75	1.55	36.86	34.26	71.11
82	4	0.75	20	3.8	90	0.63	1.55	94.71	81.33	176.04
83	6	0.66	20	0.72	315	2.67	1.55	28.27	35.27	63.54
84	6	0.31	10	5	270	2.67	0.22	44.84	47.07	91.91
85	0	0.6	30	2.79	0	3.95	3.01	31.53	41.54	73.07
86	0	0.75	10	0.72	180	1.75	3.01	37.04	31.20	68.24
87	1	0.66	30	2.79	225	0.63	3.01	93.94	87.14	181.09
88	1	0.31	20	5	135	1.75	0.22	58.89	59.84	118.73
89	2	0.6	30	1.7	0	3.95	1.55	24.91	41.14	66.06
90	2	0.6	20	3.8	180	1.75	3.01	41.74	42.70	84.44
91	3	0.75	30	0.72	90	1.75	1.55	29.90	36.83	66.73
92	3	0.66	10	1.7	180	2.67	3.01	26.77	28.79	55.56
93	4	0.6	30	1.7	45	3.95	3.01	27.44	53.60	81.04
94	4	0.31	20	2.79	370	0.63	0.22	91.84	77.16	169.00
95	6	0.6	10	3.8	135	2.67	3.01	29.20	36.80	66.00
96	6	0.75	10	0.72	225	2.67	3.01	25.26	29.16	54.41
97	0	0.31	20	5	270	3.95	0.22	54.79	68.33	123.11
98	0	0.31	30	2.79	90	1.75	0.22	52.94	70.84	123.79
99	1	0.66	10	1.7	0	0.63	1.55	90.84	57.31	148.16
100	1	0.75	20	0.72	180	3.95	3.01	26.56	30.83	57.39

