

RAPPORT DE STAGE S8

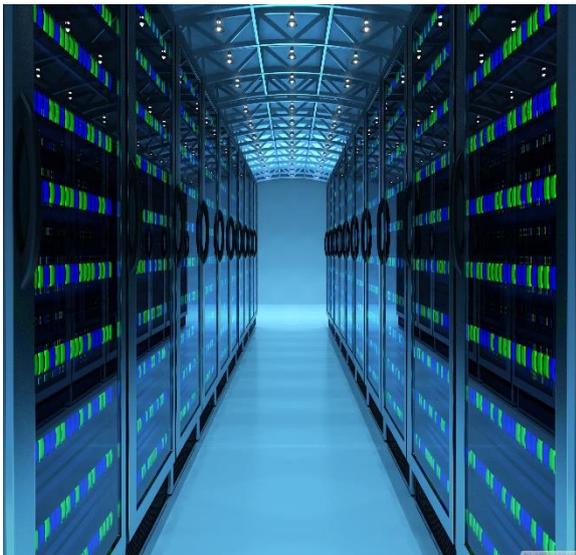
ELBORATION D'UN OUTIL DE TRAITEMENT DE DONNEES A
L'AIDE DU LANGAGE R POUR LA PLATEFORME ENERGETIQUE DE
2IE

PRESENTE PAR :

TSOLEFACK Yvon François

LaBEREE (Laboratoire de Biomasse Energie Renouvelable et Efficacité
Energétique) & **LaBEMHD** (Laboratoire d'Eco-Matériaux et Habitat
Durable)

Du 08/07/2019 au 23/08/2019



SOUS LA SUPERVISION DE :

- Docteur Daniel YAMEGUEU
- Professeur ADAMAH MESSAN
- Ibrahim NEYA(Doctorant)

SOMMAIRE

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	3
INTRODUCTION.....	4
I. PLANS DES BATIMENTS PILOTES.....	5
II. SYSTEMES D'ACQUISITION DES DONNEES	7
III. PRESENTATION DE L'OUTIL DE TRAVAIL	8
1. Origines	8
2. Pourquoi utiliser R ?	8
3. R et les statistiques	9
4. R et les graphiques	9
5. L'interface graphique de R.....	10
IV. SYNTHESE STATISTIQUE(ACP)	11
6. Etude des valeurs aberrantes.....	11
7. Répartition Inertie.....	11
8. Description du plan 1: 2.....	12
Annexes	14
V. COMMENTAIRES	17
CONCLUSION	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de masse du lieu des bâtiments pilotes

Figure 2 : Vue de face bâtiment pilote btc

Figure 3 : Vue de dessus bâtiments pilotes

Figure 4 : Vue en coupe bâtiment pilote

Figure 5 : Station Météo 2ie-Kamboissin

Figure 6 : Capteur d'humidité

Figure 7 : Capteur de température

Figure 8 : Bâtiments pilotes, campus 2ie Kamboissin

Figure 9 : Quelques possibilités graphiques offertes par R.

Figure 10 : Interface graphique de R

Figure 11 : La décomposition de l'inertie totale des composants de l'analyse

Figure 12 : Les individus carte des facteurs (PCA)

Figure 13 : carte du facteur Variables (PCA)

Figure 14 : Classification ascendante hiérarchique des individus.

Figure 15 : Liste des variables caractérisant les dimensions de l'analyse.

Figure 16 : Liste des variables caractérisant les grappes de la classification.

LISTE DES ABBREVIATIONS

2IE : Institut International de l'Eau et de l'Environnement

BTC : Briques de Terre Comprimées

ACP : Analyse en Composante Principale

LaBEREE : Laboratoire de Biomasse Energie Renouvelable et Efficacité Energétique

LaBEMHD : Laboratoire d'Eco-Matériaux et Habitat Durable

AIE : Agence Internationale de l'Energie

CO₂ : Dioxyde de Carbone

ODDs : Objectifs de Développement Durables

COP : Conférence des Parties

Mtep : Millions de tonnes équivalent pétrole

INTRODUCTION

La consommation finale énergétique mondiale s'élevait en **2017**, selon l'**AIE** (Agence internationale de l'énergie), à **9 717 Mtep**, dont **21 %** pour le secteur résidentiel (bâtiments, logements). Au niveau mondial, les émissions de dioxyde de Carbone (**CO₂**) dues à l'énergie en **2017** sont estimées par l'**AIE** à **32 840 Mt** dont **17 %** sont émis par le secteur du résidentiel.

Ces chiffres témoignent donc de l'urgence en matière de transition énergétique et d'efficacité énergétique, afin d'atteindre les objectifs de développement durable (**ODDs**) fixés à la **COP21** en **2015**. Ainsi, afin d'optimiser la consommation énergétique du secteur résidentiel (des bâtiments), et, ainsi réduire son impact environnemental, l'intégration des technologies numériques et notamment la science des données joue un rôle indispensable dans la conception, la construction, et la maintenance des bâtiments.

De ce fait, dans le cadre de notre stage effectué conjointement au sein du **LaBEREE** (Laboratoire de Biomasse Energie Renouvelable et Efficacité Energétique) et du **LaBEMHD** (Laboratoire d'Eco-Matériaux et Habitat Durable), il nous a été attribué **la réalisation d'un outil de traitement de données à l'aide du langage R, pour la plateforme énergétique de 2IE**, ceci dans le but d'optimiser **le confort thermique des bâtiments**. Les données mis à notre disposition ont été relevées sur des bâtiments pilotes en **BTC (Briques de Terre Comprimées)** et en **parpaing**. Les résultats de notre analyse sont récapitulés dans les parties synthèse statistique et commentaires de ce rapport.

I. PLANS DES BATIMENTS PILOTES

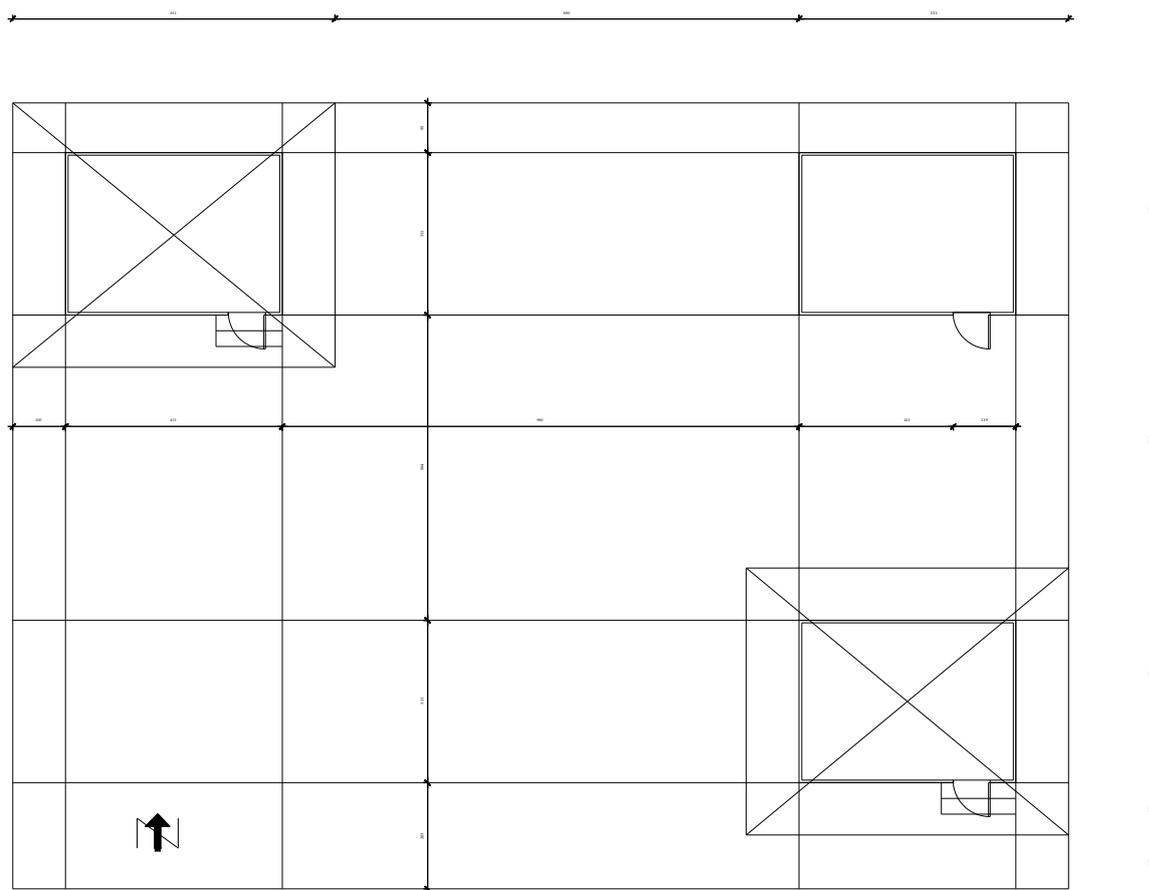


Figure 1: Plan de masse du lieu des bâtiments pilotes

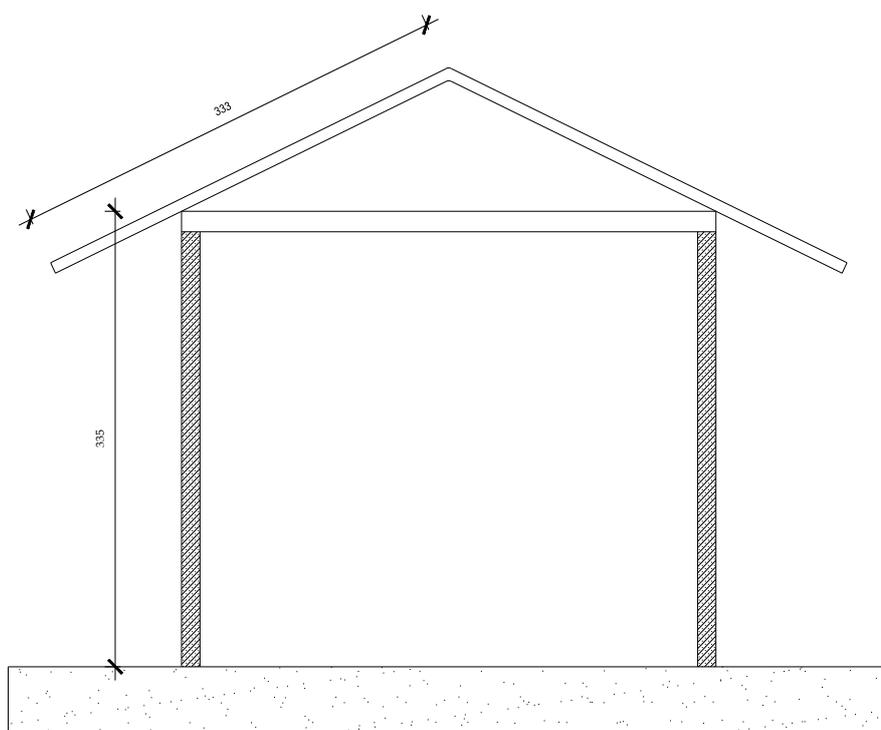
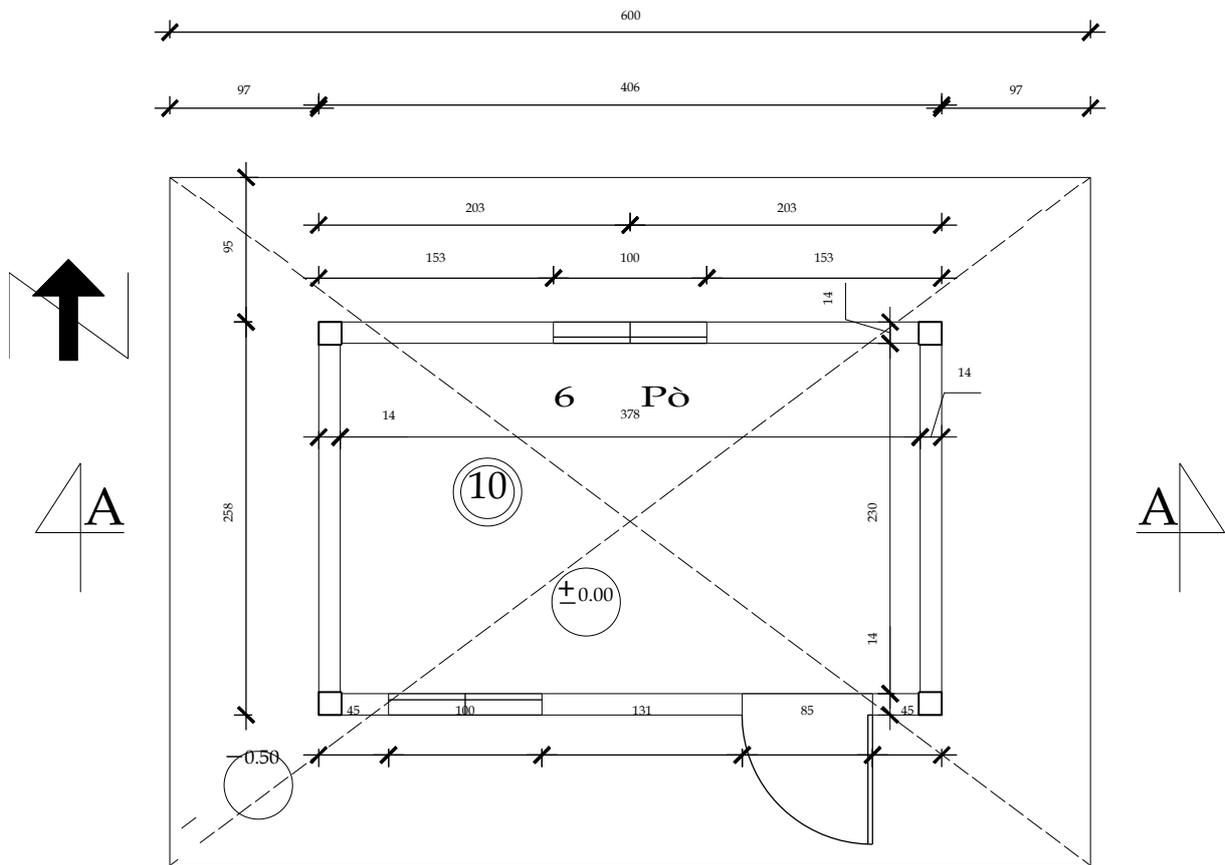


Figure 2 : Vue de face bâtiment pilote btc



PLANVIEW3mx4m

Figure 3 : Vue de dessus bâtiments pilotes

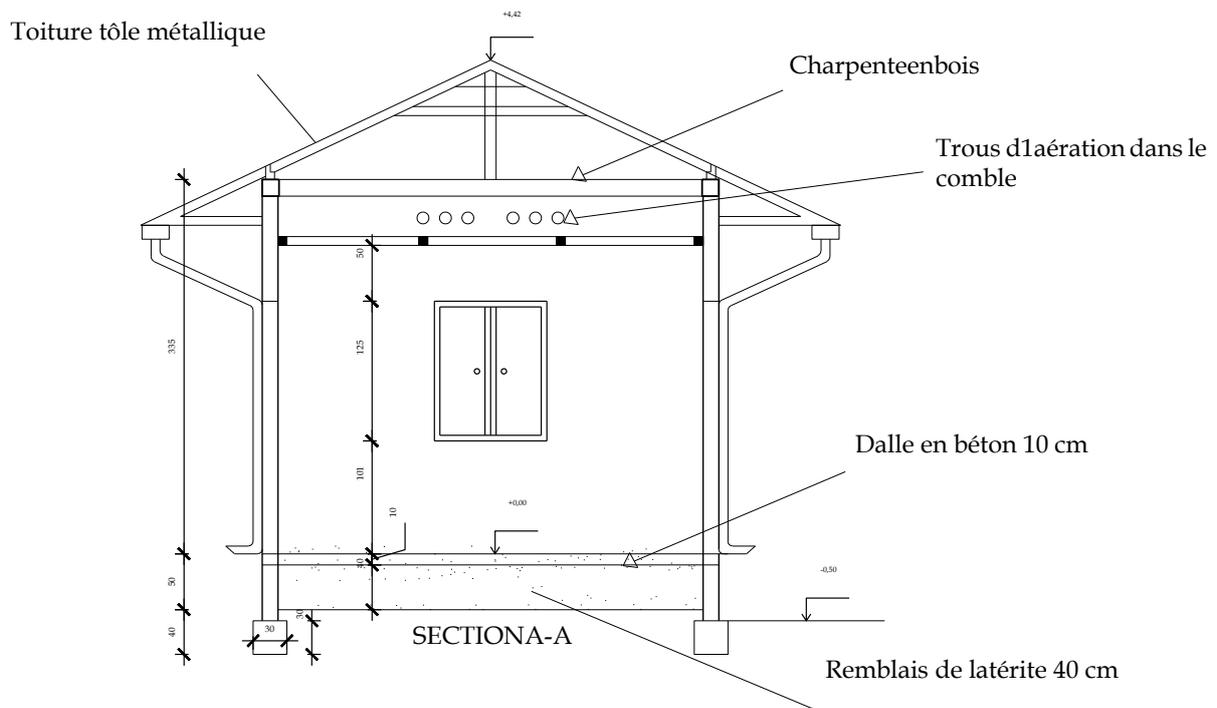


Figure 4 : Vue en coupe bâtiment pilot

II. SYSTEMES D'ACQUISITION DES DONNEES

Les données de travail mises à notre disposition sont des relevés de températures journalières (par heure), sur différentes faces de chaque bâtiment pilote (BTC et Parpaing), sur une période donnée (du 24/03/2017 au 18/06/2017), et des données météo horaires sur des jours spécifiques (06 janvier, 06 Février, 06 Mars, 06 Avril, 06 Mai 2017).

Ces données sont obtenues grâce à différents types de capteurs disposés dans les bâtiments pilotes, et ainsi qu'une station météo.



Figure 5 : Station Météo 2ie-Kamboissin

Source : Google



Figure 6 : Capteur d'humidité

Source : Google



Figure 7: Capteur de température

Source : Google



Figure 8 : Bâtiments pilotes, campus 2ie Kamboissin

Source : Google

III. PRESENTATION DE L'OUTIL DE TRAVAIL

1. Origines

Le logiciel R est un logiciel de statistique créé par *Ross Ihaka & Robert Gentleman*. Il est à la fois un langage informatique et un environnement de travail : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans une fenêtre qui leur est propre. C'est un clone du logiciel S-plus qui est fondé sur le langage de programmation orienté objet S, développé par AT&T Bell Laboratoires en 1988. Ce logiciel sert à manipuler des données, à tracer des graphiques et à faire des analyses statistiques sur ces données.

2. Pourquoi utiliser R ?

Tout d'abord R est un logiciel gratuit et à code source ouvert (open-source). Il fonctionne sous UNIX (et Linux), Windows et Macintosh. C'est donc un logiciel multi-plates-formes. Il est d'envergure dans la mouvance des logiciels libres par une communauté sans cesse plus vaste de bénévoles motivés.

Tout le monde peut d'ailleurs contribuer à son amélioration en y intégrant de nouvelles fonctionnalités ou méthodes d'analyse non encore implémentées. Cela en fait donc un logiciel en rapide et constante évolution.

C'est aussi un outil très puissant et très complet, particulièrement bien adapté pour la mise en œuvre informatique de méthodes statistiques. Il est plus difficile d'accès que certains autres logiciels du marché (comme SPSS ou Minitab par exemple), car il n'est pas conçu pour être utilisé à l'aide de

« Clics » de souris dans des menus. L'avantage en est toutefois double :

- l'approche est pédagogique puisqu'il faut maîtriser les méthodes statistiques pour parvenir à les mettre en œuvre ;
- l'outil est très efficace lorsque l'on domine le langage R puisque l'on devient alors capable de créer ses propres outils, ce qui permet ainsi d'opérer des analyses très sophistiquées sur les données.

Attention !!

R est plus difficile d'accès que certains autres logiciels du marché. Il faut passer du temps à en apprendre la syntaxe et les commandes.

Le logiciel R est particulièrement performant pour la manipulation de données, le calcul et l'affichage de graphiques. Il possède, entre autres choses :

- un système de documentation intégré très bien conçu (en anglais) ;
- des procédures efficaces de traitement des données et des capacités de stockage de ces données ;
- une suite d'opérateurs pour des calculs sur des tableaux et en particulier sur des matrices ;

- une vaste et cohérente collection de procédures statistiques pour l'analyse de données ;
- des capacités graphiques évoluées ;
- un langage de programmation simple et efficace intégrant les conditions, les boucles, la récursivité, et des possibilités d'entrée-sortie.

3. R et les statistiques

R est un logiciel dans lequel de nombreuses techniques statistiques modernes et classiques ont été implémentées. Les méthodes les plus courantes permettant de réaliser une analyse statistique telles que :

- statistique descriptive ;
- tests d'hypothèses ;
- analyse de la variance ;
- méthodes de régression linéaire (simple et multiple) ;
- etc.

Sont enchâssées directement dans le cœur du système. Notez également que la plupart des méthodes avancées de statistique sont aussi disponibles au travers de modules externes appelés packages. Ceux-ci sont faciles à installer directement à partir d'un menu du logiciel. Ils sont tous regroupés sur le site internet du Comprehensive R Archive Network (CRAN) (<http://cran.r-project.org>) sur lequel vous pouvez les consulter. Ce site fournit aussi, pour certains grands domaines d'étude, une liste commentée des packages associés à ces thèmes (appelée Task View), ce qui facilite ainsi la recherche d'une méthode statistique particulière. Par ailleurs, une documentation détaillée en anglais de chaque package est disponible sur le CRAN.

Il est par ailleurs utile de noter que les méthodes statistiques les plus récentes y sont régulièrement ajoutées par la communauté statistique elle-même.

4. R et les graphiques

Une des grandes forces de R réside dans ses capacités, bien supérieures à celles des autres logiciels courants du marché, à combiner un langage de programmation avec la possibilité de réaliser des graphiques de qualité. Les graphiques usuels s'obtiennent aisément au moyen de fonctions prédéfinies. Ces dernières possèdent de très nombreux paramètres permettant par exemple d'ajouter des titres, des légendes, des couleurs, etc. Mais il est également possible d'effectuer des graphiques plus sophistiqués permettant de représenter des données complexes telles que des courbes de surface ou de niveau, des volumes affichés avec un effet 3D, des courbes de densité, et bien d'autres choses encore. Il vous est également possible d'y ajouter des formules mathématiques. Vous pouvez aussi agencer ou superposer plusieurs graphiques sur une même fenêtre, et utiliser de nombreuses palettes de couleur.

La figure ci-dessous présente quelques-uns de ces graphiques.

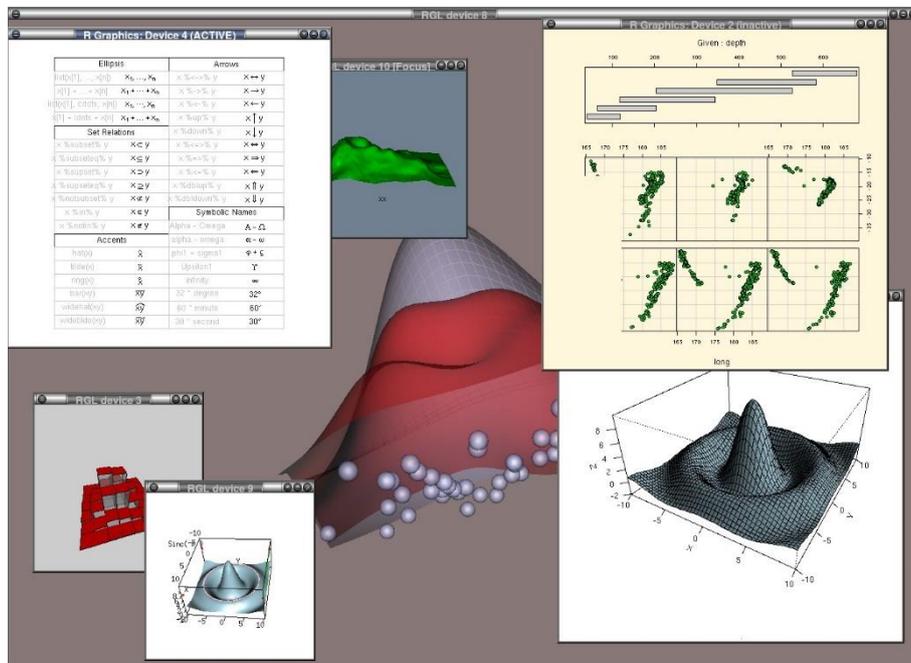


Figure 9 : Quelques possibilités graphiques offertes par R.

5. L'interface graphique de R

L'interface graphique de R (c'est-à-dire l'ensemble de ses menus) est très limitée, voire inexistante sur certaines plates-formes, en comparaison des autres logiciels standards. Cette minimalité peut dérouter les novices. Toutefois, nous pouvons nuancer cet inconvénient au travers des points suivants :

- cela offre l'avantage pédagogique d'inciter l'utilisateur à bien maîtriser la procédure statistique qu'il compte appliquer ;
- il existe des outils additionnels qui permettent d'étendre l'interface graphique.

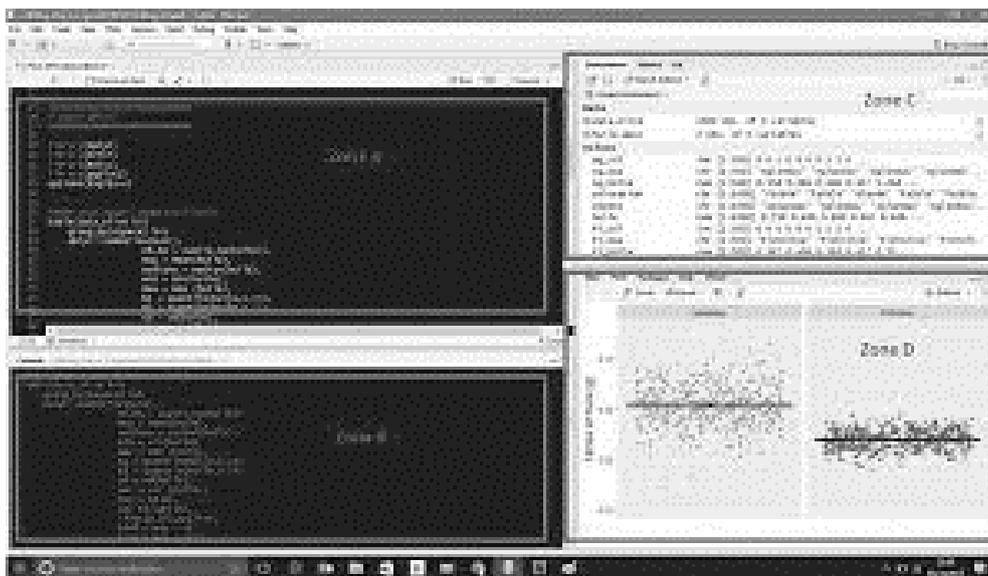


Figure 10 : Interface graphique de R

IV. SYNTHÈSE STATISTIQUE(ACP)

Analyse des composants principaux (ACP)

Base de données bâtiments (MAT1)

Cet ensemble de données contient 2000 observations et 8 variables.

6. Etude des valeurs aberrantes

L'analyse des graphiques ne détecte aucune valeur aberrante.

7. Répartition Inertie

L'inertie des premières dimensions indique s'il y a des relations solides entre les variables et suggère le nombre de dimensions qui devraient être étudiés.

Les deux premières dimensions de **84,63%** résultent de l'analyse express de l'inertie totale de l'ensemble des données ; cela signifie que **84,63%** des individus (ou variables) du nuage de la variabilité totale est expliquée par le plan. Ce pourcentage est élevé et donc le premier plan représente une partie importante de la variabilité des données. Cette valeur est fortement supérieure à la valeur de référence qui est égale à **27,35%**, la variabilité expliquée par ce plan est donc hautement significative (la valeur de référence est la 0,95-quantile du pourcentage d'inertie distribution obtenue en simulant **107** tables de données de taille équivalente sur la base d'une distribution normale).

A partir de ces observations, il n'est probablement pas utile d'interpréter les dimensions suivantes.

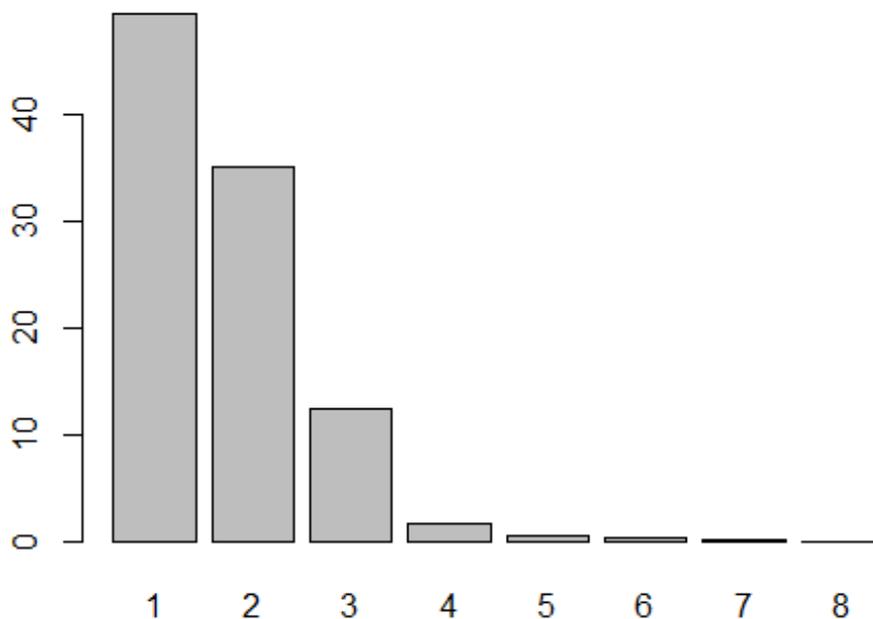


Figure 11 - La décomposition de l'inertie totale des composants de l'analyse

Une estimation du nombre de droite de l'axe à interpréter suggère de limiter l'analyse à la description du premier axe 2. Ces axes présentent une quantité d'inertie supérieure à celles obtenues par le **0,95-quantile** des distributions aléatoires (**84,63% contre 27,35%**). Cette observation suggère que seuls ces axes sont porteurs d'une véritable information. En conséquence, la description se tiendra à ces axes.

8. Description du plan 1: 2

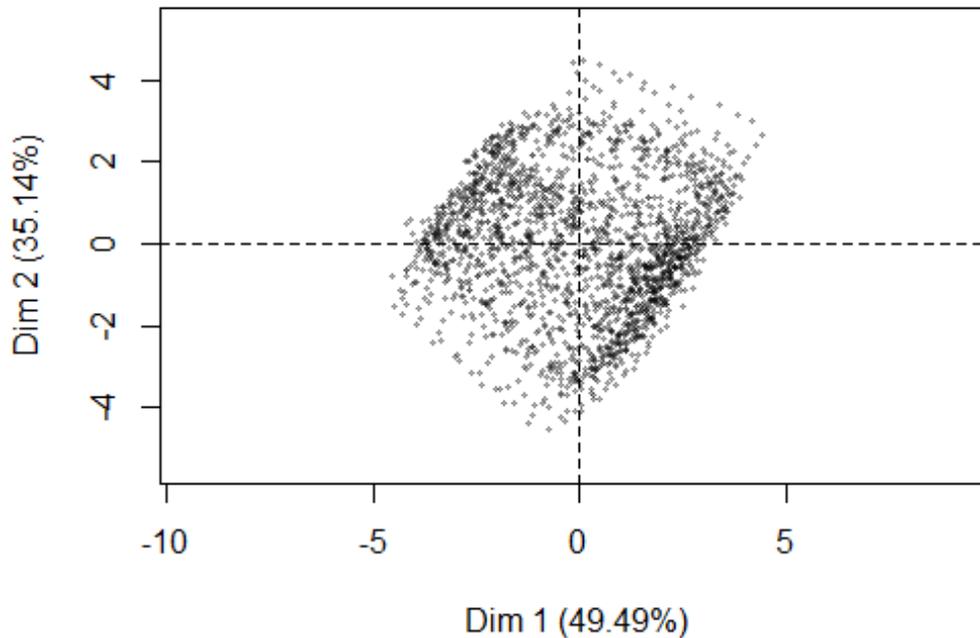


Figure 12 - Les individus carte des facteurs (PCA)

Les individus marqués sont ceux qui ont la plus grande contribution au plan de construction.

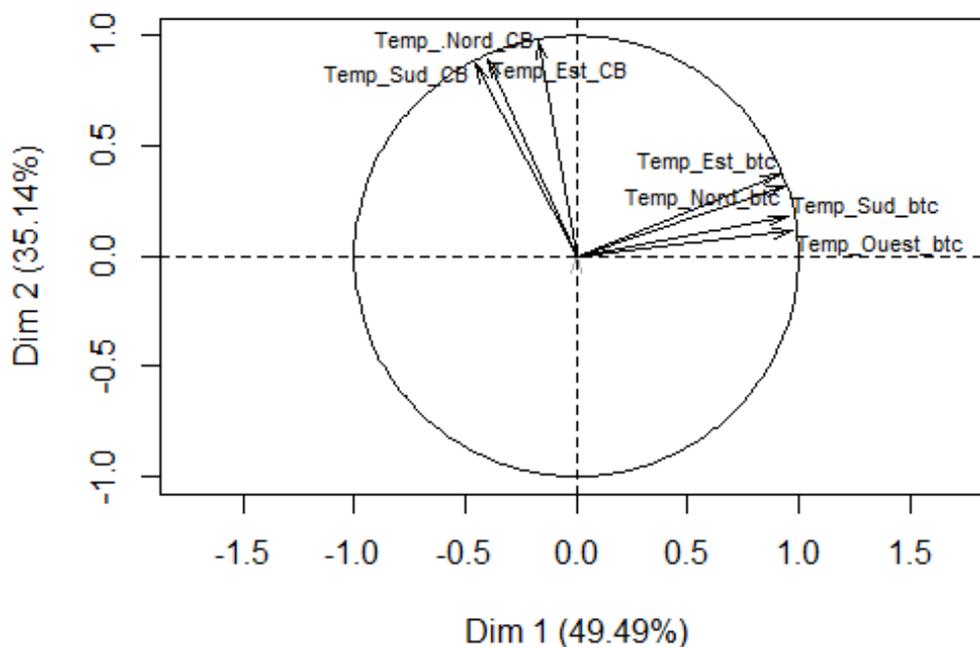


Figure 13 - carte du facteur Variables (PCA)

Les variables marquées sont celles mieux représentées sur le plan.

La dimension 1 oppose les individus caractérisés par une coordonnée fortement positive sur l'axe (vers la droite du graphe) à des individus caractérisés par une coordonnée fortement négative sur l'axe (à la gauche du graphique).

Le groupe 1 (caractérisée par une coordonnée positive sur l'axe) est le partage :

- de faibles valeurs pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_.Nord_CB, Temp_Est_CB, Temp_Est_btc et Temp_Nord_btc (variables triées par ordre croissant).

Le groupe 2 (caractérisée par une coordonnée positive sur l'axe) est le partage :

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Ouest_btc, Temp_Nord_btc, Temp_Sud_btc et Temp_Est_btc (variables triées par ordre décroissant).
- de faibles valeurs pour les variables Temp_Sud_CB et Temp_Est_CB (variables sont triées par ordre croissant).

Le groupe 3 (caractérisée par une coordonnée négative sur l'axe) est le partage:

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_Est_CB et Temp_.Nord_CB (variables triées par ordre décroissant).
- de faibles valeurs pour les variables Temp_Ouest_btc, Temp_Sud_btc, Temp_Nord_btc et Temp_Est_btc (variables triées par ordre croissant).

Notez que les variables **Temp_Ouest_btc** et **Temp_Sud_btc** sont fortement corrélés avec cette dimension (corrélations respectives de **0,94**, **0,91**). Ces variables pourraient donc à elles seules résumer la dimension 1.

La dimension 2 oppose deux individus caractérisés par une coordonnée fortement positive sur l'axe (à la partie supérieure du graphique) à des particuliers caractérisés par une coordonnée fortement négative sur l'axe (à la partie inférieure du graphique).

Le groupe 1 (caractérisée par une coordonnée positive sur l'axe) est le partage:

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_Est_CB et Temp_.Nord_CB (variables sont triées par ordre décroissant).
- de faibles valeurs pour les variables Temp_Ouest_btc, Temp_Sud_btc, Temp_Nord_btc et Temp_Est_btc (variables sont triées par ordre croissant).

Le groupe 2 (caractérisée par une coordonnée positive sur l'axe) est le partage:

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Ouest_btc, Temp_Nord_btc, Temp_Sud_btc et Temp_Est_btc (variables sont triées par ordre décroissant).
- de faibles valeurs pour les variables Temp_Sud_CB et Temp_Est_CB (variables sont triées par ordre croissant).

Le groupe 3 (caractérisée par une coordonnée négative sur l'axe) est le partage:

- de faibles valeurs pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_.Nord_CB, Temp_Est_CB, Temp_Est_btc et Temp_Nord_btc (variables triées par ordre croissant).

Notez que la variable **Temp_.Nord_CB** est fortement corrélée à cette dimension (corrélations de **0,03**). Cette variable pourrait donc se résumer à la dimension 2.

1- Classification

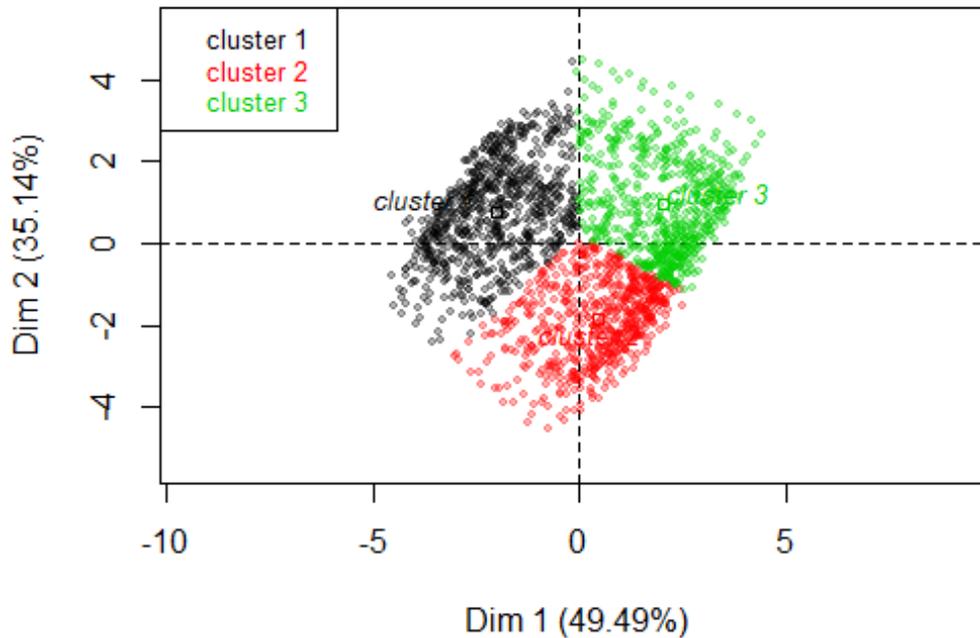


Figure 14 - Classification ascendante hiérarchique des individus.

La classification faite sur les individus révèle 3 groupes.

Le groupe 1 est composé d'individus partageant :

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_Est_CB et Temp_.Nord_CB (variables triées par ordre décroissant).
- de faibles valeurs pour les variables Temp_Ouest_btc, Temp_Sud_btc, Temp_Nord_btc et Temp_Est_btc (variables triées par ordre croissant).

Le groupe 2 est composé d'individus partageant :

- de faibles valeurs pour les variables Temp_Sud_CB, Temp_.Nord_CB, Temp_Est_CB, Temp_Est_btc et Temp_Nord_btc (variables triées par ordre croissant).

Le groupe 3 est composé d'individus partageant :

- des valeurs élevées pour les variables Temp_Nord_btc, Temp_Est_btc, Temp_Sud_btc, Temp_Ouest_btc, Temp_.Nord_CB et Temp_Est_CB (variables triées par ordre décroissant).

Annexes

dimdesc (res, axes = 1: 2)

	Dim.1	\$		Dim.1 quanti
\$				
\$				
corrélation				Val.par
Temp_Ouest_btc	0.9698320	0.000000e	+	00
Temp_Sud_btc	0.9522745	0.000000e	+	00
Temp_Nord_btc	0.9373465	0.000000e	+	00
Temp_Est_btc	0.9144841	0.000000e	+	00
Temp_.Nord_CB		-0,1705280		1.618726e-14

Temp_Est_CB		-0,3972705		1.345465e-76
Temp_Sud_CB		-0,4579326		3.040180e-104
\$				Dim.2
\$	Dim.2		\$	quanti
corrélation				Val.par
Temp_.Nord_CB	0.9788275	0.000000e	+	00
Temp_Est_CB	0.8956369	0.000000e	+	00
Temp_Sud_CB	0.8734405	0.000000e	+	00
Temp_Est_btc		0.3767670		1.784737e-68
Temp_Nord_btc		0.3195377		1.041883e-48
Temp_Sud_btc		0.1776329		1.216813e-15
Temp_Ouest_btc	0.1128898	4.157117e-07		

Figure 15 - Liste des variables caractérisant les dimensions de l'analyse.

```
res.hcpc $ desc.var
```

Lien entre la variable de cluster et les variables quantitatives							
				P			
					ETA2		
-Valeur							
Temp_Est_btc				0.6414840	0		
Temp_Nord_btc				0.6636843	0		
Temp_Ouest_btc				0.6518975	0		
Temp_Sud_btc				0.6523498	0		
Temp_Est_CB				0.5906531	0		
Temp_Nord_CB				0.5519550	0		
Temp_Sud_CB				0.6852536	0		
Description de chaque groupe par des variables quantitatives							
\$				1`	`		
v.test	moyenne	dans la catégorie	moyenne globale	sd	dans la catégorie		
Temp_Sud_CB	30,51215		35,36552	31,01741	2,674726		
Temp_Est_CB	27,70949		33,82029	30,26969	2,683132		
Temp_.Nord_CB	21,18516		31,59430	28,99742	3,169635		
Temp_Est_btc	-27,13970		27,17072	30,62151	3,139265		
Temp_Nord_btc	-28,63758		25,47977	28,96171	2,637622		
Temp_Sud_btc	-31,04825		27,28536	31,52875	2,930979		
Temp_Ouest_btc	-31,70231		25,84910	30,46917	2,576270		
Dans l'ensemble				sd	Val.par		
Temp_Sud_CB				4.961616	1.797947e-204		
Temp_Est_CB				4.461373	5.365936e-169		
Temp_.Nord_CB				4.267919	1.308835e-99		
Temp_Est_btc				4.426997	3.349659e-162		
Temp_Nord_btc				4.233299	2.288898e-180		
Temp_Sud_btc				4.758505	1.204574e-211		
Temp_Ouest_btc				5.074023	1.443750e-220		
`2`					\$		
v.test	moyenne	dans la catégorie	moyenne globale	sd	dans la catégorie		
Temp_Nord_btc	-4,301973		28,35259	28,96171	2,377858		
Temp_Est_btc	-5,811000		29,76108	30,62151	2,495624		

Temp_Est_CB	-31,777028	25,52798	30,26969	2,608205
Temp_.,Nord_CB	-32,873567	24,30479	28,99742	2,042246
Temp_Sud_CB	-33,772940	25,41280	31,01741	2,378834
Dans	l'ensemble		sd	Val.par
Temp_Nord_btc		4.233299		1.692838e-05
Temp_Est_btc		4.426997		6.210086e-09
Temp_Est_CB		4.461373		1.344506e-221
Temp_.,Nord_CB		4.267919		5.246602e-237
Temp_Sud_CB		4.961616		4.924412e-250
ˆ3ˆ				\$
v.test	moyenne	dans la catégorie	moyenne globale	sd dans la catégorie
Temp_Nord_btc	34.209361		33,75483	28,96171
Temp_Est_btc	34.147237		35,62485	30,62151
Temp_Sud_btc	32.019566		36,57166	31,52875
Temp_Ouest_btc	31.364814		35,73649	30,46917
Temp_.,Nord_CB	10.606466		30,49566	28,99742
Temp_Est_CB	2.696763		30,66789	30,26969
Dans	l'ensemble		sd	Val.par
Temp_Nord_btc		4.233299		1.754983e-256
Temp_Est_btc		4.426997		1.469559e-255
Temp_Sud_btc		4.758505		5.825446e-225
Temp_Ouest_btc		5.074023		6.111194e-216
Temp_.,Nord_CB		4.267919		2.780685e-26
Temp_Est_CB	4.461373	7.001712e-03		

Figure 16- Liste des variables caractérisant les grappes de la classification.

V. COMMENTAIRES

Les données mis à notre disposition étaient constituées à la base de données des bâtiments pilotes (**BTC** et **PARPAING**), constituées de **13 variables d'études au total**, sur une période donnée (du **24/03/2017** au **18/06/2017**), et des données météo horaires sur des jours spécifiques (**06 janvier, 06 Février, 06 Mars, 06 Avril, 06 Mai 2017**).

L'exploration, le nettoyage, la visualisation et la synthèse de ces données, ont finalement aboutit à une analyse sur 8 variables au total (7 variables actives plus une variable d'observation) à savoir :

- **Temp_Sud_CB** : Température du mur Sud du bâtiment en parpaing
- **Temp_Est_CB** : Température du mur Est du bâtiment en parpaing
- **Temp_Nord_CB** : Température du mur Nord du bâtiment en parpaing
- **Temp_Est_btc** : Température du mur Est du bâtiment en btc
- **Temp_Nord_btc** : Température du mur Nord du bâtiment en btc
- **Temp_Sud_btc** : Température du mur Sud du bâtiment en btc
- **Temp_Ouest_btc** : Température du mur Ouest du bâtiment en btc

Les données météo n'ont pas été inclus dans cette analyse car les périodes(dates) de relevés ne correspondaient pas à celles des bâtiments pilotes. De même, les variables citées ci-dessus sont celles qui présentent une forte contribution par rapport à la variable d'observation (variable **temps** sous format **Dates_Heures**).

Les courbes et histogrammes de ces variables sont accessibles via l'environnement de programmation du logiciel **RStudio**, dans lequel nous avons regroupé toutes les tables et matrices utilisées au cours de l'analyse.

Les indicateurs statistiques et des résultats d'analyse complémentaires plus détaillées sont disponibles dans le dossier complet du projet, sous format **excel et pdf**.

D'autre part, ces mêmes résultats peuvent être consultées via le logiciel **Rstudio**, au moyen de la fonction « **PCAshiny** », disponible via l'appel de la librairie « **factosshiny** » incluse dans les multiples packages du logiciel **R**. Cette fonction nous mène directement à une application web hors ligne qui recense tous les résultats de l'analyse (Courbes, histogrammes, indicateurs statistiques, ACP). Elle est très pratique, car elle permet d'accéder à ces résultats peu importe l'instant et le lieu, surtout en cas de perte des fichiers de résultats numériques.

L'observation des courbes, histogrammes, et des résultats de l'ACP permet d'identifier et de localiser les variations brusques de températures, sur chaque face des bâtiments pilotes, à des dates bien précises, l'objectif final étant de corriger ces variations de température afin d'optimiser le confort thermique (Température adéquate moyenne à maintenir à l'intérieur du bâtiment quelque soient les conditions climatiques extérieures).

Les élévations de températures sont plus localisées entre **le 18 Mars 2017 et le 30 Avril 2017**. Elles sont très brusques sur **le mur Ouest du bâtiment en btc**, tandis qu'elles sont modérées sur **le mur Sud du bâtiment en parpaing**. Toutefois, les variations de températures des autres faces du bâtiment en **btc (briques de Terre comprimées)** sont plus stables par rapport à celles du bâtiment en **parpaing**. Ceci démontre déjà partiellement (en fonction des températures analysées) la différence de rendement thermique entre les deux types de bâtiments.

CONCLUSION

En définitive, les résultats de notre analyse démontrent une nette différence de confort thermique entre les types de bâtiments pilotes. La faible variation des températures des faces du bâtiment en btc par rapport à celles du bâtiment en parpaing témoigne d'une amélioration du confort thermique en matière de matériau de construction. Ainsi, la brique de terre comprimée montre un meilleur rendement thermique par rapport au parpaing, car de faibles variations de températures impliquent une diminution des pertes et des ponts thermiques dans le bâtiment.

Toutefois, il est important d'optimiser la variation du flux radiatif du côté ouest du bâtiment en btc, car cette élévation brusque de température est principalement due au rayonnement solaire élevé sur cette face. De ce fait, nous préconiserons une isolation thermique adéquate sur cette face plus précisément, et sur toutes les possibles faces du bâtiment présentant des observations similaires.

L'implémentation des outils d'analyse numérique (big data) est d'une utilité grandissante notamment dans l'optimisation énergétique des bâtiments, afin d'atteindre une efficacité énergétique remarquable, et ainsi, diminué l'empreinte écologique et l'émission des gaz à effet de serre. Cette mission réalisée à travers le logiciel **R** nous a permis de développer et d'améliorer encore nos compétences en matière de programmation et d'analyse de données, et surtout, de mieux appréhender l'application et les impacts positifs de ces outils dans la transition énergétique.