



Analyse des données hygrométriques - conservation d'oignons au Burkina Faso

Rapport d'instrumentation

Par

Thomas CAZOR, Promotion 2017 – 4^e année, EPF, France

thomas.cazor@gmail.com

Félix-Antoine Langlois, 57^e Promotion, GCIUS-édition 2013, Université de Sherbrooke

langlois.felix.antoine@gmail.com

Alexandre R. Cabral, Professeur titulaire, Dép. génie civil, Université de Sherbrooke

alexandre.cabral@usherbrooke.ca

Décembre 2015

PRELIMINAIRE

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un stage de recherche au sein du Groupe de Collaboration internationale en ingénierie de l'Université de Sherbrooke (GCIUS), sous la supervision du professeur Alexandre Cabral, du laboratoire de géotechnique et géo-environnement de la Faculté de génie, Université de Sherbrooke, Québec, Canada. Le stage s'est déroulé entre les mois d'août et décembre 2015. Félix-Antoine Langlois, qui a participé à l'étude lors de son stage au sein du GCIUS a participé dans la supervision du stagiaire.

Le GCIUS est un organisme à but non lucratif, reconnu œuvre de bienfaisance. Son exécutif et conseil d'administration sont composés des membres du GCIUS étant des étudiants en troisième année de la Faculté de génie de l'Université de Sherbrooke. Le groupe bénéficie d'un conseil d'orientation formé de professeurs, de professionnels de l'industrie privée, d'anciens coopérants et de membres du GCIUS. La principale mission du GCIUS est de réaliser des projets d'ingénierie durable dans des pays en voie de développement et d'optimiser l'impact positif de ces projets sur le niveau de vie des communautés.

REMERCIEMENTS

Le projet de recherche sur les données hygrométriques des bâtiments de conservation d'oignons au Burkina Faso, a été rendu possible grâce au temps et à l'expertise des membres suivants :

L'Université de Sherbrooke, en particulier la Faculté de génie.

Les partenaires du GCIUS, en particulier la compagnie DECAGON DEVICES.

Site internet: <http://www.decagon.com>



Les différents donateurs à l'édition du GCIUS 2013 (www.gcius.ca).

Bruno Jarno, de la société TONO CONSEILS et ancien collaborateur de l'Association de la voûte nubienne (<http://www.tonoconseils.com>).

Sommaire

R E M E R C I E M E N T S

1. INTRODUCTION	[1]
14	
2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE	
17	
2.1. DESCRIPTION D'UNE VOÛTE NUBIENNE	[1]
17	
2.2. L'INSTRUMENTATION	[2]
18	
2.3. INSTRUMENTATION COMPARATIVE	
24	
3. CRÉATION D'UNE BASE DE DONNÉES	
26	
3.1. LES DONNÉES	
26	
3.2. DÉFINITION D'UNE ZONE DE CONSERVATION DES OIGNONS AU BURKINA FASO (ZCO)	[3]
27	
3.3. DÉFINITION D'UNE ZONE DE CONFORT THERMIQUE AU BURKINA FASO (ZCT)	[4]
27	
3.4. DÉFINITION DES VARIABLES	
28	
4. ANALYSE ET MODÉLISATION DES DONNÉES	
29	
4.1. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE	
29	
4.2. PROCESSUS DE L'ANALYSE DES ÉCARTS DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES AVEC LES ZONES DE CONFORT THERMIQUE	
30	
4.3. OUTILS STATISTIQUES UTILISÉS	
30	
5. ÉTUDE DES MESURES HYGROMÉTRIQUES DES BÂTIMENTS EN	

C H A R G E

33

5.1. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES
34

5.2. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES VIS-À-VIS DE LA
ZONE DE CONSERVATION DES OIGNONS.
36

5.2.1. ÉTUDE QUALITATIVE

36

5.2.2. ÉTUDE QUANTITATIVE :

40

5.3. ANALYSE DE L'ÉTUDE STATISTIQUE DES MESURES DES BÂTIMENTS EN CHARGE POUR
LES OIGNONS
46

6. ÉTUDE DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE

47

6.1. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES
48

6.2. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES VIS-À-VIS DE LA
ZONE DE CONSERVATION DES OIGNONS.
49

6.2.1. ÉTUDE QUALITATIVE

49

6.2.2. ÉTUDE QUANTITATIVE :

52

6.3. ANALYSE DE LA PERFORMANCE DES BÂTIMENTS ET GROUPES DE BÂTIMENTS À VIDE
POUR LES OIGNONS VIS-À-VIS DE LA ZONE DE CONSERVATION DES OIGNONS.
67

6.4. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES VIS-À-VIS DE LA
ZONE DE CONFORT THERMIQUE POUR LES HUMAINS.
68

6.4.1. ÉTUDE QUALITATIVE

68

6.4.2. ÉTUDE QUANTITATIVE

71

6.5. ANALYSE DE LA PERFORMANCE DES BÂTIMENTS ET GROUPES DE BÂTIMENTS À VIDE
VIS-À-VIS DE LA ZONE DE CONFORT THERMIQUE POUR LES HUMAINS.
86

7. ÉVALUATION DE L'INFLUENCE DE LA VENTILATION PASSIVE ET

ACTIVE SUR LES CONDITIONS INTÉRIEURES.

86

- 7.1. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES
88
- 7.2. ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUES VIS-À-VIS DE LA
ZONE DE CONSERVATION DES OIGNONS.
89

8. COMPARAISON DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE ET EN CHARGE

94

9. CONSERVATION DES OIGNONS

96

- 9.1. ÉVALUATION DU TAUX DE PERTES D'OIGNONS
96
- 9.2. ÉVALUATION DU TAUX DE DÉSHYDRATATION DES OIGNONS
96

10. ANALYSE ÉCONOMIQUE PAR BÂTIMENT

97

- 10.1. CHIFFRAGE DES COÛTS DANS CHAQUE VOÛTE NUBIENNE
97
- 10.2. RÉPARTITION DES COÛTS DANS CHAQUE VOÛTE NUBIENNE
99
- 10.3. COMPARAISON DES COÛTS DANS CHAQUE BÂTIMENT DE CONSERVATION DE
L'OIGNON
99

11. QUESTIONS DE RECHERCHE ET SOMMAIRE DES RÉPONSES.....
101

12. LIMITATIONS DE L'ÉTUDE.....
103

13. RECOMMANDATIONS.....
105

14. CONCLUSION.....
105

15. BIBLIOGRAPHIE.....
106

ANNEXE A : PLAN VOÛTE NUBIENNE 1.....
107

ANNEXE B : PLAN VOÛTE NUBIENNE 2.....
108

ANNEXE C : PLAN VOÛTE NUBIENNE 3.....
109

**ANNEXE D : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES
BÂTIMENTS EN CHARGE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONSERVATION
HYGROMÉTRIQUE POUR LES OIGNONS**
110

**ANNEXE E : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES
BÂTIMENTS À VIDE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONSERVATION
HYGROMÉTRIQUE POUR LES OIGNONS**
114

**ANNEXE F : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES
BÂTIMENTS À VIDE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONFORT
THERMIQUE POUR LES HUMAINS**
118

Liste des figures

FIGURE 1 : SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU VILLAGE DE YAKO
10

FIGURE 2 : SCHÉMA D'UNE VOÛTE NUBIENNE
12

FIGURE 3 : BÂTIMENT TRADITIONNEL
13

FIGURE 4 : BÂTIMENT MODERNE
13

FIGURE 5 : BÂTIMENT DE CONSERVATION EN VOÛTES NUBIENNES – MODÈLE #1
14

FIGURE 6 : BÂTIMENT DE CONSERVATION EN VOÛTES NUBIENNES – MODÈLE #2
14

FIGURE 7 : BÂTIMENT DE CONSERVATION EN VOÛTES NUBIENNES – MODÈLE #3
14

FIGURE 8 : ACQUISITEUR DE DONNÉES ET SONDE THERMIQUE EXTÉRIEURE DE DECAGON DEVICES

16

FIGURE 9 : TRAITEMENT DES DONNÉES HYGROMÉTRIQUE PAR LE LOGICIEL ECH2O UTILITY

16

FIGURE 10 : PLAN D'INSTRUMENTATION À VIDE PENDANT LES SAISONS FROIDE ET CHAUDE

17

FIGURE 11

24

FIGURE 12

24

FIGURE 13

25

FIGURE 14 : PORTRAIT DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) PAR RAPPORT À LA ZONE DE CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DU MOIS DE MAI (CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE)

28

FIGURE 15 : PORTRAIT DE L'ÉCART DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) AVEC LA ZONE DE CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DU MOIS DE MAI (CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE)

29

FIGURE 16 : BOX PLOT TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE

33

FIGURE 17 : BOX PLOT HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE

33

FIGURE 18 : HISTOGRAMME TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE

33

FIGURE 19 : HISTOGRAMME POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA PREMIÈRE SEMAINE DU MOIS DE MAI

33

FIGURE 20 : TEST KRUSKAL-WALLIS TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE

34

FIGURE 21 : TEST KRUSKAL-WALLIS HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE

34

FIGURE 22 : TEST ANOVA TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE

34

FIGURE 23 : TEST ANOVA HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE

34	FIGURE 24: PORTRAIT DU CYCLE T-RH PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24H CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE
38	FIGURE 25 : TEST ANOVA TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE C H A U D
38	FIGURE 26 : TEST ANOVA HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE
38	FIGURE 27 : PORTRAIT DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) PAR RAPPORT À LA ZONE DE CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1
41	FIGURE 28 : PORTRAIT DE L'ÉCART DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) AVEC LA ZONE DE CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1
42	FIGURE 29 : BOX PLOT POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1
46	FIGURE 30 : BOX PLOT POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1
46	FIGURE 31 : HISTOGRAMME POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1
46	FIGURE 32 : HISTOGRAMME POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1
46	FIGURE 33 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1
47	FIGURE 34 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1
47	FIGURE 35 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1
47	FIGURE 36 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1
47	FIGURE 37 : BOX PLOT POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE
50	FIGURE 38 : BOX PLOT POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE
50	FIGURE 39 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE
50	

FIGURE 40 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

50

FIGURE 41 : TEST KRUSTAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE

51

FIGURE 42: TEST KRUSTAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURE DE LA SEMAINE C2S1 SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE

51

FIGURE 43 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE

51

FIGURE 44 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

51

FIGURE 45: PORTRAIT DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) PAR RAPPORT À LA ZONE DE
CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1

57

FIGURE 46 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURES

57

FIGURE 47 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

57

FIGURE 48: PORTRAIT DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) PAR RAPPORT À LA ZONE DE
CONFORT THERMIQUE PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1

58

FIGURE 49 : PORTRAIT DE L'ÉCART DU CYCLE (TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE) AVEC LA ZONE DE
CONFORT THERMIQUE PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1

59

FIGURE 50 : BOX PLOT POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1

63

FIGURE 51 : BOX PLOT POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1

63

FIGURE 52 : HISTOGRAMME POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1

63

FIGURE 53 : HISTOGRAMME POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1

63

FIGURE 54: TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1

64

[FIGURE 55 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1](#)

64

[FIGURE 56 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1](#)

64

[FIGURE 57 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1](#)

64

[FIGURE 58: BOX PLOT POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE](#)

67

[FIGURE 59 : BOX PLOT POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

67

[FIGURE 60 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE](#)

67

[FIGURE 61 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

67

[FIGURE 62 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE](#)

68

[FIGURE 63 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

68

[FIGURE 64 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE](#)

68

[FIGURE 65 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

68

[FIGURE 66 : PORTRAIT DU CYCLE \(TEMPÉRATURE/HUMIDITÉ RELATIVE\) PAR RAPPORT À LA ZONE DE CONFORT DES OIGNONS PENDANT UNE JOURNÉE TYPIQUE DE 24 HEURES DE LA SEMAINE C2S1](#)

73

[FIGURE 67 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DE TEMPÉRATURES DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURES](#)

73

[FIGURE 68 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉ RELATIVE DE LA SEMAINE C2S1 SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

73

[FIGURE 69 : TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS DES TEMPÉRATURES DE LA VOÛTE NUBIENNE TRIPLE ÉPAISSE \(CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE\)](#)

76

FIGURE 70 : TEST KRUSTAL-WALLIS POUR LES VALEURS DES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES
(CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

76

FIGURE 71 : TEST KRUSTAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉS RELATIVES DE LA VOÛTE
NUBIENNE TRIPLE ÉPAISSE (CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

76

FIGURE 72 : TEST KRUSTAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉS RELATIVES EXTÉRIEURES
(CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

76

FIGURE 73 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DES TEMPÉRATURES DE LA VOÛTE NUBIENNE TRIPLE
ÉPAISSE (CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

78

FIGURE 74 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES (CAMPAGNE À VIDE,
SAISON SÈCHE CHAUDE)

78

FIGURE 75 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉS RELATIVES DE LA VOÛTE NUBIENNE
TRIPLE ÉPAISSE (CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

78

FIGURE 76 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS D'HUMIDITÉS RELATIVES EXTÉRIEURES (CAMPAGNE À
VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

78

FIGURE 77 : TEST ANOVA POUR LES VALEURS DES TEMPÉRATURES DE LA VOÛTE NUBIENNE TRIPLE
ÉPAISSE (CAMPAGNE À VIDE, SAISON SÈCHE CHAUDE)

80

FIGURE 78 : NOMBRE D'OIGNON POURRI DANS UN FILET DE 8 OIGNONS APRÈS UNE CONSERVATION DE 3
MOIS DANS LES DIFFÉRENTS BÂTIMENTS INSTRUMENTÉS

82

FIGURE 79 : TAUX DE PERTE DE POIDS DES OIGNONS DANS UN FILET DE 8 OIGNONS APRÈS UNE
CONSERVATION DE 3 MOIS DANS LES DIFFÉRENTS BÂTIMENTS INSTRUMENTÉS

82

FIGURE 80 : RÉPARTITION DES COÛTS POUR LA VN DOUBLE

84

FIGURE 81 : RÉPARTITION DES COÛTS POUR LA VN TRIPLE

84

FIGURE 82 : RÉPARTITION DES COÛTS POUR LA VN TRIPLE ÉPAISSE

84

FIGURE 83 : COMPARAISON DES COÛTS DANS CHAQUE BÂTIMENT DE CONSERVATION DE L'OIGNON

85

FIGURE 2 TEST ANOVA SUR LES ÉCARTS DE TEMPÉRATURE ET D'HUMIDITÉ ENTRE LES VALEURS
OBTENUES À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS ET LES CELLES QUI DÉFINISSENT LES ZONES DE
CONFORT THERMIQUE POUR LA CONSERVATION DES OIGNONS – CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON
HUMIDE CHAUDE

87

Liste des tableaux

[TABLEAU 1 : EMBLACEMENT DES MESURES NÉCESSAIRES DANS LES BÂTIMENTS TRADITIONNELS](#)

14

[TABLEAU 2 : EMBLACEMENT DES MESURES NÉCESSAIRES DANS LES BÂTIMENTS EN VOÛTES NUBIENNES](#)

15

[TABLEAU 3 : BÂTIMENTS INSTRUMENTÉS](#)

19

[TABLEAU 4 : DÉFINITION DES VARIABLES](#)

21

[TABLEAU 5 : SCÉNARIOS DE MESURES POUR LES BÂTIMENTS EN CHARGES](#)

26

[TABLEAU 6: TABLEAU RÉCAPITULATIF DES MESURES DU MOIS DE MAI - CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE](#)

30

[TABLEAU 7 : PVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE](#)

35

[TABLEAU 8 : PVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE](#)

35

[TABLEAU 9 : PVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST TEMPÉRATURES – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE](#)

35

[TABLEAU 10 : PVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST HUMIDITÉ RELATIVE – 1ÈRE SEMAINE CAMPAGNE EN CHARGE, SAISON HUMIDE CHAUDE](#)

36

[TABLEAU 11 : SCÉNARIOS DE MESURES POUR LES BÂTIMENTS VIDES](#)

39

[TABLEAU 12: TABLEAU RÉCAPITULATIF DES MESURES DE C2S1 POUR ZCO](#)

43

[TABLEAU 13 : PVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES](#)

48

[TABLEAU 14 : PVALUE AVEC WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE](#)

48

[TABLEAU 15 : PVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES](#)

48

TABLEAU 16 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE

48

TABLEAU 17 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURE
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURES

52

TABLEAU 18 : pVALUE AVEC WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

52

TABLEAU 19 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURE SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURES

52

TABLEAU 20: pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

52

TABLEAU 21: TABLEAU RÉCAPITULATIF DES MESURES DE C2S1 POUR ZCT

60

TABLEAU 22 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES

65

TABLEAU 23 : pVALUE AVEC WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE

65

TABLEAU 24 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES

65

TABLEAU 25 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE

65

TABLEAU 26 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE

69

TABLEAU 27 : pVALUE AVEC WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE
SANS PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

69

TABLEAU 28 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT DE TEMPÉRATURE

69

TABLEAU 29 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉ RELATIVE SANS
PRENDRE EN COMPTE LES VALEURS DANS LA PLAGE DE CONFORT D'HUMIDITÉ RELATIVE

69

TABLEAU 30 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES

77

TABLEAU 31 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES

77

TABLEAU 32 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉS
RELATIVES

77	TABLEAU 33 : pVALUE AVEC LE WILCOXON RANK SUM TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉS
	R E L A T I V E S
77	TABLEAU 34 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES
79	TABLEAU 35 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES DE TEMPÉRATURES
79	TABLEAU 36 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉS RELATIVES
79	TABLEAU 37 : pVALUE AVEC TWO SAMPLE T-TEST AVEC LES DONNÉES D'HUMIDITÉS RELATIVES
79	TABLEAU 38: CHIFFRAGE APPROXIMATIF POUR LA CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS EN VOÛTES
	NUBIENNES (FRANCS CFA)
83	TABLEAU 39 : CHIFFRAGE APPROXIMATIF POUR LA CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS EN VOÛTES
	NUBIENNES (CAD)
83	

1. INTRODUCTION [1]

Dans les pays d'Afrique de l'Ouest, le secteur des fruits et légumes est une source de revenus important, donc de réduction de la pauvreté. L'oignon représente une part allant jusqu'à 25 % de la consommation de légumes dans cette région. Le Burkina Faso se situe au 4e rang des pays producteurs d'oignon en Afrique de l'Ouest.

Au moment des récoltes en avril, le prix des oignons est au plus bas (10 à 20 €/sac de 120 kg). À cette période, le Burkina Faso est exportateur d'oignon. Une petite partie seulement des récoltes est stockée pour être revendue plus tard. À partir de juillet-août, les oignons burkinabés sont peu ou ne sont plus disponibles sur le marché et les oignons importés du Niger, des Pays-Bas ou de la France les remplacent sur les étals. Le prix du sac d'oignons est alors au plus haut (60 à 90 €/sac de 120 kg). Ainsi 4 à 6 mois après la récolte le prix moyen de vente devient 3 à 6 fois plus élevé.

Ce constat peut probablement être partagé pour tous les pays producteurs d'oignons de la sous-région. Le problème de stockage/conservation de l'oignon est aujourd'hui au cœur des préoccupations des agriculteurs, étant donné son impact important sur l'augmentation des revenus des producteurs d'oignon. Pourtant, le stockage d'oignon (de la majorité des aliments, à bien dire) se heurte à plusieurs problématiques auxquelles il faut pouvoir répondre, notamment :

- Des techniques de construction des silos de conservation adaptées peuvent-elles être implantées pour procurer un environnement plus propice à la conservation des bulbes sur de longues périodes ?
- A-t-on proposé aux producteurs d'oignons des bons « itinéraires » de production, de récolte et surtout de stockage ?
- L'organisation des producteurs autour d'actions collectives de stockage est-elle optimale ?

En Afrique de l'Ouest, des millions de familles n'ont plus accès à un habitat décent à cause de la disparition (déforestation/désertification) des ressources ligneuses naturelles utilisées dans les architectures traditionnelles, des réalités démographiques et économiques, et de la croissance de l'urbanisation. Malgré l'attrait culturel qu'elles peuvent présenter, les alternatives techniques « modernes » n'ont pas permis de proposer, au plus grand nombre, un habitat approprié et durable. Les techniques modernes nécessitent des matériaux tels que le ciment, l'acier, les tôles, les chevrons de bois, etc. Ce sont des ressources peu accessibles à la majorité, puisque très chers. De plus, ils ne s'inscrivent pas dans une optique de développement durable.

La technique des voûtes nubienues est un procédé architectural antique, venu du Haut Nil, et assez peu connu dans les autres régions africaines. Cette technique permet de

bâtir des bâtiments aux toitures voûtées, solides, confortables et modulables. La construction peut se faire avec un outillage de base, des matériaux locaux et requiert des compétences de base. Ses spécificités consistent en l'utilisation de terre crue - matière première abondante, malaxée sous forme de mortier - et de briques séchées au soleil. On n'a pas besoin de coffrage pour le bâti de la partie voûtée, ce qui procure des économies importantes de construction.

C'est dans ce contexte que l'Association la Voûte Nubienne (<http://www.lavoutenubienne.org/>) a développé un marché de construction durable basé sur cette technique. Pourtant, la construction en voûte nubienne se heurte actuellement à plusieurs problématiques auxquelles il faut faire face, notamment :

- La technique est méconnue ; elle doit faire ses preuves vis-à-vis des producteurs.
- Il n'y a pas - ou peu - d'études prouvant ses avantages (confort, coûts, etc.) par rapport aux bâtiments actuellement utilisés pour le stockage d'oignons.

Vis-à-vis de ce constat, en 2013 le GCIUS a construit pour la coopérative maraîchère d'Ouonon trois différents silos de conservation d'oignons près de la ville de Yako, situé dans la commune de Gomponsom au Burkina Faso.



La technique de la voûte nubienne (décrite par la suite) a été choisie pour la construction des silos. Afin de tester leur performance, des capteurs de données hygrométriques (humidité relative et température) ont été installés dans les différentes voûtes nubiennes ainsi que dans trois autres installations de stockage d'oignons de la région. Depuis la fin des travaux effectués, trois campagnes de mesures ont été réalisées, soit entre février

2014 et juillet 2014. Ces campagnes ont permis d'obtenir ce qui constitue probablement la plus importante base de données hygrométriques dans des bâtiments, en Afrique de l'ouest.

L'étude des données obtenues apporte la première comparaison de trois différentes voûtes nubiennes par rapport à deux constructions traditionnelles et une moderne (voir Tableau 1). Il est important de noter que les bâtiments traditionnels étudiés ne sont pas des bâtiments rudimentaires, comme les BANCO et RUDO.

Cette étude complétée par une évaluation du confort thermique pour les humains et une courte étude économique, a pour but spécifique de comparer des bâtiments de stockage d'oignon au Burkina Faso, en répondant aux questions suivantes :

- **Est-ce que les voûtes nubiennes permettent une meilleure conservation des oignons qu'une construction conventionnelle?**
- **Est-ce qu'il y a des différences importantes entre les divers types de voûtes nubiennes?**
- **Est-ce que l'utilisation des voûtes nubiennes serait économiquement rentable?**
- **Est-ce que les oignons qui sont conservés dans une construction en voûte nubienne sont de meilleure qualité que ceux conservés dans une construction conventionnelle?**
- **La Voûte nubienne présente-t-elle un meilleur confort thermique qu'une construction conventionnelle traditionnelle, en ce qui concerne l'habitat pour les humains ?**

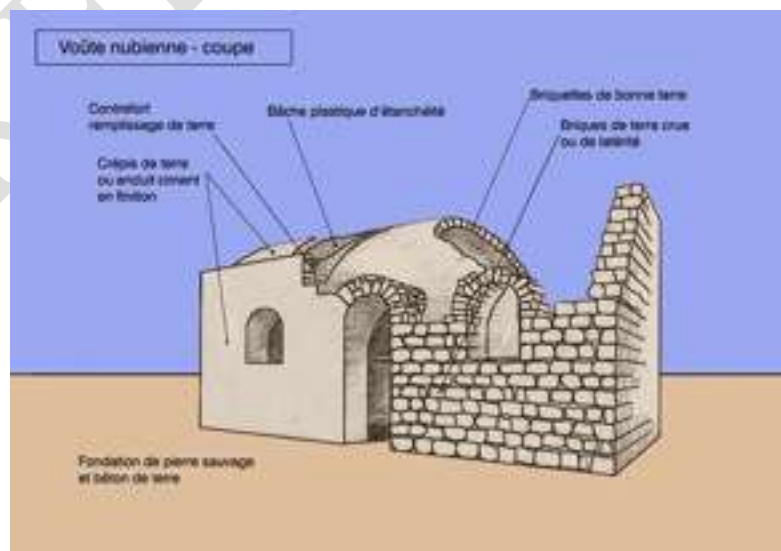
Pour répondre à ces questions, il a fallu dans un premier temps prendre en main la base de données d'instrumentation : définir une Zone de confort des Oignons, définir une Zone de confort thermique (Humain), créer une base de données EXCEL, traiter les données EXCEL.

Puis dans un second temps faire une étude statistique de la base de données d'instrumentation avec MATLAB.

2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

2.1. Description d'une voûte nubienne [1]

- Le bâti est presque exclusivement constitué de terre crue, matière première abondante mouillée et malaxée, puis moulée sous forme de briques qui sècheront au soleil (adobes) ou utilisées directement sous forme de mortier. Seules les fondations font appel à la pierre,
- Les toitures créées sont exclusivement voûtées (pas de dôme) et permettent/favorisent l'usage du toit-terrasse par leur mise en charge,
- La construction des voûtes ne nécessite pas de coffrage ni aucune autre sorte de support,
- Les voûtes ont une portée (largeur) maximum de 3m30 et sont construites à partir de briques de dimension standard pour les murs et de briquettes pour la toiture et les voûtains,
- Un « câble-compas » est utilisé pour définir la courbe de la voûte et guider le maçon dans son travail,
- Les murs, suivant leurs différents usages, sont d'épaisseurs standardisées ainsi que les ouvertures des portes, fenêtres, et autres rangements maçonnés
- Une bâche plastique est incorporée aux mortiers de terre en finition de toiture afin d'apporter une garantie supplémentaire d'étanchéité,
- Dans le concept VN, le travail représente la quasi-totalité du coût de la construction. Ainsi, ces coûts de main-d'œuvre peuvent participer d'une économie non monétisée (auto construction, entraide, échanges) et quand il y a échange de numéraire, celui-ci est réintroduit dans les économies locales.



2.2. L'instrumentation [2]

Principe de l'instrumentation hygrométrique

Trois campagnes de mesures ont été réalisées entre février 2014 et juillet 2014 :

- Campagne 1 : mesure à vide sur les silos de conservation de l'oignon – saison sèche froide
- Campagne 2 : mesure à vide sur les silos de conservation de l'oignon – saison sèche chaude
- Campagne 3 : mesures en charge sur les silos de conservation de l'oignon – saison humide chaude

Deux Mesures ont été réalisées pendant les trois campagnes :

- Mesure 1 : mesure de la Température (en °C) à une fréquence de 15 minutes
- Mesure 2 : mesure de l'humidité relative (en indice) à une fréquence de 15 minutes

Bâtiments de conservation traditionnels

La figure 3 représente l'un des silos de conservation traditionnelle instrumentés. Il est situé dans le village de Yako au Burkina Faso, à environ 1 kilomètre du site d'implantation des silos de conservation en voûtes nubiennes. La figure 4 illustre quant à elle un bâtiment de conservation moderne, qui emploie une technologie plus développée, habituellement employée par des associations ou des coopératives maraîchères. L'un de ces silos est situé à Gomponsom, à 6 kilomètres du site d'implantation des silos en voûtes nubiennes.



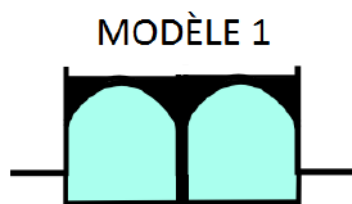
Les mesures réalisées correspondent à ceux dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Emplacement des mesures nécessaires dans les bâtiments traditionnels

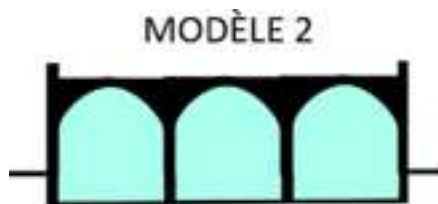
Modèles	Mesures	Fréquence	Emplacement
1	Température et humidité	15 minutes	À l'intérieur, au centre bâtiment, à la mi-hauteur
			À l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée
2	Température et humidité	15 minutes	À l'intérieur, au centre bâtiment, à la mi-hauteur
			À l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée

Bâtiments de conservation en Voûtes nubiennes

Les modèles de voûtes nubiennes présentées ci-dessous sont ceux qui ont été implantés et instrumentés à Yako au Burkina Faso.



*Figure 5 : Bâtiment de conservation en voûtes
nubiennes – Modèle #1*



*Figure 6 : Bâtiment de conservation en voûtes
nubiennes – Modèle #2*

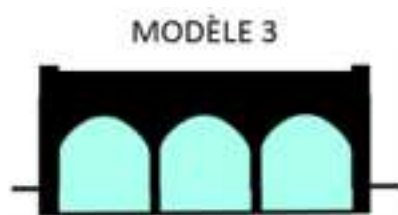


Figure 7 : Bâtiment de conservation en voûtes nubiennes – Modèle #3

Les mesures réalisées pour les voûtes nubiennes correspondent à ceux du Tableau 2 :

Tableau 2 : Emplacement des mesures nécessaires dans les bâtiments en voûtes nubiennes

Modèles	Mesures	Fréquence	Emplacement
1	Température et humidité	15 minutes	À l'intérieur, au centre de la voûte de droite, à la mi-hauteur
			À l'intérieur, au centre de la voûte de gauche, à la mi-hauteur
			À l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée
2	Température et humidité	15 minutes	À l'intérieur, au centre de la voûte de droite, à la mi-hauteur
			À l'intérieur, au centre de la voûte du milieu, à la mi-hauteur
			À l'intérieur, au centre de la voûte de gauche, à la mi-hauteur
3	Température et humidité	15 minutes	À l'intérieur, au centre de la voûte de droite, à la mi-hauteur
			À l'intérieur, au centre de la voûte du milieu, à la mi-hauteur
			À l'intérieur, au centre de la voûte de gauche, à la mi-hauteur

Annexe A : PLAN voûte nubienne 1

Annexe B : PLAN voûte nubienne 2

Annexe C : PLAN voûte nubienne 3

PRELIMINAIRE

Matériel utilisé

Le matériel utilisé est de type DECAGON ou équivalent. Pour chaque bâtiment dont on souhaite mesurer le comportement hygrométrique, il est composé :

- D'un ou plusieurs acquisseurs de donnée
- d'une sonde de température et d'humidité relative disposé à l'extérieur du bâtiment et destiné à mesurer les conditions extérieures.
- D'une sonde de température et d'humidité relative disposée dans l'enceinte du bâtiment et destinée à mesurer les conditions intérieures.



Figure 8 : Acquisiteur de données et sonde thermique extérieure de DECAGON DEVICES

Les sondes relèvent les valeurs des températures et d'humidité à l'endroit où est située la sonde, à intervalle régulier paramétrable, et transmettent les valeurs à l'acquisiteur de données (data logger) dont la fonction est d'archiver les données. Régulièrement, les données stockées dans l'acquisiteur de données doivent être téléchargées sur le disque dur d'un ordinateur via un logiciel spécifique conçu par le fabricant du matériel d'instrumentation. La fréquence à laquelle les données doivent être téléchargées est fonction de la fréquence d'acquisition des mesures. Plus la fréquence est grande (par exemple toutes les 15 secondes), plus les données devront être téléchargées et mémorisées souvent dans un ordinateur externe.

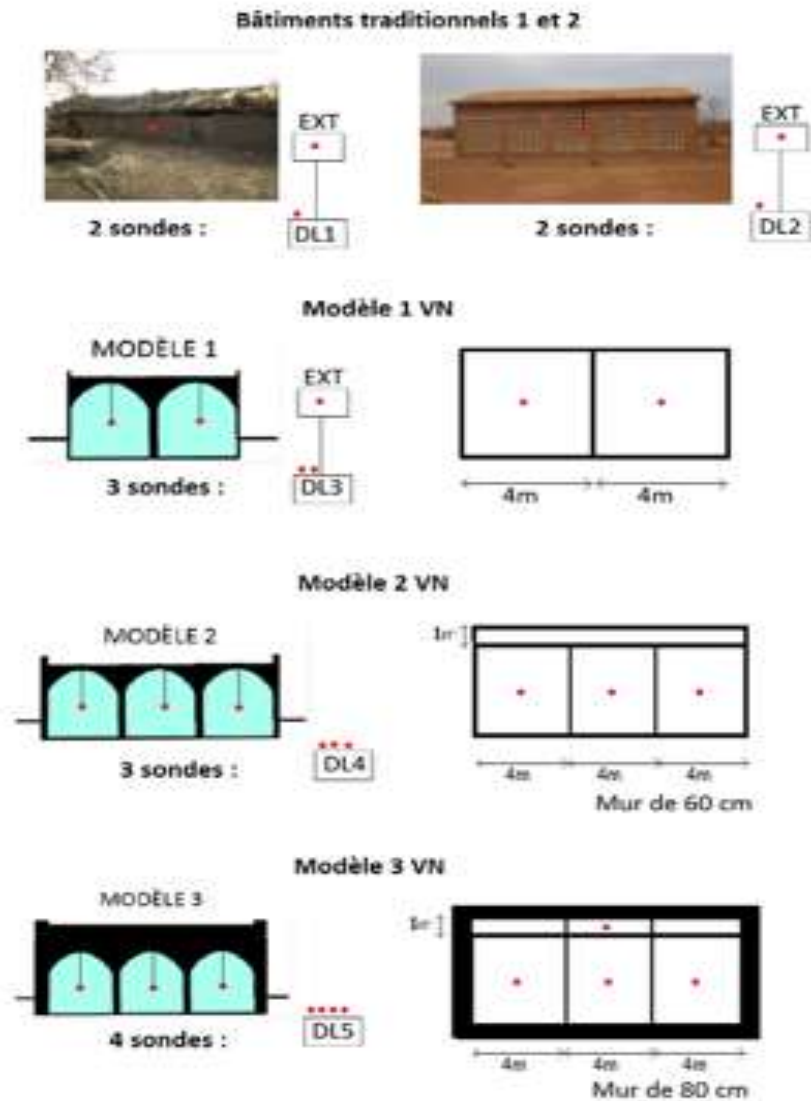


Figure 9 : Traitement des données hygrométrique par le logiciel ECH2O Utility

Plan d'instrumentation

La Figure 10 représente le plan d'instrumentation. On y retrouve l'emplacement des sondes, ainsi que le nombre nécessaire d'instruments de mesure.

Figure 10 : Plan d'instrumentation à vide pendant les saisons froide et chaude



Total : 5 DL et 14 sondes (dont 3 externes)

2.3. Instrumentation comparative

Deux instrumentations thermiques comparatives de bâtiments Voûte Nubiennes ont été réalisées par le passé :

- « Indicateurs de confort dans la technique de la Voûte nubienne » (Urs WYSS, 2007)

Réalisée à Boromo au Burkina Faso;

Ce projet, prévu sur une année entière, est interrompu en septembre 2006 à cause d'une défaillance matérielle. Les mesures n'ont donc pas pu être réalisées sur les mois critiques de l'année, à savoir la période de fraîcheur en décembre et janvier et la saison chaude de mars à juin.

• « *Étude portant sur la technologie Voûte nubienne comme modèle de construction* » (Bruno JARNO, 2015)

Réalisée au Sénégal;

Dans cette étude il n'a pas été tenu compte ici de l'influence des paramètres « humidité relative de l'air » et « vitesse du vent. »

Ainsi notre étude apporte une comparaison de trois différentes voûtes nubienne par rapport à deux constructions traditionnelles et une moderne. Cette étude est réalisée sur une période de 152 jours de la **saison sèche froide** à la **saison humide chaude** et prend en compte les paramètres de **température** et **d'humidité relative de l'air**.

Cette étude a pour spécificité de comparer des **bâtiments de stockage de l'oignon** au Burkina Faso.

3. CRÉATION D'UNE BASE DE DONNÉES

3.1. Les données

Les bâtiments testés incluaient toutes les voûtes prévues dans le cadre du projet du GCIUS, des bâtiments traditionnels et un bâtiment moderne. L'ensemble des bâtiments testés est présenté au tableau 3.

Tableau 3 : Bâtiments instrumentés

northNV ₁	Voûtes Nubiennes doubles
	Pour Producteur indépendant (2 VN x 4 m)
	Mesure prise au centre de la voûte côté nord, à la mi-hauteur
southNV ₁	Voûtes Nubiennes doubles
	Pour Producteur indépendant (2 VN x 4 m)
	Mesure prise au centre de la voûte côté sud, à la mi-hauteur
NV ₁	Voûtes Nubiennes triples
	Pour Coopérative de production (3 VN x 12 m + 1 zone tampon ventilée et protégée du soleil)
	Mesure prise au centre de la voûte du milieu, à la mi-hauteur
northNV ₂	Voûtes Nubiennes triples épaisses
	Pour Coopérative de production (3 VN x 12 m + 1 zone tampon ventilée et protégée du soleil+ murs extérieurs plus épais)
	Mesure prise au centre de la voûte côté nord, à la mi-hauteur
centerNV ₁	Voûtes Nubiennes triples épaisses
	Pour Coopérative de production (3 VN x 12 m + 1 zone tampon ventilée et protégée du soleil+ murs extérieurs plus épais)
	Mesure prise au centre de la voûte du milieu, à la mi-hauteur
southNV ₂	Voûtes Nubiennes triples épaisses
	Pour Coopérative de production (3 VN x 12 m + 1 zone tampon ventilée et protégée du soleil+ murs extérieurs plus épais)
	Mesure prise au centre de la voûte côté sud, à la mi-hauteur
NV _{out}	Voûte Nubienne À l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée
TD	Bâtiment traditionnel
	Pour Coopérative de production (Murs en pierre de latérites, toiture en paille, claustras sur les façades longues pour l'aération)
	Mesure prise au centre bâtiment, à la mi-hauteur
TH ₂	Bâtiment traditionnel B
	Pour Coopérative de production (Murs en pierre de latérites, toiture en paille, claustras sur les façades longues pour l'aération)
	Mesure prise au centre bâtiment, à la mi-hauteur
TH _{out}	Bâtiment traditionnel à l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée
MH	Bâtiment moderne
	Pour Coopérative de production (Murs en parpaing ou pierre de latérites, toiture en tôle, fenêtres d'aération, stockage souterrain)
	Mesure prise au centre bâtiment, à la mi-hauteur
MH _{out}	Bâtiment moderne à l'extérieur, à 10 mètres du bâtiment dans une zone dégagée et bien aérée

3.2. Définition d'une zone de conservation des oignons au Burkina Faso (ZCO) [3]



Les bulbes d'oignons se détériorent rapidement à des températures qui éliminent leur dormance (5-15 °C). On peut les conserver plus longtemps à des températures proches de 0 °C, ou des 20-30 °C, mais ils doivent être convenablement séchés, à une humidité

relative optimale de 65-80 %. Les entrepôts ne nécessitent qu'une ventilation libre si les bulbes sont suspendus en bottes ou en tresses, dans des silos de conservation superposée.

ZCO	
°C Temp	RH
20	0,65
20	0,8
30	0,8
30	0,65
20	0,65

On définit une zone de conservation des oignons au Burkina Faso (ZCO).

$$20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{si } 65\% \leq \text{RH} \leq 80\%$$

T = Température

RH = Humidité relative

3.3. Définition d'une zone de confort thermique au Burkina Faso (ZCT) [4]

L'habitat en VN, ouvrages destinés aux populations sahéliennes, sert avant tout pendant la nuit. Généralement, la population sahélienne ne dispose que de draps légers pour se couvrir pendant la nuit, d'où la nécessité de fixer un seuil minimal plus élevé que celui généralement retenu.

Pendant la journée les activités dans ce genre de bâtiment sont essentiellement le repos et les activités sédentaires. Les tenues sont légères. Il n'y a à priori pas de ventilation installée, on peut donc négliger les extensions de la ZCT dues à la ventilation.

ZCT	
°C Temp	RH
25	0,2
30	0,2
28	0,8
25	0,8
25	0,2

On définit une zone de confort thermique au Burkina Faso (ZCT).

$$25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{si } 20\% \leq \text{HR} \leq 80\%$$

T = Température

RH = Humidité relative

3.4. Définition des variables

Pour simplifier l'analyse :

- on admet que les cycles extérieurs sont similaires sur les trois sites
-» Moyenne des 3 pour un temps t
- on admet que les cycles Nord, Sud et Centre sont similaires dans chaque bâtiment
-» Moyenne des 3 pour un temps t.
- on admet que les cycles TB et TB_B sont similaires
-» Moyenne des 2 pour un temps t

Ainsi les données brutes ont été traitées pour obtenir dans **données moyennes** définies part :

Tableau 4 : Définition des variables

NV	Moyenne Voûte Nubienne doubles nord et sud
NV	Voûte nubienne triple
NV	Moyenne Voûte Nubienne triples épaisse nord, sud et centre
TB	Moyenne Bâtiment traditionnel + Bâtiment traditionnel b
MB	Bâtiment moderne
T out	Moyenne extérieure Bâtiment moderne + extérieur Voûte Nubienne + extérieure Bâtiment traditionnel

4.

4. ANALYSE ET MODÉLISATION DES DONNÉES

4.1. Méthodologie utilisée

Les bâtiments testés incluaient toutes les voûtes prévues dans le cadre du projet du GCIUS 2013, deux bâtiments traditionnels et un bâtiment moderne.

L'étude pour tester la performance des voûtes s'est orientée selon deux axes qui permettent d'évaluer la performance au niveau des conditions hygrométriques dans un bâtiment:

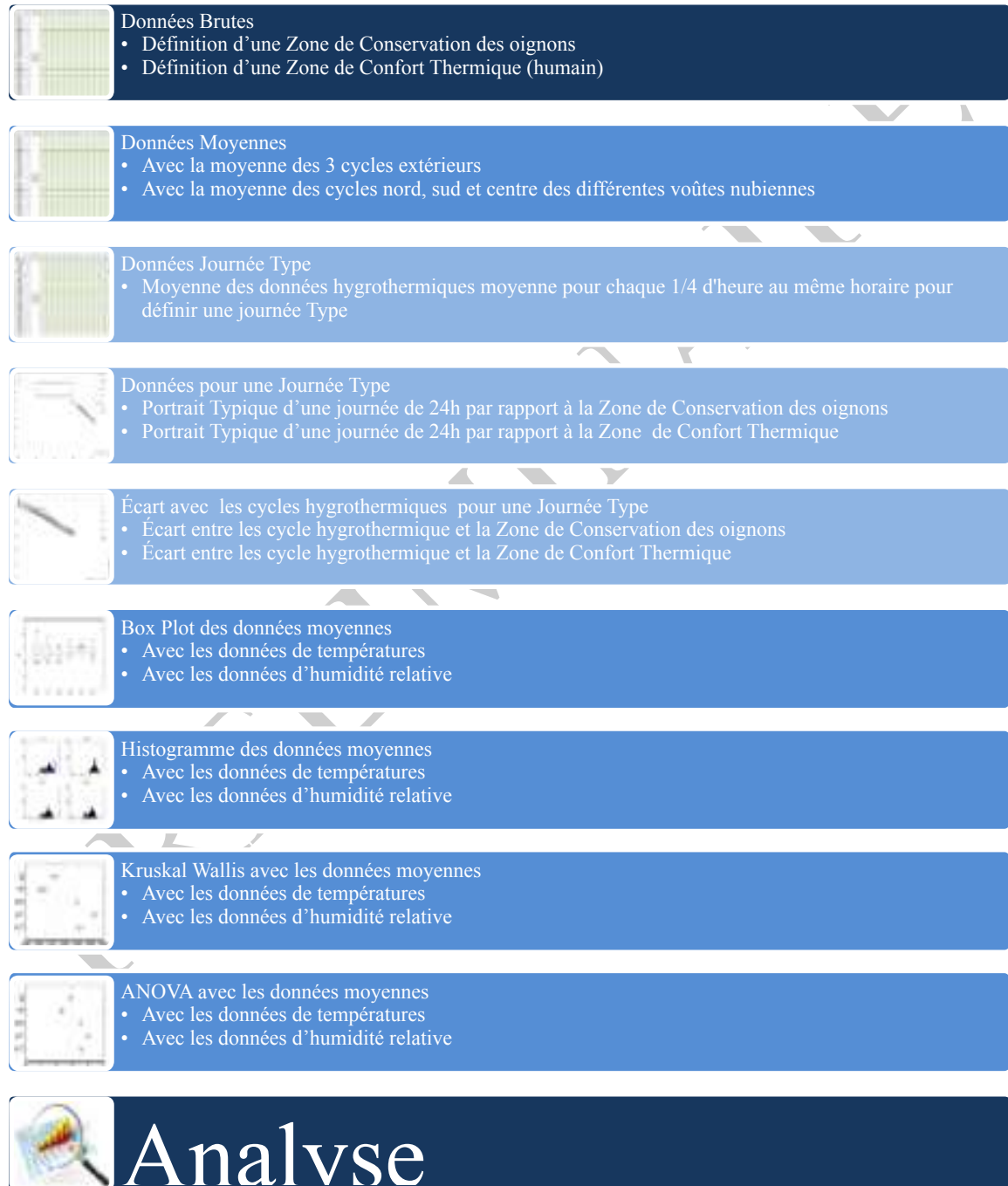
1. Vis-à-vis de la conservation des oignons. Cette partie se subdivise en trois analyses, à savoir :
 1. Confort thermique pour les oignons
 2. L'inertie thermique
 3. Conservation des oignons (étude de l'évolution d'échantillons d'oignons placés dans les différents bâtiments)
2. Vis-à-vis du confort thermique humain.

Les données obtenues suite à l'instrumentation des bâtiments ont permis d'analyser l'évolution dans le temps des données hygrométriques afin d'évaluer le comportement des bâtiments (1.1 ci-dessus). On a analysé le portrait du cycle d'une journée représentative de 24h des données hygrométriques à l'intérieur puis à l'extérieur de chaque bâtiment. On a analysé les écarts de température et d'humidité entre les valeurs obtenues à l'intérieur des bâtiments et les celles qui définissent les zones de confort thermique pour la conservation des oignons. Ces zones sont définies à partir de données obtenues dans la littérature technique et des rapports de la *Food and Agriculture Organization* (FAO; organisme des Nations Unies). Surtout, on a vérifié, au moyen d'une étude statistique, s'il y avait des écarts significatifs entre les comportements des différents bâtiments. L'étude du confort thermique pour les oignons incluait une analyse préliminaire de l'apport de la ventilation (volets ouverts ou fermés, la journée et/ou la nuit ; et ventilation forcée).

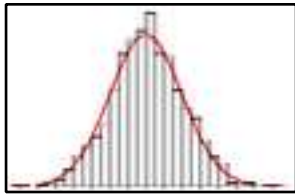
L'inertie thermique du bâtiment est reconnue comme un facteur pouvant améliorer le confort thermique pour les humains. L'inertie thermique d'un bâtiment peut simplement être définie comme sa capacité à stocker de la chaleur et à la restituer petit à petit. Cette capacité permet de limiter les effets d'une variation "rapide" de la température extérieure sur celle à l'intérieur. Plus l'inertie est grande, moins il y a des variations de température et plus grand est le confort thermique pour les humains. Il est plausible de croire que l'inertie thermique pourrait améliorer aussi la conservation des oignons. Cependant, ce projet n'a pas permis d'analyser cette hypothèse *in extenso*. Par contre, des conclusions partielles ont pu être tirées de l'étude de la conservation (et pertes) d'échantillons d'oignons placés dans les différents bâtiments analysés.

Nous avons complété l'étude par une succincte analyse économique des différentes options de stockage. Seuls les paramètres de construction des bâtiments ont été analysés.

4.2. Processus de l'analyse des écarts des données hygrométriques avec les zones de confort thermique



4.3. Outils statistiques utilisés



Avant tout pour utiliser un test statistique il est bon de savoir si la série de données (effectif > 30) est gaussienne ou non.

Lorsque la série de données donne une représentation graphique de la même forme que celle indiquée à la figure 10, les données recueillies sont qualifiées de **données gaussiennes**.

Si on calcule pour de telles données la **moyenne notée m** est l'**écart-type s** , on peut noter que environ 95 % des données se trouvent dans l'intervalle $[m - 2s ; m + 2s]$; (cf. : figure 11).

Cet intervalle est appelé **plage de normalité** (pour le **niveau de confiance 0,95**).

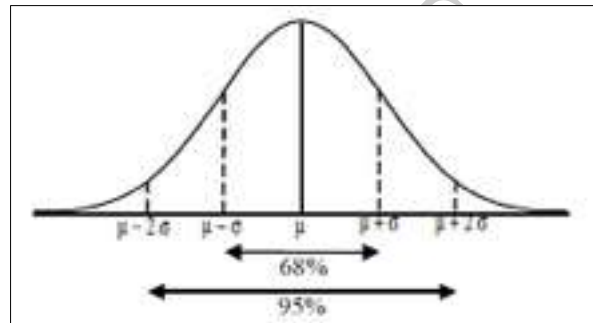


Figure 12

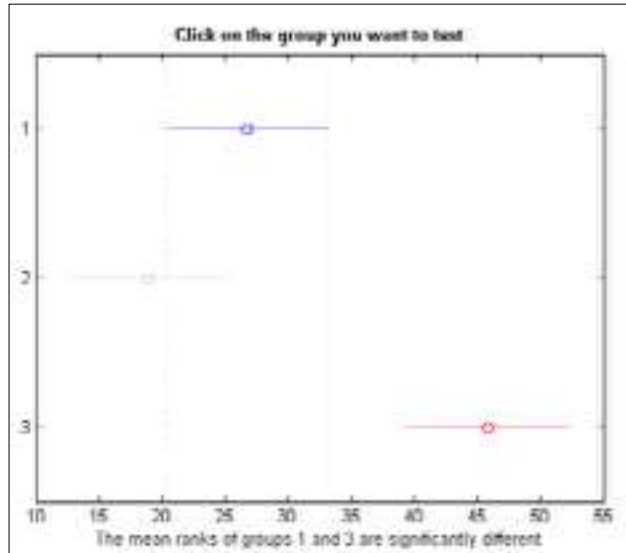
Toutes les données ne sont pas gaussiennes et ne respectent pas ces répartitions!

Lorsque l'on est en présence d'au moins trois échantillons gaussiens, on peut faire une **analyse de la variance** (en anglais **ANOVA : analysis of variance**). Il s'agit d'un test statistique permettant de déterminer si les échantillons proviennent d'une même population ayant des caractéristiques identiques ou si au moins un échantillon provient d'une population différente des autres. L'objectif d'une analyse de variance (ANOVA) est de tester la significativité des différences de moyennes en comparant les variances.

Lorsque la série de données n'est pas gaussienne, le test de **Kruskal-Wallis** est une alternative non paramétrique à l'ANOVA à utiliser lorsque l'on est en présence d'au moins trois échantillons non gaussiens. Le paramètre de position est conceptuellement proche de la médiane, mais le test de Kruskal-Wallis prend en compte plus d'informations que la position au seul sens de la médiane.

Dans le cadre de notre étude, nous effectuerons ces deux tests malgré le fait que nos données ne soient pas gaussiennes. Si les deux tests donnent des valeurs semblables, notre certitude par rapport aux résultats augmente.

Avec le logiciel Matlab, le Test **Kruskal-Wallis** donne un graphique du type (figure 12),



Les résultats indiquent sur la figure 12 qu'il existe une différence significative entre les groupes 1 et 3, donc le test rejette l'hypothèse que les données de ces deux groupes proviennent de la même distribution. Il est de même pour les groupes 2 et 3. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les groupes 1 et 2. Par conséquent, ces résultats suggèrent que les données dans le groupe 1 et 2 proviennent de la même répartition, et les données du groupe 3 proviennent d'une répartition différente.

Remarque : Écriture dans Matlab

Pour la fonction Kruskal-Wallis : $[p, \text{table}, \text{stats}] = \text{kruskalwallis}(\dots)$

$\text{tbl}, \text{stats}] = \text{kruskalwallis}(\dots)$

Pour la fonction ANOVA :

$[p, \text{table}, \text{stats}] = \text{anova1}(\dots)$

Le **test t** est la méthode utilisée lorsque l'on est en présence de données gaussiennes. Ce test reporte un niveau p (p Value) représentant la probabilité d'erreur associée à l'acceptation d'une hypothèse quant à l'existence d'une différence.

Le test de **Wilcoxon** est l'alternative au test t pour des données non gaussiennes.

Dans notre étude on définit qu'il y a, un écart significatif si $p\text{Value} > 0,05$

C'est-à-dire il y a un écart à 95 % (pour le niveau de confiance 0,95).

5. ÉTUDE DES MESURES HYGROMÉTRIQUES DES BÂTIMENTS EN CHARGE

Tableau 5 : Scénarios de mesures pour les bâtiments en charges

	Date	Code	Campagnes et scénarios	northNV ₀	southNV ₀	NV _r	northNV _{rr}	centerNV _r	southNV _{rr}	TB	TB _#	MB	TB out	MB out	NV out
Campagne 3	2014-05-01 AU 2014-05-07	C3S1	Mesures en charge sur les silos de conservation de l'oignon Saison humide chaude												
	2014-05-08 AU 2014-05-14	C3S2													
	2014-05-15 AU 2014-05-21	C3S3													
	2014-05-22 AU 2014-05-28	C3S4													
	2014-05-29 AU 2014-06-04	C3S5													
	2014-06-05 AU 2014-06-11	C3S6													
	2014-06-12 AU 2014-06-18	C3S7													
	2014-06-19 AU 2014-06-25	C3S8													
	2014-06-26 AU 2014-07-02	C3S9													
	2014-07-03 AU 2014-07-09	C3S10													
	2014-07-10 AU 2014-07-16	C3S11													

Les cases hachurées représentent les données que nous avons.

5.1. Évaluation du comportement des données hygrométriques

Ci-dessous sont représentées les températures et les humidités relatives minimales, moyennes et maximales ainsi que l'amplitude moyenne des températures et des humidités relatives sur la période d'instrumentation en charge.

		OU T	TB	MB	NVD	NVT	NVT T
Température sur la période	Maximale	43,6	40,1	37,3	40,0	39,2	39,4
	Minimale	19,8	22,3	25,0	22,7	25,4	21,8
	Moyenne	30,8	30,9	30,6	31,7	32,2	31,8
	amplitude maximale journalière (T max - T min)	19,7	14,7	8,7	13,9	10,8	12,4
	amplitude moyenne journalière (T max - T min)	11,4	8,1	4,5	6,5	5,3	5,4
Humidité relative sur la période	Maximale	0,99	0,90	0,80	0,81	0,78	0,84
	Minimale	0,15	0,18	0,28	0,23	0,20	0,19
	Moyenne	0,57	0,57	0,61	0,55	0,53	0,53
	amplitude maximale journalière (RH max - RH min)	0,63	0,50	0,31	0,43	0,37	0,43
	amplitude moyenne journalière (RH max - RH min)	0,37	0,29	0,17	0,21	0,21	0,21



Instrumentation	7829	mesures
	82	jours

Ces analyses permettent de situer l'inertie thermique des bâtiments en Voûte nubienne devant le bâtiment traditionnel et derrière le bâtiment moderne pour la période des

mesures en charge. **L'inertie thermique se caractérise par l'atténuation des variations de température à l'intérieur du bâtiment.**

PRELIMINAIRE

5.2. Évaluation du comportement des données hygrométriques vis-à-vis de la Zone de conservation des oignons.

5.2.1. Étude qualitative

Dans un premier temps les données brutes ont été traitées pour tirer le **portrait typique d'une journée de 24 heures** à l'intérieur de la campagne de mesures. Les observations porteront donc sur cette journée typique. (Moyenne de chaque ¼ d'heure à chaque même horaire t)

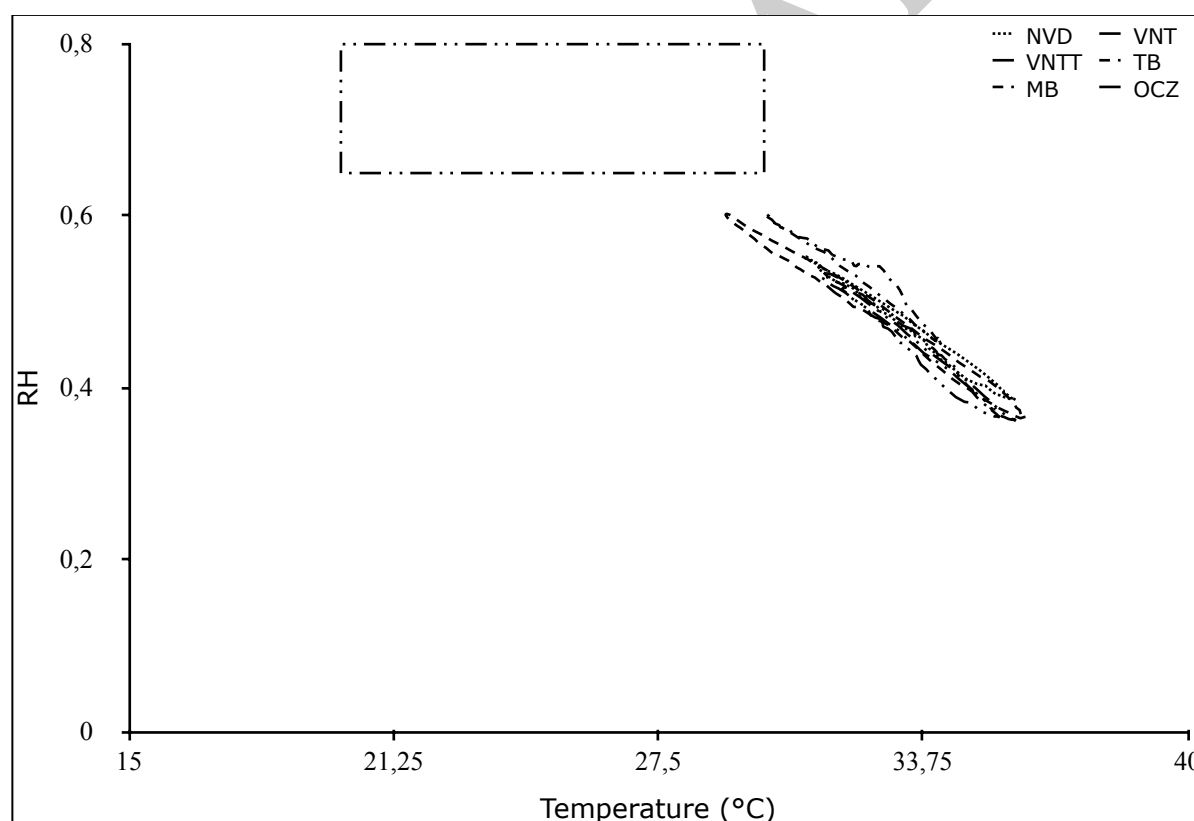


Figure 14 : Portrait du cycle (Température/Humidité relative) par rapport à la Zone de Confort des Oignons pendant une journée typique de 24 heures du mois de mai (Campagne en charge, saison humide chaude)

Quel que soit le bâtiment étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il n'atteint pas la Zone de conservation des oignons définie.
- Il est **fortement** influencé par le cycle (Température/Humidité relative) extérieur

Dans un second temps les données de la journée type ont été traitées pour tirer le portrait typique de l'ÉCART entre le Cycle (Température/Humidité relative) et la Zone de conservation des oignons.

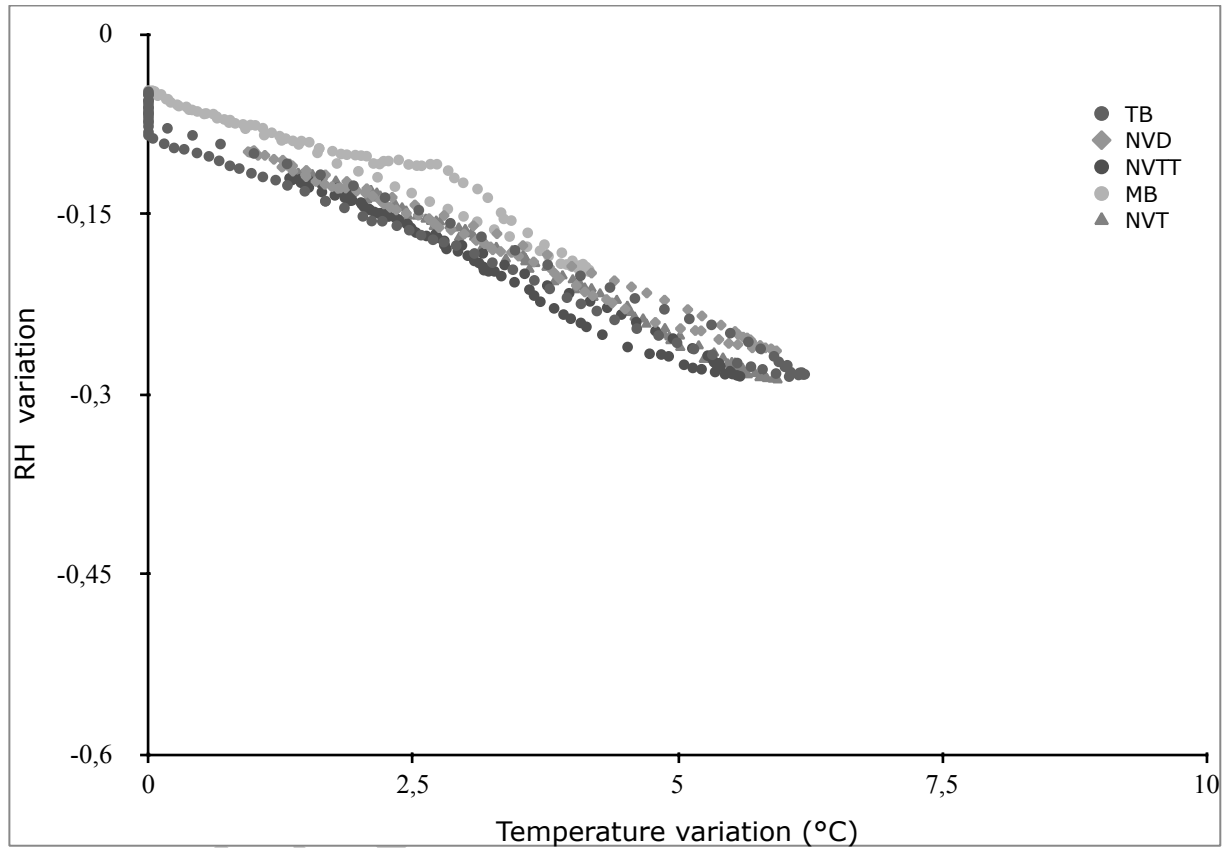


Figure 15 : Portrait de l'écart du cycle (Température/Humidité relative) avec la Zone de Confort des Oignons pendant une journée typique de 24 heures du mois de mai (Campagne en charge, saison humide chaude)

On observe que le bâtiment moderne semble se démarquer des autres constructions.

*Tableau 6: Tableau récapitulatif des mesures du mois de mai - Campagne en
charge, saison humide chaude*

	TB	MB	NV ₀	NV _T	NV _{TT}
#ZCO	00H00	00H00	00H00	00H00	00H00
#Temp	4H45	0H15	00H00	00H00	00H00
Maximum de température	36,2	34,2	35,9	35,9	35,6
Minimum de température	29,1	30,0	30,9	31,4	31,3
ΔT	7,1	4,2	5,0	4,5	4,3
eTmax	6,2	4,2	5,9	5,9	5,6
eT	2,7	2,1	3,3	3,7	3,3
#RH	00H00	00H00	00H00	00H00	00H00
Maximum de RH	0,60	0,60	0,55	0,53	0,53
Minimum de RH	0,36	0,45	0,39	0,36	0,37
ΔRH	0,24	0,15	0,17	0,17	0,16
eRHmax	0,29	0,20	0,26	0,29	0,28
eRH	-0,17	-0,11	-0,18	-0,20	-0,20

#ZCO = Nombre d'heures dans la zone de conservation des oignons

#Temp = Nombre d'heures dans la plage de températures de conservation des oignons

ΔT = Variation de température

eTmax = Écart maximal de températures avec la plage de température de conservation des oignons

eT = Écart moyen de température avec la plage de température de conservation des oignons

#RH = Nombre d'heures dans la plage d'humidité relative de conservation des oignons

ΔRH = Variation d'humidité relative

eRHmax = Écart maximal d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons

eRH = Écart moyen d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons

Observations

Quel que soit le scénario étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il est **fortement** influencé par le cycle (Température/Humidité relative) extérieur
- Les écarts avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons sont très similaires, voire identiques.
- Les variations dans la plage d'humidité relative de conservation des oignons sont très similaires, voire identiques.

TB/NV_D,

- Le bâtiment traditionnel reste quotidiennement **4h15** de plus dans la plage de températures de conservation des oignons que dans la voûte nubienne double.
- L'écart de variation de température dans une journée est **42 %** plus grand dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **0.3 °C** de plus dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.

MB/NV_{TT} :

- Le bâtiment moderne reste quotidiennement **0 h 15** de plus dans la plage de températures de conservation des oignons que dans la voûte nubienne triple épaisse.
- L'écart de variation de température dans une journée est **2 %** plus grand dans la voûte nubienne triple épaisse que dans le bâtiment moderne
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **0.6 °C** de plus dans la voûte nubienne triple épaisse que dans le bâtiment moderne

NV_D/NV_{TT} :

- L'écart de variation de température dans une journée est **17 %** plus grand dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est au moins de **0.4 °C** de plus dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse

NV_T/NV_{TT} :

- L'écart de variation de température dans une journée est **6 %** plus grand dans la voûte nubienne triple que dans la voûte nubienne triple épaisse
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **0.1 °C** de plus dans la voûte nubienne triple que dans la voûte nubienne triple épaisse

5.2.2. Étude quantitative :

Les résultats de comparaison de la performance des différents bâtiments sont presque les mêmes pour les 11 semaines. Ainsi nous allons présenter **l'étude pour la semaine 1** de la campagne de mesure. Nous donnerons juste une **comparaison pour les autres semaines**

5.2.2.1. Étude des mesures en charge sur les silos de conservation de l'oignon pendant la Saison humide chaude. Semaine 1 du 2014-05-01 au 2014-05-07

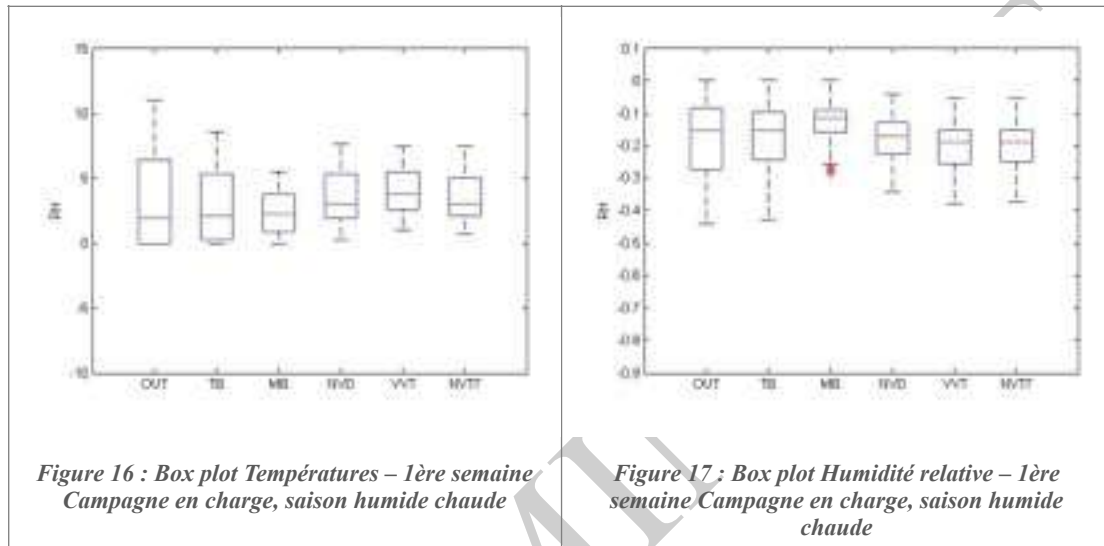
À partir de maintenant les mesures d'humidité relative et de températures de l'étude en charge sur les silos de conservation de l'oignon pendant la Saison humide chaude sont :

- Pour les mesures d'humidité relative : L'écart entre la valeur mesurée et la plage d'humidité relative de conservation de l'oignon.
- Pour les mesures de températures : L'écart entre la valeur mesurée et la plage de températures de conservation de l'oignon.

Les calculs prennent en compte toutes les valeurs mesurées soit 672 valeurs par semaine d'étude pour la température et 672 valeurs par semaine d'étude pour l'humidité relative.

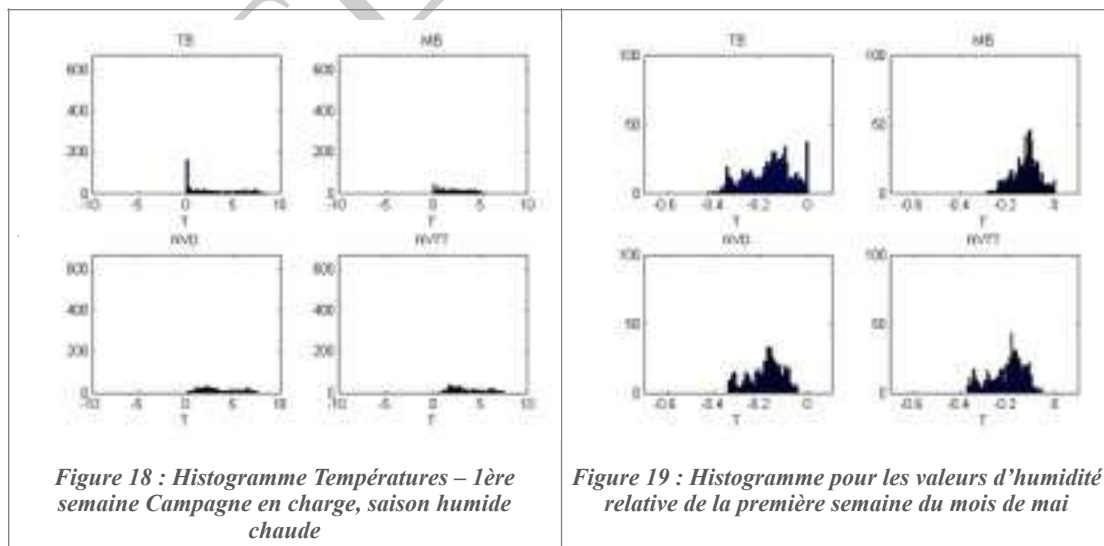
Box plot

On réalise un « Box plot » pour les mesures d'humidité relative et de températures pour se donner une idée de la situation.



Histogramme

On réalise un « histogramme » pour les mesures d'humidité relative et de températures



Kruskal-Wallis

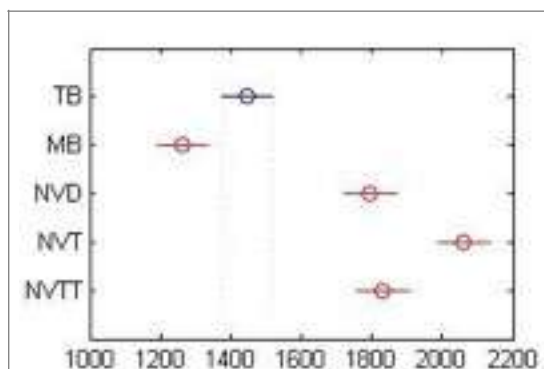


Figure 20 : Test Kruskal-Wallis Températures – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

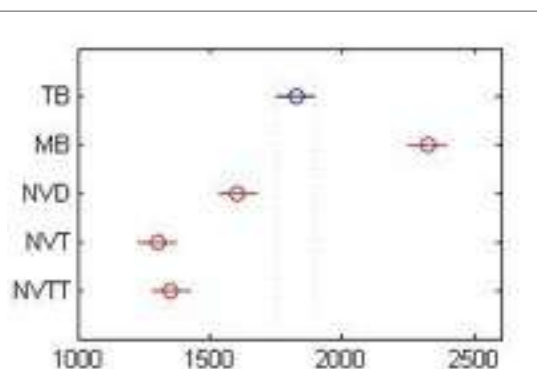


Figure 21 : Test Kruskal-Wallis Humidité relative – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

Pour la température la graduation se lit du moins d'écart avec la plage de températures de conservation des oignons à gauche au plus d'écart à droite.

Pour l'humidité relative, la graduation se lit du moins d'écart avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons à droite au plus d'écart à gauche.

ANOVA

Pour augmenter la certitude de l'analyse statistique, nous allons effectuer le Test ANOVA (Test avec des valeurs Gaussiennes) avec les données moyennes :

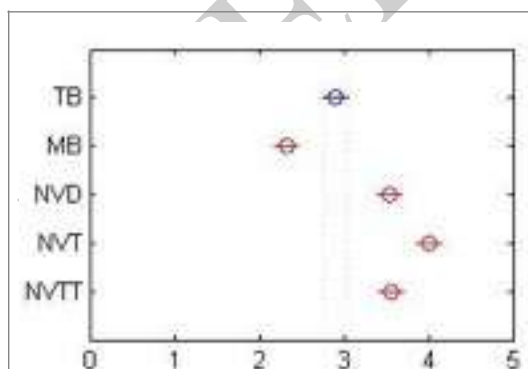


Figure 22 : Test ANOVA Températures – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

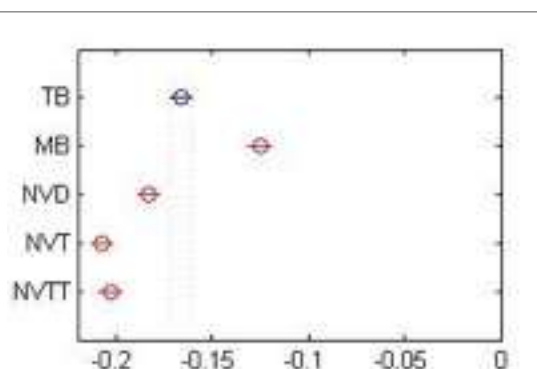


Figure 23 : Test ANOVA Humidité relative – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

On observe que les données sont similaires avec notre Test Kruskal-Wallis!

Wilcoxon Rank Sum Test

Pour vérifier s'il y a un écart significatif entre nos différents bâtiments 2 à 2 nous allons effectuer le Test **Wilcoxon Rank Sum Test** (Test avec des valeurs Non gaussiennes)

Tableau 7 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test Températures – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

C3S1	TB	MB	NVD	NVT	NVTT
TB		0.2737	0	0	0
MB			0	0	0
NVD				0	0.4294
NVT					0
NVTT					

Tableau 8 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test Humidité relative – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

C3S1	TB	MB	NVD	NVT	NVTT
TB		0	0	0	0
MB			0	0	0
NVD				0	0
NVT					0.2574
NVTT					

Two Sample T-Test

Pour augmenter la certitude de l'analyse statistique nous allons effectuer le Test **Two Sample t-test** (Test avec des valeurs gaussiennes) :

Tableau 9 : pValue avec Two Sample t-test Températures – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

C3S1	TB	MB	NVD	NVT	NVTT
TB		0	0	0	0

MB			0	0	0
NVD				0	0.8471
NVT					0
NVTT					

Tableau 10 : pValue avec Two Sample t-test Humidité relative – 1ère semaine Campagne en charge, saison humide chaude

C3S1	TB	MB	NVD	NVT	NVTT
TB		E-0	0	0	0
MB			0	0	0
NVD				0	0
NVT					0.2733
NVTT					

Observations

On définit qu'il y a, un écart significatif si pValue > 0,05

C'est-à-dire il y a un écart à 95 %

On peut ainsi dire :

- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment traditionnel et la voûte nubienne double pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment moderne et la voûte nubienne triple (épaisse ou non) pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre la voûte nubienne double et la voûte nubienne triple (épaisse ou non) pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre la voûte nubienne triple et la voûte nubienne triple épaisse pour la température.
- Mais qu'il n'y a pas d'écart significatif entre la voûte nubienne triple et la voûte nubienne triple épaisse pour l'humidité relative.

À la fin de cette étude, l'on peut dire que statistiquement pour ce qui est de la performance de la construction vis-à-vis de l'écart avec la zone de confort des oignons pour la Semaine 1 du 2014-05-01 au 2014-05-07 :

MB > NVTT/NVT soit, le bâtiment moderne est plus performant que les différentes voûtes nubiennes triples.

TB>NVD, soit le bâtiment traditionnel est plus performant que la voûte nubienne double.

NVD > NVTT > NVT soit, la voûte nubienne double est plus performante que la voûte nubienne triple épaisse qui est plus performante que la voûte nubienne triple simple.

5.2.2.2. Étude des mesures en charge sur les silos de conservation de l'oignon pendant la Saison humide chaude. Semaine 1 à 11. (Comparaison des résultats)

Résultats observés pour les 11 semaines de campagne en charge :

- TB/NV_D,

TB > NV_D 8 fois sur 11, il y a un écart significatif pour l'humidité relative
TB > NV_D 7 fois sur 11, il y a un écart significatif pour la température

- MB/(NV_{TT}, NV_T) :

MB > (NV_{TT}, NV_T) 11 fois sur 11, il y a un écart significatif pour l'humidité relative
MB > (NV_{TT}, NV_T) 11 fois sur 11, il y a un écart significatif pour la température

- NV_D/(NV_{TT}, NV_T) :

NV_D > (NV_{TT}, NV_T) 9 fois sur 11, il y a un écart significatif pour l'humidité relative
NV_D > NV_T 11 fois sur 11, il y a un écart significatif pour la température
NV_D Il n'y a pas d'écart significatif avec NV_{TT} pour la température

- NV_T/NV_{TT} :

NV_T Il n'y a pas d'écart significatif avec NV_{TT} pour l'humidité relative
NV_{TT} > NV_T 10 fois sur 11, il y a un écart significatif pour la température

5.3. Analyse de l'étude statistique des mesures des bâtiments en charge pour les oignons

Figure 24: Portrait du cycle T-RH pendant une journée typique de 24h
Campagne en charge, saison humide chaude

Pendant la campagne en charge le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment est fortement influencé par le cycle de Température/Humidité relative extérieur. Ainsi l'écart des grandeurs de températures et d'humidités relatives est faible entre chaque bâtiment. Lorsque l'on avance dans la saison de stockage le cycle de Température/Humidité relative se rapproche de la Zone idéale de conservation des Oignons jusqu'à l'atteindre en fin de campagne. La différence notable que nous pouvons noter dans notre étude qualitative est au niveau de l'intervalle de variation. Il y a 42 % de plus de variations de température dans le bâtiment traditionnel que dans celui en voûte nubienne double.

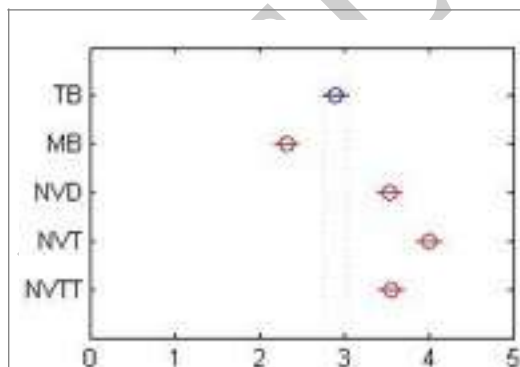


Figure 25 : Test ANOVA Températures – 1ère
semaine Campagne en charge, saison humide
chaude

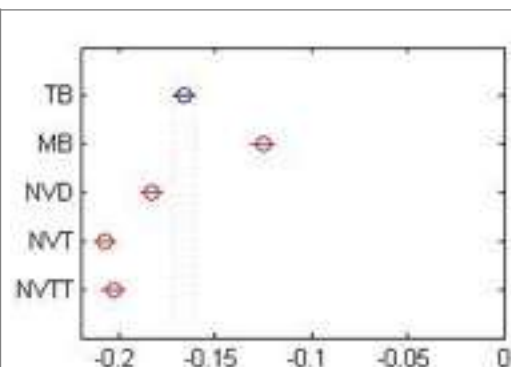


Figure 26 : Test ANOVA Humidité relative – 1ère
semaine Campagne en charge, saison humide
chaude

Le bâtiment moderne est plus performant que les différentes voûtes nubiennes triples. Le bâtiment traditionnel est plus performant que la voûte nubienne double. La voûte nubienne double est plus performante que la voûte nubienne triple épaisse qui est plus performante que la voûte nubienne triple simple.

6. ÉTUDE DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE

Tableau 11 : Scénarios de mesures pour les bâtiments vides

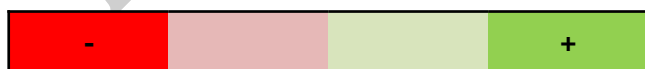
	Date	Code	Campagnes et scénarios	north NVp	south NVp	NVp	north NVn	center NVn	south NVn	TB	TBn	TBd	TB out	MB out	NV out
Campagne 1	2014-02-02 AU 2014-02-08	C151	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche froide. Tous les ouvrants fermés / jours et nuits												
	2014-02-09 AU 2014-02-15	C152	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche froide. Tous les ouvrants ouverts / jours et nuits												
	2014-02-16 AU 2014-02-22	C153	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche froide. Tous les ouvrants fermés la journée / ouverts la nuit												
	2014-02-23 AU 2014-03-01	C154a	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche froide. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée / ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant le jour												
	2014-03-02 AU 2014-03-08	C154b	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche froide. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée / ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant la nuit												
Campagne 2	2014-03-09 AU 2014-03-15	C251	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants fermés / jours et nuits												
	2014-03-16 AU 2014-03-22	C252	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts / jours et nuits												
	2014-03-23 AU 2014-03-29	C253	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants fermés la journée / ouverts la nuit												
	2014-03-30 AU 2014-04-05	C254a	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée / ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant le jour												
	2014-04-06 AU 2014-04-12	C254b	Mesures à vide des silos de conservation de l'ignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée / ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant la nuit												

Les cases hachurées représentent les données que nous avons.

6.1. Évaluation du comportement des données hygrométriques

Ci-dessous sont représentées les températures et les humidités relatives minimales, moyennes et maximales ainsi que l'amplitude moyenne des températures et des humidités relatives sur la période d'instrumentation.

		OUT	TB	MB	NVD	NVT T
Température sur la période	Maximale	46,1	42,2	39,3	41,1	40,7
	Minimale	14,9	19,0	22,9	22,8	22,0
	Moyenne	32,3	32,9	30,6	33,2	32,7
	amplitude maximale journalière (T max - T min)	22,9	15,8	10,0	10,5	9,2
	amplitude moyenne journalière (T max - T min)	16,3	11,6	6,0	6,3	5,7
Humidité relative sur la période	Maximale	0,80	0,70	0,63	0,60	0,56
	Minimale	0,04	0,05	0,14	0,11	0,06
	Moyenne	0,22	0,22	0,40	0,27	0,25
	amplitude maximale journalière (RH max - RH min)	0,67	0,56	0,46	0,45	0,44
	amplitude moyenne journalière (RH max - RH min)	0,27	0,20	0,24	0,21	0,22



Instrumentation	6720	mesures
	70	jours

Ces analyses permettent de mettre en évidence la forte inertie thermique des bâtiments en Voûte nubienne et notamment celle de la voûte nubienne triple épaisse pour la période des mesures à vide.

6.2. Évaluation du comportement des données hygrométriques vis-à-vis de la Zone de conservation des oignons.

6.2.1. Étude qualitative

Dans un premier temps les données brutes ont été traitées pour tirer le **portrait typique d'une journée de 24 heures** à l'intérieur de la campagne de mesures. Les observations porteront donc sur cette journée typique. (Moyenne de chaque ¼ d'heure à chaque même horaire t)

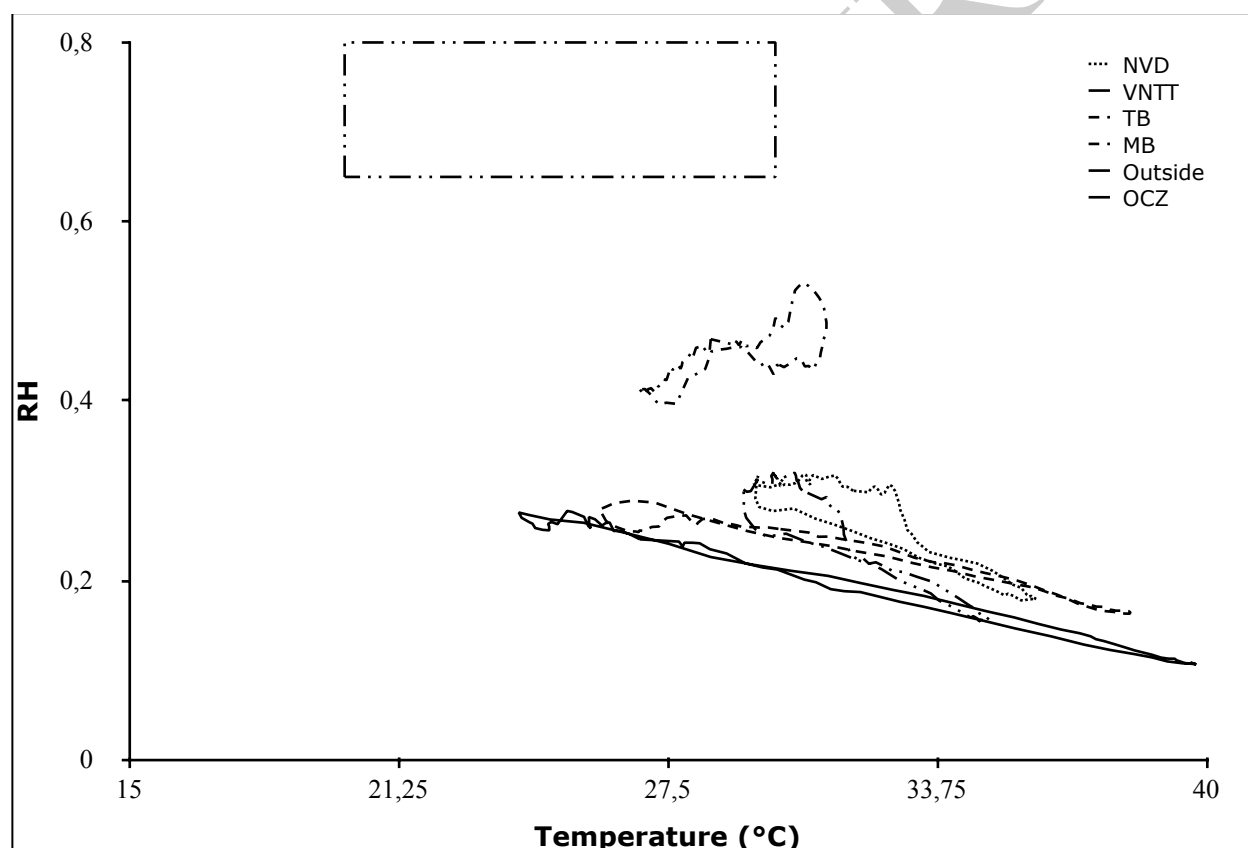
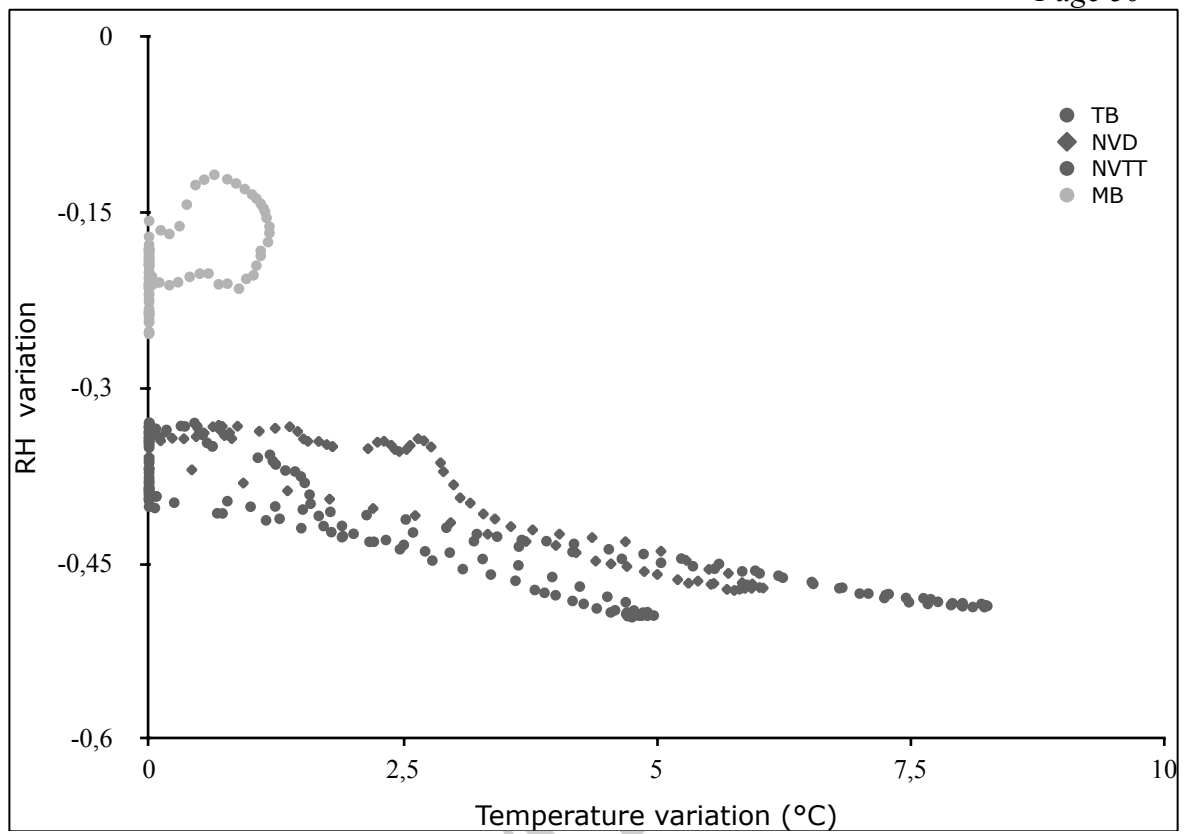


Figure 27 : Portrait du cycle (Température/Humidité relative) par rapport à la Zone de Confort des Oignons pendant une journée typique de 24 heures de la semaine C2S1

Quel que soit le bâtiment étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il n'atteint pas la Zone de conservation des oignons définie.

Dans un second temps les données de la journée type ont été traitées pour tirer le portrait typique de l'ÉCART entre le Cycle (Température/Humidité relative) et la zone de conservation des oignons.



On observe que le bâtiment moderne semble se démarquer des autres constructions.

Tableau 12: Tableau récapitulatif des mesures de C2S1 pour ZCO

	TB	MB	NV_D	NV_{TT}
#ZCO	00H00	00H00	00H00	00H00
#Temp	8H45	15H15	2H45	6H00
Maximum de temperature	38,3	31,2	36,1	35,0
Minimum de temperature	25,9	26,8	29,5	29,2
ΔT	12,4	4,4	6,6	5,8
eTmax	8,3	1,2	6,1	5,0
eT	3,3	0,3	2,7	2,0
#RH	00H00	00H00	00H00	00H00
Maximum de RH	0,29	0,53	0,32	0,32
Minimum de RH	0,16	0,40	0,18	0,15
ΔRH	0,13	0,14	0,14	0,17
eRHmax	-0,49	-0,25	-0,47	-0,50
eRH	-0,43	-0,20	-0,39	-0,41

#ZCO = Nombre d'heures dans la zone de conservation des oignons

#Temp = Nombre d'heures dans la plage de températures de conservation des oignons

ΔT = Variation de température

eTmax = Écart maximal de températures avec la plage de température de conservation des oignons

eT = Écart moyen de température avec la plage de température de conservation des oignons

#RH = Nombre d'heures dans la plage d'humidité relative de conservation des oignons

ΔRH = Variation d'humidité relative

eRHmax = Écart maximal d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons

eRH = Écart moyen d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons

Observations

Quel que soit le scénario étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il est **fortement** influencé par le cycle (Température/Humidité relative) extérieur
- L'écart avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons est très similaire, voire identique. (sauf pour le bâtiment moderne)
- Les variations dans la plage d'humidité relative de conservation des oignons sont très similaires, voire identiques.

TB/NV_D,

- Le bâtiment traditionnel reste quotidiennement **6h** de plus dans la plage de températures de conservation des oignons que dans la voûte nubienne double.
- L'écart de variation de température dans une journée est **88 %** plus grand dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **2.1 °C** de plus dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.

MB/NV_{TT} :

- Le bâtiment moderne reste quotidiennement **9h15** de plus dans la plage de températures de conservation des oignons que dans la voûte nubienne triple épaisse.
- L'écart de variation de température dans une journée est **32 %** plus grand dans la voûte nubienne triple épaisse que le bâtiment moderne.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **3.8 °C** de plus dans la voûte nubienne triple épaisse que dans le bâtiment moderne.

NV_D/NV_{TT} :

- L'écart de variation de température dans une journée est **14 %** plus grand dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures de conservation des oignons est de **1.1 °C** de plus dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse.

6.2.2. Étude quantitative :

Les résultats de comparaison de la performance des différents bâtiments sont presque les mêmes pour les 10 semaines. Ainsi nous allons présenter **l'étude pour la semaine 6 (C2S1)** de la campagne de mesure. Nous donnerons une **comparaison pour les autres semaines**.

6.2.2.1. Étude des mesures à vide sur les silos de conservation de l'oignon pendant la Saison sèche. Semaine C2S1 du 2014-03-09 au 2014-03-15

À partir de maintenant les mesures d'humidité relative et de températures de l'étude à vide sur les silos de conservation de l'oignon sont :

- Pour les mesures d'humidité relatives : L'écart entre la valeur mesurée et la plage d'humidité relative de conservation de l'oignon.
- Pour les mesures de températures : L'écart entre la valeur mesurée et la plage de températures de conservation de l'oignon.

Les calculs prennent en compte toutes les valeurs mesurées soit 672 valeurs par semaine d'étude pour la température et 672 valeurs par semaine d'étude pour l'humidité relative.

Box plot

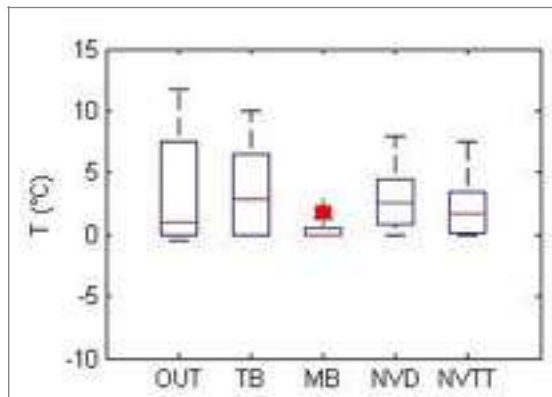


Figure 29 : Box plot pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1

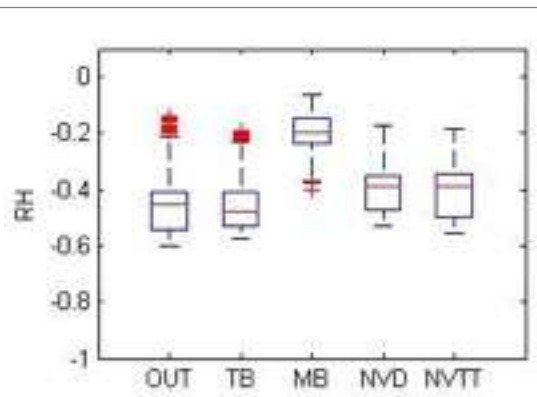


Figure 30 : Box plot pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1

On remarque :

Qu'il y a certaines données absurdes (croix rouge).

Histogramme

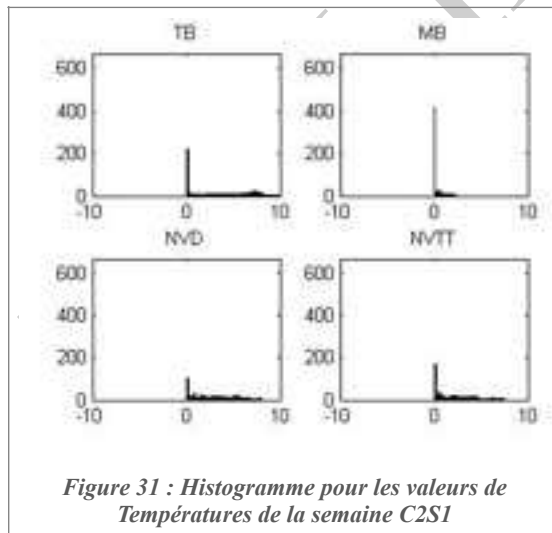


Figure 31 : Histogramme pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1

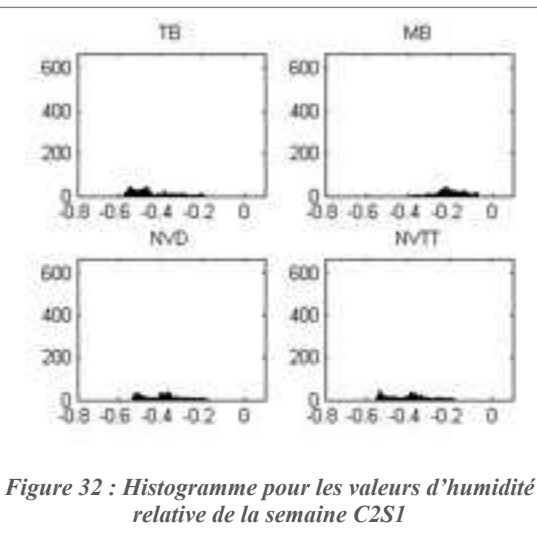
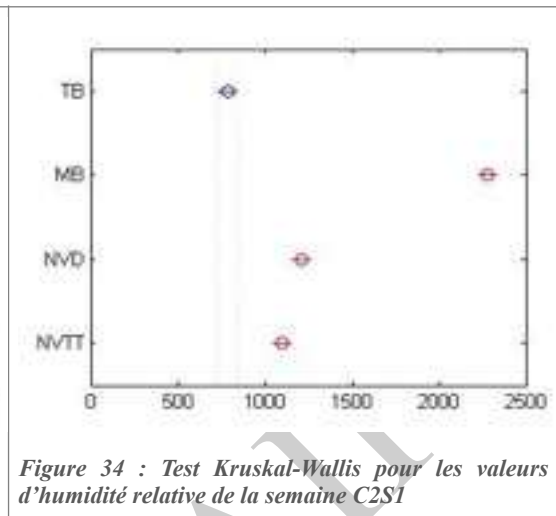
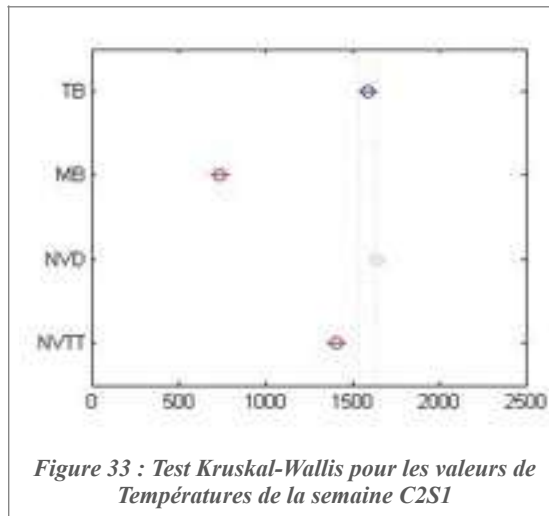


Figure 32 : Histogramme pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1

On remarque :

Que le nombre de valeurs dans les plages de confort de température définie est important.

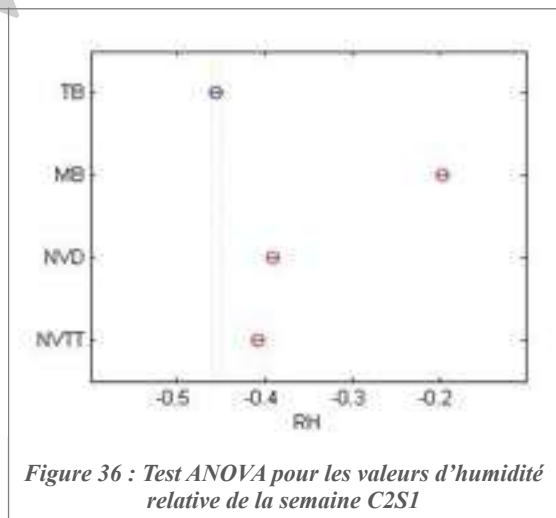
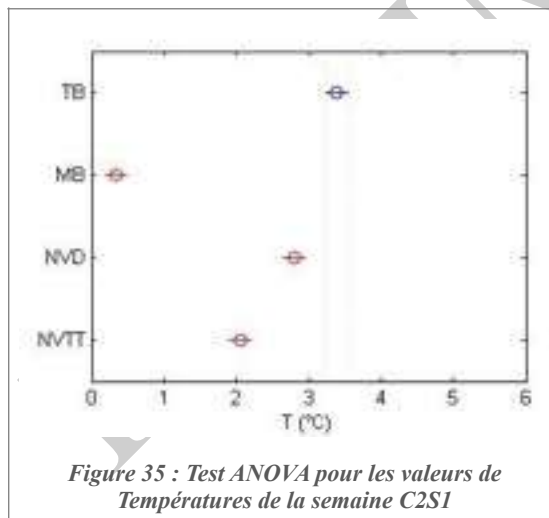
Kruskal-Wallis



Pour la température la graduation se lit du moins d'écart avec la plage de température de conservation des oignons à gauche au plus d'écart à droite.

Pour l'humidité relative, la graduation se lit du moins d'écart avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons à droite au plus d'écart à gauche.

ANOVA



Wilcoxon Rank Sum Test

Tableau 13 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0.0015
NVT				

Tableau 14 : pValue avec Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0.1490	0
MB			0	0
NVD				0
NVT				

Two Sample T-Test

Tableau 15 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0

NVTT				
------	--	--	--	--

Tableau 16 : pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0.0013
NVTT				

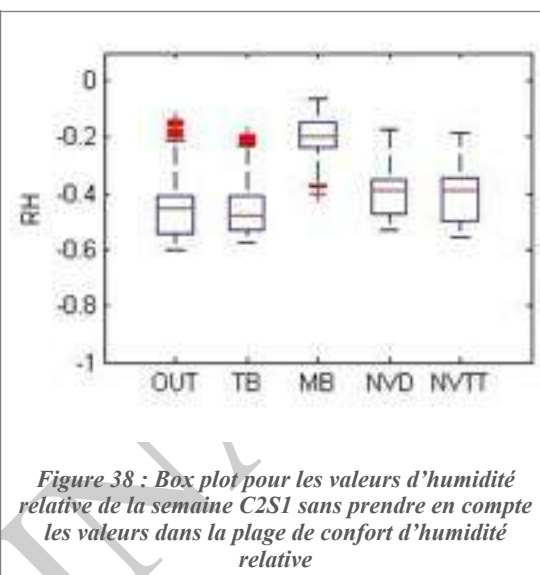
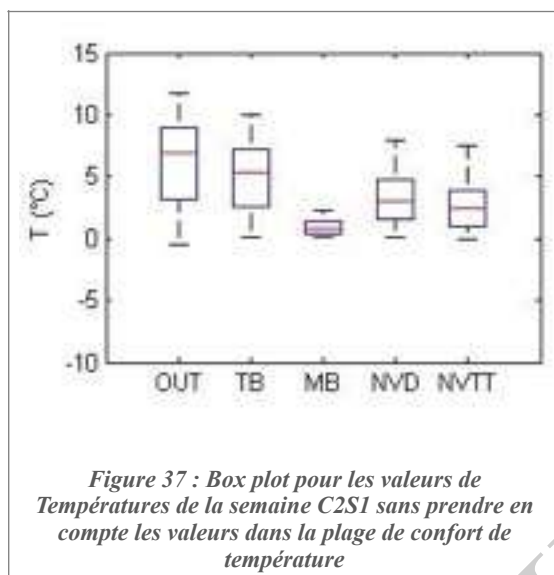
Les résultats du test Wilcoxon et du test T démontrent que les différences observées entre le test Kruskal Wallis et Anova sont significatifs. Ainsi les différents tests pour la température ne sont pas similaires ce qui veut dire que nos résultats pour la température donnent une série de données difficile à analyser. Nous allons donc effectuer à nouveau l'analyse statistique sans prendre en compte les valeurs dans les plages de confort de températures et d'humidité relative. Autrement dit nous allons enlever tous les Écarts de ZÉRO avec la plage de températures et d'humidité relative.

Voici le nombre de fois sur 672 mesures qu'il y a des valeurs dans les plages respectives de températures et d'humidité relative (Écart de ZÉRO).

sur 672	OUT_T	TB_T	MB_T	NVD_T	NVTT_T
C2S1	299	299	419	91	149

sur 672	OUT_RH	TB_RH	MB_RH	NVD_RH	NVTT_RH
C2S1	0	0	0	0	0

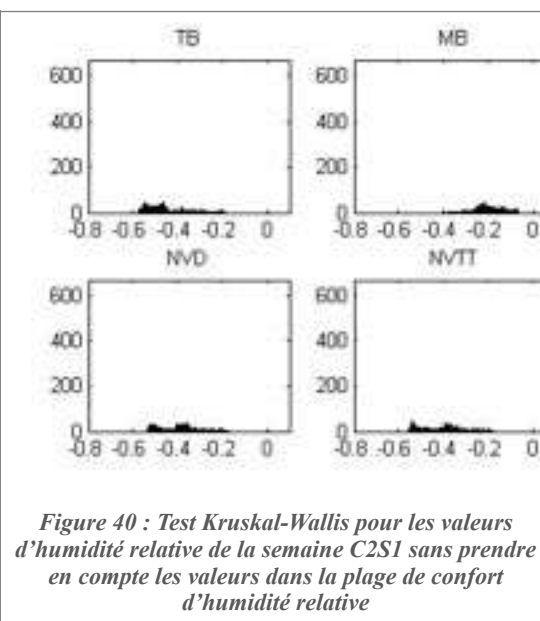
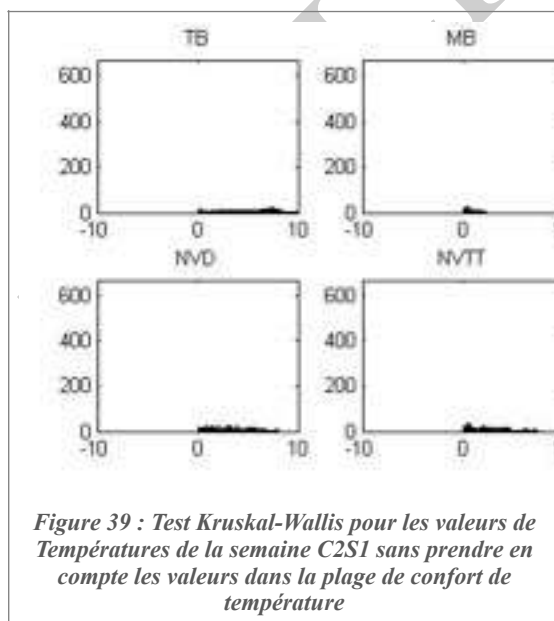
Box plot



On remarque :

Qu'il n'y a plus de données absurdes pour la température

Histogramme



On remarque :

Qu'il n'y a plus de valeurs dans la plage de confort de température

Kruskal-Wallis

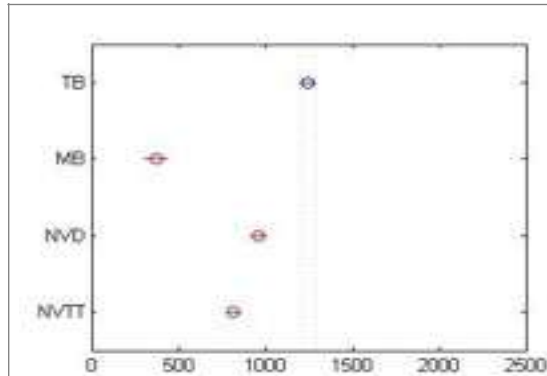


Figure 41 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

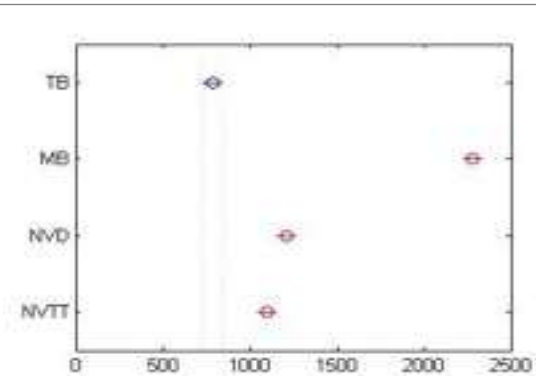


Figure 42: Test Kruskal-Wallis pour les valeurs de Température de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

Pour la température la graduation se lit du moins d'écart avec la plage de température de conservation des oignons à gauche au plus d'écart à droite.

Pour l'humidité relative, la graduation se lit du moins d'écart avec la plage d'humidité relative de conservation des oignons à droite au plus d'écart à gauche.

ANOVA

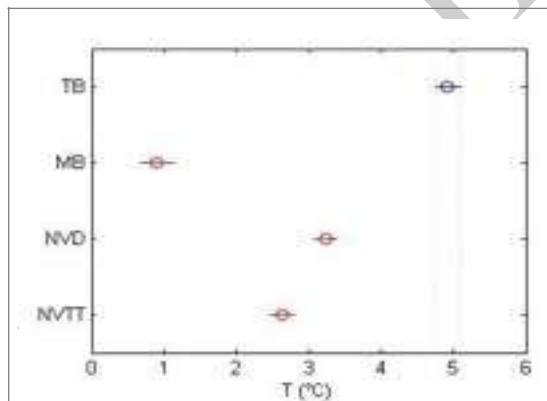


Figure 43 : Test ANOVA pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

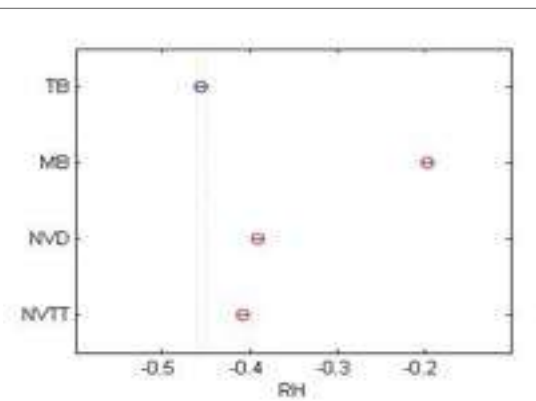


Figure 44 : Test ANOVA pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

Wilcoxon Rank Sum Test

Tableau 17 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de température sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0
NVT				

Tableau 18 : pValue avec Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidité relative sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0.0015
NVT				

Two Sample T-Test

Tableau 19 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de température sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0

NVD				0
NVTT				

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0.0013
NVTT				

Tableau 20: pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidité relative sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

On remarque : que les données sont similaires avec notre Test Krustal Wallis!

Ainsi en ayant enlevé les valeurs dans les plages de confort de températures et d'humidité relative nous avons rendu la série de données plus simple à analyser. Autrement dit c'est bien les Écarts de ZÉRO avec la plage de températures et d'humidité relative qui perturbaient notre étude.

Observations

On définit qu'il y a, un écart significatif si pValue > 0,05

C'est-à-dire il y a un écart à 95 %

On peut ainsi dire :

- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment traditionnel et la voûte nubienne double pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment moderne et la voûte nubienne triple épaisse pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre la voûte nubienne double et la voûte nubienne triple épaisse pour l'humidité relative et la température.

**6.2.2.2. Étude des mesures à vide sur les silos de conservation de l'oignon.
Semaine 1 à 10. (Comparaison des résultats)**

Avec les données d'humidité relative :

Campagne à vide ZCO RH KRUSTAL	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD		NVTT<NVD	100,0 %	NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB		NVTT=TB	12,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCO RH ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD		NVTT<NVD	100,0 %	NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB		NVTT=TB	12,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					

Campagne à vide ZCO RH SANS 0 KRUSTAL	NVTT/NVD	NVTT>NV D		NVTT<NV D	100,0 %	NVTT=NV D	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB		NVTT=TB	12,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCO RH SANS 0 ANOVA	Comparai son	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NV D		NVTT<NV D	100,0 %	NVTT=NV D	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	100,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	12,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Avec les données de températures :

Campagne à vide ZCOT ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB	12,5 %	NVTT=TB	
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	66,7 %	NVD<TB		NVD=TB	33,3 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCOT KRUSTAL	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	50,0 %	NVTT<TB	12,5 %	NVTT=TB	37,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	50,0 %	NVD<TB		NVD=TB	50,0 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCOT SANS 0	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	100,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	

KRUSTAL	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCO T SANS 0 ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	100,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	83,3 %	NVD<TB		NVD=TB	16,7 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

6.3. Analyse de la performance des bâtiments et groupes de bâtiments à vide pour les oignons vis-à-vis de la Zone de conservation des oignons.

Figure 45: Portrait du cycle (Température/Humidité relative) par rapport à la Zone de Confort des Oignons pendant une journée typique de 24 heures de la semaine C2S1

Pendant la campagne à vide lorsque l'on avance vers la saison humide le cycle de Température/Humidité relative se rapproche de la Zone idéale de conservation des Oignons, mais ne l'atteint pas. Le bâtiment traditionnel et le moderne restent nettement plus longtemps dans la plage de températures de conservation des oignons. Cependant les variations de température sont nettement plus élevées dans le bâtiment traditionnel que dans les voûtes nubienues.

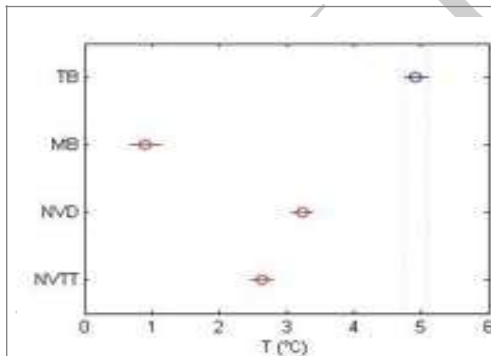


Figure 46 : Test ANOVA pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de températures

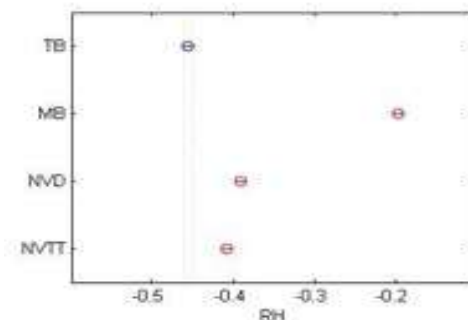


Figure 47 : Test ANOVA pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

On peut dire que statistiquement pour ce qui est de la performance de la construction :

Vis-à-vis de l'écart avec la plage de confort de Températures :

MB > NVTT/NVD ; NVTT/NVD > TB ; NVTT > NVD

Vis-à-vis de l'écart avec la plage de confort d'humidité relative :

MB > NVTT/NVD ; NVD > TB ; NVD > NVTT

Vis-à-vis de l'écart avec la zone de conservation des oignons :

MB > NVTT/NVD > TB ; NVD et NVTT sont proches.

6.4. Évaluation du comportement des données hygrométriques vis-à-vis de la Zone de confort thermique pour les humains.

6.4.1. Étude qualitative

Dans un premier temps les données brutes ont été traitées pour tirer le **portrait typique d'une journée de 24 heures** à l'intérieur de la campagne de mesures. Les observations porteront donc sur cette journée typique. (Moyenne de chaque ¼ d'heure à chaque même horaire t)

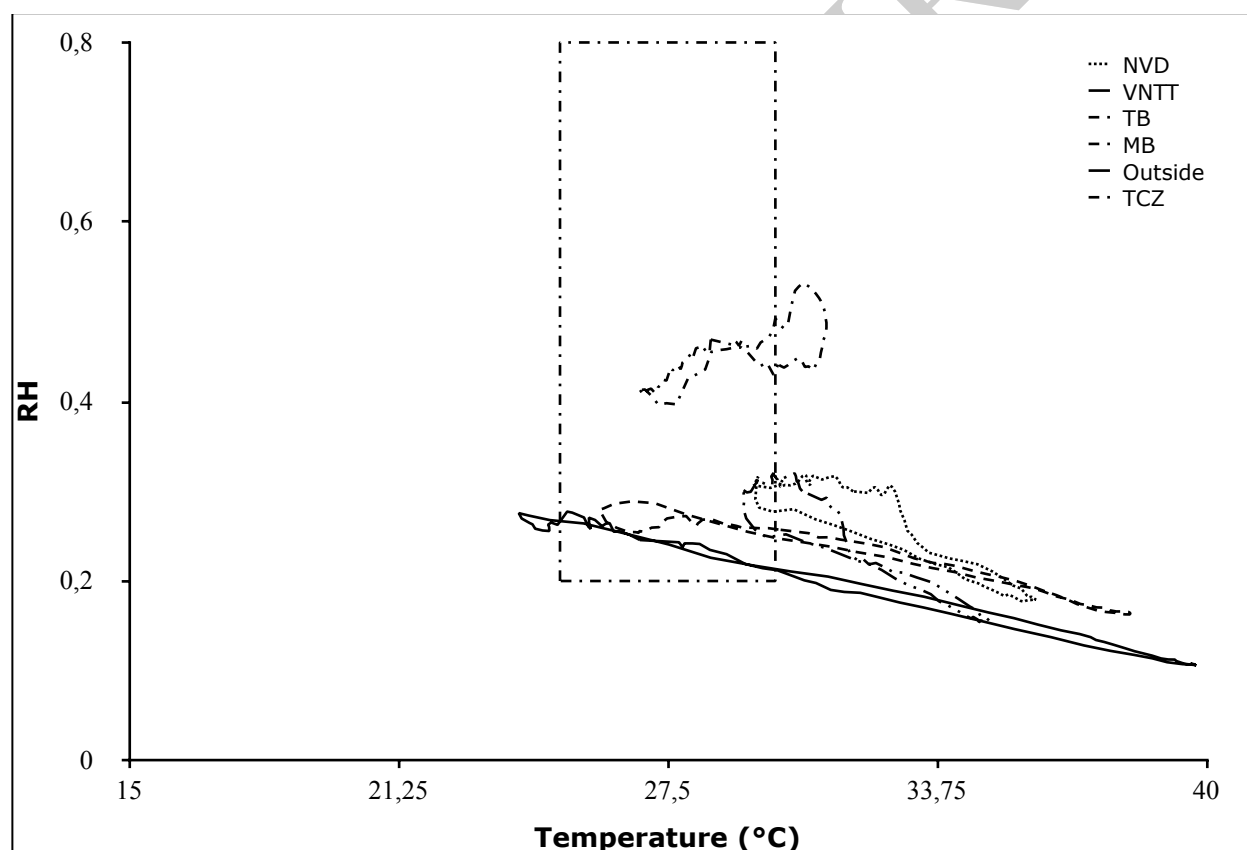


Figure 48: Portrait du cycle (Température/Humidité relative) par rapport à la Zone de Confort thermique pendant une journée typique de 24 heures de la semaine C2S1

Quel que soit le bâtiment étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il n'atteint pas la Zone de conservation des oignons définie.

Dans un second temps les données de la journée type ont été traitées pour tirer le portrait typique de l'ÉCART entre le Cycle (Température/Humidité relative) et la zone de confort thermique.

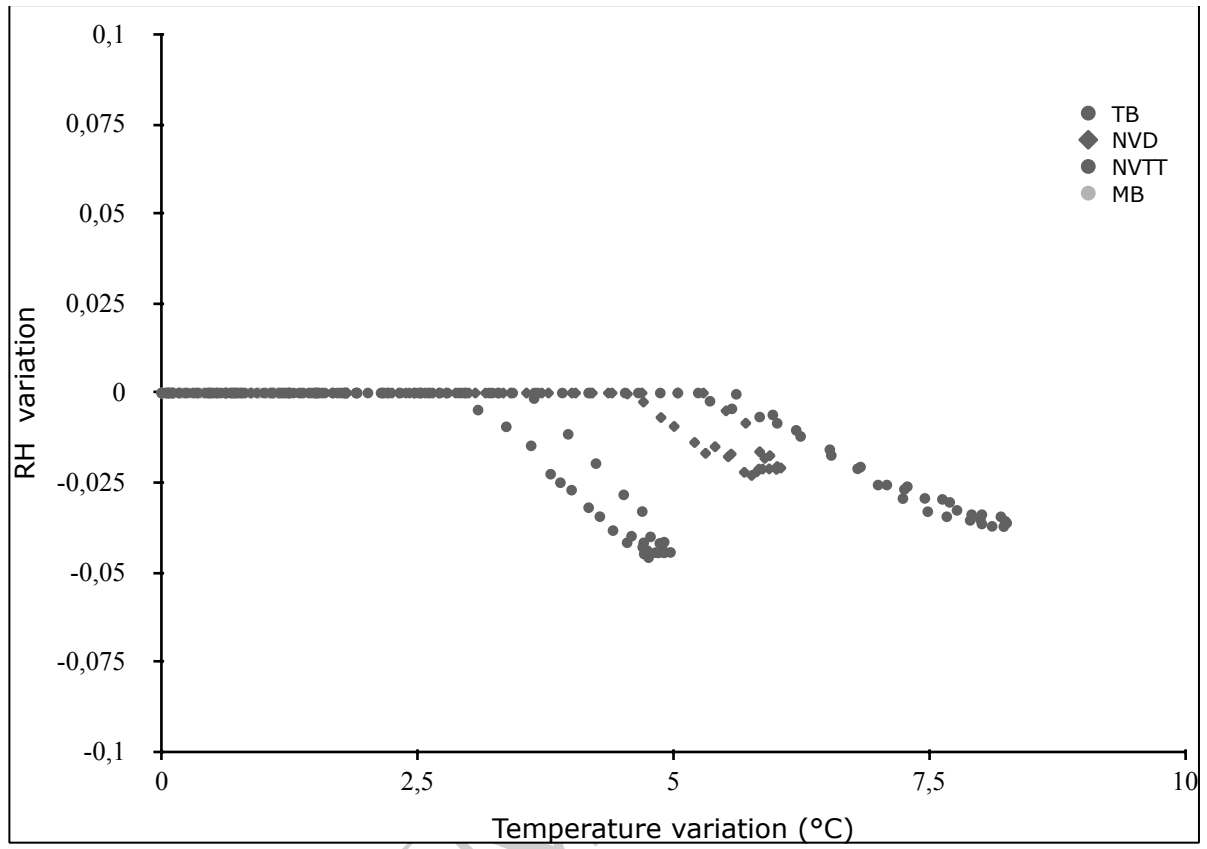


Figure 49 : Portrait de l'écart du cycle (Température/Humidité relative) avec la Zone de Confort thermique pendant une journée typique de 24 heures de la semaine C2S1

On observe que le bâtiment moderne semble se démarquer des autres constructions.

Tableau 21: Tableau récapitulatif des mesures de C2S1 pour ZCT

	TB	MB	NV_D	NV_{TT}
#ZCO	8H45	15H15	2H45	5H45
#Temp	8H45	15H15	2H45	5H45
Maximum de temperature	38,3	31,2	36,1	35,0
Minimum de temperature	25,9	26,8	29,5	29,2
ΔT	12,4	4,4	6,6	5,8
eTmax	8,3	1,2	6,1	5,0
eT	3,3	0,3	2,7	2,0
#RH	15H30	24H00	18H15	16H30
Maximum de RH	0,29	0,53	0,32	0,32
Minimum de RH	0,16	0,40	0,18	0,15
ΔRH	0,13	0,14	0,14	0,17
eRHmax	-0,04	0,00	-0,02	-0,05
eRH	-0,01	0,00	0,00	-0,01

#ZCT = Nombre d'heures dans la zone de CONFORT THERMIQUE

#Temp = Nombre d'heures dans la plage de températures de CONFORT THERMIQUE

ΔT = Variation de température

eTmax = Écart maximal de températures avec la plage de températures de CONFORT THERMIQUE

eT = Écart moyen de températures avec la plage de températures de CONFORT THERMIQUE

#RH = Nombre d'heures dans la plage d'humidité relative de CONFORT THERMIQUE

ΔRH = Variation d'humidité relative

eRHmax = Écart maximal d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de CONFORT THERMIQUE

eRH = Écart moyen d'humidité relative avec la plage d'humidité relative de CONFORT THERMIQUE

Observations

Quel que soit le scénario étudié, le cycle (Température/Humidité relative) de chaque bâtiment :

- Il est **fortement** influencé par le cycle (Température/Humidité relative) extérieur
- L'écart avec la plage d'humidité relative du confort thermique est très faible, voire inexistant.
- Les variations dans la plage d'humidité relative du confort thermique sont très similaires, voire identiques.

TB/NV_D,

- Le bâtiment traditionnel reste quotidiennement **6h** de plus dans la plage de températures du confort thermique que dans la voûte nubienne double.
- L'écart de variation de température dans une journée est **88 %** plus grand dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.
- L'écart maximal de températures avec la plage de température du confort thermique est de **2.2 °C** de plus dans le bâtiment traditionnel que dans la voûte nubienne double.

MB/NV_{TT} :

- Le bâtiment moderne reste quotidiennement **9 h 30** de plus dans la plage de températures de confort thermique que dans la voûte nubienne triple épaisse.
- L'écart de variation de température dans une journée est **32 %** plus grand dans la voûte nubienne triple épaisse que dans le bâtiment moderne.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures du confort thermique est de **4.8 °C** de plus dans la voûte nubienne triple épaisse que dans le bâtiment moderne.

NV_D/NV_{TT} :

- L'écart de variation de température dans une journée est **14 %** plus grand dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse.
- L'écart maximal de températures avec la plage de températures du confort thermique est de **0.8 °C** de plus dans la voûte nubienne double que dans la voûte nubienne triple épaisse.

6.4.2. Étude quantitative

Les résultats de comparaison de la performance des différents bâtiments sont presque les mêmes pour les 10 semaines. Ainsi nous allons présenter **l'étude pour la semaine 6 (C2S1)** de la campagne de mesure. Nous donnerons une **comparaison pour les autres semaines**.

6.4.2.1. Étude des mesures à vide sur les silos de conservation de l'oignon pendant la Saison sèche. Semaine C2S1 du 2014-03-09 au 2014-03-15

À partir de maintenant les mesures d'humidité relative et de températures de l'étude à vide sur les silos de conservation de l'oignon sont :

- Pour les mesures d'humidité relatives : L'écart entre la valeur mesurée et la plage d'humidité relative de confort thermique.
- Pour les mesures de températures : L'écart entre la valeur mesurée et la plage de températures de confort thermique.

Les calculs prennent en compte toutes les valeurs mesurées soit 672 valeurs par semaine d'étude pour la température et 672 valeurs par semaine d'étude pour l'humidité relative.

Box plot

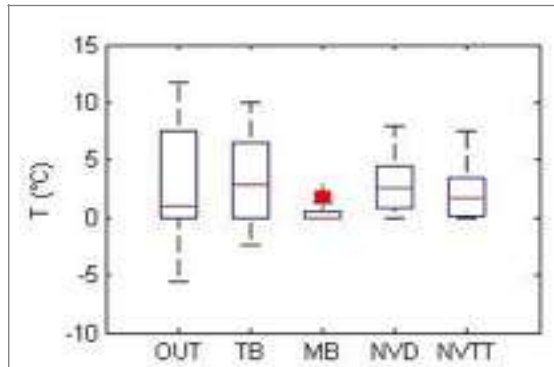


Figure 50 : Box plot pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1

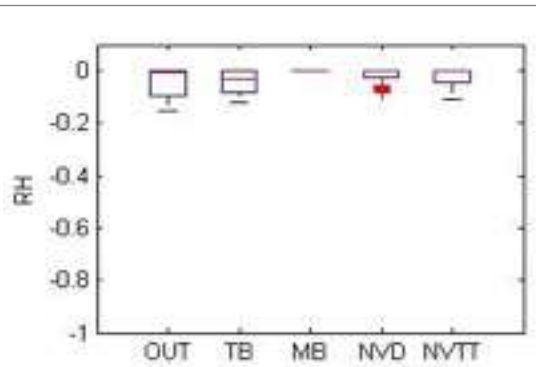


Figure 51 : Box plot pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1

On remarque : Qu'il y a certaines données absurdes (croix rouge).

Que le bâtiment moderne est à 100 % dans la plage de confort d'humidité relative.

Que les données des voûtes nubiennes sont proches.

Que les données du bâtiment traditionnel et extérieur sont proches.

Histogramme

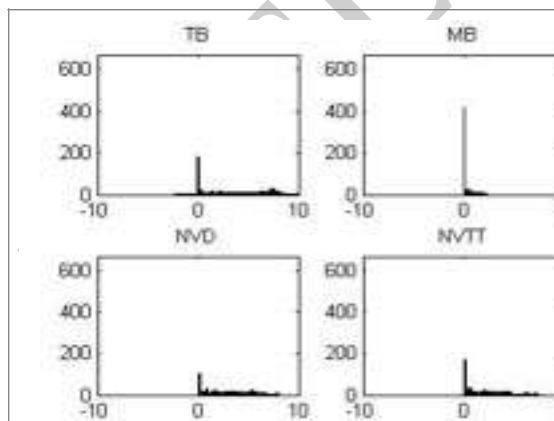


Figure 52 : Histogramme pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1

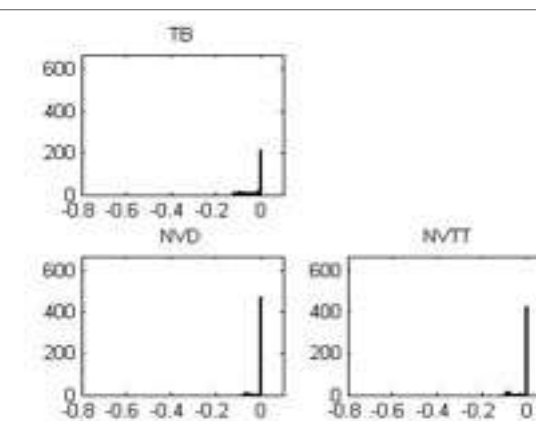
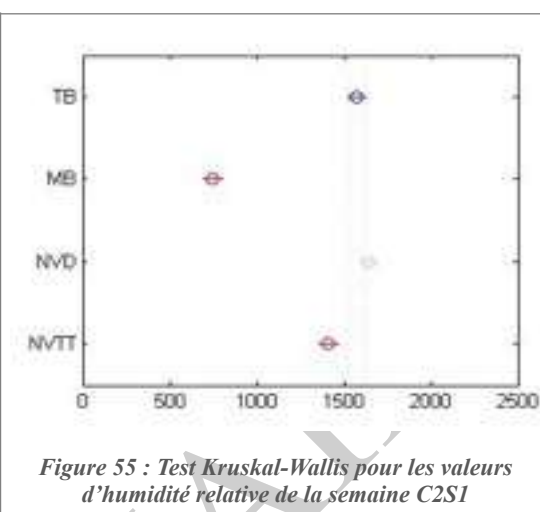
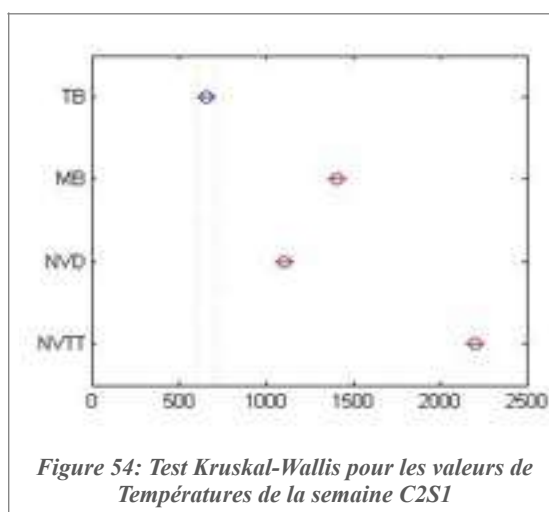


Figure 53 : Histogramme pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1

On remarque : Que le nombre de valeurs dans les plages de confort de Température et d'humidité relative est important.

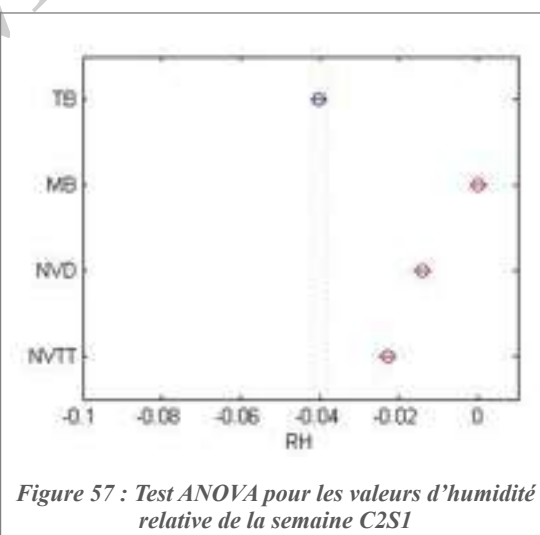
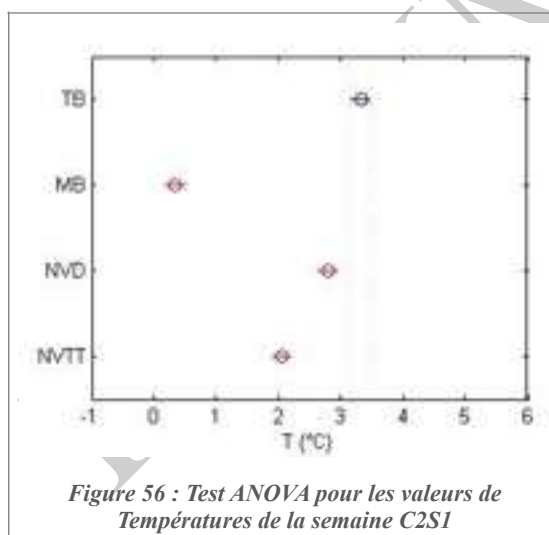
Kruskal-Wallis



Pour la température la graduation se lit du moins d'écart avec la plage de température de confort thermique à gauche au plus d'écart à droite.

Pour l'humidité relative, la graduation se lit du moins d'écart avec la plage d'humidité relative de confort thermique à droite au plus d'écart à gauche.

ANOVA



Wilcoxon Rank Sum Test

Tableau 22 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0

MB			0	0
NVD				0
NVT				

Tableau 23 : pValue avec Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0
NVT				

Two Sample T-Test

Tableau 24 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de températures

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0
NVTT				

Tableau 25 : pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0

MB			0	0
NVD				0
NVTT				

PRELIMINAIRE

On remarque : Les résultats du test Wilcoxon et du test T démontrent que les différences observées entre le test Kruskal Wallis et Anova sont significatifs. Ainsi les différents Tests ne sont pas similaires ce qui veut dire que nos résultats donnent une série de données difficile à analyser.

Nous allons donc réeffectuer l'analyse statistique sans prendre en compte les valeurs dans les plages de confort de températures et d'humidité relative. Autrement dit nous allons **enlever tous les Écarts de ZÉRO** avec la plage de confort de températures et d'humidité relative.

Voici les nombres de fois sur 672 mesures qu'il y a des valeurs dans les plages respectives de températures et d'humidité relative (Écart de ZÉRO).

sur 672	OUT_T	TB_T	MB_T	NVD_T	NVTT_T
C2S1	194	169	419	91	149

sur 672	OUT_RH	TB_RH	MB_RH	NVD_RH	NVTT_RH
C2S1	316	213	672	477	425

Box plot

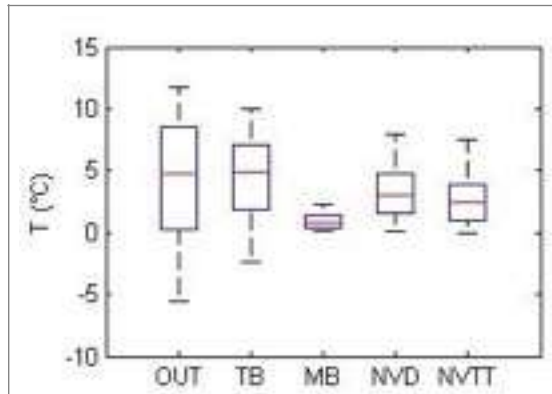


Figure 58: Box plot pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

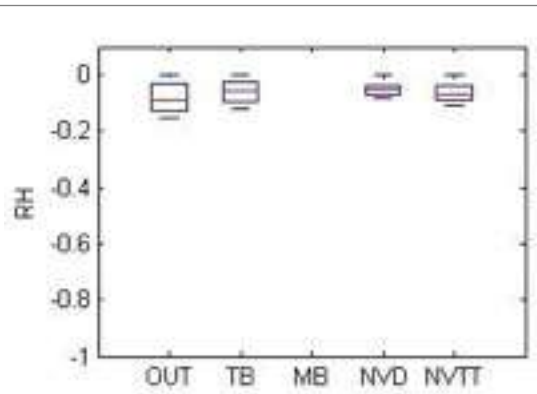


Figure 59 : Box plot pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

On remarque : Qu'il n'y a plus de données absurdes

Histogramme

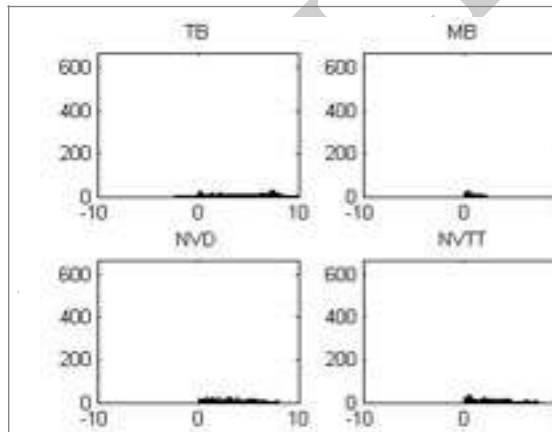


Figure 60 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

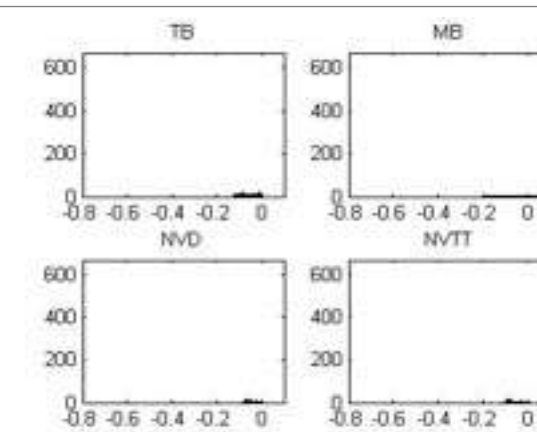


Figure 61 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

On remarque : Qu'il n'y a bien plus de valeurs dans les plages de confort de température et d'humidité relative définies.

Kruskal-Wallis

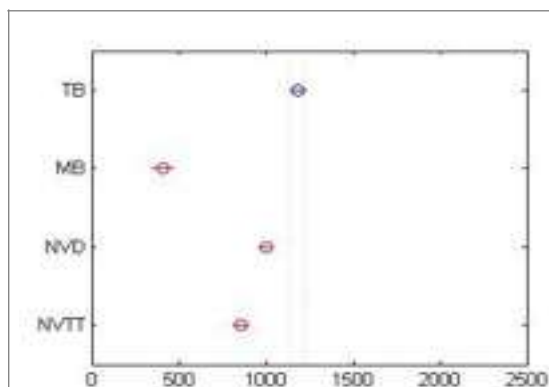


Figure 62 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

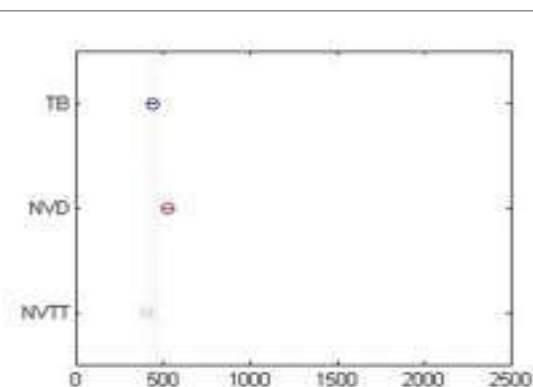


Figure 63 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

Pour la température la graduation se lit du moins d'écart avec la plage de température de confort thermique à gauche au plus d'écart à droite.

Pour l'humidité relative, la graduation se lit du moins d'écart avec la plage d'humidité relative de confort thermique à droite au plus d'écart à gauche.

ANOVA

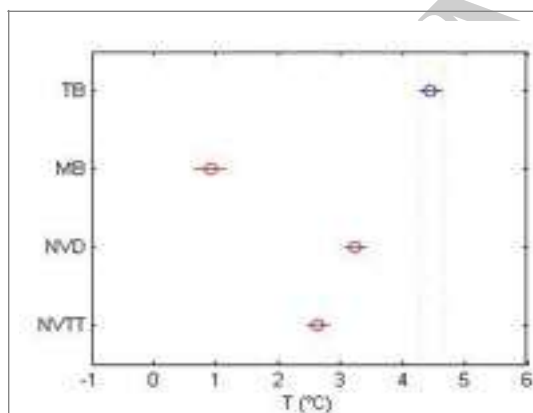


Figure 64 : Test ANOVA pour les valeurs de Températures de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

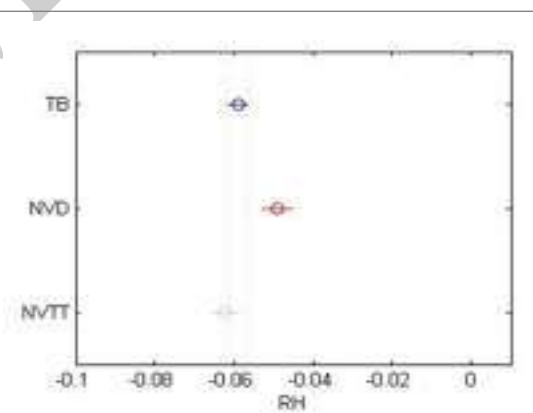


Figure 65 : Test ANOVA pour les valeurs d'humidité relative de la semaine C2S1 sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

Wilcoxon Rank Sum Test

Tableau 26 ; pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de températures sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0

MB			0	0
NVD				0
NVT				

Tableau 27 : pValue avec Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidité relative sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort d'humidité relative

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0
NVT				

Two Sample T-Test

Tableau 28 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de températures sans prendre en compte les valeurs dans la plage de confort de température

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0
NVD				0
NVTT				

C2S1	TB	MB	NVD	NVTT
TB		0	0	0
MB			0	0

NVD				0
NVTT				

*Tableau 29 : pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidité relative sans prendre en compte les
valeurs dans la plage de confort d'humidité relative*

On remarque : que les données sont similaires avec notre Test Krustal Wallis!

Ainsi c'est encore les valeurs dans les plages de confort de températures et d'humidité relative qui perturbaient notre étude.

Observations

On définit qu'il y a, un écart significatif si pValue > 0,05

C'est-à-dire il y a un écart à 95 %

On peut ainsi dire :

- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment traditionnel et la voûte nubienne double pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre le bâtiment moderne et la voûte nubienne triple épaisse pour l'humidité relative et la température.
- Qu'il y a bien un écart significatif entre la voûte nubienne double et la voûte nubienne triple épaisse pour l'humidité relative et la température.

6.4.2.2. Étude des mesures à vide sur les silos de conservation de l'oignon. Semaine 1 à 10. (Comparaison des résultats)

Avec les données d'humidité relative :

Campagne à vide ZCT RH KRUSTAL	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/ NVD	NVTT>N VD	100,0 %	NVTT<N VD		NVTT=N VD	
	NVTT/MB	NVTT>M B	100,0 %	NVTT<M B		NVTT=M B	
	NVTT/TB	NVTT>TB	100,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCT RH ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/ NVD	NVTT>N VD		NVTT<N VD	100,0 %	NVTT=N VD	
	NVTT/MB	NVTT>M B		NVTT<M B	100,0 %	NVTT=M B	
	NVTT/TB	NVTT>TB	100,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCT RH SANS OKRUSTAL	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD		NVTT<NVD	100,0 %	NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB	NaN	NVTT<MB	NaN	NVTT=MB	NaN
	NVTT/TB	NVTT>TB	25,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	75,0 %
	NVD/MB	NVD>MB	NaN	NVD<MB	NaN	NVD=MB	NaN
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	
	MB/TB	MB>TB	NaN	MB<TB	NaN	MB=TB	NaN

Campagne à vide ZCT RH SANS OKANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD		NVTT<NVD	100,0 %	NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB	NaN	NVTT<MB	NaN	NVTT=MB	NaN
	NVTT/TB	NVTT>TB	25,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	75,0 %
	NVD/MB	NVD>MB	NaN	NVD<MB	NaN	NVD=MB	NaN
	NVD/TB	NVD>TB	100,0 %	NVD<TB		NVD=TB	

Avec les données de températures :

Campagne à vide ZCT KRUSTAL	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	62,5 %	NVTT<TB		NVTT=TB	37,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB		NVD<TB	33,3 %	NVD=TB	66,7 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCT ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>NVD	100,0 %	NVTT<NVD		NVTT=NVD	
	NVTT/MB	NVTT>MB		NVTT<MB	100,0 %	NVTT=MB	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB	12,5 %	NVTT=TB	
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	83,3 %	NVD<TB		NVD=TB	16,7 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
--	-------------	------------------------------------	--	--	--	--	--

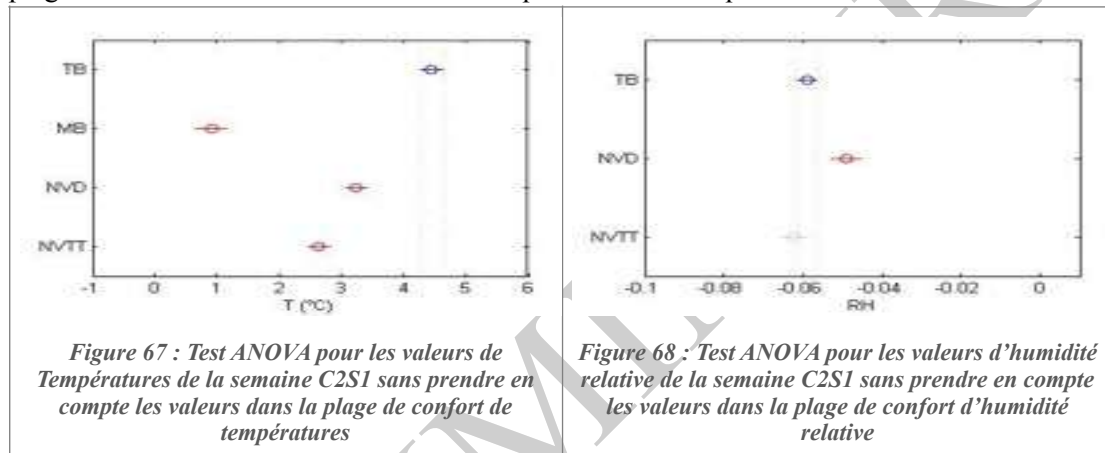
Campagne à vide ZCT T SANS O KRUSTAL	NVTT/NVD	NVTT>N VD	100,0 %	NVTT<N VD		NVTT=N VD	
	NVTT/MB	NVTT>M B		NVTT<M B	100,0 %	NVTT=M B	
	NVTT/TB	NVTT>TB	87,5 %	NVTT<TB		NVTT=TB	12,5 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	50,0 %	NVD<TB		NVD=TB	50,0 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Campagne à vide ZCT T SANS O ANOVA	Comparaison	Écart significatif de l'efficacité					
	NVTT/NVD	NVTT>N VD	100,0 %	NVTT<N VD		NVTT=N VD	
	NVTT/MB	NVTT>M B		NVTT<M B	100,0 %	NVTT=M B	
	NVTT/TB	NVTT>TB	75,0 %	NVTT<TB		NVTT=TB	25,0 %
	NVD/MB	NVD>MB		NVD<MB	100,0 %	NVD=MB	
	NVD/TB	NVD>TB	50,0 %	NVD<TB	16,7 %	NVD=TB	33,3 %
	MB/TB	MB>TB	100,0 %	MB<TB		MB=TB	

Le résultat NaN signifie que le test n'a pas pu être effectué. Cela est dû à la présence à 100 % de MB dans la plage de conservation de RH.

6.5. Analyse de la performance des bâtiments et groupes de bâtiments à vide vis-à-vis de la Zone de confort thermique pour les humains.

Pendant la campagne à vide lorsque l'on avance vers la saison humide le cycle de Température/Humidité relative s'éloigne de la Zone de confort thermique. Le bâtiment traditionnel et le moderne restent nettement plus longtemps dans la plage de températures de confort thermique. Cependant les variations de température sont nettement plus élevées dans le bâtiment traditionnel que dans les voûtes nubienues. Le taux d'humidité vis-à-vis de la plage d'humidité relative de confort thermique bon dans chaque bâtiment.



On peut dire que statistiquement pour ce qui est de la performance de la construction :

Vis-à-vis de l'écart avec la plage de confort de Températures :

MB > NVTT/NVD ; NVTT/NVD > TB ; NVTT > NVD

Vis-à-vis de l'écart avec la plage de confort d'humidité relative :

MB > NVTT/NVD ; NVD > TB ; NVD > NVTT

Vis-à-vis de l'écart avec la zone de confort thermique :

MB > NVTT/NVD > TB ; NVD et NVTT sont proches.

7. ÉVALUATION DE L'INFLUENCE DE LA VENTILATION PASSIVE ET ACTIVE SUR LES CONDITIONS INTÉRIEURES.

Les résultats obtenus avec la campagne 1 pendant la saison sèche froide confirment les résultats obtenus avec la campagne 2 pendant la saison sèche chaude. Le bâtiment en voûte nubienne triple épaisse est REPRESENTATIF des bâtiments en voûte nubienne.

Rappel sur les scénarios :

C2S1	Mesure à vide des silos de conservation de l'oignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants fermés/Jours et nuits
C2S2	Mesure à vide des silos de conservation de l'oignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts/Jours et nuits
C2S3	Mesure à vide des silos de conservation de l'oignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants fermés la journée/ouverts la nuit
C2S4a	Mesure à vide des silos de conservation de l'oignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée/ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant le jour
C2S4b	Mesure à vide des silos de conservation de l'oignon - Saison sèche chaude. Tous les ouvrants ouverts fermés la journée/ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant la nuit

7.1. Évaluation du comportement des données hygrométriques

Ci-dessous sont représentées les températures et les humidités relatives minimales, moyennes et maximales ainsi que l'amplitude moyenne des températures et des humidités relatives sur la période d'instrumentation.

		C2S1	C2S2	C2S3		C2S4a	C2S4b
Température sur la période	Maximale	38,1	38,1	36,8		38,7	38,2
	Minimale	26,7	28,1	27,5		29,5	31,7
	Moyenne	31,9	33,0	32,7		34,3	34,8
	amplitude maximale journalière (T max - T min)	8,9	9,1	7,7		7,1	6,0
	amplitude moyenne journalière (T max - T min)	6,3	6,2	5,0		5,0	4,4
Humidité relative sur la période	Maximale	0,50	0,37	0,36		0,48	0,54
	Minimale	0,08	0,09	0,09		0,10	0,12
	Moyenne	0,24	0,20	0,20		0,24	0,33
	amplitude maximale journalière (RH max - RH min)	0,34	0,24	0,24		0,36	0,32
	amplitude moyenne journalière (RH max - RH min)	0,23	0,19	0,20		0,21	0,23
+							-

Ces analyses permettent de mettre en évidence :

- Que la meilleure inertie thermique pour les ventilations passives est fournie par le modèle C2S3 qui est tous les ouvrants fermés la journée/ouverts la nuit.

- Que la meilleure inertie thermique pour les ventilations actives est fournie par le modèle C2S4b qui est tous les ouvrants ouverts fermés la journée/ouverts la nuit - avec ventilation mécanique pendant la nuit.

7.2. Évaluation du comportement des données hygrométriques vis-à-vis de la Zone de conservation des oignons.

KRUSKAL WALLIS

Avec les données de la voûte nubienne triple épaisse et extérieure

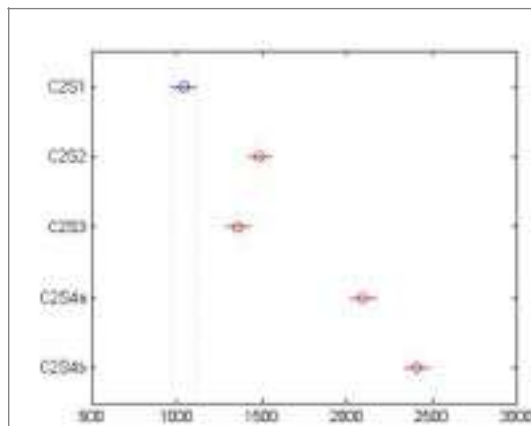


Figure 69 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs des Températures de la voûte nubienne triple épaisse (Campagne à vide, saison sèche chaude)

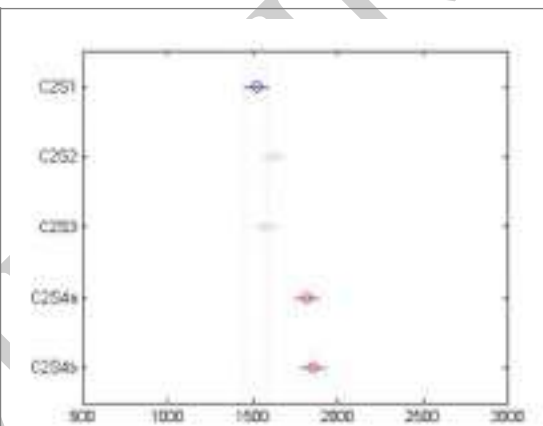


Figure 70 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs des Températures extérieures (Campagne à vide, saison sèche chaude)

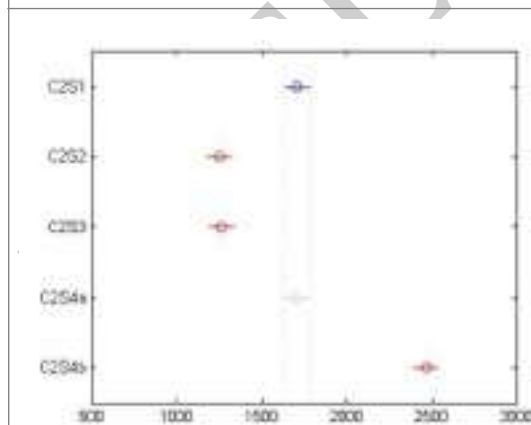


Figure 71 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs d'humidités relatives de la voûte nubienne triple épaisse (Campagne à vide, saison sèche chaude)

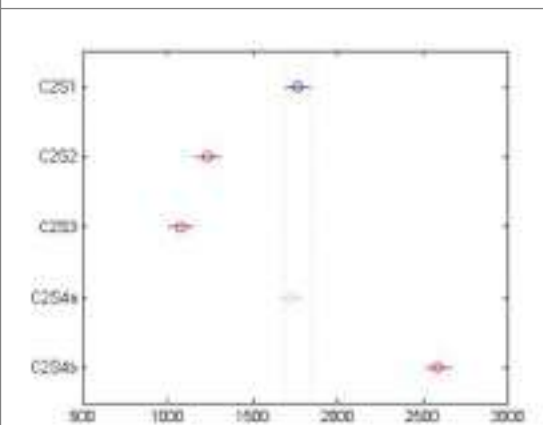


Figure 72 : Test Kruskal-Wallis pour les valeurs d'humidités relatives extérieures (Campagne à vide, saison sèche chaude)

Wilcoxon Rank Sum Test

Avec les données de la voûte nubienne triple épaisse

Tableau 30 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de températures

NVTT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0	0	0	0
C2S2			0.0410	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

Tableau 31 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données de températures

OUT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0.0367	0.2531	0	0
C2S2			0.4441	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0.5690
C2S4B					

Avec les données extérieures

Tableau 32 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidités relatives

NVTT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0	0	0.8083	0
C2S2			0.8617	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

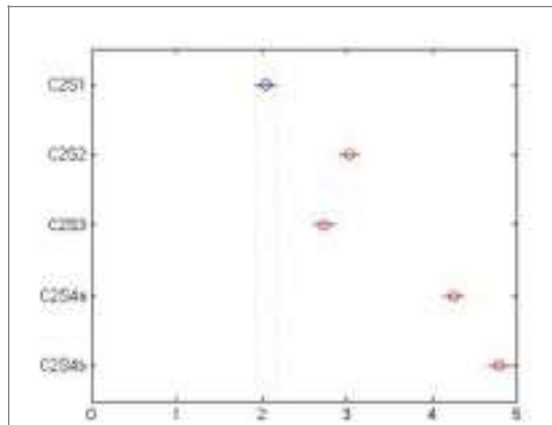
Tableau 33 : pValue avec le Wilcoxon Rank Sum Test avec les données d'humidités relatives

OUT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0	0	0.3270	0

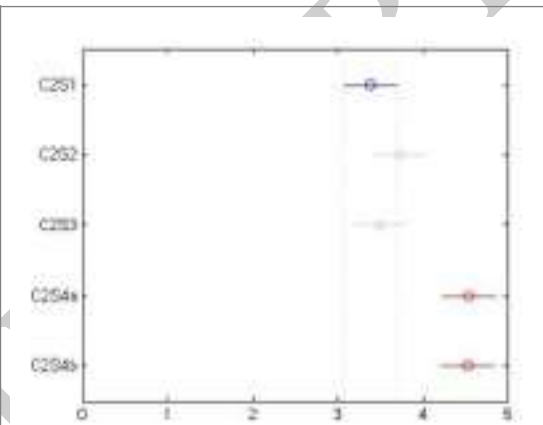
C2S2			0	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

ANOVA

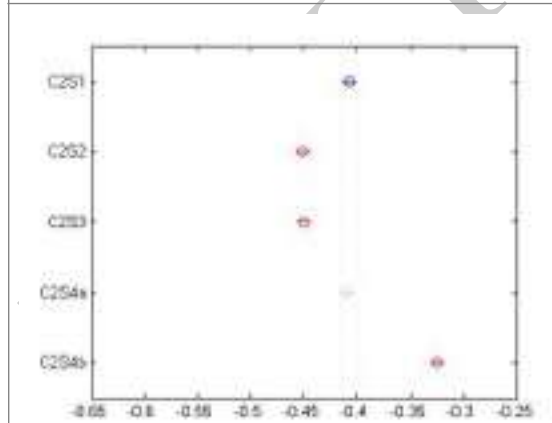
Avec les données de la voûte nubienne triple épaisse et extérieure



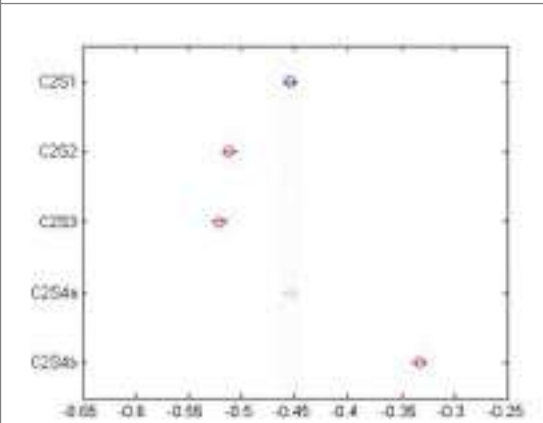
*Figure 73 : Test ANOVA pour les valeurs des
Températures de la voûte nubienne triple épaisse
(Campagne à vide, saison sèche chaude)*



*Figure 74 ;Test ANOVA pour les valeurs des
Températures extérieures (Campagne à vide, saison
sèche chaude)*



*Figure 75 : Test ANOVA pour les valeurs d'humidités
relatives de la voûte nubienne triple épaisse
(Campagne à vide, saison sèche chaude)*



*Figure 76 : Test ANOVA pour les valeurs d'humidités
relatives extérieures (Campagne à vide, saison sèche
chaude)*

Two Sample t-test

Avec les données de la voûte nubienne triple épaisse

Tableau 34 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de températures

NVTT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0	0	0	0
C2S2			0.0022	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

Tableau 35 : pValue avec Two Sample t-test avec les données de températures

OUT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0.1301	0.5854	0	0
C2S2			0.3205	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0.9857
C2S4B					

Avec les données extérieures

Tableau 36 : pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidités relatives

NVTT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
C2S1		0	0	0.5220	0
C2S2			0.8134	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

Tableau 37 : pValue avec Two Sample t-test avec les données d'humidités relatives

OUT	C2S1	C2S2	C2S3	C2S4A	C2S4B
-----	------	------	------	-------	-------

C2S1		0	0	0.9101	0
C2S2			0	0	0
C2S3				0	0
C2S4A					0
C2S4B					

PRELIMINAIRE

Les résultats indiquent que les ventilations passive et active n'influent pas sur les conditions d'humidité relative dans la voûte nubienne. Il semblerait que les conditions d'humidité relative à l'intérieur de la voûte nubienne soient calquées sur les conditions d'humidité relative à l'extérieur.

Cependant les résultats indiquent que **la ventilation passive et active influe sur les conditions de température dans la voûte nubienne.**



Les mesures de la température extérieure ne possèdent pas d'écart significatif pendant les trois semaines de test avec ventilation passive (C2S1, C2S2, C2S3). Cela nous permet de comparer les conditions de température dans la voûte nubienne pour ces trois scénarios différents. On trouve ainsi que : $C2S1 > C2S3 > C2S2$.

Il serait donc préférable de laisser tous les ouvrants fermés/Jours et nuits.

De même les mesures de la température extérieure ne possèdent pas d'écart significatif pendant les deux semaines de test avec ventilation active (C2S4a, C2S4b). Cela nous permet de comparer les conditions de température dans la voûte nubienne pour ces deux scénarios différents. On trouve ainsi que : $C2S4a > C2S4b$.

Il serait donc plus préférable de laisser la ventilation mécanique pendant le jour plutôt que pendant la nuit.

L'écart entre les mesures de la température extérieure avec ventilation passive et celui avec ventilation active est très inférieur à l'écart entre les mesures de la température dans la voûte nubienne avec ventilation passive et celui avec ventilation active. On peut ainsi dire qu'il est préférable d'utiliser une ventilation passive plutôt que mécanique.

Attention : Ces résultats prennent uniquement en compte les données hygrométriques. Ces résultats nous indiquent qu'une ventilation plus ou moins forte augmente la température intérieure et par conséquent l'écart avec la Zone de conservation des oignons telle qu'on l'a définie. La définition de notre zone de conservation des oignons ne prend pas en compte l'importance de la ventilation pendant le stockage des oignons.

8. COMPARAISON DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE ET EN CHARGE

Dans le cadre de notre étude les mesures à vide et les mesures en charge se déroulent sur différentes périodes.

Ainsi les paramètres extérieurs diffèrent entre les mesures en charge et celles à vide.

Différentes études ont été réalisées, mais elles n'ont pas été fructueuses du fait de la forte influence des paramètres extérieurs sur les conditions intérieures de la voûte nubienne.

Il faudra par la suite réaliser une campagne de mesures à vide et une en charge en simultané pour pouvoir établir des conclusions crédibles sur la comparaison entre les mesures dans les bâtiments à vide et en charge.

L'influence de la présence des oignons sur les conditions hygrométriques à l'intérieure des bâtiments n'a donc pas pu être démontré. Ainsi l'étude pour le confort thermique des humains n'a pas pu être réalisée sur la période en charge.

9. CONSERVATION DES OIGNONS

Ici sont représentées les taux de pertes et de déshydratation des 5 filets de 8 oignons placés dans les différents bâtiments instrumentés après avoir été conservé pendant 3 mois de mai à juillet.

9.1. Évaluation du taux de pertes d'oignons

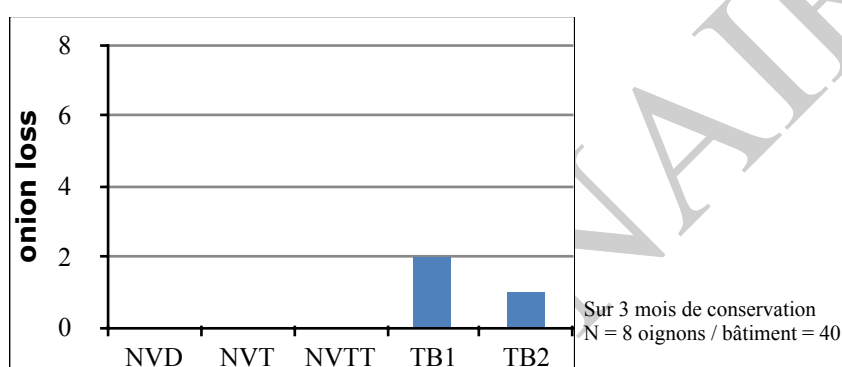


Figure 78 : Nombre d'oignon pourri dans un filet de 8 oignons après une conservation de 3 mois dans les différents bâtiments instrumentés

Le taux de pertes d'oignons par pourrissement est nul dans les échantillons d'oignons placés dans les différentes voûtes nubiennes alors que celui-ci est à une moyenne de 19% dans les bâtiments traditionnels instrumentés.

9.2. Évaluation du taux de déshydratation des oignons

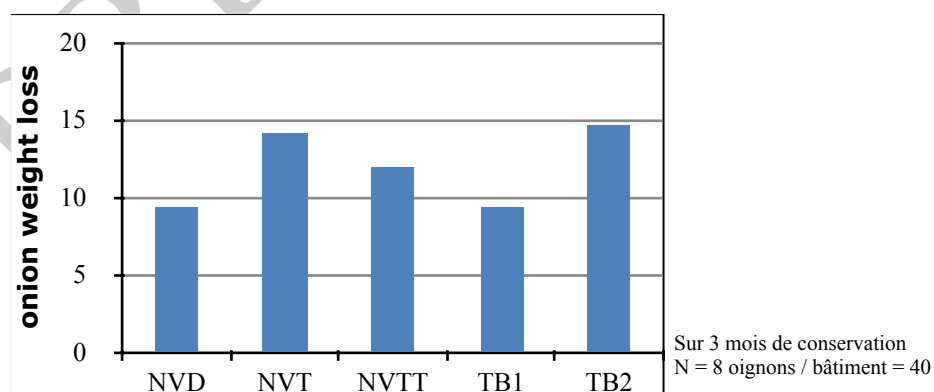


Figure 79 : Taux de perte de poids des oignons dans un filet de 8 oignons après une conservation de 3 mois dans les différents bâtiments instrumentés

Le taux de déshydratation des oignons est aux alentours de 11% dans tous les bâtiments instrumentés.

10. ANALYSE ÉCONOMIQUE PAR BÂTIMENT

10.1. Chiffrage des coûts dans chaque voûte nubienne

Les tableaux 38 et 39 présentent un chiffrage approximatif de la construction des bâtiments en voûte nubiennes réalisés par l'édition 2013 du GCIUS.

Tableau 38: Chiffrage approximatif pour la construction des bâtiments en Voûtes nubiennes (Francs CFA)

	TOTAL	VND	VNT	VNTT
Matériaux et gros œuvre	6 302 600	800 430	2 357 172	3 144 998
Chapes et crépissages	1 891 750	240 252	707 514	943 984
Ouvertures	900 850	126 120	387 365	387 365
Ventilation	566 000	0	283 000	283 000
Étagères	5 982 750	717 930	2 632 410	2 632 410
Main d'œuvre	4 398 750	558 641	1 645 132	2 194 977

Coût avec Main d'œuvre	20 042 700	2 443 373	8 012 593	9 586 734
Coût ∅ Main d'œuvre	15 643 950	1 884 732	6 367 461	7 391 757

Tableau 39 : Chiffrage approximatif pour la construction des bâtiments en Voûtes nubiennes (CAD)

	TOTAL	VND	VNT	VNTT
Matériaux et gros œuvre	13 551	1 721	5 068	6 762
Chapes et crépissages	4 067	517	1 521	2 030
Ouvertures	1 937	271	833	833
Ventilation	1 217	0	608	608

Étagères	12 863	1 544	5 660	5 660
Main d'œuvre	9 457	1 201	3 537	4 719

Coût avec Main d'œuvre	43 092	5 253	17 227	20 611
Coût $\varnothing$ Main d'œuvre	33 634	4 052	13 690	15 892

10.2. Répartition des coûts dans chaque voûte nubienne

Les figures 80, 81 et 82 représentent par répartitions des coûts de chaque bâtiment en voûte nubienne réalisés par l'édition 2013 du GCIUS.



Figure 80 : Répartition des coûts pour la VN double



Figure 81: Répartition des coûts pour la VN Triple

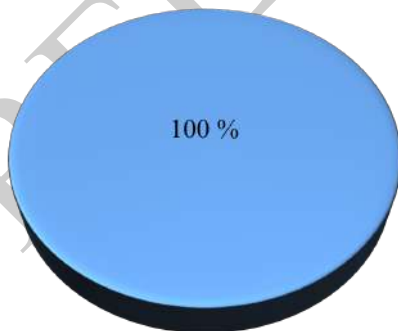


Figure 82 : Répartition des coûts pour la VN Triple Épaisse

10.3. Comparaison des coûts dans chaque bâtiment de conservation de l'oignon

Cette étude met en évidence le prix de construction de différents silos de conservation de l'oignon pour un même tonnage.

Silos de conservation	En Voûte Nubienne			En paille type RUDU	En banco avec toiture paille	En banco type RESEDA	Modernes en toiture en paille	Moderne en toiture en tôle
Illustration								
	 Modèle 1	 Modèle 2	 Modèle 3					
Stockage	Individuel	Collectif	Collectif	Individuel	Individuel	Individuel ou collectif	Individuel ou collectif	Collectif
Période de stockage (mois)	3	4 à 5	4 à 5	3	2 à 3	4	5	5
Capacité de stockage (tonnes)	7	27	27	1,5	15	13	13	15
Prix (FCFA)	1 884 732	6 367 461	7 391 757	50 000	300 000	1 500 000	3 300 000	5 000 000
Prix (CAD)	4 052	13 800	15 892	108	645	3 225	7 005	10 750
Prix pour une tonne de stockage (FCFA)	269247	235832	273769	33333	20000	125000	275000	333333
Rapport du prix pour une tonne de stockage par rapport au modèle VN2	1,2	1,0	1,2	0,1	0,1	0,6	1,2	1,5

Figure 83: Comparaison des coûts dans chaque bâtiment de conservation de l'oignon

Notre étude économique est réalisée sur les prix de constructions. Il serait recommandable d'étudier le cout d'amortissement des chaque bâtiments en tenant compte des coûts d'entretiens et de réparations. En effet vis-à-vis des bâtiments de type RUDU ou BANCO, deux types de bâtiments traditionnels de base, le prix de construction d'un silo de conservation en voute nubienne est plus élevé pour la 1^{ère} année. Cependant, des réparations fréquentes sont nécessaires presque chaque année pour les bâtiments traditionnels. En peu de temps, les bâtiments en voûte nubienne deviennent économiquement rentables.

11. QUESTIONS DE RECHERCHE ET SOMMAIRE DES RÉPONSES

L'étude de l'instrumentation fournit une multitude de renseignements pratiques et chiffrés. Faisons ressortir l'essentiel.

Est-ce que les voûtes nubiennes permettent une meilleure conservation des oignons comparativement à une construction traditionnelle ou moderne?

Contrairement aux attentes initiales, il a été constaté que les voûtes nubiennes ne représentent pas nécessairement une meilleure option d'entreposage pour la conservation comparativement aux bâtiments traditionnels. Dans toutes les situations le bâtiment moderne étudié est plus performant que les différentes voûtes nubiennes, c'est-à-dire qu'il offre un meilleur confort thermique pour les oignons et son inertie thermique est plus élevée. En observant l'écart avec la zone de conservation des oignons on remarque que lorsque les silos sont pleins d'oignons en saison humide chaude, les bâtiments traditionnels sont plus performants que les différentes voûtes nubiennes.

Malgré ce qui précède, l'analyse statistique montre que les différences entre les différents bâtiments en ce qui a trait à l'écart par rapport à la zone de confort thermique pour les oignons sont relativement petits, le plus élevé étant de $1,5^{\circ}$. Plus précisément en campagne en charge, au pire moment, soit quand les écarts sont les plus élevées, l'écart moyen de température entre les voûtes et la zone de confort est de l'ordre de $3,5^{\circ}\text{C}$, alors que l'écart entre le bâtiment moderne et la zone de confort est de $2,5^{\circ}\text{C}$. En même temps, l'écart dans le cas des bâtiments traditionnels est de 3°C . En ce qui a trait à l'humidité relative, ces écarts sont encore plus petits. Seul le bâtiment moderne étudié se démarque avec une humidité relative plus élevée (donc plus proche de la zone idéale de conservation), possiblement dû au fait de l'emplacement de sa fondation sous le niveau du sol (permettant plus de fraîcheur).

On pourrait analyser les performances aussi sous le prisme de l'inertie thermique des bâtiments. Les résultats chiffrés permettent de constater que la voûte nubienne triple épaisse conduit à une diminution jusqu'à 5°C de l'amplitude maximale journalière par rapport à celle au bâtiment traditionnel, dont l'amplitude - calquée sur la température extérieure - est beaucoup plus grande. Les seuils de maxima de température des voûtes nubiennes sont inférieurs à celui du bâtiment traditionnel et les seuils minima de température sont supérieurs. Les valeurs de températures dans les bâtiments en voûtes nubiennes sont donc beaucoup plus constantes que celles dans les constructions traditionnelles, mais il fait plus chaud en moyenne dans les voûtes. Le fait de ne pas subir de grandes variations pourrait résulter en une meilleure conservation des oignons (si l'hypothèse posée précédemment s'avère, soit qu'une inertie thermique plus élevée favorise aussi la conservation des oignons). Une fois encore, ce qui précède n'a été que partiellement vérifié.

Est-ce qu'il y a des différences importantes entre les divers types de voûtes nubiennes?

Du seul point de vue de l'étude statistique sur les écarts avec la zone de confort pour les oignons (bâtiments en charge), on pourrait arriver à la conclusion qu'un type de voûte serait préférable à une autre (à cause de la ventilation, de l'épaisseur du mur, etc.). Néanmoins, tel qu'indiqué à la Figure 2, les écarts de température sont, en valeurs absolus, minimales (écarts moyen de l'ordre de 0,5° C). Le même constat s'applique aux valeurs d'humidité relative (écarts inférieurs à 2 % ; Figure 2).

Il en ressort ainsi que, du point de vue pratique, aucun type de voûte ne se démarque par rapport à une autre. Cette analyse se limite à la comparaison des voûtes entre elles.

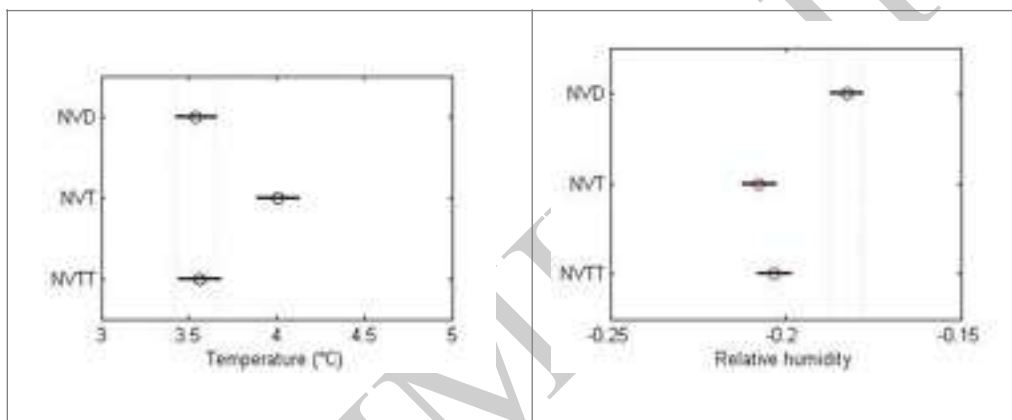


Figure 2 Test ANOVA sur les écarts de température et d'humidité entre les valeurs obtenues à l'intérieur des bâtiments et les celles qui définissent les zones de confort thermique pour la conservation des oignons – Campagne en charge, saison humide chaude

Est-ce que les oignons qui sont conservés dans une construction en voûte nubienne sont de meilleure qualité que ceux conservés dans une construction conventionnelle?

À propos des échantillons d'oignons qui ont été placés dans les 5 bâtiments instrumentés de mai à juillet on observe que :

- Le taux de pertes d'oignons par pourrissement est nul pour ceux placés dans les voûtes nubiennes, alors que ce taux est en moyenne de 19% dans les bâtiments traditionnels instrumentés.
- Le taux de déshydratation (associé à la perte de poids) des oignons se situe aux alentours de 11% dans tous les bâtiments instrumentés.

La Voûte nubienne présente-t-elle un meilleur confort thermique qu'une construction conventionnelle traditionnelle, en ce qui concerne l'habitat pour les humains ?

Tel que mentionné précédemment, l'inertie thermique des bâtiments en voûtes nubiennes est supérieure à celle des bâtiments traditionnels et est proche de l'inertie thermique procurée par

le bâtiment moderne. Basé sur les écarts avec la zone de confort thermique pour les humains, l'analyse du critère de confort thermique montre que les voûtes nubiennes offrent un meilleur confort thermique que les bâtiments traditionnels étudiés. Le bâtiment moderne offre un confort thermique égal, sinon supérieur, aux voûtes nubiennes. Ces conclusions sont basées sur l'analyse de données en période sèche seulement. La base de données en période chaude et humide n'est valable que pour des bâtiments remplis d'oignons.

Est-ce que l'utilisation des voûtes nubiennes serait économiquement rentable par rapport aux autres silos de conservation d'oignons analysés?

Parmi les trois modèles de voûtes nubiennes, la voûte nubienne triple est la plus économiquement rentable. Le prix de construction d'un espace de stockage par tonne d'oignons stockés est 20 % plus bas que celui des autres voûtes. Quoiqu'il y ait une amélioration de température statistiquement significative en tout temps si on construit avec des voûtes nubiennes triples avec des murs plus épais, plutôt que des voûtes à épaisseur standard, ces différences sont à toutes fins pratiques, minimales. Il en ressort qu'il n'y a pas d'avantage à construire avec des murs plus épais, car le coût de construction augmente.

Si les bâtiments moderne et traditionnel peuvent surpasser ou rivaliser avec la technique des voûtes nubiennes vis-à-vis des conditions de conservation de l'oignon, il en va autrement pour ce qui est du coût de construction. Le coût de construction d'un bâtiment moderne ou traditionnel se situe entre 20 à 50 % de plus pour un même tonnage stocké. De plus presque le tiers du coût des voûtes peut être attribué aux étagères de très haute qualité qui y ont été installées. Il en résulte que, si on compare seulement le coût des bâtiments, l'écart en faveur des voûtes devient encore plus significatif.

Les analyses qui précèdent tiennent compte seulement des coûts de construction pour les bâtiments moderne et traditionnel analysés. On ne peut pas extrapoler les conclusions à tous les types de silos de conservation d'oignons. De plus, on ne tient pas compte des structures de financement, de la facilité pour les agriculteurs à s'organiser en coopérative, etc. Ainsi, pour un agriculteur seul, la construction d'une voûte double peut constituer une bonne option.

Ce qui précède étant dit, les coûts de construction associés à des bâtiments de type RUDO ou BANCO, deux types de bâtiments traditionnels plus rudimentaires que ceux instrumentés, sont environ 10 fois plus faibles que le prix de construction d'un silo de conservation en voûte nubienne. Cependant, des réparations fréquentes sont nécessaires presque à chaque année pour les bâtiments RUDO et BANCO. De plus, selon les sources consultées, les pertes d'oignon y sont très importantes (minimum de 30%). Il est donc possible d'argumenter – du point de vue purement économique – qu'en peu de temps, les bâtiments en voûtes nubiennes pourraient devenir plus attrayants que les types de silos de stockage les plus rudimentaires.

Les observations ci-dessus ne tiennent pas compte des difficultés de financement des agriculteurs de la région sous-sahélienne.

12. LIMITATIONS DE L'ÉTUDE

Malgré le fait que cette étude ait été réalisée avec une base de données de température et d'humidité relative considérable, elle comporte des limitations importantes, notamment les suivantes:

- Représentativité des bâtiments testés :
 - Même si les bâtiments étudiés représentent bien une réalité tangible, il n'en demeure que le nombre de bâtiments était plutôt limité. Deux types de bâtiments très courants, à savoir BANCO et RUDO, n'ont pas été évalués.
 - Le bâtiment moderne est enterré et cela lui permet de maintenir une humidité relative interne plus élevée, ce qui favorise la fraîcheur et donc introduit un biais dans l'analyse. Il ne peut être assuré que les bâtiments modernes soient tous construits de cette façon. Si le biais positif n'y était pas, le bâtiment moderne ne serait peut-être pas aussi performant comparativement aux autres bâtiments.
- Représentativité des campagnes et des lieux d'instrumentation:
 - Les campagnes se sont déroulées sur une seule année, ce qui ne permet pas d'assurer la répétabilité dans le temps des résultats.
 - Les mesures ont été réalisées sur trois sites distincts ayant des petits écarts de température entre eux.
- Période d'observation :
 - Les mesures réalisées pour étudier l'influence de certains paramètres de conservation des oignons ont été faites à vide (sans oignon) et non en charge. Cela empêche, par exemple, d'évaluer de façon adéquate l'influence de la ventilation sur la conservation.
 - Les mesures réalisées pour étudier le confort thermique pour les humains (voûtes vides) ont été faites en saison sèche seulement.
- Étude des pertes :
 - L'étude des pertes a été réalisée sur des échantillons de 8 oignons placés dans chacun des 5 bâtiments, pour un total de 40 oignons ; donc un échantillon limité.
- Étude économique :
 - L'étude économique est basée surtout sur les prix de construction, alors qu'une analyse approfondie devrait inclure aussi le coût d'amortissement, d'entretien et de réparation de chaque bâtiment, ainsi que des conditions socio-économiques et financières particulières (disponibilité de crédit, capacité de gestion économique, etc.).
 - Certaines particularités peuvent causer des biais, comme la fondation excavée du bâtiment moderne (meilleure humidité et plus de fraîcheur, mais coût de construction plus élevé) et les étagères dans les voûtes (1/3 du prix global de chaque bâtiment de type voûte nubienne; mais une conservation améliorée).

13. RECOMMANDATIONS

Afin de mieux cerner les gains potentiels d'utiliser un type de bâtiment plutôt qu'un autre, il serait judicieux d'étudier le comportement d'une même récolte stockée dans les différents bâtiments. Cela permettrait d'étudier l'impact des conditions hygrométriques sur le taux de déshydratation et de perte des oignons. Idéalement, une étude de plusieurs récoltes consécutives donnerait des résultats encore plus probants.

Pendant la saison sèche, le taux d'humidité dans les voûtes nubiennes est très faible. Il serait judicieux d'étudier des techniques artisanales – peu coûteuses - d'élévation du taux d'humidité, comme l'ajout de seaux d'eau dans la pièce.

Enfin, il serait opportun aussi de recueillir l'avis des agriculteurs sur l'utilisation potentielle des voûtes nubiennes. Des considérations sur le crédit (difficile à obtenir) doivent être incluses dans une telle étude.

14. CONCLUSION

Les voûtes nubiennes offrent des conditions de conservation au moins semblables à celles des bâtiments traditionnels. De plus, l'analyse économique préliminaire effectuée montre que le coût de construction par tonne d'oignon stocké est moins élevé pour les voûtes nubiennes, comparativement aux bâtiments traditionnel ou moderne. Il faut considérer aussi les avantages écologiques potentiels de la construction de la voûte nubienne, dont le principal matériau de construction est la terre. Malgré les limitations de la présente étude, il est possible de conclure que la technique de la voûte nubienne est une option de bâtiment qui doit être considérée sérieusement pour la conservation des oignons en Afrique de l'Ouest.

15. BIBLIOGRAPHIE

[1] Bruno JARNO, « Projet pilote de construction et diffusion de silos de conservation de l'oignon avec la technique des voûtes nubienne », Document Projet, TONO CONSEILS (2013), 29 pages

[2] Félix Antoine LANGLOIS, « Document descriptif de l'instrumentation des silos de conservation en voûtes nubiennes et traditionnelles », GCIUS (2013), 21 pages

[3] M MESSIAEN & A ROUAMBA, « Allium Ceba », Ressource végétale de l'Afrique tropicale 2, PROTA Légumes (2004), 736 pages

[4] Wyss URS, « Indicateurs de confort dans la technique de la voûte nubienne », EPFL (2007), 34 pages

Autres lectures :

Madiana HAZOUME, « confort thermique des bâtiments en voûte nubienne », ICAM Nantes (2013), 38 pages

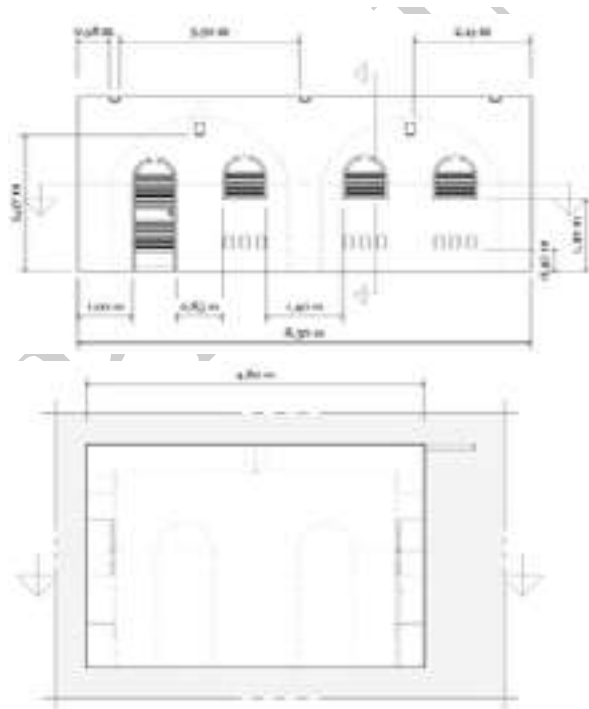
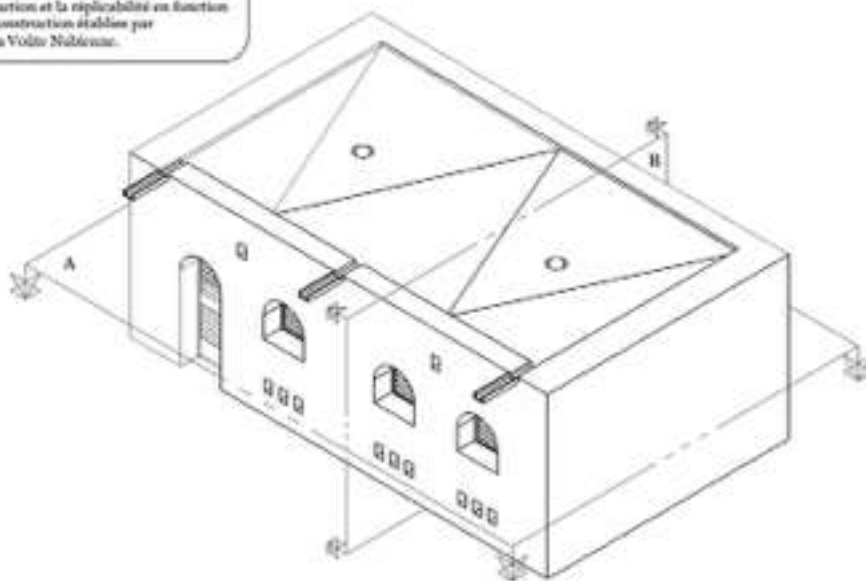
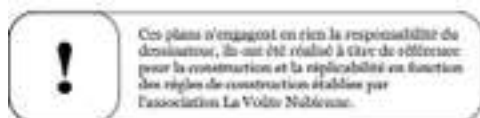
La Voûte Nubienne, « Un habitat bas carbone », Plaquette C02 (2015), 7 pages

Bruno JARNO, « Étude portant sur la technologie Voûte nubienne comme modèle de construction », rapport final GEF, TONO CONSEILS (2015), 182 pages

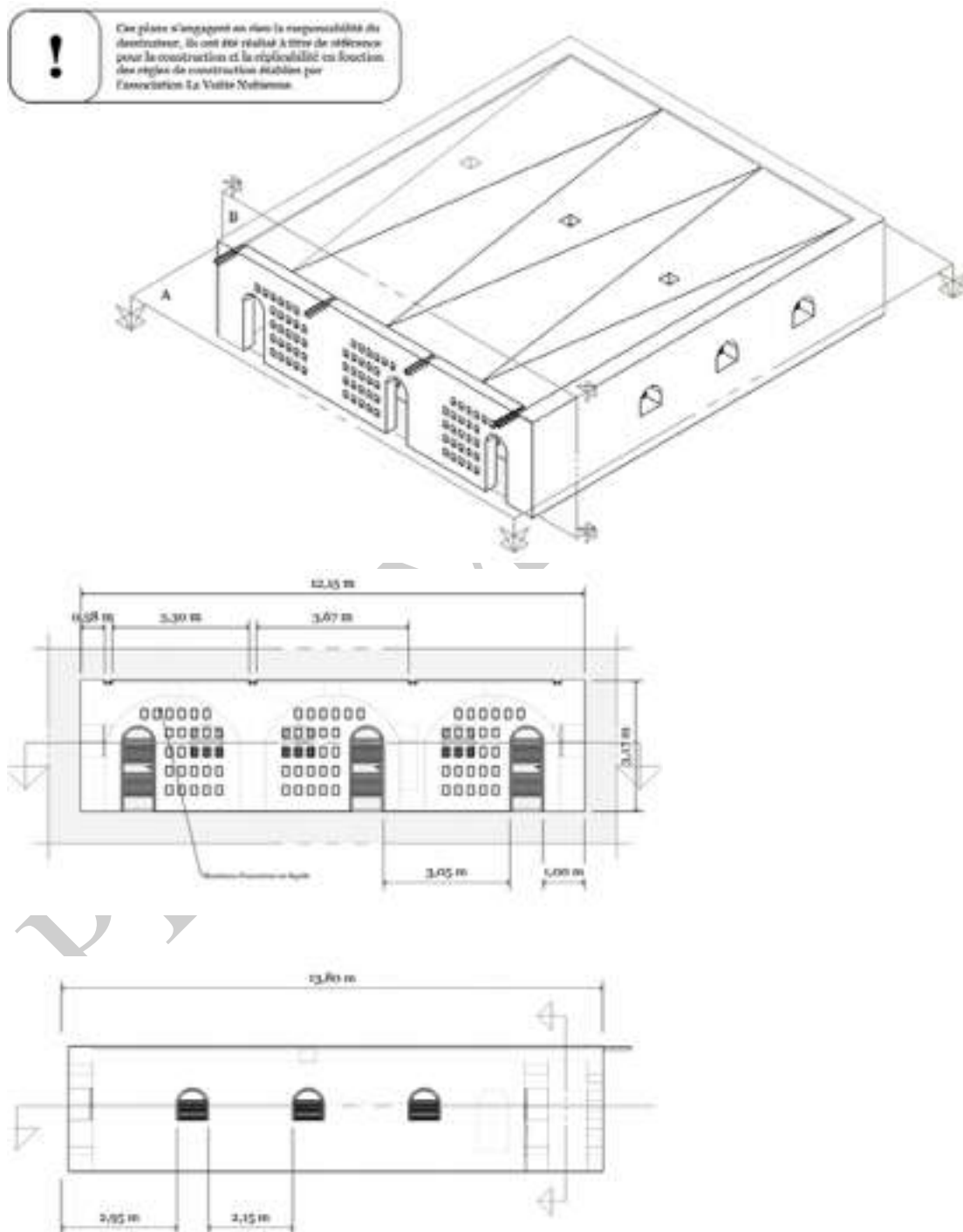
Bruno JARNO, « Projet pilote de construction et diffusion de silos de conservation de l'oignon avec la technique des voûtes nubienne », Conception des silos de conservation en voûtes nubiennes, TONO CONSEILS (2013), 57 pages

Félix Antoine LANGLOIS, « Rapport de l'instrumentation des silos de conservation en voûtes nubiennes et traditionnelles », GCIUS (2013), 21 pages

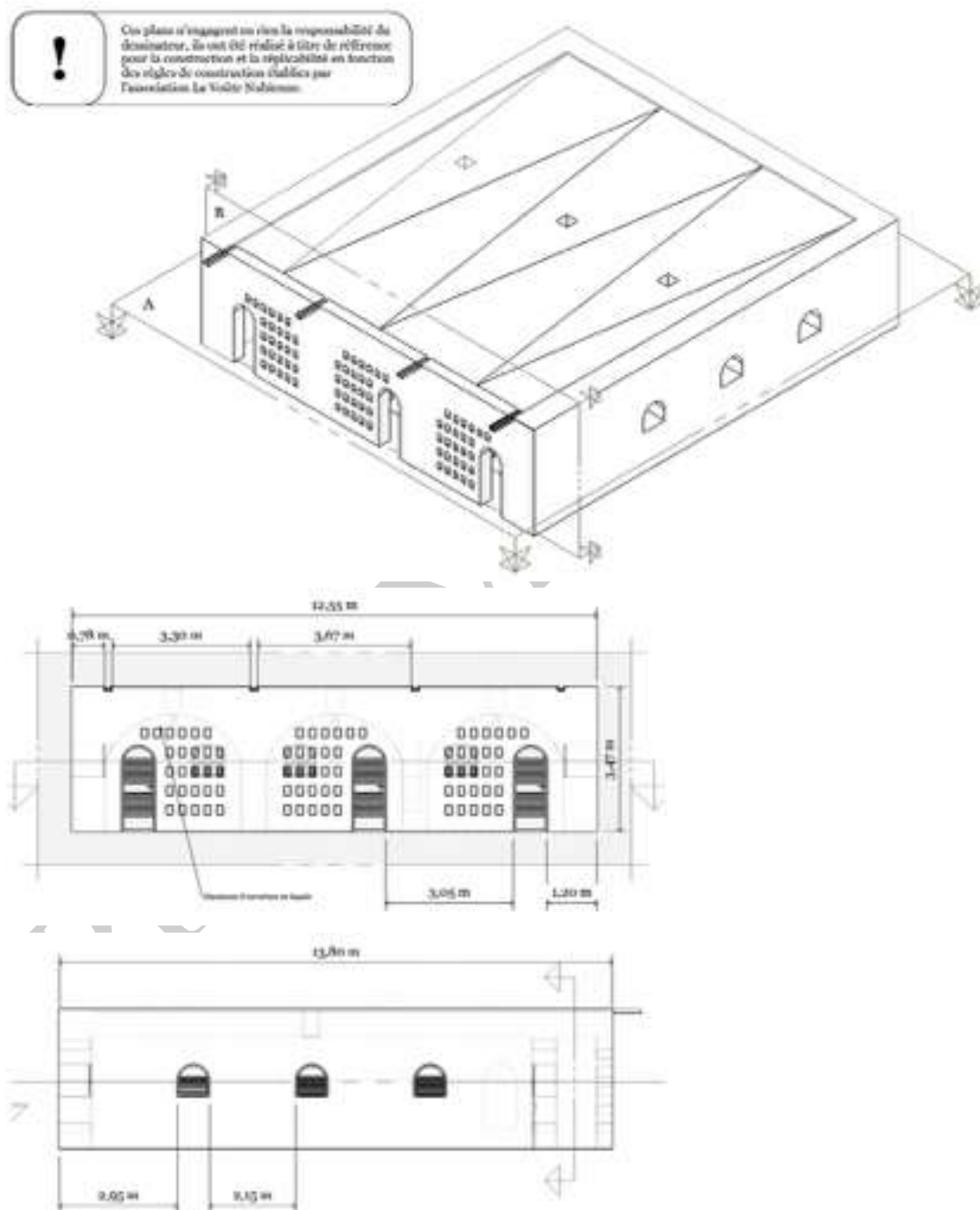
ANNEXE A : PLAN VOÛTE NUBIENNE 1



ANNEXE B : PLAN VOÛTE NUBIENNE 2

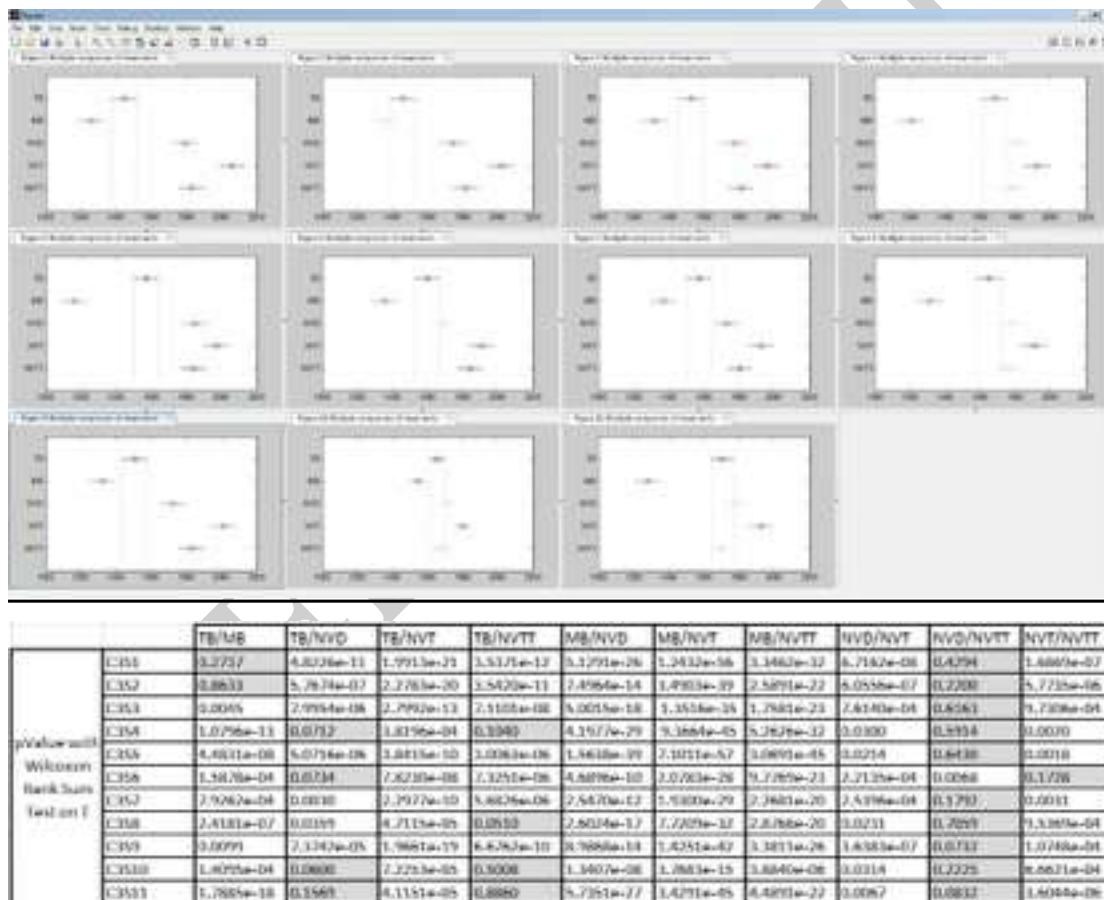


ANNEXE C : PLAN VOÛTE NUBIENNE 3

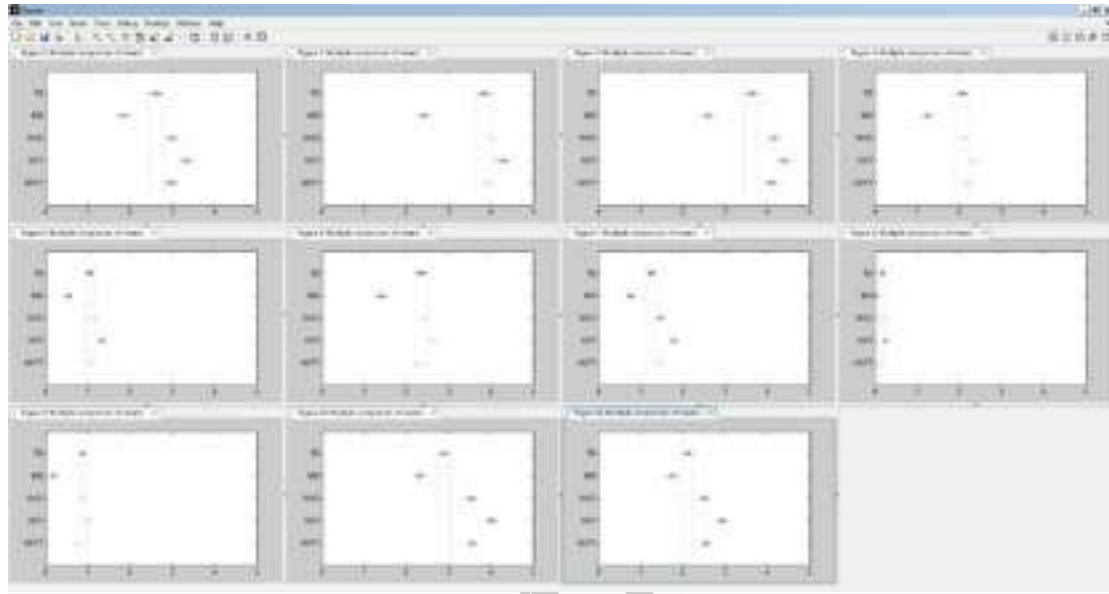


ANNEXE D : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES BÂTIMENTS EN CHARGE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONSERVATION HYGROMÉTRIQUE POUR LES OIGNONS

Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour T

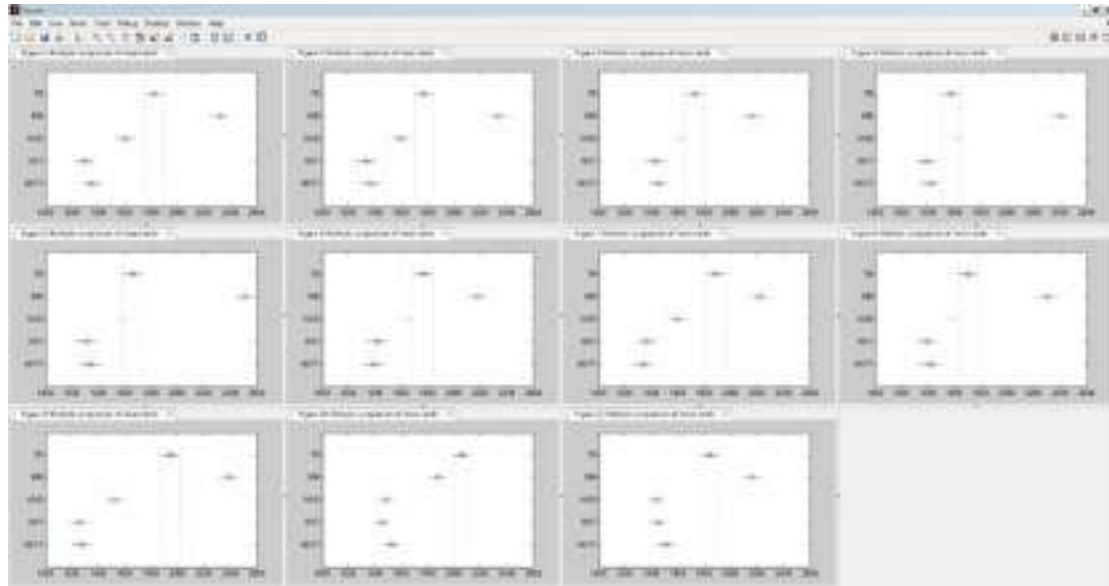


ANOVA et T-test pour T



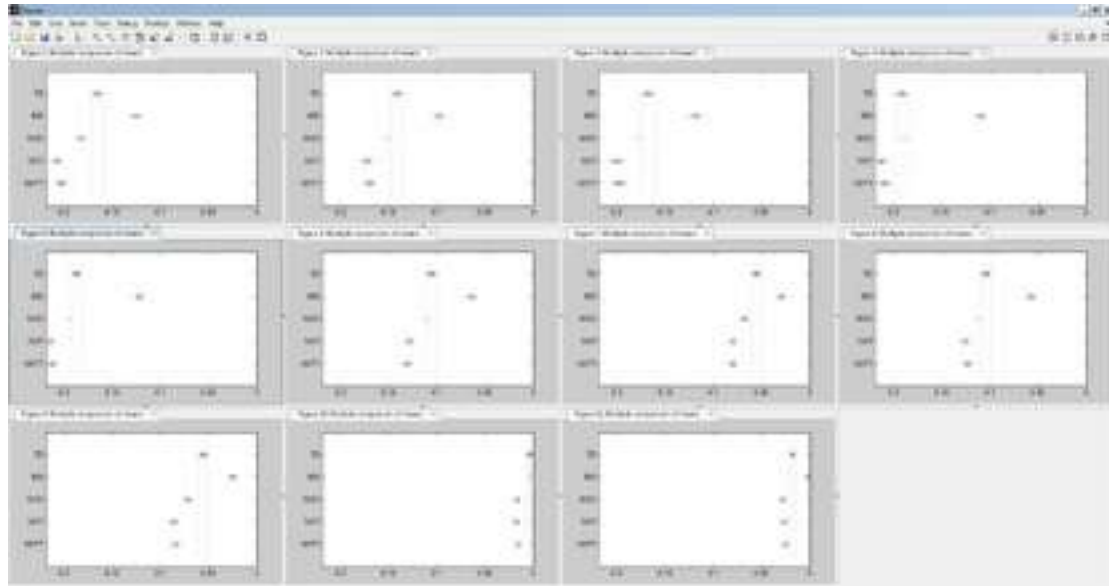
		TE/MB	TE/NVD	TE/NVT	TE/NVTT	MB/NVD	MB/NVT	MB/NVTT	NVD/NVT	NVD/NVTT	NVT/NVTT
pValue with Two Sample t-test on T	C151	1.1272e-06	7.5711e-07	6.8331e-19	9.8751e-06	2.9167e-18	2.8991e-21	7.4397e-01	6.0171e-06	0.8472	2.9911e-06
	C152	2.5479e-04	5.1558e-04	1.4401e-13	4.7247e-05	6.3711e-17	1.7381e-40	1.5308e-21	1.5890e-05	0.8323	5.3772e-05
	C153	1.9623e-09	0.0579	2.3481e-07	0.0500	9.0471e-22	2.5629e-16	6.8060e-24	0.0064	0.8168	0.0022
	C154	4.8848e-14	0.2812	0.0025	0.8056	1.0760e-17	6.8567e-55	5.1099e-01	0.0159	0.4503	0.0021
	C155	5.8036e-16	1.7716e-04	7.7298e-09	7.9676e-04	2.2918e-47	1.0751e-67	2.7832e-53	0.0274	0.5907	0.0026
	C156	7.7684e-14	0.7944	0.0318	0.3125	1.0130e-17	1.8542e-31	4.8898e-25	0.0445	0.4328	0.3788
	C157	4.7781e-13	0.2964	5.8809e-04	0.7283	1.8354e-17	5.5497e-35	7.7891e-20	6.3736	0.3236	1.7542e-04
	C158	1.0252e-10	0.4480	0.0106	0.4999	5.7192e-25	1.4987e-16	1.1362e-22	0.0999	0.1099	4.7580e-04
	C159	1.4847e-10	0.0166	1.5341e-09	0.0120	2.2935e-21	2.4335e-45	1.7618e-26	2.4415e-04	0.9189	1.8868e-05
	C1510	6.8567e-11	0.3625	0.0101	0.8110	2.2013e-13	6.1757e-20	1.1500e-10	0.1014	0.0768	4.3457e-04
	C1511	2.1270e-16	0.6299	0.0296	0.0273	6.8844e-42	2.5554e-56	1.9090e-33	0.0830	0.0091	2.9481e-06

Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour RH



		TB/MB	TB/NVD	TB/NVT	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVT	MB/NVTT	NVD/NVT	NVD/NVTT	NVT/NVTT
p-value with Wilcoxon Rank Sum Test on RH	C151	1.8172e-14	5.5512e-05	3.5245e-15	1.8613e-16	8.0923e-06	2.0281e-02	4.8684e-00	1.2472e-09	1.5000e-07	9.2074
	C152	2.5790e-20	0.0073	4.0174e-14	2.8171e-12	2.5213e-08	2.2279e-03	2.4035e-79	9.2840e-08	4.1679e-06	0.3556
	C153	1.8514e-12	0.0705	4.4900e-02	3.0314e-06	9.4231e-27	4.2407e-46	1.9642e-04	1.0214e-04	4.5207e-04	0.6229
	C154	2.3657e-47	0.1384	0.0029	0.0210	1.2031e-56	1.8155e-82	1.2471e-81	1.5897e-08	6.1105e-05	0.4085
	C155	1.4700e-46	0.2252	2.8491e-09	1.2239e-02	1.1424e-29	1.5740e-152	4.1217e-114	1.2242e-08	4.1886e-07	0.4088
	C156	1.8035e-10	0.0112	2.5311e-09	1.1347e-10	4.3572e-23	4.6911e-52	2.4126e-55	2.6403e-05	1.6591e-06	0.5494
	C157	2.0178e-07	1.0350e-08	1.0307e-20	1.4497e-23	2.5645e-11	1.0076e-63	1.1888e-30	1.2000e-09	1.3185e-06	0.2561
	C158	2.0991e-22	0.0105	2.2681e-02	2.1026e-06	2.4202e-43	4.3188e-85	2.8140e-69	2.1364e-04	0.0018	0.6575
	C159	6.7688e-18	1.7102e-15	2.2168e-14	4.8819e-14	2.5067e-64	1.1775e-103	1.2945e-110	2.0063e-07	1.3567e-06	0.3967
	C1510	1.1217e-09	1.6490e-12	1.1241e-14	2.4307e-29	4.0943e-28	2.7047e-12	1.6440e-13	0.4265	0.2909	0.0722
	C1511	1.1775e-07	1.1617e-13	1.1522e-12	1.2785e-10	1.6238e-69	2.5803e-49	5.9312e-81	0.6795	0.1298	0.2721

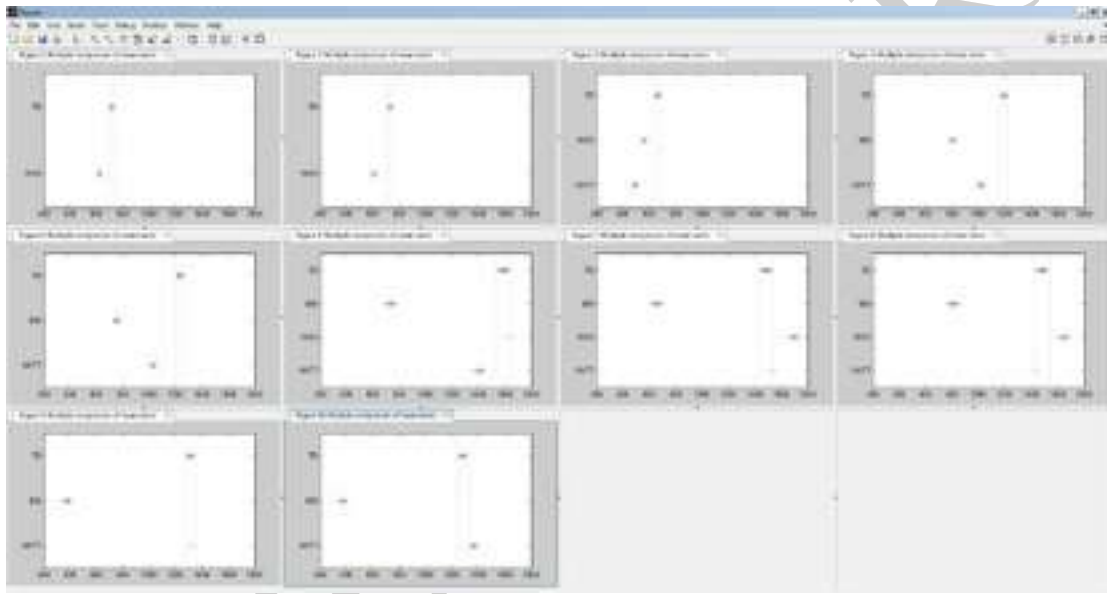
ANOVA et T-test pour RH



		RH/MB	RH/NV1	RH/NV2	RH/NV3	RH/NV4	RH/NV5	RH/NV6	RH/NV7	RH/NV8	RH/NV9	RH/NV10	RH/NV11
p-value with Two Sample t test on RH	C851	5.0092e-20	2.8886e-04	4.9041e-18	7.3891e-15	9.1779e-04	3.0101e-90	4.1257e-90	7.4179e-20	1.5941e-07	0.2731		
	C852	9.1119e-11	0.0030	4.0004e-11	1.5939e-09	8.7497e-43	9.7737e-76	5.4913e-73	1.1517e-07	7.8005e-06	0.4766		
	C853	7.9405e-17	0.1280	2.1034e-07	1.2700e-06	9.7438e-29	4.9140e-52	1.1907e-50	1.1041e-05	1.0001e-04	0.6731		
	C854	2.1252e-02	0.0034	1.4481e-04	0.0012	4.7174e-07	4.1535e-103	6.2870e-102	1.4157e-06	2.3926e-02	0.4840		
	C855	2.1299e-01	0.1097	6.9840e-11	1.1241e-09	1.1208e-89	4.2079e-133	6.5804e-133	1.0349e-09	2.3217e-04	0.5117		
	C856	1.4442e-11	0.2748	1.7005e-06	2.1125e-07	2.8741e-31	1.7915e-58	9.2033e-02	1.2939e-04	1.2000e-02	0.5087		
	C857	2.6715e-17	8.4005e-04	1.3216e-11	5.0483e-12	9.4464e-37	4.8813e-68	3.1004e-66	4.9284e-04	3.1701e-04	0.9518		
	C858	4.4717e-35	0.0087	4.2015e-07	3.7944e-06	4.7489e-33	7.0070e-88	2.7909e-81	7.1912e-04	0.0048	0.3586		
	C859	1.9070e-12	1.1504e-02	1.3401e-10	2.7709e-13	1.4038e-57	9.1117e-94	3.3004e-93	2.2099e-02	1.7222e-04	0.9638		
	C8510	0.1770	3.7523e-14	2.0887e-13	4.3379e-12	4.8179e-27	6.5915e-30	2.7427e-34	0.8138	0.4158	0.3897		
	C8511	8.8377e-28	1.2062e-06	2.0017e-02	4.6284e-04	2.7318e-64	4.4432e-01	7.8570e-56	0.4693	0.1432	0.4553		

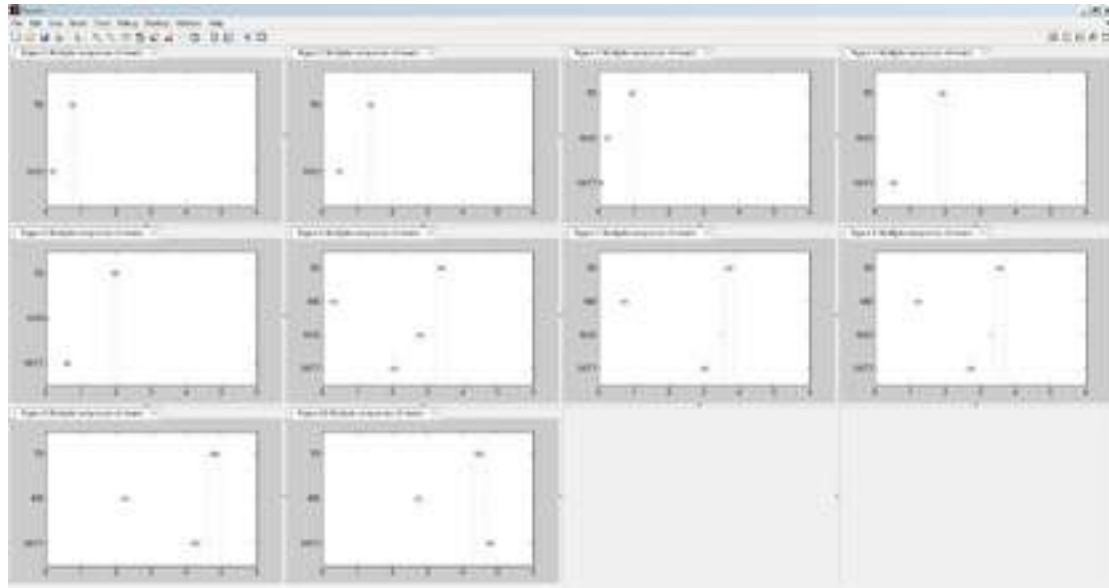
ANNEXE E : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONSERVATION HYGROMÉTRIQUE POUR LES OIGNONS

Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour T



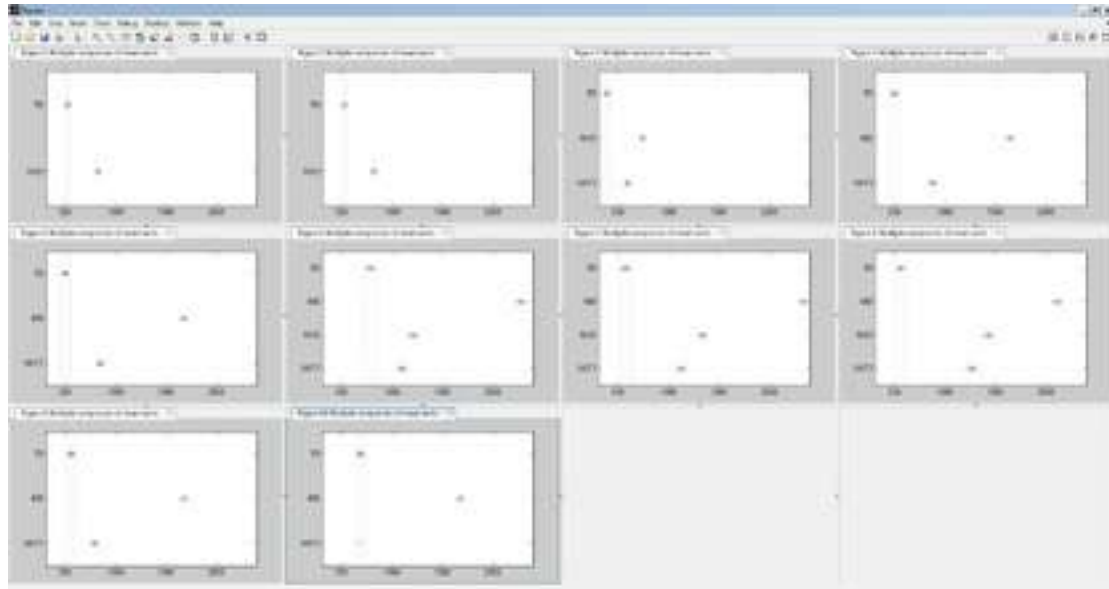
		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Wilcoxon Rank Sum Test on T	C1S1		6.6342e-08				
	C1S2		1.4774e-11				
	C1S3		2.4075e-08	1.5572e-21			7.3539e-07
	C1S4a	5.9903e-50		6.3307e-13		1.1319e-25	
	C1S4b	2.2921e-74		3.1101e-16		4.3152e-47	
	C2S1	6.4251e-68	0.1490	4.1265e-08	3.8968e-122	3.9161e-78	6.5555e-11
	C2S2	5.6902e-48	0.1953	0.5589	1.7930e-156	9.3463e-128	2.3270e-08
	C2S3	1.7053e-35	0.4318	0.0949	6.6269e-99	3.8510e-67	3.3186e-12
	C2S4a	1.6374e-36		0.1143		1.0427e-58	
	C2S4b	1.4741e-18		0.0467		2.9638e-72	

ANOVA et T-test pour T



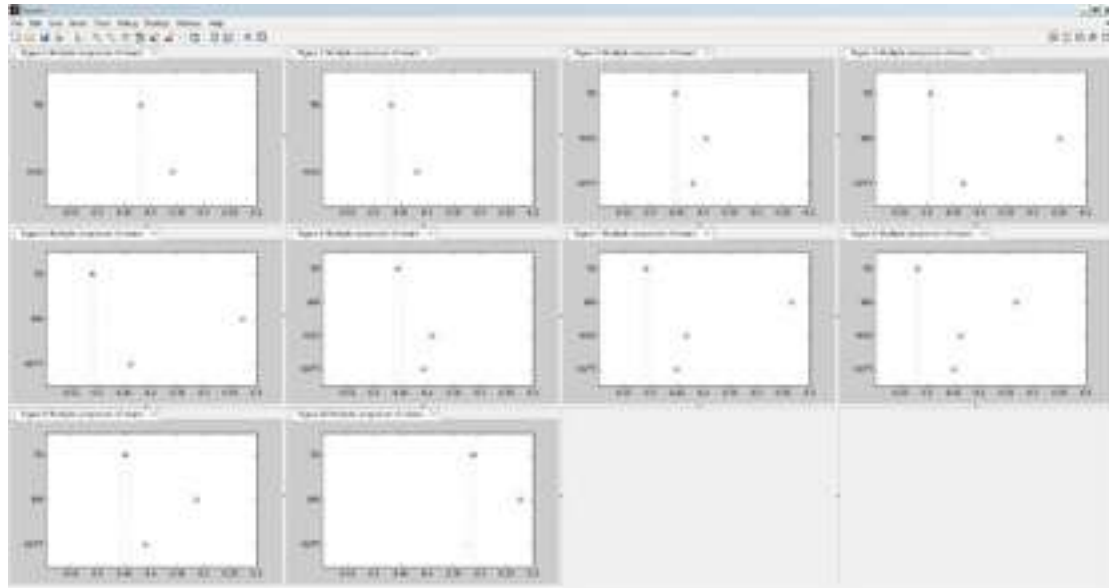
		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Two Sample t-test on T	C1S1		6.6743e-14				
	C1S2		5.5038e-29				
	C1S3		2.0533e-15	6.4025e-27			3.0498e-09
	C1S4a	1.8225e-61		3.0562e-32		1.6808e-36	
	C1S4b	3.2466e-75		6.9799e-33		4.6210e-42	
	C2S1	6.8065e-109	7.2524e-05	1.4225e-19	4.9473e-139	6.1524e-87	9.4221e-11
	C2S2	1.1756e-90	0.2060	5.9091e-06	7.5457e-197	4.9920e-144	1.0468e-06
	C2S3	1.5816e-57	0.0514	5.5499e-09	2.6686e-116	9.0196e-66	4.7322e-11
	C2S4a	4.3150e-48		5.1515e-04		1.1755e-66	
	C2S4b	5.1520e-29		0.0242		2.5210e-95	

Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour RH



		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Wilcoxon Rank Sum Test on T	C151		2.4145e-46				
	C152		2.1655e-42				
	C153		3.4526e-46	2.1622e-19			7.3916e-12
	C154a	5.3416e-221		3.1795e-61		2.6505e-180	
	C154b	5.0177e-221		6.6680e-60		1.9472e-218	
	C251	2.0041e-199	4.1956e-39	1.7337e-21	1.3420e-181	7.5380e-190	0.0015
	C252	4.7772e-221	3.1892e-136	2.6338e-59	5.8820e-213	4.2714e-213	2.4325e-08
	C253	3.1197e-211	1.6966e-141	1.5536e-70	5.9327e-92	3.0237e-101	3.9812e-04
	C254a	5.0333e-114		7.2304e-28		5.5531e-67	
	C254b	1.3506e-41		0.3124		1.5778e-66	

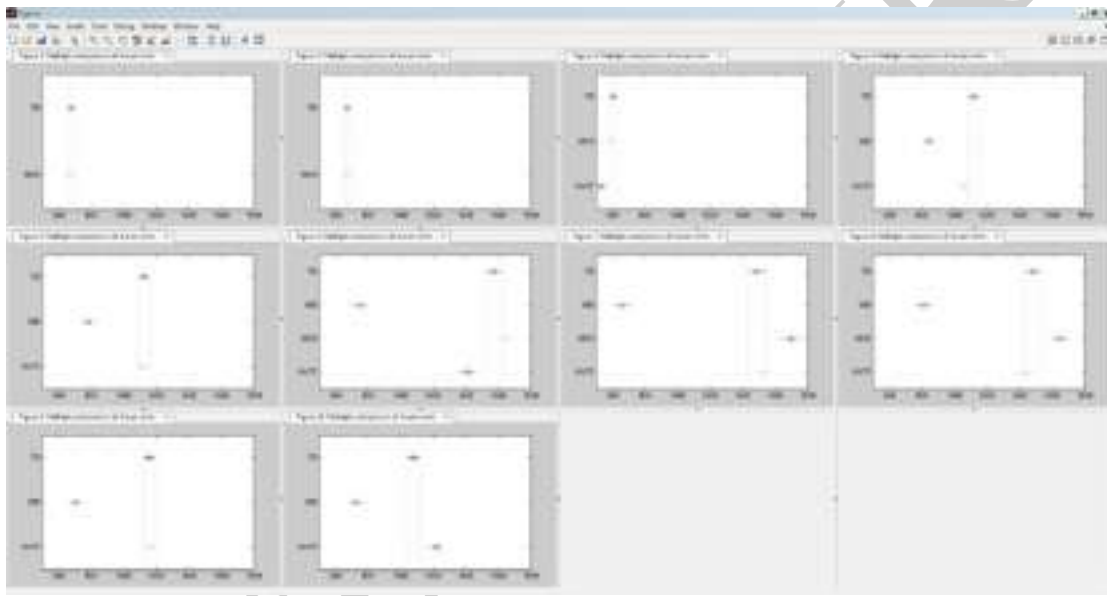
ANOVA et T-test pour RH



		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Two Sample t-test on T	C151		1.1374e-51				
	C152		1.2452e-44				
	C153		2.5736e-58	8.7813e-23			1.7968e-11
	C154a	0,00		3.8385e-86		1.0121e-287	
	C154b	0,00		4.0170e-82		0,00	
	C251	0,00	8.4818e-37	1.2224e-20	2.1713e-276	3.2303e-289	0.0013
	C252	0,00	4.3258e-188	2.4442e-92	0,00	0,00	6.5662e-09
	C253	0,00	9.7571e-184	3.7457e-102	2.0953e-123	8.9833e-132	6.4314e-05
	C254a	2.4341e-113		1.5949e-14		4.2757e-75	
	C254b	9.5627e-46		0.0501		1.3477e-77	

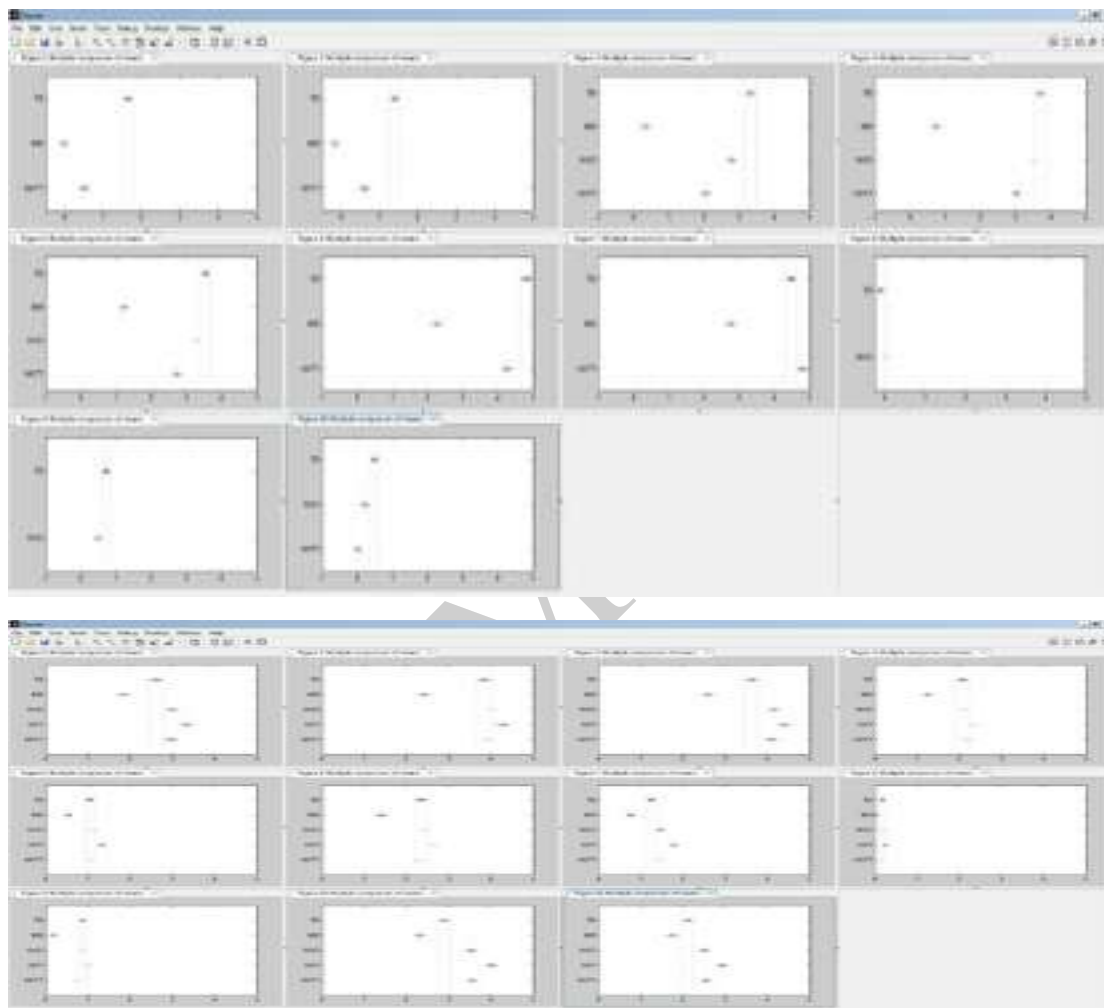
ANNEXE F : RÉSULTATS BRUTES DES TESTS DES MESURES DES BÂTIMENTS À VIDE AU NIVEAU DES CONDITIONS DE CONFORT THERMIQUE POUR LES HUMAINS

Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour T

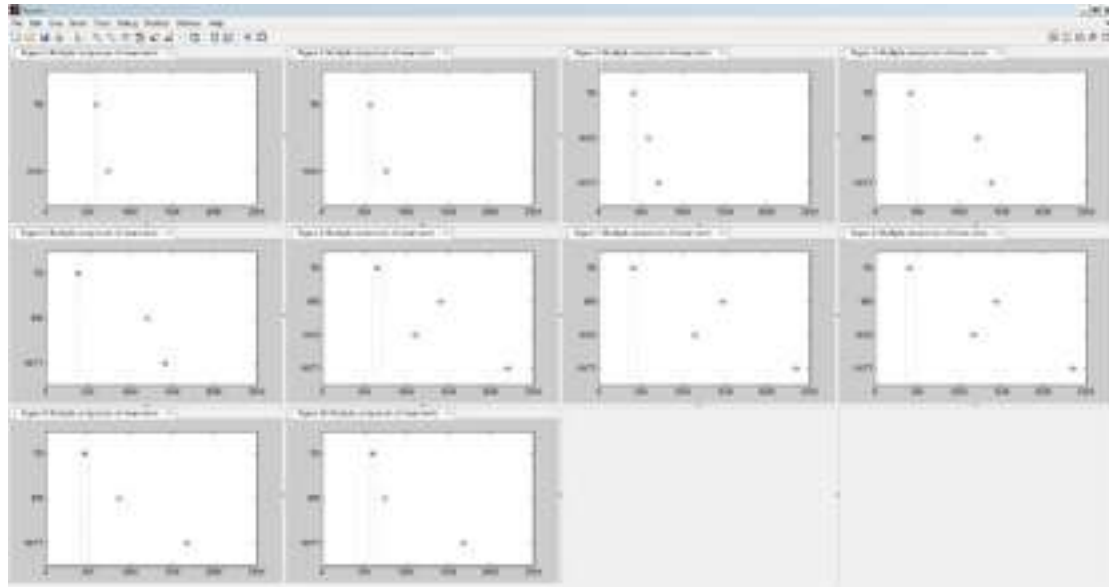


		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Wilcoxon Rank Sum Test on T	C151		0.5778				
	C152		0.9676				
	C153		0.3165	0.0022			1.4063e-04
	C154a	1.0245e-17		0.0017		3.8831e-24	
	C154b	1.0267e-21		0.0153		5.6611e-59	
	C251	1.1028e-57	1.3067e-21	4.4659e-07	3.8968e-122	3.9161e-78	6.5555e-11
	C252	5.6902e-48	2.9140e-16	0.5589	1.7930e-156	9.3463e-128	2.3270e-08
	C253	1.7053e-35	0.2367	0.0949	6.6269e-99	3.8510e-67	3.3186e-12
	C254a	1.6374e-36		0.1143		1.0427e-58	
	C254b	1.4741e-18		0.0467		2.9638e-72	

ANOVA et T-test pour T

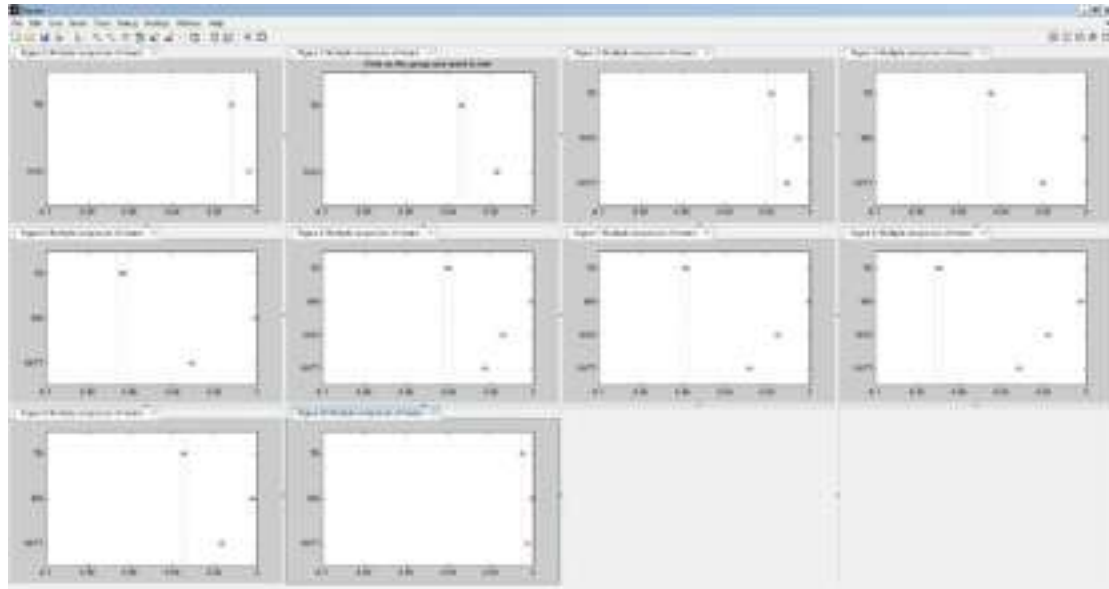


Kruskal-Wallis et Wilcoxon Rank Sum Test pour RH



		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Wilcoxon Rank Sum Test on T	C151		3.3247e-18				
	C152		1.0706e-21				
	C153		1.0813e-20	2.4454e-08			5.2905e-04
	C154a	3.7710e-209		8.5046e-52		1.9147e-97	
	C154b	9.2181e-220		1.5254e-54		1.5932e-85	
	C251	4.7204e-145	3.4473e-47	1.1288e-24	4.2999e-51	7.8406e-67	1.9214e-07
	C252	4.3268e-247	6.1529e-138	4.7225e-59	2.3149e-69	1.2730e-88	6.4501e-17
	C253	1.2202e-225	2.0998e-144	6.9037e-71	1.8782e-36	3.3972e-56	4.8244e-15
	C254a	1.4959e-107		4.8811e-33		5.7311e-26	
	C254b	5.7664e-36		2.3187e-05		1.8135e-21	

ANOVA et T-test pour RH



		TB/MB	TB/NVD	TB/NVTT	MB/NVD	MB/NVTT	NVD/NVTT
pValue with Two Sample t-test on T	C151		5.5519e-21				
	C152		1.9535e-24				
	C153		8.9560e-23	5.1558e-07			2.1806e-06
	C154a	1.8707e-205		1.2096e-51		9.5920e-87	
	C154b	2.1492e-260		3.8935e-50		3.0895e-79	
	C251	6.7809e-121	2.7387e-43	5.9577e-17	2.2388e-46	9.3087e-59	7.7902e-11
	C252	0,00	2.6090e-173	1.3585e-63	2.6242e-66	7.6898e-86	6.2710e-10
	C253	0,00	6.9063e-188	4.0887e-81	9.1661e-51	4.0130e-76	6.6024e-58
	C254a	1.6958e-113		9.2811e-27		2.6511e-39	
	C254b	8.7607e-30		2.4722e-05		2.0728e-17	