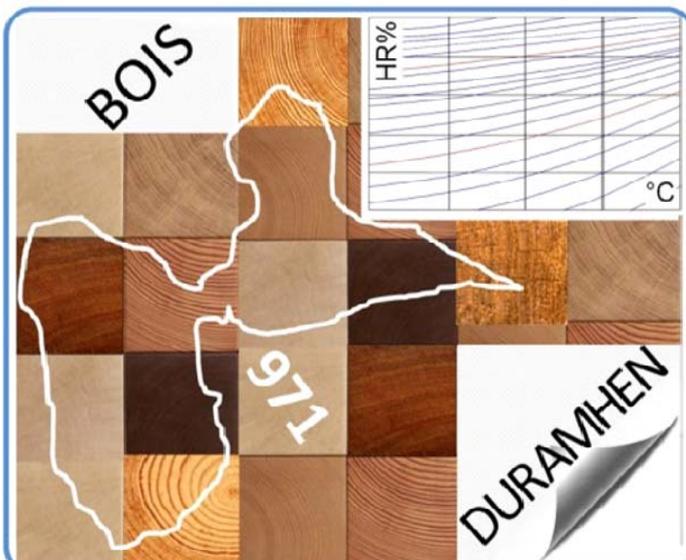
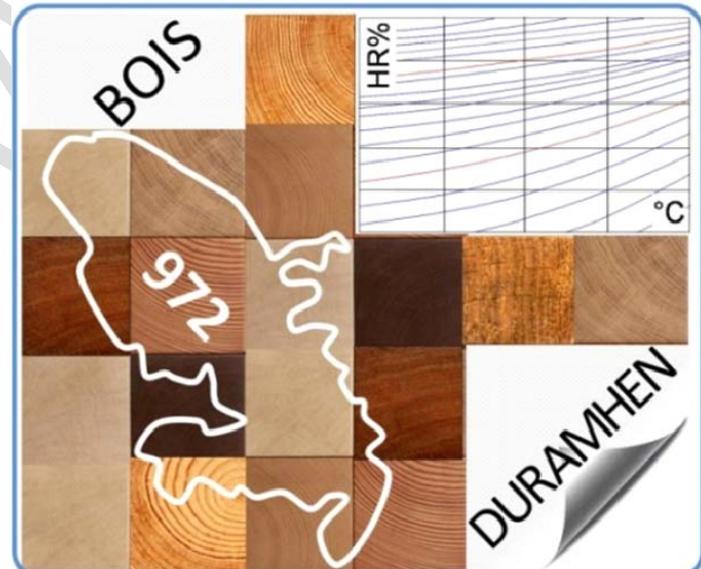


2019

BOIS-DUR-AMHEN 971 et 972 **RAPPORT TECHNIQUE** **Investigations et Mesures**



*Le projet BOIS-DUR-AMHEN971 est cofinancé par l'Union européenne dans le cadre des fonds européens de Développement Economique et Régional. (FEDER)
Projet n° FED-2016-380/403/392/385*



*Le projet BOIS-DUR-AMHEN972 est cofinancé par le PACTE dans le cadre d'un appel à projet AP11.
Projet n° PACTE AP11-17-090*

Rédaction : Paul Quistin
Vérification : Laurence Romana, Luc Cador
Validation : Eric Fournely, Thierry Lamadon

Ind	Date	Remarques
00	15 /01/19	Elaboration
01	13/02/2019	Finale

Avertissement :

Les conclusions de ce rapport sont issues de l'analyse des experts du projet en fonction des données récoltées, mesurées et tenant compte des précisions de mesures et de lecture des courbes admises par eux.
Ce présent rapport n'engage que ses auteurs.

Sommaire

1	INTRODUCTION	11
2	CONTEXTE LOCAL.....	11
2.1	Base de l'étude	13
2.2	Climat antillais.....	13
2.2.1	Zones climatiques	13
2.2.2	Les Saisons	15
2.3	L'utilisation du bois aux Antilles	19
3	METHODOLOGIE DE L'ETUDE	22
3.1	Protocole.....	22
3.1.1	Organisation du projet	22
3.1.2	Méthodologie expérimentale	22
3.1.3	Métrologie et étalonnage	25
3.2	Méthodologie d'exploitation	29
3.2.1	Préambule	29
3.2.2	Données mesurées sur Sites.....	29
3.2.3	Données Météo France	31
3.3	Actions complémentaires à l'étude pour consolidation.....	35
3.3.1	Etuvage et Identification CIRAD	36
3.3.2	Chambre Climatique.....	37
3.3.3	Monitoring	38
4	INVESTIGATIONS	41
4.1	Répartition géographique et mesures.....	41
4.1.1	Guadeloupe	41
4.1.2	Martinique.....	42
4.2	Validation des hypothèses	43
4.2.1	Etuvage et identification CIRAD.....	43
4.2.2	Chambre Climatique.....	45
4.2.3	Monitoring.....	46
5	ANALYSE ET RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE MESURES.....	51
5.1	Protocole.....	51
5.2	Analyse des Paramètres de l'air HR% et T°C	52
5.2.1	Etape 3 : Comparaison des paramètres de l'air mesurées sur Sites avec les données MF.....	52
5.2.2	Etape 3 : Comparaison des paramètres de l'air mesurés sur Sites , via le Monitoring et par MF	52
5.3	Analyse des Humidité du bois MC% et Humidité d'équilibre EMC%	54
5.3.1	Préambule	54
5.3.2	Etape 1 : Exploitation Données MF / valeurs conventionnelles.....	55

5.3.3	Etape 4 : Etude des données H% bois mesurées sur Sites Bois Résineux.....	65
5.3.4	Etape 5 : Etude des données mesurées sur Sites BM Feuillus.....	72
5.4	Cas Singuliers influence des paramètres	78
5.4.1	Eléments Intérieurs.....	78
5.4.2	Cas singulier Abris Bus.....	80
5.4.3	Altitude.....	82
5.4.4	Comparaison résultats pour des éléments intérieurs et extérieurs abrités.....	84
5.4.5	Bois mis œuvre avant séchage.....	85
5.4.6	Influence de l'implantation maritime	86
5.4.7	Influence du revêtement type peinture	88
5.4.8	Bois de faible épaisseur (bardage /fermettes).....	93
5.4.1	Bois aboutés BMA.....	95
6	CONCLUSIONS.....	97
7	BIBLIOGRAPHIE	99
8	ANNEXES	100
8.1	ANNEXE 1 :Etape 1-Graphe Humidité d'équilibre du bois (H%) issue de la méthode conventionnelle (étape 1).....	100
8.2	ANNEXE 2 : Etape 4-Tableau Résultats H % Bois résineux mesures sur sites Guadeloupe	106
8.3	ANNEXE 3 : Etape 4 -Tableau Résultats H % Bois Résineux mesures sur sites Martinique.....	110
8.4	ANNEXE 4 : Etape 5-Tableau Résultats H % Bois feuillus mesures sur sites Guadeloupe	113
8.5	ANNEXE 5 : Etape 5-Tableau Résultats H % Bois feuillus mesures sur sites Martinique.....	116
8.6	ANNEXE 6 : Tableau Résultats H % Bois résineux abrités intérieurs mesures sur sites Guadeloupe 119	
8.7	ANNEXE 7 : Tableau Résultats H % Bois résineux abrités intérieurs mesures sur sites Martinique 121	

FIGURES

Figure 1 : Classes de service et exemples d'application.....	12
Figure 2 : Zones climatiques Météo-France en Guadeloupe	14
Figure 3 : Zones climatiques Météo-France en Martinique.....	15
Figure 4 : Saisons des Antilles (Météo-France)[7].....	15
Figure 5 : Diagramme ombrothermique (températures et pluie) à Les Abymes Le Raizet[7]	16
Figure 6 : Evolution de la température moyenne annuelle au Lamentin [7]	16
Figure 7 : Sites choisis pour la réalisation de l'étude.....	23
Figure 8 : Mesure d'humidité du bois à l'aide d'un humidimètre capacitif.....	24
Figure 9 : Champ d'émission de l'humidimètre nécessitant une hauteur et largeur suffisantes [Merlin]	26
Figure 10 : Exemples d'évolution relative de la masse des éprouvettes Bois Résineux et Feuillus en fonction du temps	27
Figure 11 : Hygromètre renseignant l'humidité relative et la température de l'air	28
Figure 12 : Méthodologie globale de l'étude BOIS DUR-AMHEN	29
Figure 13 : Humidité du bois et paramètres considérés suivant les différentes échelles d'observation.....	30
Figure 14 : Synthèse des paramètres relevés sur Sites	30
Figure 15 : Implantation des stations MF par ZMF Guadeloupe	34
Figure 16 : Implantation des stations MF par ZMF Martinique.....	34
Figure 17 : Complémentarité des travaux BOIS-DURAMHEN	36
Figure 18 : Principe des travaux du Monitoring.....	39
Figure 19 : Répartition globale des Sites sur le territoire guadeloupéen.....	41
Figure 20 : Répartition globale des Sites sur le territoire martiniquais	42
Figure 21 : Comparaison entre résultats obtenu et données issues de la courbe d'équilibre hydrique de la NF EN 1995-1.1/NA.....	45
Figure 22 : Utilisation possible du diagramme d'équilibre hydrique des bois de l'EN 1995-161/NA	46
Figure 23 : Mesures de H% sur les pièces du site G000	46
Figure 24 : Mesures de H% sur les pièces du site M000.....	47
Figure 25 : Mesure des températures de l'air sur le site G000	48
Figure 26 : Mesure des températures de l'air sur le site M000	48
Figure 27 : Mesure des humidités relatives de l'air sur le site G000.....	48
Figure 28 : Mesure des humidités relatives de l'air sur le site M000.....	49
Figure 29 : Différentes Etapes du projet.....	51
Figure 30 : Comparaison mesures monitoring/Données MF.....	53
Figure 31 : Comparaison mesures monitoring/mesures sites	53
Figure 32 : Evolution humidité du bois en fonction du temps Site G000 éléments intérieurs abrités Résineux.....	54
Figure 33 : Evolution humidité du bois en fonction du temps Site M000 éléments extérieurs abrités	54
Figure 34 : Courbe d'équilibre hygroscopique définissant les classes de service.....	55
Figure 35 : Démarche de l'étape 1 BOIS-DURAMHEN	55
Figure 36 : Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 16 stations MF.....	59
Figure 37 : Martinique Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 12 stations MF	59
Figure 38 : Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 16 stations MF.....	60
Figure 39 : Martinique Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 12 stations MF	60
Figure 40 : Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 22 villes + DOM	61
Figure 41 : Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 22 villes + DOM	61
Figure 42 : Etape 4 méthodologie Bois Résineux extérieurs abrités	65
Figure 43 : Exemple de variation des mesures pour 2 Eléments sur 2 ans.....	66
Figure 44 : Exemple de variation des mesures moyennées sur 1 an pour 2 Eléments	66
Figure 45 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Résineux Guadeloupe.....	67
Figure 46 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Résineux Martinique.....	67

Figure 47 : Courbes Humidité mesurée du Bois résineux abrités extérieurs par ZMF -Guadeloupe.....	69
Figure 48 : Courbes Humidité mesurée du Bois résineux abrités extérieurs par ZMF -Martinique	71
Figure 49 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Feuillus GUADELOUPE.....	72
Figure 50 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Feuillus MARTINIQUE	73
Figure 51 : Courbes Humidité mesurée et Humidité d'équilibre du bois éléments extérieurs abrités Feuillus Guadeloupe.....	75
Figure 52 : Courbes Humidité mesurée et Humidité d'équilibre du bois éléments extérieurs abrités Feuillus - Martinique	77
Figure 53 : Graphes Humidité pour éléments intérieurs abrités.....	79
Figure 54 : Cas Singulier des abris Bus en Angelim Vermelho –Implantation GUADELOUPE	80
Figure 55 : Graphes d'humidité des Sites type « Abri bus Angelim Vermelho »- Guadeloupe.....	80
Figure 56 : Cas Singulier des abris Bus en Angelim Vermelho –Implantation Martinique.....	81
Figure 57 : Graphes d'humidité des Sites type « Abri bus Angelim Vermelho Martinique	81
Figure 58 : Implantation des Sites selon l'altitude >400m et <90m.....	82
Figure 59 : Graphes d'humidité des Sites à une Altitude > 300m Guadeloupe.....	83
Figure 60 : Graphes d'humidité des Sites à une Altitude inférieure à300m et >300m -Martinique.....	83
Figure 61 : Implantation des Sites comportant des éléments intérieurs et extérieurs abrités	84
Figure 62 : Comparaison humidité des Eléments intérieurs et extérieurs au sein d'un même Site.....	84
Figure 63 : Comparaison humidité des Eléments intérieurs et extérieurs au sein d'un même Site-Martinique.....	84
Figure 64 : Sites Bois mis en œuvre avant séchage.....	85
Figure 65 : Graphes d'humidité des Bois mis en œuvre avant séchage	85
Figure 66 : Sites Implantation maritime	86
Figure 67 : Graphes d'humidité des Bois influence maritime Guadeloupe.....	86
Figure 68 : Graphes d'humidité des Bois influence maritime -Martinique.....	87
Figure 69 : Influence revêtement du bois (peinture)	88
Figure 70 : Graphes d'humidité des Bois influence de la peinture Guadeloupe	88
Figure 71 - Évolution de l'humidité de deux poteaux au revêtement différent du site G023 en fonction du temps	89
Figure 72 : Graphes d'humidité des Bois influence de la peinture Martinique.....	89
Figure 73 - Évolution de l'humidité d'une poutre après application d'un revêtement -Site G064.....	90
Figure 74 - Évolution de l'humidité des 5 échantillons non peints en fonction du temps	91
Figure 75 - Évolution de l'humidité des 5 échantillons peints en fonction du temps	91
Figure 76 - Comparaison échantillons médians peint et non peint en fonction du temps	92
Figure 77 : Sites Bois faible épaisseur.....	93
Figure 78 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité - Guadeloupe	93
Figure 79 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité BM Feuillus -Martinique.....	94
Figure 80 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité BM Résineux -Martinique.....	94
Figure 81 : Sites Bois massifs aboutés	95
Figure 82 - Poteau abouté, mesures d'humidité moyennes du bois suivant les différents aboutages de la première face	96
Figure 83 - Poteau abouté, mesures d'humidité moyennes du bois suivant les différents aboutages de la seconde face.....	96

TABLEAUX

Tableau 1 : Illustration du surcoût de la classe de service 3.....	13
Tableau 2 : Normales annuelles en mm de la pluviométrie par localité [7].....	16
Tableau 3 : Synthèse des informations climatiques MF selon la zone ZMF (Météo France).....	18
Tableau 4 : Synthèse des essences utilisées aux Antilles (*Asie).....	19
Tableau 5 : Exemples d'ouvrages en bois aux Antilles.....	20
Tableau 6 : Comparaison des propriétés des humidimètres.....	26
Tableau 7 : Lois de variation de l'humidité en fonction du réglage du commutateur.....	28
Tableau 8 : Liste des Stations MF par zone MF avec périodes des données récoltées pour Guadeloupe.....	32
Tableau 9 : Liste des Stations MF par zone MF avec périodes des données récoltées pour Martinique.....	33
Tableau 10 : Caractéristiques des éprouvettes selon CIRAD, Atlas de Bois Tropicaux et mesures expérimentales.....	38
Tableau 11 : Proposition coefficients correcteurs Kcor2 BOIS DUR-AMHEN 971.....	43
Tableau 12 : Proposition coefficients correcteurs Kcor2 BOIS DUR-AMHEN 972.....	44
Tableau 13 : Libellé des données MF valeurs quotidiennes.....	52
Tableau 14 : Guadeloupe -Synthèse des résultats Humidité d'équilibre théorique du bois issus de l'étape 1...57	57
Tableau 15 : Martinique -Synthèse des résultats Humidité d'équilibre théorique du bois issus de l'étape 1.....	58
Tableau 16 : Synthèse Etape vs Etude antérieure Station Raizet et Lamentin.....	61
Tableau 17 : Synthèse des résultats pour les 22 villes françaises.....	62
Tableau 18 : Illustration des régimes et tendances en Guadeloupe.....	63
Tableau 19 : Illustration des régimes et tendances en Martinique.....	64

LEXIQUE

Notation	Définition	
ZMF	Zone Météo France	
BD971 ou BD972	BOIS DURAMHEN 971 ou BOIS DURAMHEN 972	
MF	Météo France	
MC (%) ou H°_{bois}	Moisture Content	Humidité instantanée mesurée du bois en oeuvre
EMC (%)	Equilibrium Moisture Content	Humidité d'équilibre théorique du bois
TN(°C)	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	Température Minimale Sous Abri Quotidienne relevée par Météo France
TX(°C)	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	Température Maximale Sous Abri Quotidienne relevée par Météo France
TM(°C)	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	Température Moyenne Sous Abri Quotidienne relevée par Météo France
UN (%)	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	Humidité Relative Minimale Quotidienne relevée par Météo France
UX (%)	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	Humidité Relative Maximale Quotidienne relevée par Météo France
TM	Donnée et Notation Météo France /Valeur Mensuelle	Température Moyenne Sous Abri mensuelle relevée par Météo France (MOYENNE DES (TN+TX)/2)
TMMAX	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	MAX DES TM OU DES TNTXM QUOTIDIEN
TMMIN	Donnée et Notation Météo France /Valeur Quotidienne	MINI DES TM OU DES TNTXM QUOTIDIEN
UNAB	Donnée et Notation Météo France /Valeur Mensuelle	Humidité Mini mensuelle : HUMIDITE RELATIVE MINI MENSUELLE
UXAB	Donnée et Notation Météo France /Valeur Mensuelle	Humidité Maxi mensuelle HUMIDITE RELATIVE MAXI MENSUELLE
UMM	Donnée et Notation Météo France /Valeur Mensuelle	Humidité Moyenne Sous Abri mensuelle relevée par Météo France MOYENNE DES UM QUOTIDIEN
HR(%)	Donnée déduite des relevés MF ou mesures in Situ	Humidité relative moyenne de l'air calculée
T°(C)	Donnée déduite des relevés MF ou mesures in Situ	Température moyenne de l'air calculée
T _{m,M}	Données et Notation Monitoring	Température moyenne = moyenne(T _{j,M} pour les X jours du mois)
H _{m,M}	Données et Notation Monitoring	Hygrométrie moyenne = moyenne(H _{j,M} pour les X jours du mois)
MC _{m,N}	Données et Notation Monitoring	Humidité bois minimum = min(MC _{j,M} parmi les X jours du mois)
MC _{m,X}	Données et Notation Monitoring	Humidité bois maximum = max(MC _{j,M} parmi les X jours du mois)
MC _{m,M}	Données et Notation Monitoring	Humidité bois moyenne = moyenne(MC _{j,M} pour les X jours du mois)
EMC _{m,N,1}	Données et Notation Monitoring	EMC bois minimum = min(EMC _{j,M,1} parmi les X jours du mois)
EMC _{m,M,1}	Données et Notation Monitoring	EMC bois moyenne = moyenne(EMC _{j,M,1} pour les X jours du mois)
EMC _{m,M,2}	Données et Notation Monitoring	EMC bois moyenne = moyenne(EMC _{j,M,2} pour les X jours du mois)
EMC _{m,M,3}	Données et Notation Monitoring	EMC bois moyenne = f _{EMC} (T _{m,M} , H _{m,M})

PREFACE,

Depuis 2007, nous travaillons sur la construction bois aux Antilles avec notamment la rédaction d'un guide AFPS « **Guide de Construction Parasismique et Paracyclonique de Maisons Individuelles à Structure en Bois aux Antilles** » avec une équipe de l' AFPS locale (Martinique et Guadeloupe) et des experts de la France hexagonale. Lors de cette étude, il était question de dimensionner des ouvrages bois selon l'Eurocode 5-1 qui n'était pas encore en vigueur mais dans un souci d' anticipation nous souhaitions mettre le guide à « la sauce Eurocode ». Nous nous sommes alors confrontés au problème de la connaissance de la classe de service selon le lieu d'implantation; faute de données à cette époque, il a été convenu de calculer les ouvrages avec deux classes de service a priori utilisables aux Antilles : la classe de service 2 et la classe de service 3. Mais sans aucune information précise sur laquelle se baser, une demande avait été faite à Météo France de fournir les paramètres de l'air (HR% humidité relative et température T°C) pour plusieurs stations Météo France pour construire les courbes de l' humidité d' équilibre théorique du bois selon l' annexe nationale de l' EC5-1-1. Cela a été fait et des points basés sur les paramètres de MF (HR% ;T°C) fournis ont été placés sur la courbe hygroscopique de l' air ; malheureusement Météo France en cours d' étude nous a donné comme information que les valeurs n'étaient pas exploitables car les capteurs étaient saturés ; de ce fait l'étude a été abandonnée.

Il s' en est suivi un deuxième guide AFPS « *guide de construction parasismique des Maisons individuelles Mi* » dites *régles-CPMI-EC8/Z5* livré en 2011 à la DHUP, pour lequel se sont posées les mêmes questions de classification conventionnelle.

Par la suite, ont été réalisés en janvier 2013 au lycée Bertène Juminer du Lamentin Guadeloupe des *essais de chargement horizontal mono directionnel sur des panneaux de contreventement bois* issus de ces deux guides ; avec toujours cette même question de connaissance de l'humidité du bois en œuvre.

Suite à tous ces travaux, il a été convenu avec Eric Fournely de Polytech, Luc Cador de S3CB, et Thierry Lamadon de BV Construction, de mener une campagne de mesures in situ sur des ouvrages bois en œuvre pour mesurer l'humidité instantanée du bois en œuvre, et, parallèlement à ça, de calculer l'humidité d'équilibre théorique du bois grâce aux paramètres de l'air des stations Météo France.

Ces idées de travaux se sont concrétisées par un appel à projet Synergile en 2015 pour la Guadeloupe et un appel à projet PACTE AP11 en 2016 pour la Martinique. Ces deux projets de recherche et d' innovation appelés BOIS-DURAMHEN (971 et 972) pour « *le bois aménagé durablement dans son environnement humide* » s' appuient sur l' expertise des mêmes personnes qui ont travaillé ensemble depuis tantôt sur les guides, les essais avec l' ajout de l' expertise de l' Université Antilles axée sur la recherche sur les matériaux. Ces travaux concrétisent donc un travail de longue haleine sur la construction bois aux Antilles.

Nous espérons que ces travaux seront utiles à la profession leur permettant de faire un choix circonstancié de la classe de service selon l' implantation de leur projet grâce aux bases de données constituées. Ce document technique synthétise les travaux menés au cours des deux projets et s' accompagne d' un logiciel *BOISDURAMHEN* qui permettra de filtrer les données des Sites ou Stations proches du Site projet de l' utilisateur in fine.

Je remercie profondément mes partenaires pour leur professionnalisme, leur engagement avec l' art du don de soi pour un sujet qui nous passionne tous. Mes remerciements vont aussi au FEDER, PACTE, REGION GUADELOUPE, SYNERGILE, AQC, pour nous avoir permis de mener à bien administrativement ces projets et pour leur aide financière.

Je n' oublie pas les stagiaires Polytech et UA qui ont participé activement à la création de ces bases de données par leurs mesures régulières sur Sites dans toute la Guadeloupe et Martinique, et les propriétaires qui ont mis à disposition leurs ouvrages bois.

Sincères remerciements à notre expert technique Thierry Lamadon qui par son dévouement, digne d' un capitaine de vaisseau, nous a permis de toujours garder le bon cap avec ses précieux conseils, son analyse et sa méthodologie.

Le pilote des projets BOIS DUR-AMHEN

Paul QUISTIN

Directeur Technique Solidité ANCO

PREAMBULE /SYNTHESE

Présentation des projets

L'objectif du projet BOIS DURAMHEN est de déterminer le taux d'humidité instantanée (MC%) du bois dans son environnement sur plusieurs sites de la Guadeloupe et de la Martinique grâce à une campagne annuelle de mesures d'humidité du bois en œuvre ; et l'humidité d'équilibre théorique du bois (EMC%) au niveau de stations Météo France MF, déduite des paramètres de l'air (HR% et T°C) et de la courbe de l'air humide de l'annexe nationale de l'Eurocode 1995-1-1. Ceci permet d'identifier les zones géographiques qui présentent des paramètres d'humidité apparentés aux classes de service conventionnelles de l'Eurocode 5-1-1 notamment les classes de service 2 et 3.

Cette campagne de mesures in Situ est orientée vers les bois résineux et aussi vers les bois feuillus tropicaux présents aux Antilles. Elle a été menée en Guadeloupe d'octobre 2016 à janvier 2019 et en Martinique de mai 2017 à janvier 2019.

Les projets de recherche BOIS DURAMHEN 971 et 972 sont réalisés par les partenaires suivants :

-  ANCO
-  S3CB (Groupe CADRYBAT)
-  Université des Antilles/ Groupe de technologie des surfaces et des interfaces (GTSI)
-  Université Clermont Auvergne UCA et Polytech Clermont-Ferrand

Les partenaires financiers qui soutiennent ces projets sont :

-  BOIS DURAMHEN 971 : FEDER dans le cadre d'un appel à projet Synergile
-  BOIS DURAMHEN 972 : PACTE dans le cadre d'un appel à Projet PACTE AP11

Les autres partenaires qui soutiennent ces projets sont :

-  Région Guadeloupe
-  Synergile
-  Météo France

Ces projets ont fait l'objet de l'expertise technique du Bureau Véritas Construction.

Présentation du logiciel BOIS-DUR-AMHEN

Ce rapport technique est accompagné d'un logiciel BOIS-DUR-AMHEN **qui est un logiciel d'aide à la décision de classement en classe de service conventionnelle selon le référentiel NF EN 1995-1-1** .Il comporte :

- une base de données des mesures d'humidité du bois en œuvre H% (ou MC%) recueillies sur des sites sur tout le territoire guadeloupéen (y compris Marie Galante) et martiniquais.
- une base de données d'humidité d'équilibre hygroscopiques du bois (EMC%) obtenues à partir des courbes d'équilibre de l'air humide encore appelée courbes hygroscopiques du bois (méthode conventionnelle) sur la base des données humidité relative et température moyenne de l'air (HR% /T°C) fournies par Météo France (MF)

Dans le cadre d'un projet de construction bois, l'utilisateur peut visualiser, après avoir localisé son projet (coordonnées GPS) et indiqué le type d'essence prévu, les cinq sites Bois Duramhen ayant fait l'objet de mesures les plus proches du Site_projet (à une distance maxi de 15km) ainsi que les valeurs d'humidités d'équilibre hygroscopique obtenues à partir de données des trois stations MF les plus proches.

Par ailleurs, ce logiciel regroupe dans une base de données les caractéristiques mécaniques et physiques des principales essences rencontrées aux Antilles basées sur une identification du CIRAD d'une soixantaine d'échantillons. L'utilisateur peut donc obtenir les caractéristiques de l'essence utilisée dans son projet, si elle figure dans la base de données. *(Le logiciel BOIS-DURAMHEN a été développé informatiquement par la société SCIWORKS technologie sous les spécifications techniques de P Quistin).*

Partenaires



Soutiens financiers et administratifs



PROJET COFINANCÉ par le fonds européen de développement régional



Expertise Technique



Développement

informatique



Source de

données Météo



Paul Quistin¹, Oriel Bourgade¹, (<https://www.anco.pro/>)

Luc Cador² Audrey Marcon² (<https://www.s3cb-gp.com/>)

Eric Fournely³, Gael Godi³, Joseph Gril³, (<https://www.uca.fr/>)

Laurence Romana⁴, (<http://www.univ-antilles.fr/>)

Thierry Lamadon⁵, (<https://www.bureauveritas.fr/>)

Jim Pioche⁶, Habib Jreige⁶ (<http://www.sciworkstech.com/>)

Remerciements pour leur participation et travail au cours de ces projets

- | | |
|--|---|
|  Didier Deris (ANCO) |  Jean Mickael Bargy (Polytech) |
|  Edmonde Carabin (ANCO) |  Martin Lautaro Fernandes (Polytech) |
|  Elza Mesinele (ANCO) |  Régis Ramassamy (UA) |
|  Nicolas Robin |  Jean Baptiste Pipet (Polytech) |
|  Greg Séraphine |  Laurent Quistin |

Nous tenons aussi à remercier particulièrement pour leur aide précieuse:

-  Vanessa Varin (SYNERGILE)
-  Nathalie Chevon (SYNERGILE)
-  Axelle Daijardin (REGION 971)
-  Julien Thomas (AQC)
-  Aurélien Lopes (AQC)
-  METEO FRANCE (M Montout, M Lavogiez, M Legoutté)
-  CIRAD (M Langbour)
-  ACB (M Plata)
-  Luke-Daniel Bastawo (association NOIZIERS)
-  Propriétaires des Sites mis à disposition pour les mesures des projets

1 INTRODUCTION

L'Eurocode 5 partie 1-1 (NF EN1995-1-1)[1], [2] définit les classes de service d'après le taux d'humidité du bois en œuvre. Les courbes d'équilibre hygroscopique du bois permettent d'obtenir l'humidité du bois en œuvre à partir du taux d'humidité relatif de l'air et des températures ambiantes. En France hexagonale, les cartes et les données de conditions climatiques sont disponibles. Ce n'est cependant pas le cas pour les Antilles.

Par conséquent, dans les Antilles françaises, par manque d'études disponibles, le bois est considéré en classe de service 3 la plus contraignante. Ce choix sécuritaire peut entraîner une sous-estimation de la résistance du bois considéré et à l'inverse, une surestimation de ses déformations. Par ailleurs, les exigences de préservation des bois mais aussi des pièces métalliques présentes dans les assemblages, subissent les conséquences de ce manque d'informations disponibles. Cela impacte aussi le marché antillais de la construction avec des produits à base de bois qui s'en trouvent exclus.

Ainsi, les projets BOIS DUR-AMHEN, doivent permettre de répondre aux questions suivantes : Les territoires guadeloupéen et martiniquais doivent-ils être classés dans leur totalité en classe de service 3 ? Des zones de classe de service 2 peuvent-elles être définies ?

L'objectif des projets BOIS DUR-AMHEN, (le bois aménagé de façon durable dans son environnement humide) est de déterminer le taux d'humidité du bois dans son environnement sur plusieurs sites de la Guadeloupe et la Martinique grâce à une campagne annuelle de mesures d'humidité du bois en œuvre. Ceci permet d'identifier les zones géographiques qui présentent des paramètres d'humidité apparentés aux classes de service conventionnelles de l'Eurocode 5-1-1 notamment les classes de service 2 et 3. En fonction de l'implantation d'une structure bois par rapport à son milieu naturel, il en résulte l'humidité à prendre en compte (selon la courbe hygroscopique) pour dimensionner les éléments de structure bois, améliorer leur durabilité et connaître leur comportement face à des agressions extérieures (vent, séisme, termites, agents de dégradation du bois et xylophages).

2 CONTEXTE LOCAL

La section 2.3.1.1 de l'Eurocode 5-1 renseigne que la durée de chargement et l'humidité affectent les propriétés de résistance et de rigidité des éléments en bois et à base de bois et doivent donc être prises en compte dans le calcul relatif à la résistance mécanique et l'aptitude au service. De plus, les actions causées par les effets d'un changement d'humidité dans le bois doivent être considérées.

Par conséquent, l'Eurocode 5-1 prend en compte la dépendance des propriétés mécaniques du bois vis-à-vis de l'humidité de l'air ambiant définie par 3 classes de service :

-  Classe de service 1 : est caractérisée par une humidité dans les matériaux correspondant à une température de 20 °C et une humidité relative de l'air environnant ne dépassant 65 % que quelques semaines par an. Dans cette classe de service, l'humidité moyenne dans la plupart des bois résineux n'excède pas 12 % ;
-  Classe de service 2 : est caractérisée par une humidité dans les matériaux correspondant à une température de 20 °C et une humidité relative de l'air ne dépassant 85 % que quelques semaines par an. Dans cette classe de service, l'humidité moyenne dans la plupart des bois résineux n'excède pas 20 % ;
-  Classe de service 3 : conditions climatiques amenant des humidités supérieures à celles de la classe de service 2.

La Figure 1 résume et illustre un exemple des différentes classes de service.

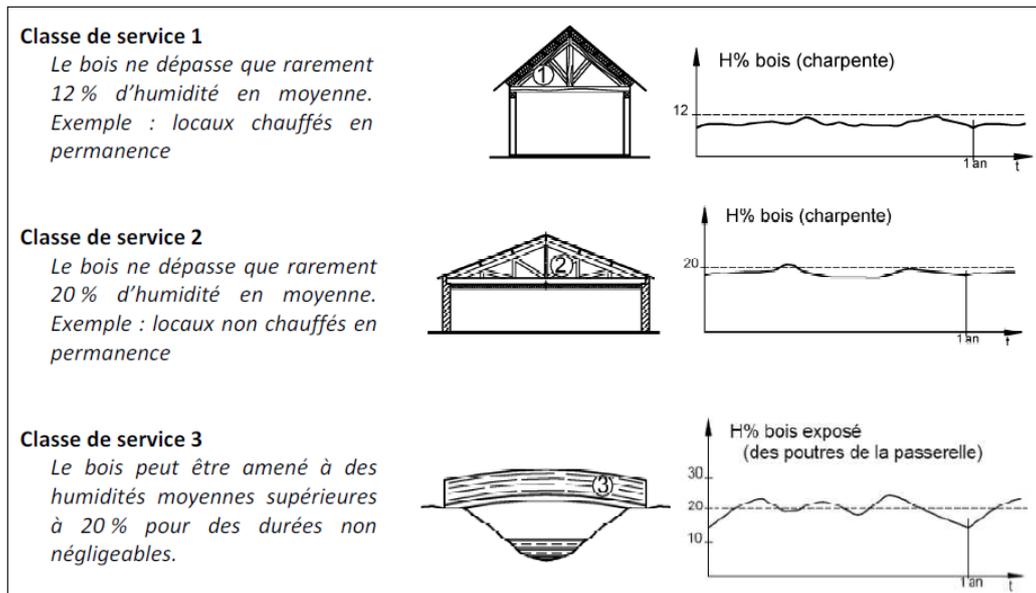


Figure 1 : Classes de service et exemples d'application

Les classes de service définies dans l'Eurocode 5-1 ont été établies suivant les conditions environnementales européennes. Or, le climat européen est variable sur l'ensemble du territoire et est caractérisé par 5 grands climats que sont : le climat océanique, le climat continental, le climat polaire, le climat méditerranéen et enfin le climat montagnard. Le climat tropical n'est donc pas pris en compte dans la définition des classes de service. Par ailleurs, cette norme est basée principalement sur les essences les plus utilisées dans le domaine de la construction européenne, les résineux tempérés.

Ainsi, les contextes environnementaux des Antilles et ses nombreuses constructions bois à partir d'essences tropicales amènent les interrogations suivantes :

- Comment utiliser l'Eurocode 5 pour des conditions environnementales tropicales ?
- Comment utiliser cette norme pour des essences tropicales ?

Une étude de l'impact du choix de la classe de service sur le coût de la construction a été menée dans le cadre de ce projet, l'objectif étant de comparer les différences de coût sur quatre types de modèles simples, en modifiant la classe de service (les autres hypothèses resteront inchangées)[3].

-  Le premier dimensionnement porte sur une charpente industrielle de dimension "classique" à savoir un 4 pans de 7.5mx10m.
-  Le deuxième dimensionnement porte sur une panne en lamellé collé avec un chargement de vent important, sur une portée de 6m pour un entraxe de 1m20, avec pour objectif une optimisation de la section.
-  Le troisième calcul vérifie une solive en pin massif d'une section de 70x195 et d'une portée de 4m00, avec pour objectif une optimisation de l'entraxe.
-  Le dernier calcul vérifie la même solive dans les mêmes conditions de chargement, mais en utilisant un bois tropical de classe mécanique D30, sur un entraxe de 50 cm et avec pour objectif une optimisation de la section.

Les résultats du surcoût sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Cas	Description	Surcoût classe de service 3	Commentaires
1	charpente industrielle de dimension "classique"	60 à 80%	<ul style="list-style-type: none">  Le volume de bois augmente de 13 %  Tous les connecteurs passent en inox soit une augmentation du coût matière d'environ 60 %  Tous les ancrages (équerrés, boulon, pointes, chevilles) passe en inox soit une augmentation de coût matière d'environ 60%
2	panne en lamellé collé	40 à 50%	<ul style="list-style-type: none">  La retombée de la section passe de 445 mm à 585 mm soit une augmentation de 30 %  Les sabots d'ancrages passe en inox ou sont fabriqués sur mesure en galvanisé (épaisseur supérieure). Le surcoût en quincaillerie peut être estimé à 60%
3	solive en pin massif	60 à 75%	<ul style="list-style-type: none">  Le volume de bois augmente de 50 %  Les sabots d'ancrages passe en inox ou sont fabriqués sur mesure en galvanisé (épaisseur supérieure). Le surcoût en quincaillerie peut être estimé à 60%
4	Solive en bois tropical D30	15 à 25%	<ul style="list-style-type: none">  En conservant l'entraxe et la largeur, soit une augmentation de 13.5 %  Les sabots d'ancrages "initialement" en inox ne subissent pas d'augmentation

Tableau 1 : Illustration du surcoût de la classe de service 3

2.1 Base de l'étude

Les travaux de recherche menés par Thierry Lamadon du Bureau Véritas, du taux d'humidité d'équilibre théorique du bois à partir des paramètres de l'air (HR %, T°C) donnés par MF ont été réalisés au début des années 1990 sur l'ensemble du territoire France pour 22 villes. Cette étude constitue une véritable base de réflexion pour nos travaux ainsi qu'une base de comparaison. Nonobstant, il n'est pas possible d'extrapoler ces travaux au contexte Antillais compte-tenu de la climatologie et du mode de construction.

2.2 Climat antillais

2.2.1 Zones climatiques

Les frontières terrestres de ces deux îles sont aussi des frontières maritimes qui génèrent une humidité de l'air importante et qui plus est, une présence d'eau salée. Dans le domaine de la construction, les milieux maritimes ont toujours été des enjeux car les risques de dégradations sont plus importants. L'eau à elle seule, est un agent de corrosion pour les aciers et de vieillissement pour le bois. Lorsque celle-ci est salée, le risque est encore accru, c'est la raison pour laquelle les zones maritimes sont des zones non négligeables et fortement considérées dans les Eurocodes.

2.2.1.1 Guadeloupe

La Guadeloupe est composée d'une île principale divisée en deux îles que sont Basse-Terre à l'Ouest et Grande-Terre à l'Est. Des petites îles viennent compléter l'archipel : Les Saintes, Marie-Galante, Petite-Terre et La Désirade. La géomorphologie particulière de l'île avec la variation de ses reliefs, de son exposition au vent (venant principalement de l'est), de ses littoraux et de sa végétation a conduit Météo-France à définir

11 zones climatiques (Figure 2) d'iso-pluviométrie. Leurs frontières sont définies par le relief, les côtes, les rivières ou encore par des lignes virtuelles.

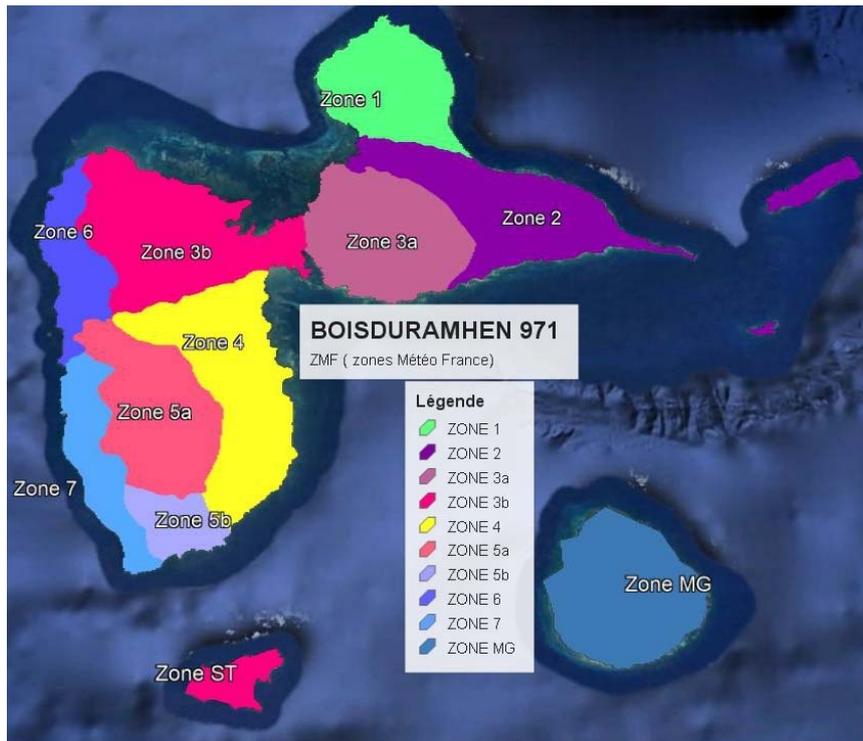


Figure 2 : Zones climatiques Météo-France en Guadeloupe

2.2.1.2 Martinique

L'île de la Martinique se situe entre le tropique du Cancer et l'équateur dans l'arc des Petites Antilles qui sépare l'Océan Atlantique de la Mer des Caraïbes et s'étale sur une superficie de 1128 km², faisant d'elle une île au climat tropical maritime. D'origine volcanique, la partie nord se caractérise par un relief très accidenté qui culmine vers 1400 m pour la Montagne Pelée (volcan) et 1200 m pour les pitons du Carbet. La partie sud, quant à elle, se compose essentiellement de plaine et de collines qui sont inférieures à 500 m d'altitude. A l'Est de l'île, le littoral atlantique est protégé en partie par des barrières de corail, tandis que la façade Ouest plonge rapidement dans la mer des Caraïbes. La Martinique étant une île volcanique elle comporte de nombreux reliefs qu'on appelle des mornes. Sur la partie nord de l'île, au pied de la montagne Pelée et du Piton du Carbet, ces étendus possèdent une végétation luxuriante, prédominant sur toute forme d'urbanisme. Du fait de son altitude, on y retrouve une forte humidité qui y règne toute l'année, raison pour laquelle la flore s'y développe aussi bien. Au regard de la construction, ces conditions forment un risque important lié à l'eau.

La végétation est un indice très représentatif pour connaître le degré d'humidité d'une région. Plus celle-ci est dense et luxuriante, plus la zone est humide. Les forêts sont donc un élément important à regarder, pour comprendre la répartition humide de l'île. Malgré l'importance de la flore, l'Homme à continuer au fil des années à s'installer sur l'ensemble de l'île et à s'urbaniser.

En conséquence, la géomorphologie particulière de l'île avec la variation de ses reliefs, de son exposition au vent (venant principalement de l'est), de ses littoraux et de sa végétation a conduit Météo-France à définir 8 zones climatiques (Figure 23) d'iso-pluviométrie. Leurs frontières sont définies par le relief, les côtes, les rivières ou encore par des lignes virtuelles.

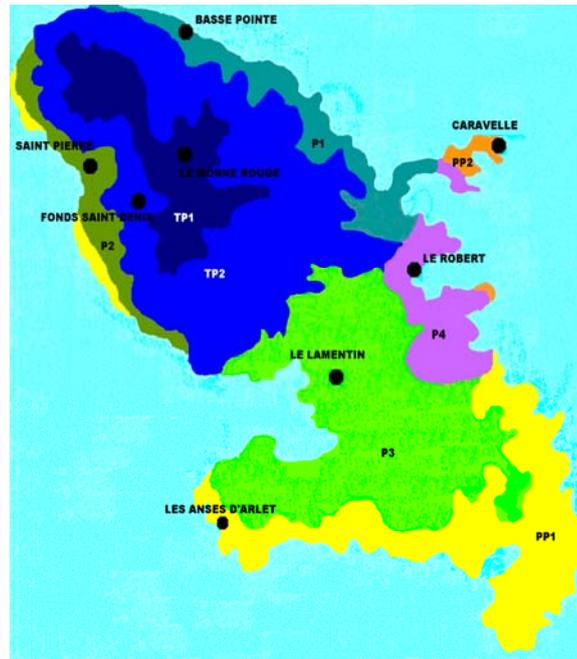


Figure 3 : Zones climatiques Météo-France en Martinique

2.2.2 Les Saisons

Les conditions climatiques des Antilles sont directement régies par les positions saisonnières de l'anticyclone des Açores qui dirige l'alizé de nord-est, et de la zone de basse pression équatoriale ou Zone de Convergence Inter Tropicale (ZCIT) où les alizés de l'hémisphère nord convergent vers ceux de l'hémisphère sud. Elle a donc un climat tropical maritime, rythmé par deux saisons principales, une saison sèche et une saison des pluies.

L'année est caractérisée par une faible amplitude des températures moyennes. En effet, le régime d'alizé d'Est assure une ventilation relativement constante.

Saison sèche			Première transition			Saison des pluies				Seconde transition	
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
L'alizé est constant et soutenu avec un temps sec et ensoleillé en journée et de petites averses fréquentes en fin de nuit. Les températures nocturnes sont fraîches. Les situations pluvieuses nocturnes sont fraîches. Les situations pluvieuses sont liées à l'influence des fronts froids circulant au nord de l'arc antillais.			Des averses plus fréquentes alternent avec des embellies. Parfois, de fortes pluies, souvent orageuses, se manifestent entre avril et mai. Les températures sont en hausse, surtout les minimales nocturnes.			Temps chaud et humide. Associées à des ondes d'est ou à l'influence plus ou moins directe de cyclones tropicaux, des épisodes de pluies abondantes, voire diluviennes, affectent l'archipel. Souvent, la faiblesse de l'alizé débouche sur un temps lourd et orageux en journée.				Les pluies diminuent, avec une alternance d'averses et de belles éclaircies. Les alizés reprennent de la vigueur. Les températures sont en baisse.	

Figure 4 : Saisons des Antilles (Météo-France)[7]

La pluviométrie est en partie responsable de l’humidité qui règne en Martinique et Guadeloupe.

Pour la Martinique, on constate par ailleurs, que toute la zone de la montagne Pelée et du Piton du Carbet, est une zone avec une forte pluviométrie, raison pour laquelle le climat qui y persiste est si humide. La pluviométrie moyenne d’une station de plaine (Le Lamentin au centre de la Martinique) est donnée ci-dessous. Les hauteurs relevées sont très influencées par le relief, l’orientation et l’altitude. Un exemple des normales annuelles est précisé pour la ville du Lamentin dans le tableau ci-dessous.

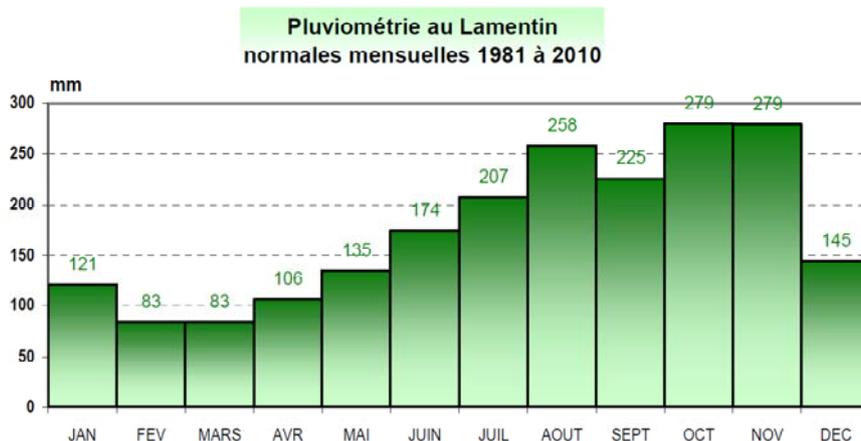


Tableau 2 : Normales annuelles en mm de la pluviométrie par localité [7]

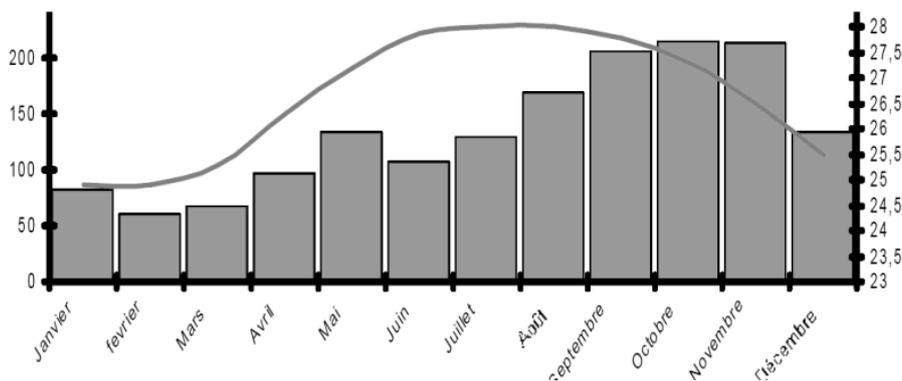
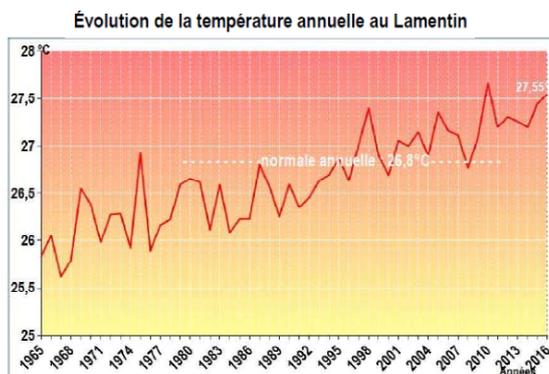


Figure 5 : Diagramme ombrothermique (températures et pluie) à Les Abymes Le Raizet[7]

Une étude réalisée par MF sur l’évolution de la température au Lamentin de 1965 à 2016 montre un accroissement des températures.



Température

L’accroissement des températures se vérifie une fois de plus cette année puisque la moyenne annuelle du Lamentin (27,5°C) grimpe au second rang des plus chaudes (derrière 2010).

Figure 6 : Evolution de la température moyenne annuelle au Lamentin [7]

Second agent climatique influant sur l'humidité du bois, l'humidité relative de l'air présente des variations plus importantes que la température à l'échelle de l'île et à l'échelle de la zone climatique. Ainsi, les études de la pluviométrie, de la température et de l'humidité relative de l'air démontrent la diversité du paysage et donc du climat.

Le tableau suivant établi par MF récapitule pour la Guadeloupe les informations sur la variation d'humidité selon la ZMF.

BOIS-DURAMHEN

Zone MF	Période	Information sur la variation de l'humidité (Source fiches climatologiques Météo France)
1	1991-2000	L'amplitude moyenne des humidités est faible (7% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative est proche de 80% sur le littoral elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est de 25%. Le poste de référence est celui de Petit-Canal Godet
2	1999 - 2008	L'amplitude moyenne des humidités est faible (6% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative est légèrement supérieure à 80% sur le littoral. Elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est d'un peu plus de 25%.
3a	1998 - 2007	L'amplitude moyenne des humidités est faible (9% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative est proche de 79% sur le littoral elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est de 38%.
3b	1991 - 2000	L'amplitude moyenne des humidités est faible (9% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative est proche de 78% sur le littoral elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est de 38%. Mais elle est aussi fortement influencée par l'altitude. Le phénomène de détente atmosphérique due à la présence du relief conduit à une humidification forcée au vent du relief. Les valeurs moyennes redeviennent donc importantes avec l'altitude (déjà plus de 85 à 90% au-dessus de 300m).
4	1991 - 2000	L'amplitude moyenne des humidités est faible (6% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est de 20%. La valeur moyenne de l'humidité relative est proche de 85% sur le littoral elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. Mais elle est aussi fortement influencée par l'altitude. Le phénomène de détente atmosphérique due à la présence du relief conduit à une humidification forcée au vent du relief. Les valeurs moyennes redeviennent donc importantes avec l'altitude (déjà plus de 85 à 90% au-dessus de 300m).
5a	Pas de mesure ancienne	L'amplitude moyenne des humidités est faible (moins de 5% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative moyenne est parfois supérieure à 85% voire 90%. Le phénomène de détente atmosphérique due à la présence du relief conduit à une humidification forcée au vent du relief. Les valeurs moyennes redeviennent donc importantes avec l'altitude. Mais très vite à l'arrière du relief on assiste à une décroissance des valeurs de l'humidité relative due au phénomène de foehn.
5b	Pas de mesure ancienne	Il n'existe pas à ce jour de mesure ou d'étude de l'humidité relative de cette zone. Les connaissances climatologiques et géographiques laissent présager d'une certaine conformité de comportement avec la zone 4. L'amplitude moyenne des humidités est faible (6% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est de 20%. La valeur moyenne de l'humidité relative est proche de 85% sur le littoral elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. Mais elle est aussi fortement influencée par l'altitude. Le phénomène de détente atmosphérique due à la présence du relief conduit à une humidification forcée au vent du relief. Les valeurs moyennes redeviennent donc importantes avec l'altitude (déjà plus de 85 à 90% au-dessus de 300m)
6	Pas de mesure ancienne	L'amplitude moyenne des humidités est importante proche de 15% en variation annuelle de la moyenne mensuelle. La valeur moyenne de l'humidité relative moyenne est en général proche de 80%. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est proche de 40%. Le phénomène de foehn dû à la présence du relief conduit à un assèchement forcé sous le vent du relief. Les valeurs moyennes restent relativement constantes même en altitude.
7	1998 - 2007	L'amplitude moyenne des humidités est proche de 30% en variation annuelle. La valeur moyenne de l'humidité relative moyenne est en général proche de 80%. Le phénomène de foehn dû à la présence du relief conduit à un assèchement forcé sous le vent du relief. Les valeurs moyennes restent relativement constantes même en altitude
MG	1998-2007	L'amplitude moyenne des humidités est faible (6% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative est légèrement supérieure à 80% sur le littoral. Elle diminue progressivement mais légèrement en s'enfonçant dans les terres. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec est d'un peu plus de 25%.
ST	Pas de mesure ancienne	Comme dans le cas de la température les conditions environnementales laissent penser que l'amplitude moyenne des humidités doit être faible (7% de variation annuelle de la moyenne mensuelle). La valeur moyenne de l'humidité relative doit être proche de 80%. La variation maximale entre le jour le plus humide et le jour le plus sec proche de 25%.

Tableau 3 : Synthèse des informations climatiques MF selon la zone ZMF (Météo France)

2.3 L'utilisation du bois aux Antilles

L'Eurocode 5-1 étant principalement orienté vers les essences résineuses tempérées non présentes naturellement sur la Guadeloupe, il apparaît nécessaire de connaître les essences utilisées sur son sol. Après interrogation des principaux importateurs de bois et des constructeurs bois de l'archipel guadeloupéen, quelques conclusions peuvent être apportées. La construction bois guadeloupéenne se base majoritairement sur l'importation de résineux et de bois Feuillus tropicaux.

Les résineux pouvant être trouvés sur la Guadeloupe et Martinique sont issus du territoire européen : douglas, épicéa, mélèze, pin maritime, pin sylvestre et sapin. Les Feuillus tropicaux présents dans les constructions bois guadeloupéennes proviennent principalement de l'Amérique latine et de l'Asie.

Résineux Structuraux	Feuillus Structuraux	Feuillus non Structuraux
Douglas	Amarante (Bois violet)	Acajou d'Afrique (Mahogany)
Épicéa	Angelim	Andira (Saint martin rouge)
Mélèze	Angelim vermelho	Bacuri
Pin maritime	Angelique	Cèdre d'Afrique
Pin sylvestre	Cumaru	Cèdre du Brésil
Sapin	Jatoba (Courbaril)	Cœur dehors
Pin caraïbes	Kempas (*)	Curupixa
Virola	Keruing(*)	Ipé
	Macaranduba (balata)	Okoumé
	Muiracatiara	Parcouri
	Piquiarana	Tatajuba
	Okoumé	Wacapou
	Iroko	Walaba

Tableau 4 : Synthèse des essences utilisées aux Antilles (*Asie)

Dans le logiciel BOIS DURAMHEN, les caractéristiques mécaniques de ces essences sont indiquées dans une base de données concoctée à partir de données issues du site Web du CIRAD. (UR BioWooEB /Cirad. – Fiches Tropix) <https://tropix.cirad.fr/fiches-disponibles>.



Tableau 5 : Exemples d'ouvrages en bois aux Antilles

SYNTHESE CHAPITRE 2

Définition de la classe de service

- **Classe de service 2** : est caractérisée par une humidité dans les matériaux correspondant à une température de 20 °C et une humidité relative de l'air ne dépassant 85 % que quelques semaines par an
- **Classe de service 3** : Conditions climatiques amenant des humidités supérieures à celles de la classe de service 2

Impact de la classe de service

- Les territoires des Antilles n'étaient pas représentés sur le point normatif (CB71) ce qui a pour conséquence qu'ils soient orphelins du chap 3.2.1 de l'EC5-1. D'où un classement défavorable en classe de service 3.
- Abandon de certains matériaux (exemple : OSB3)
- Surcoût important de la construction bois

Climat

- La synthèse des données climatiques fournies par MF montre une variation spatio-temporelle des Humidités relatives de l'air avec les zones suivantes les plus humides a priori :
 - *Les montagnes*
 - *Les forêts*
 - *Zones de cours d'eau*
 - *Les fonds de vallées*
- Cette variation de l'humidité relative HR % dans le temps est plus marquée en Guadeloupe
- En Martinique, dans une station MF l'humidité relative de l'air est assez stable avec une augmentation légère durant les mois de Juillet à Novembre (tendance assez nette dans les zones TP1 et TP2 zones de montagnes) ; on trouve un écart moyen sur l'année de l'ordre de 2 au maximum.
- Température assez stationnaire sur l'ensemble des deux territoires dans le temps et dans l'espace sauf dans les montagnes où elles sont plus fraîches

Essences bois

- Les principales essences rencontrées viennent d'Amérique du Sud, et d'Europe (résineux).
- Les principaux ouvrages rencontrés sont en bois résineux, le bois feuillu tropical est malgré tout très répandu
- Les ouvrages sont variés allant de la simple charpente en bois massif de maison individuelle aux ouvrages portiques ou arcs lamellé collé de gymnase.

3 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

3.1 Protocole

L'étude des projets BOIS DUR-AMHEN s'étale sur une durée de 15 mois et le protocole défini comprend 3 grandes étapes. Une méthodologie expérimentale définit et cadre les prises de mesure tandis qu'une méthodologie d'exploitation des données s'intéresse au traitement des informations présentes en très grand nombre[10].

3.1.1 Organisation du projet

Dans un premier temps, une étude à « l'échelle macroscopique » est réalisée sur une période d'un an en suivant ces différentes phases :

- Identification et réalisation d'une cartographie des zones Météo France
- Identification des villes principales et des zones à environnement humide
- Recensement des zones où le cycle sécheresse/humidité est important
- Identification des zones où le choix d'une classe de service ne peut se faire
- Établir un retour d'expérience sur les ouvrages et essences bois résineux
- Réaliser des mesures sur site dans ces zones cibles

Cette première étape a été suivie d'une étude qui rentre plus en détail et donc menée à « l'échelle microscopique », les différentes phases sont :

- Établir un retour d'expérience sur les ouvrages et essences feuillues tropicales
- Réaliser un maillage plus fin dans les zones où le choix d'une classe de service ne peut se faire
- Approfondir quelques sites de l'étude constituant la première étape en confirmant certaines mesures et interprétations dans le cas d'incertitude

Enfin, une étude basée sur les données fournies par Météo France est réalisée sur une période longue durée et les années couvertes par les projets 2017 et 2018 avec les phases suivantes :

- Dépouillement des données de Météo France
- Comparaison avec les mesures in-situ
- Identification d'une tendance ou loi physique
- Lecture de l'humidité d'équilibre théorique sur la courbe hygroscopique de l'AN de l'EC5-1-1 à par des paramètres (T°C-HR%) de l'air relevés par MF
- Extrapolation éventuelle pour les zones géographiques non couvertes par les campagnes de mesures

3.1.2 Méthodologie expérimentale

Pour réaliser une cartographie de l'île suivant les différentes classes de service, il est nécessaire de posséder un certain nombre de mesures réparties sur la Guadeloupe et la Martinique. Pour cela, différentes constructions bois ou constructions mixtes comportant des éléments bois ont dû être choisies. Ce choix s'est fait en respectant un minimum de 2 sites par zone Météo France avec au moins un site situé à proximité d'une station de mesures Météo France quand cela est possible. Par ailleurs, quelques zones existent où le choix d'une classe de service est relativement difficile. Des sites présents dans ces zones ont donc été rajoutés afin de répondre au mieux au caractère micro climatique de l'île (Figure 7). L'environnement (urbanisé, maritime...), l'altitude et l'âge de la construction sont renseignés pour chaque site.

Les différents sites étudiés étant déterminés, les éléments en bois dont la teneur en humidité sera mesurée doivent être aussi déterminés. Pour chaque site, un ou plusieurs éléments ont été choisis de manière à

obtenir le plus d'informations exploitables. Ainsi, l'objectif visé était d'obtenir des expositions, des rôles structuraux, des emplacements, des essences et des matériaux différents afin de posséder un panel intéressant.

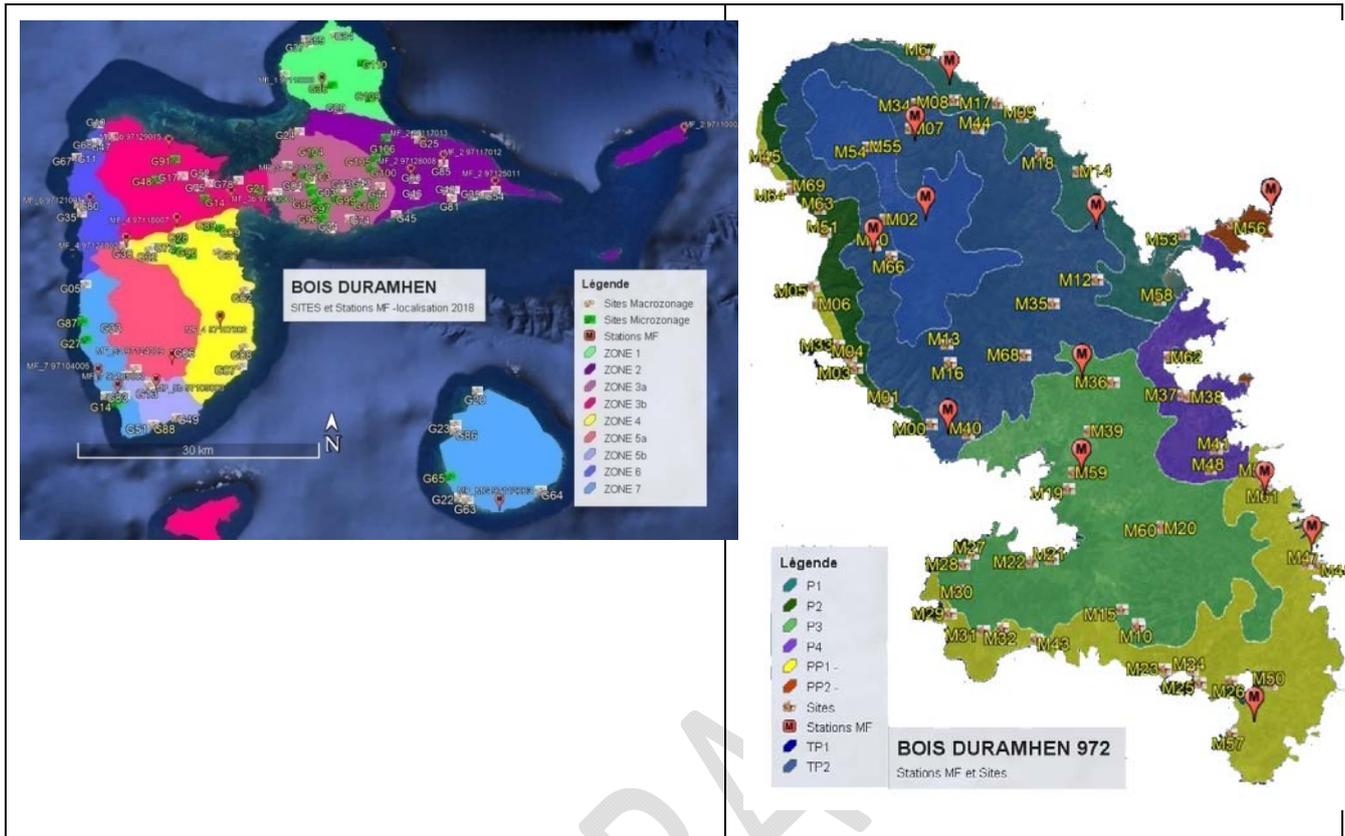


Figure 7 : Sites choisis pour la réalisation de l'étude

Ce dernier permettra de déterminer, en conclusion de ce projet, les différents facteurs influençant la teneur en eau du bois. Ces paramètres, renseignés pour chaque élément, peuvent être définies suivant différentes possibilités :

- Fonction
 - Élément structural (poteau, poutre...)
 - Élément non structurale (bardage, deck...)
- Emplacement
 - Intérieur
 - Extérieur
 - Combles
 - Soubassement
- Essence / Matériau
 - Résineux bois massif
 - Résineux lamellé-collé
 - F bois massif
 - F lamellé-collé
 - CLT
 - Composite
- Revêtement
 - Lasure
 - Saturateur
 - Peinture
 - Brut
- Type
 - Charpente toiture

- Charpente industrielle
- Ossature mur
- Ouvrage extérieur
- Exposition
 - Abrisé
 - Exposé permanent
 - Exposé temporaire
 - Exposé partiel
- Orientation
- Section

Une fois les caractéristiques de l'élément définies et renseignées, les mesures peuvent être effectuées. Ces dernières concernent l'analyse environnementale et la teneur en eau de l'élément bois étudié. Pour obtenir une représentation pertinente de cette teneur en eau, il est nécessaire de respecter quelques principes.

Ainsi, les mesures d'un site sont réalisées toutes les 2 semaines de manière à obtenir au moins deux relevés par mois. Ces mesures sont effectuées de préférence alternativement le matin et l'après-midi de manière à prendre en compte les variations d'humidité durant la journée.



Figure 8 : Mesure d'humidité du bois à l'aide d'un humidimètre capacitif

L'appareil utilisé est un humidimètre capacitif (Figure 8) et permet donc un réglage suivant la valeur de la grandeur masse volumique pour l'élément bois soumis aux mesures. De par le nombre important de constructions bois étudiées dans le cadre de cette étude, différentes essences de bois voient leur teneur en eau mesurée. Par souci de simplification, un réglage de l'appareil sur seulement deux masses volumiques a été décidé par sécurité :

- 420 kg/m³ pour les résineux
- 750 kg/m³ pour les Feuillus tropicaux.

Différentes données viennent introduire l'analyse environnementale telle que l'heure ou le climat lors de la prise de mesures. Il semble judicieux de préciser que le climat est décrit suivant les paramètres observés (vent, humidité ressentie, ensoleillement) sur le moment bien qu'un temps pluvieux la veille puisse être indiqué. Ces observations sont complétées par des mesures d'humidité relative et de température de l'air. Elles sont réalisées à partir de l'hygromètre observable sur la Figure 11. Ces mesures se font de façon à ce que l'appareil ne soit pas directement exposé au soleil, au vent ou encore à la pluie. En effet, un contact direct du capteur de l'hygromètre avec un de ces paramètres peut fortement influencer les valeurs mesurées de l'humidité relative et de la température de l'air.

3.1.3 Métrologie et étalonnage

3.1.3.1 Humidimètre

3.1.3.1.1 Préambule

Il existe trois types d'humidimètres électriques, chacun fondé sur la relation existante entre l'humidité du bois et une grandeur électrique différente :

- 

l'humidimètre à conductance ou humidimètre résistif qui exploite la relation entre l'humidité et la conductance du courant ;

De par la faible longueur des pointes, la mesure reste généralement superficielle. Cependant, une mesure au cœur du bois peut être réalisée avec des pointes plus profondes. Sur la tête de ces pointes est connectée l'appareil de mesure qui permettra une mesure aux extrémités si les corps des pointes sont isolés (par exemple à l'aide d'un vernis), ou une mesure moyenne sur toute la longueur des pointes si tel n'est pas le cas.
- 

l'humidimètre à perte de courant qui exploite la relation entre l'humidité et le facteur de perte diélectrique du bois ;
- 

l'humidimètre à capacitance ou capacitif qui utilise la relation entre l'humidité et la constante diélectrique du bois.

La profondeur de mesure varie suivant l'appareil utilisé. Il est cependant nécessaire d'avoir une épaisseur de la pièce de bois suffisante afin de ne pas obtenir la mesure d'humidité de son support. La mesure obtenue au travers de ces appareils est une moyenne réalisée sur toute la hauteur du champ de haute fréquence émis. Cela permet ainsi d'obtenir une valeur du taux d'humidité des pièces de bois dont l'épaisseur est jusqu'à deux fois plus importante que la hauteur de ce champ. Un réglage préalable de l'humidimètre en fonction de l'essence étudiée doit être réalisé à cause de l'influence importante de la masse volumique du bois.

Dans le projet BOIS DURAMHEN, le principal type d'appareils utilisé est l'humidimètre capacitif. L'humidimètre à pointe n'étant utilisé que ponctuellement pour effectuer des corrélations ou comparaisons.

Pour rappel, la conductance électrique, inverse de la résistance, est la capacité d'un matériau, soumis à une différence de potentiel à laisser passer une certaine quantité de courant électrique.

Tandis que la conductance ne varie pas avec la densité, la constante diélectrique du bois, elle, croît quasiment linéairement avec l'augmentation de la densité même si elle présente une légère forme convexe lors de la diminution du taux d'humidité du matériau.

Une fois la masse volumique choisie sur l'humidimètre, la prise de mesure sur l'élément bois peut débiter. Afin de ne pas obtenir de mesures faussées suite à une quantité d'eau trop importante, il a été nécessaire de suivre les recommandations suivantes :

- 

éviter les bois gorgés d'eau suite à un épisode pluvieux ou autre.
- 

les mesures d'humidité du bois sont faites dans les zones hors assemblages (de 50cm à 100 cm d'une extrémité).
- 

les mesures sont réalisées hors surfaces comportant des éléments métalliques ou des nœuds.
- 

l'épaisseur de la pièce de bois doit être suffisante (25mm) pour la hauteur du champ de fréquence émis.
- 

la largeur de l'élément bois doit être suffisamment importante pour que la totalité de la surface d'émission du champ de fréquence soit en contact avec l'élément bois (Figure 9). Le fabricant recommande donc qu'au moins une des dimensions de la pièce étudiée soit supérieure ou égale à 68mm.

En respectant ces préconisations issues du protocole de mesures, une série de 3 à 5 mesures ont été effectuée pour chaque face choisie pertinemment (suivant l'exposition, l'accessibilité ou encore les dispositions constructives). Ces mesures sont espacées d'au moins 20 cm de manière à couvrir une surface importante de l'élément étudié.

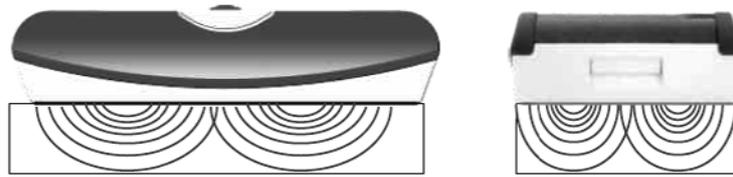


Figure 9 : Champ d'émission de l'humidimètre nécessitant une hauteur et largeur suffisantes [Merlin]

	Humidimètre résistif	Humidimètre capacitif
Avantages	<p>Haute précision de mesure (0,4% d'écart entre 7 et 20% d'humidité)</p> <p>Coût faible</p> <p>Mesure ponctuelle possible à l'aide de points isolés</p> <p>Pas d'influence de l'orientation du bois sur les mesures</p>	<p>Haute précision de mesure (0,6% d'écart entre 7 et 20% d'humidité)</p> <p>Mesure immédiate par simple contact</p> <p>Possibilité de mesure dynamique</p> <p>Méthode non destructive</p> <p>Mesure moyenne et donc plus représentative</p>
Inconvénients	<p>Mesure superficielle</p> <p>Méthode destructive</p> <p>Nécessité de choisir un emplacement de mesure significatif</p> <p>Fiable sur une plage d'humidité de 6 à 30%</p> <p>Influence de la température</p> <p>Influence de la densité</p>	<p>Coût élevé</p> <p>Fiable sur une plage d'humidité de 4 à 30% texte comblant</p> <p>Influence de la température</p> <p>Influence de la densité</p>

Tableau 6 : Comparaison des propriétés des humidimètres

3.1.3.1.2 Détermination de la masse volumique anhydre

Pour rappel, il était convenu en première approche d'adopter les réglages suivants pour les mesures d'humidité du bois avec EVO SM Merlin :

 Résineux : Epicéa 420 kg/m³

 Feuillus: Keruing 740 kg/m³

Il convient d'appliquer à nos mesures un coefficient correcteur K_{corr2} pour tenir compte de la vraie masse volumique des bois faisant l'objet de mesures d'humidité et du réglage initial de l'humidimètre.

Pour cela, il est important de déterminer la masse volumique des bois faisant l'objet de mesures d'humidité au moyen des appareils humidimètres. Il est donc prélevé quelques échantillons représentatifs des éléments bois rencontrés sur site qui sont passés en étuve afin de les assécher et déterminer leur masse volumique anhydre [11].

Les échantillons sont mis à l'étuve jusqu'à atteindre leur état anhydre. Pour connaître l'absence de teneur en eau dans un élément bois, il suffit simplement de mesurer sa masse régulièrement, sur une période de 24h dans le cadre de cette étude, et de relever le moment où elle demeure constante.

Une comparaison avec d'autres expériences menées ultérieurement permettront d'établir des coefficients de correction qui seront appliqués sur les résultats mesurés in-situ à partir du calibrage fixé dans le protocole.

Les graphes de perte d'humidité en étuve (à 105°C) puis de reprise d'humidité en atmosphère ambiante sont présentés dans le rapport de la référence [12].

Un exemple de graphe est reproduit ci-après, il représente l'évolution de la masse d'un échantillon en fonction du temps. Lorsqu'un palier est observé, l'échantillon est sorti de l'étuve, ses dimensions sont mesurées ainsi que son humidité afin de déterminer sa masse volumique anhydre.

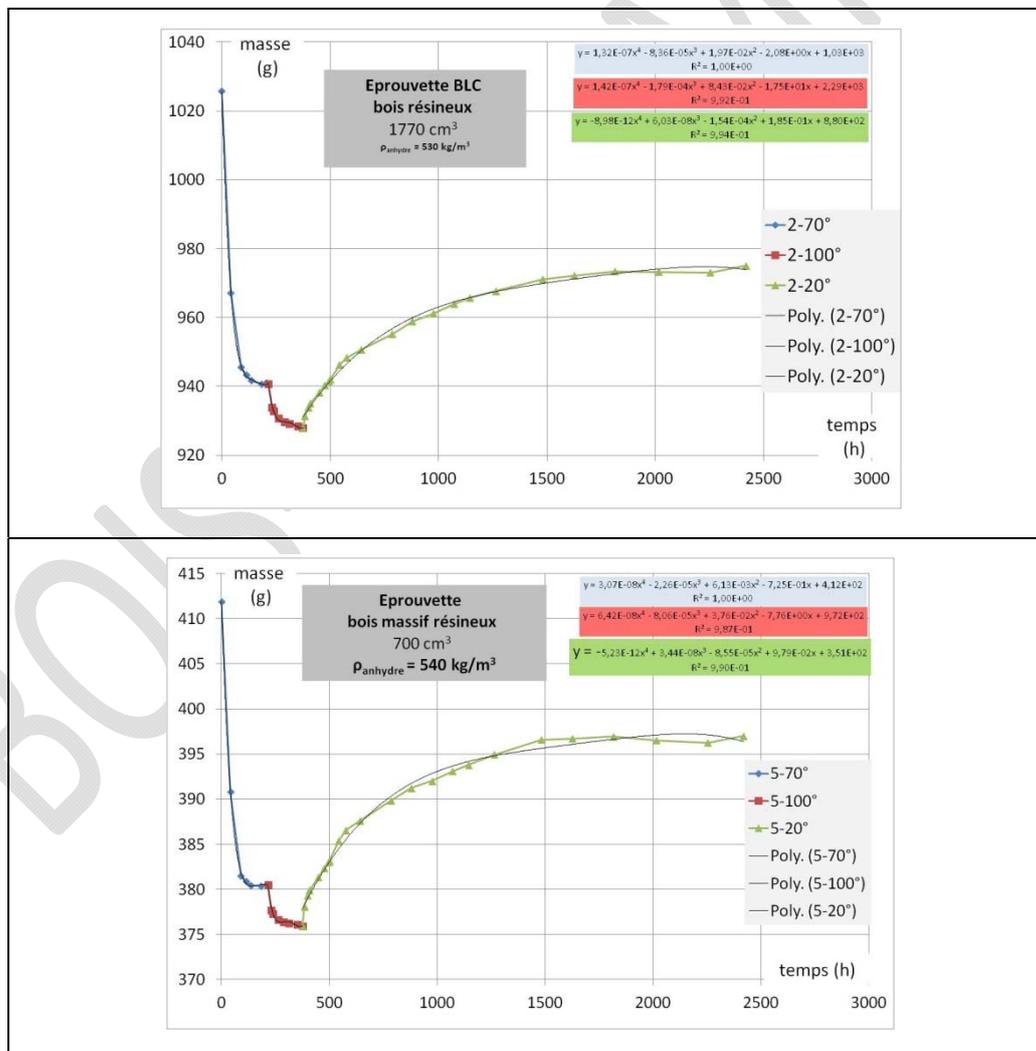


Figure 10 : Exemples d'évolution relative de la masse des éprouvettes Bois Résineux et Feuillus en fonction du temps

3.1.3.1.3 Détermination de la correction du réglage de l'humidimètre

En effectuant plusieurs mesures sur un échantillon de bois Résineux puis de Bois Feuillus, nous pouvons établir la loi de variation d'humidité en fonction de la masse volumique adoptée au réglage.

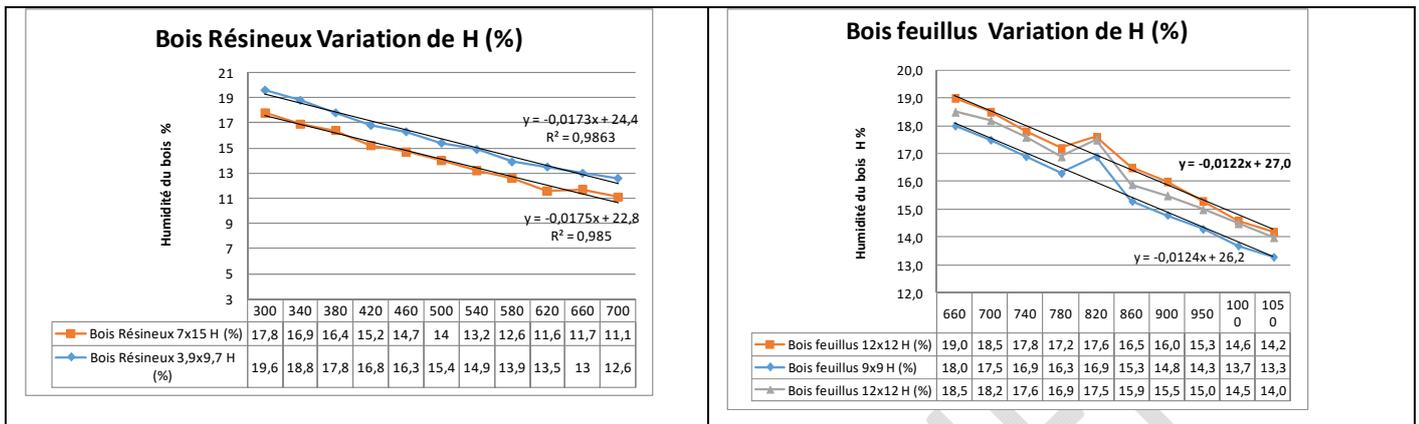


Tableau 7 : Lois de variation de l'humidité en fonction du réglage du commutateur

La loi de variation est quasi linéaire comme ce qui est écrit dans la littérature ; on peut retenir comme coefficient correcteur Kcorr2 selon l'essence.

3.1.3.2 Hygromètre

La température et l'humidité relative de l'air permettent de décrire le climat auquel le bois est soumis. Ces grandeurs sont mesurées lors de la prise de mesure d'humidité du bois, sur un court intervalle.

De manière générale, les agents climatiques, et plus particulièrement l'humidité relative de l'air, peuvent connaître des variations plus ou moins importantes sur un laps de temps assez court. Cela est particulièrement observable dans un caractère microclimatique tel que celui que connaît la Guadeloupe.



Figure 11 : Hygromètre renseignant l'humidité relative et la température de l'air

À cette considération s'ajoute la précision de l'hygromètre qui est selon le fabricant (Fluke) :

Appareil	Précision	
	Température T°C	Humidité HR%
FLUKE971	±0,5°C	±2,5%
PCE	±1°C	±3,5% (20 ~80%) / ±5% (80 ~100%)

Pour la température, vu la forte précision des appareils, aucune correction ne sera nécessaire et ne sera appliquée. Suite à un entretien avec un conseiller Météo-France, une précision de ±5% est à prendre en compte pour l'humidité relative de l'air afin de considérer les variations climatiques durant la prise de mesure. En conséquence, pour l'humidité relative de l'air mesurées in situ ; c'est donc une correction totale de ±7,5% qui doit être effectuée.

3.2 Méthodologie d'exploitation

3.2.1 Préambule

Le logigramme suivant permet de synthétiser l'ordre d'enchaînement des tâches.

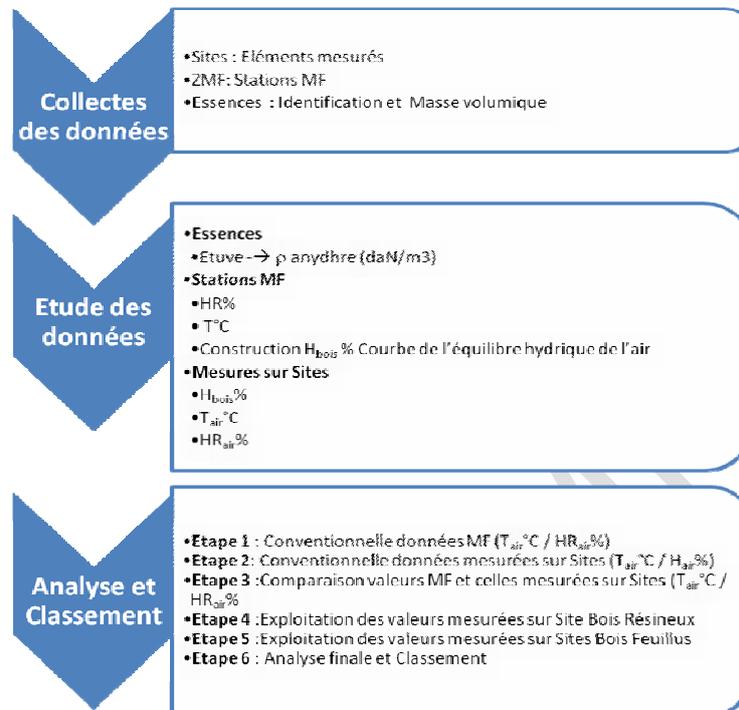


Figure 12 : Méthodologie globale de l'étude BOIS DUR-AMHEN

3.2.2 Données mesurées sur Sites

Les investigations sur site ont démarré fin octobre 2016. Les données mesurées tous les 15 jours sont les suivantes :

-  Température de l'air T° C
-  Humidité relative de l'air HR%
-  Humidité instantanée du bois H%

Les mesures étant réalisées, il est nécessaire de se baser sur une méthodologie d'exploitation des données afin de cibler au mieux les informations susceptibles de répondre aux problématiques de l'étude. En effet, cette dernière possède un large panel d'éléments différents les uns des autres dans leur environnement, leur revêtement, leur section, leur essence, leur orientation, leur âge ou encore leur emplacement. Déterminer comment trier, interpréter 3 ou 5 mesures sur une ou plusieurs faces de quelques éléments présents dans différents sites sur une zone géographique permet de définir une cartographie simplifiée de l'humidité du bois sur la Guadeloupe.

Au commencement, 3 à 5 mesures sur une face doivent être utilisées pour donner une humidité du bois normale d'une face d'un élément bois. Au début de l'étude, une moyenne de 3 mesures était définie à l'exception des faces à largeur importante ou présentant une forte variabilité d'humidité pour lesquelles une moyenne de 5 mesures semblait intéressante. La définition de cette humidité normale a été modifiée durant le projet afin d'obtenir une meilleure représentation. En effet, les variations d'humidité peuvent être plus ou moins importantes sur l'ensemble d'une face d'un élément bois. Une représentation de l'humidité pourrait être fortement influencée par une ou plusieurs valeurs extrêmes. **Le choix a donc été fait d'une réalisation de 5 mesures, quand cela est possible, puis de calculer la moyenne ou la médiane de ces valeurs.**

La teneur en eau normale d'une face étant déterminée, celle de l'élément bois doit être définie. Naturellement, la question se pose de savoir quelle face choisir.

De manière à obtenir des résultats sécuritaires, **le choix a été fait de définir la teneur en humidité du bois à partir de la face présentant la médiane la plus élevée.** Ce choix est justifié lorsqu'une ou plusieurs faces sont imbibées suite à un événement pluvieux (ou autre) car les faces mouillées ne sont pas mesurées.

A l'échelle du site, la définition d'une ou plusieurs humidités normales reste valable ; le tri des différents éléments d'un site pouvant se faire par exemple en fonction des paramètres singuliers : massivités, revêtements ou essences.

À l'échelle de la zone Météo France, trois paramètres variables d'un site à l'autre ressortent principalement : l'altitude, l'environnement et l'âge de la construction.

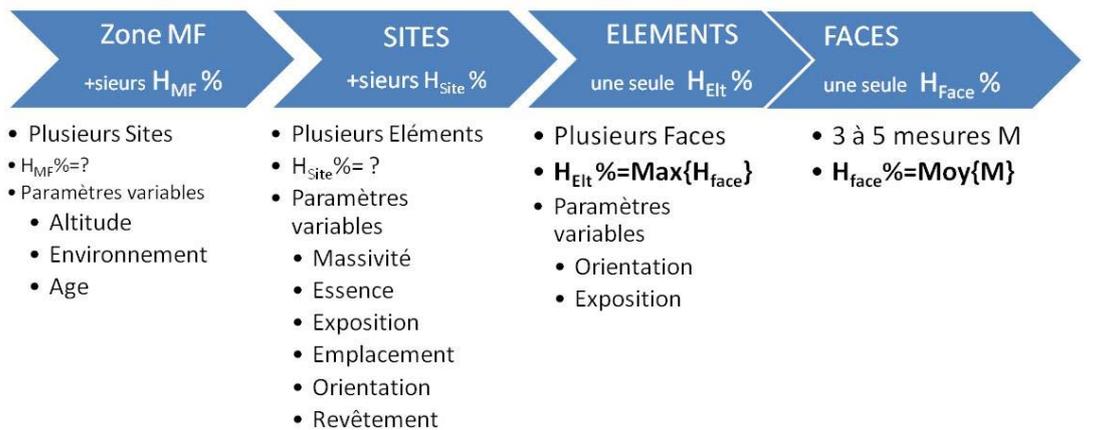


Figure 13 : Humidité du bois et paramètres considérés suivant les différentes échelles d'observation

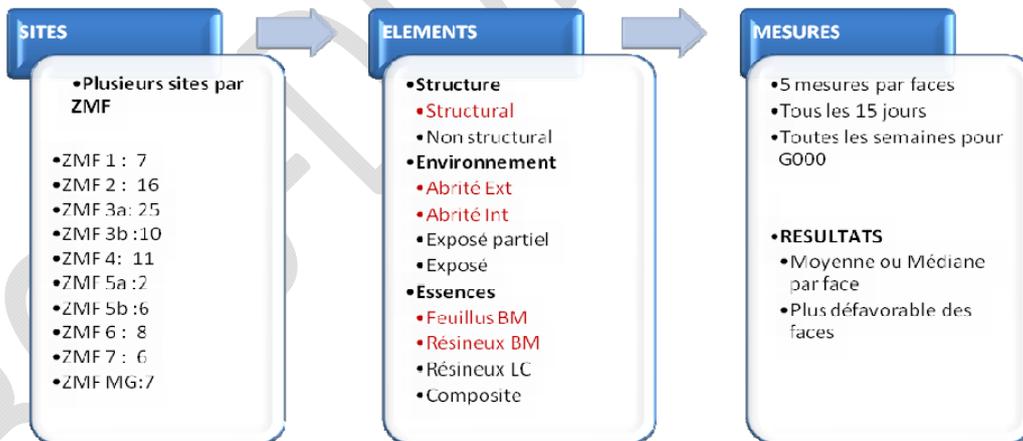


Figure 14 : Synthèse des paramètres relevés sur Sites

Le bois mettant un certain temps avant d'atteindre son humidité d'équilibre, une mesure à un instant donné (sauf cas exceptionnels où un contact direct avec une quantité d'eau importante se fait) permet donc de représenter la teneur en eau du bois durant une période plus importante. La mesure de ce paramètre, sous réserve du respect de certains principes, sera donc représentative.

La méthodologie adoptée vis-à-vis de l'humidité du bois étant décrite, celle des paramètres caractérisant les conditions environnementales sont à définir. La température et l'humidité relative de l'air permettent de décrire le climat auquel le bois est soumis. Ces grandeurs sont mesurées lors de la prise de mesure d'humidité du bois, sur un court intervalle. De manière générale, les agents climatiques, et plus particulièrement l'humidité relative de l'air, peuvent connaître des variations plus ou moins importantes sur un

laps de temps assez court. Cela est particulièrement observable dans un caractère microclimatique tel que celui que connaît la Guadeloupe.

3.2.3 Données Météo France

Les mesures sur site ne constituent pas l'unique source d'informations vis-à-vis des données climatiques. En effet, des températures et des humidités relatives de l'air moyennes journalières et mensuelles ont pu être obtenues pour différentes stations Météo France. Les stations choisies l'ont été en privilégiant celles qui fournissent les deux paramètres climatiques. Une station au minimum a été adoptée par zone Météo France afin de déterminer des tendances spatio-temporelles.

Ces données fournies par Météo France permettent différents travaux d'interprétation selon la note de cadrage de Th Lamadon Bureau Veritas:

-  l'humidité relative et la température **moyennes mensuelles** permettent la détermination de l'humidité d'équilibre théorique du bois sur une zone géographique à partir des courbes d'équilibre hygroscopique du bois (Etape 1 du projet). La valeur obtenue est ensuite comparée aux deux paliers utilisés dans la définition des classes de service de l'Eurocode 5-1 chap.3.2.1
 - Les secteurs où ce paramètre est supérieur à 20% sur une période consécutive de **3 mois sont identifiés.**
 - l'importance des variations est relevée par le calcul de la différence entre les valeurs d'humidité du bois maximale et minimale.

Les stations Météo France seront ainsi classées suivant trois paliers définissant des régimes « stationnaire » et « **perturbé** :

-  $\Delta < 4\%$,
-  $5\% < \Delta < 7\%$,
-  $8\% < \Delta < 10\%$,

si $\Delta H \geq 5\%$, le régime est dit « perturbé »

-  les paramètres théoriques de l'air (données climatiques fournies par Météo-France) sont aussi comparés à ceux mesurées sur site afin de vérifier la cohérence d'ensemble.

Cette **démarche conventionnelle** dans le projet permet donc la définition des classes de service au sens de la NF EN1995-1 pour chaque zone définie par Météo France. Cependant, cette méthode se base sur les mesures réalisées sur une ou plusieurs stations. Bien que les localités de ces stations aient été choisies par Météo-France afin de représenter au mieux certaines zones, il n'en demeure pas moins que le caractère microclimatique guadeloupéen au sein même de ces zones peut fortement influencer les paramètres climatiques. De plus, l'environnement proche (altitude et zone côtière) et les dispositions constructives caractérisant un ouvrage en bois jouent un rôle important sur l'humidité du bois en service, que ce soit directement (au travers d'un contact direct avec de l'eau) ou non (au travers de l'humidité relative et de la température de l'air).

Il est donc nécessaire de comparer ces humidités d'équilibre du bois théoriques à celles mesurées sur site afin de s'assurer dans quelle mesure une cartographie peut être réalisée à partir des données climatiques fournies par Météo-France seules. Par ailleurs, de par son utilisation des courbes d'équilibre hygroscopique exclusives aux bois résineux, cette méthodologie exclut les essences feuillues tropicales. Pour répondre à ce manque d'informations, les mesures réalisées in-situ s'avèrent, une fois encore, nécessaires. La question se pose de savoir quelle est l'humidité du bois prise en compte pour un site dans le cadre de cette comparaison. L'emplacement de l'élément est important attendu que quand ce paramètre varie, l'humidité relative et la température de l'air connaissent généralement des évolutions. La pluie et le vent faisant fortement varier l'humidité du bois directement (par un contact direct avec l'eau de pluie) ou les deux paramètres climatiques influençant l'humidité du bois, il est important de considérer l'exposition de l'élément.

Par ailleurs, les mesures effectuées par les stations MF font abstraction de l'effet du vent de part la conception de la prise de mesure des paramètres de l'air.

Suivant toutes ces considérations, pour application de la méthode conventionnelle, ce sont seulement les éléments extérieurs abrités qui sont choisis pour déterminer la teneur en eau du bois mesurée sur site à comparer à l'humidité d'équilibre déterminée à partir des données fournies par Météo-France.

STATIONS MF							Données MF récoltées					Remarques (X=données existantes)
ZMF	N°	Ville	Nom	Longitude	Latitude	Alt	2016	2017	2018	Longue durée	Nbre année total	
1	97119008	PETIT-CANAL	PETIT-CANAL GODET-INRA	61°28'54"W	16°24'18"N	35		X	X		2	janv 2017-Dec2018
2	97110002	LA DESIRADE	LA DESIRADE METEO	61°00'12"W	16°20'06"N	27	X			11	11	janv 2006-janv 2017
2	97117013	LE MOULE	LE MOULE LAUREAL	61°20'54"W	16°18'48"N	21	X	X	X		3	janv 2016-Dec2018
2	97117012	LE MOULE	LE MOULE GARDEL-INRA	61°19'24"W	16°18'06"N	30		X	P	4	5,5	janv 2007-dec 2010 janv 2017-mai2018
2	97125011	SAINTE FRANCOIS	SAINTE FRANCOIS AERODROME	61°15'18"W	16°15'24"N	1		P	X	0	1	Dec 2017-Dec2018
3a	97101015	LES ABYMES	LE RAIZET AERO	61°30'54"W	16°15'48"N	11	X			11	11	janv 2006- dec 2016
3b	97129015	STE-ROSE	STE-ROSE VIARD	61°40'48"W	16°18'48"N	10	X	X	X	10	12	janv 2006- janv 2009 à Dec 2018
4	97118007	PETIT-BOURG	PETIT-BOURG DUCLOS-INRA	61°39'42"W	16°12'18"N	110		X	X	5	7	janv 2011- Dec 2015 janv 2017-Dec 2018
4	97107002	CAPESTERRE BELLE EAU	CAPESTERRE BELLE EAU NEUF CHATEAU	61°35'60"W	16° 4'42"N	253	X	X		5	11	fev 2012- dec 2017
4	97121002	POINTE-NOIRE	POINTE-NOIRE COL DES MAMELLES	61°43'24"W	16°10'42"N	510	P	X	X	0	2,5	Sept 2016- Dec 2017 janv 2018-Dec 2018
5a	97124009	ST CLAUDE	ST CLAUDE CITERNE	61°39'18"W	16°01'54"N	1141	X	X			2	janv 2015- dec 2017
5b	97109003	GOURBEYRE	GOURBEYRE GROS-MORNE DOLE	61°40'18"W	16°00'06"N	477	X	X	X		3	Dec 2015- dec 2015 janv 2016-Dec 2018
6	97121005	POINTE-NOIRE	POINTE-NOIRE BELLEVUE	61°46'30"W	16°13'54"N	213		P	X		1,5	juin 2017- dec 2017 janv 2018-Dec 2018
7	97104005	BAILLIF	BAILLIF AERO	61°44'30"W	16°00'48"N	6	X	X	X	3	5	Dec dec 2013 Janv 2014- Dec 2018 janv 2018-mai 2018
7	97105003	BASSE-TERRE	BASSE-TERRE CONSEIL REGIONAL	61°43'0"W	15°59'42"N	125				11	11	Sept 1996- dec 2007
MG	97112003	GRAND-BOURG	GRAND-BOURG LES BASSES AERO	61°16'18"W	15°52'06"N	10	X			11	11	Janv 2007- janv 2017

Tableau 8 : Liste des Stations MF par zone MF avec périodes des données récoltées pour Guadeloupe

STATIONS MF							Données MF récoltées				
ZMF	N°	Ville	Nom	Longitude	Latitude	Alt	2017	2018	Longue durée	Nbre année total	Remarques (x=données existantes)
P1	97203003	BASSE-POINTE	BASSEPOINTE-CHAL	61°05'54.00"W	14°51'00.00"N	45			0	19	De janvier 1989 à décembre 2007
P3	97224004	SAINT-JOSEPH	ST-JOSEPH LEZARD	60°59'54.00"W	14°39'30.00"N	65	x	x	0	2	sept 2016 à Dec2016;2017;2018
P3	97213004	LE LAMENTIN	LAMENTIN-AERO	60°59'42.00"W	14°35'42.00"N	3	X	X	3+30	30	2016;2017;2018 et 1981-2010 en moy
PP1	97232003	LE VAUCLIN	VAUCLIN	60°50'12.00"W	14°33'06.00"N	12	X	X	0	3	2016;2017;2018
PP1	97226004	SAINTE ANNE	STE ANNE-SECI	60°52'12.00"W	14°26'12.00"N	22			0	1	mars à dec 1993
PP1	97210004	LE FRANÇOIS	FRANCOIS-SIMON	60°52'12.00"W	14°35'12.00"N	6			19	19	De janvier 1989 à décembre 2007
PP2	97230001	LA TRINITE	TRINITE-CARAVEL	60°52'30.00"W	14°46'24.00"N	26	X	X	0	3	2016;2017;2018
TP1	97218002	LE MORNE ROUGE	MORNE-ROUGE-CHAMP	61°06'36.00"W	14°45'30.00"N	350			14	14	De janvier 1989 à décembre 2007
TP2	97208001	FONDS SAINT - DENIS	FOND-DENIS-CADET	61°08'42.00"W	14°44'06.00"N	493	x	x	0	3	2016;2017;2018
TP2	97209004	FORT-DE-FRANCE	FORT-DE-FRANCE DESAI X	61°03'48.00"W	14°37'00.00"N	143	X	X	0	3	2016;2017;2018
TP2	97201001	AJOUPA-BOUILLON	AJOUPA-BOUILLON	61°07'12.00"W	14°48'42.00"N	338			19	19	De janvier 1989 à décembre 2007
TP2	97228004	SAINTE MARIE	STE-MARIE CONCO	60°59'36.00"W	14°45'30.00"N	170			19	19	De janvier 1989 à décembre 2007

Tableau 9 : Liste des Stations MF par zone MF avec périodes des données récoltées pour Martinique

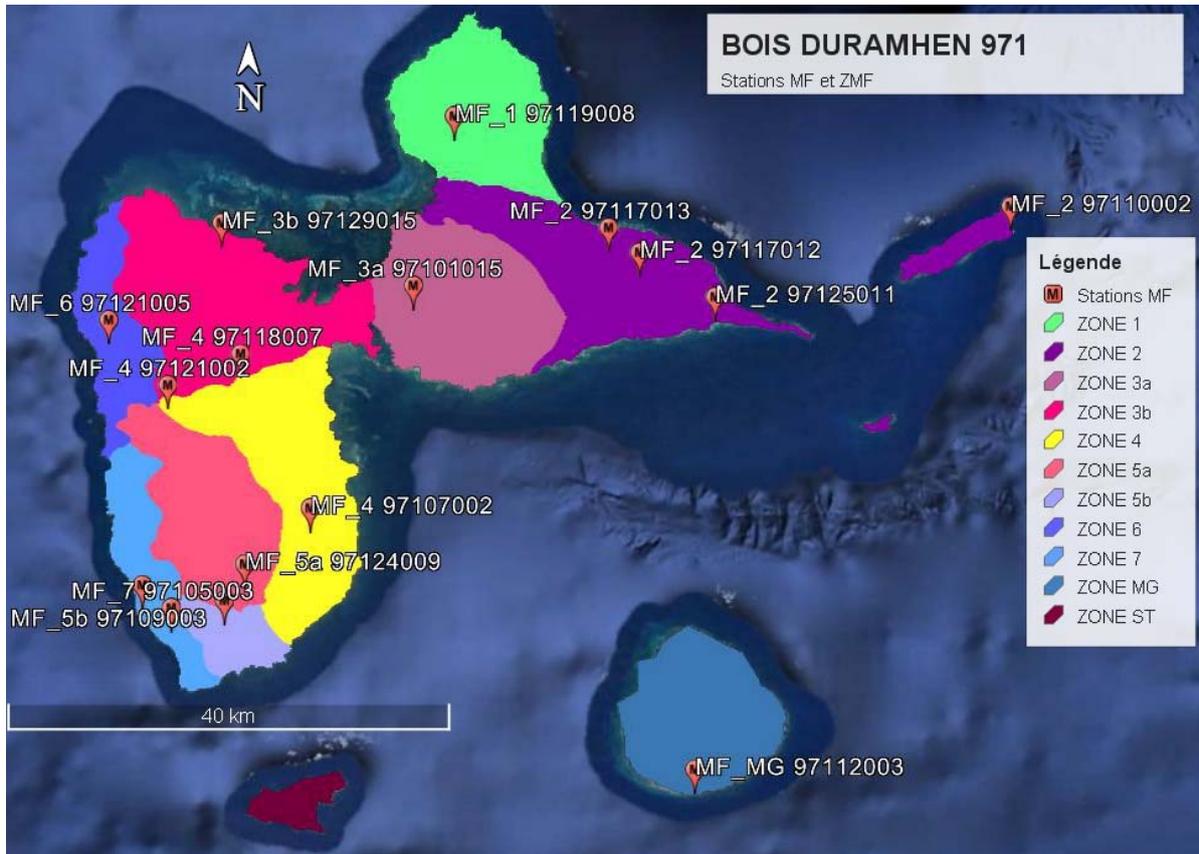


Figure 15 : Implantation des stations MF par ZMF Guadeloupe

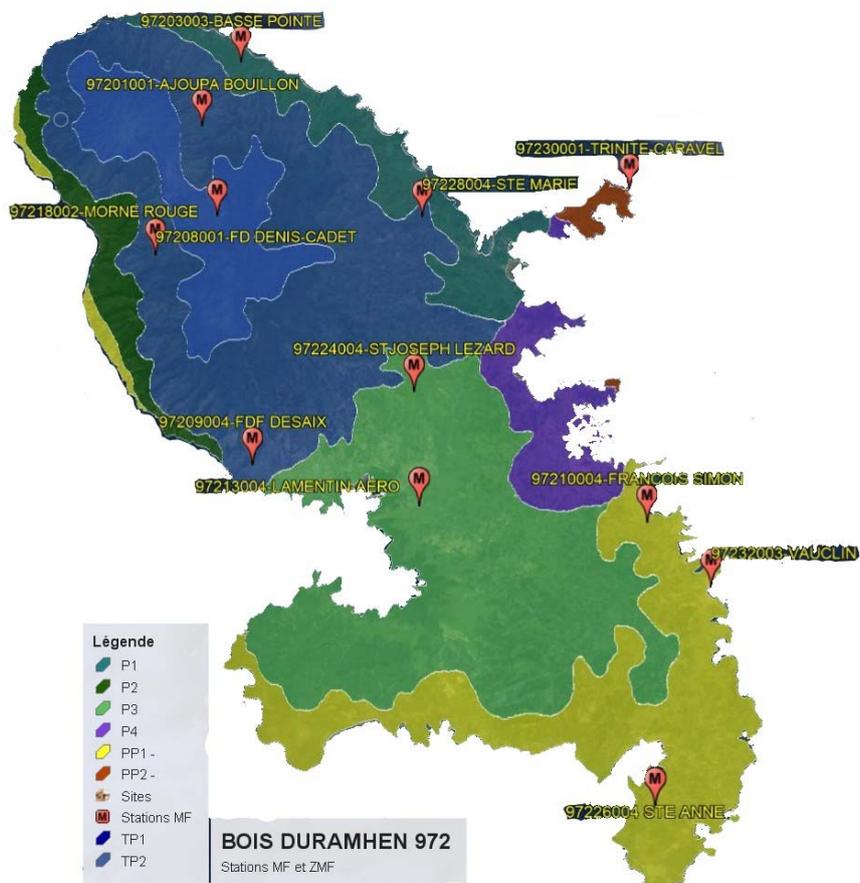


Figure 16 : Implantation des stations MF par ZMF Martinique

3.3 Actions complémentaires à l'étude pour consolidation

Pour permettre de consolider les données recueillies et confirmer les hypothèses prises en amont, des travaux supplémentaires ont été effectués apportant une complémentarité : Temps de mesure, granulométrie du terrain, la cadence d'acquisition, la teneur en eau instantanée moyenne, la teneur en eau d'équilibre et le couple (HR%, T°C) :

- a) Données météo France :
 - Couverture spatiale : Faible couverture du territoire
 - Période de récolte des données importantes (plusieurs années)
 - Étudier évolutions globales de la météo, par station, sur un maximum de temps, nombre d'années de mesures données (1-2-3-10 ans)
 - Découpage des saisons : Période de 3 mois, en fenêtre glissante
 - Schéma des données pour fenêtre glissante par 3 mois (Moy, Min, Max, ΔH)
 - Découpage de la Carte par ZMF puis classe de service 2-3 ou classe indéterminée (investigation supplémentaire nécessaire)

- b) Mesures sur Sites :
 - Couverture spatiale : couverture du territoire forte et plus importante
 - Période de récolte de données sur une faible échelle temps : 13 mois
 - Cadence de mesures faible et mesures non continues : mesures tous les 15 jours
 - Bonne représentativité des structures bois : plusieurs types de structures, expositions (Abrité : intérieur, extérieur ; Exposé) et essences
 - Recensement des essences : possibilité d'utilisation des fiches Cirad

- c) Etuvage et identification des essences
 - Recensement des essences grâce aux fiches Cirad
 - Prise d'échantillons représentatifs sur sites pour identification CIRAD avec mesures de la masse volumique à température ambiante
 - Prise d'échantillons représentatifs sur sites pour passage en étuve avec mesure de la masse volumique anhydre
 - Correction du réglage de l'humidimètre ou a posteriori application d'un coefficient correcteur sur les valeurs de H% bois mesurées sur site en fonction de l'essence supposée
 - Objectif :
 - Des masses volumiques anhydres sont déduites des échantillons testés
 - Des lois de variation de l'humidité en fonction du réglage du commutateur sont établies
 - On applique alors aux mesures un coefficient correcteur K_{corr2} pour tenir compte de la vraie masse volumique des bois faisant l'objet de mesures d'humidité et du réglage initial de l'humidimètre. Pour cela, il est important de déterminer la masse volumique des bois faisant l'objet de mesures d'humidité au moyen des appareils humidimètres. Il est donc prélevé quelques échantillons représentatifs des éléments bois rencontrés sur site qui sont passés en étuve afin de les assécher et déterminer leur masse volumique anhydre.

- d) Chambre climatique :
 - Retrouver la correspondance avec les courbes d'humidité d'équilibre, avec pour double objectif de recueillir les données suivantes :
 - La teneur en eau d'équilibre
 - La tenue en eau instantanée moyenne
 - Et pour chacune de relever ces valeurs pour différents paliers de couples HR-T

- e) Monitoring: mesures de l'humidité d'équilibre en continue
- Couverture spatiale faible : 1 Site
 - Période de récolte de données sur une faible échelle temps : 10 mois
 - Cadence de mesures élevée et mesures en continues : mesures tous les heures
 - Bonne représentativité des essences bois et exposition (Abrité : intérieur, extérieur)
 - Objectif :
 - Validation des mesures des capteurs de monitoring par comparaison avec mesures « ponctuelles »
 - Mise en évidence de l'amplitude des variations du taux d'humidité à court/moyen/long terme : jour/mois/saison
 - Validation de l'intervalle de mesure important (15 jours) pour tous les autres sites
 - Consolidation des données pour les périodes longues

Comme on peut regarder sur la figure ci-dessous, la complémentarité des travaux permet de consolider le projet en termes de représentativité et fiabilité des résultats. Les objectifs principaux des différentes actions du projet y sont décrits et synthétisés.

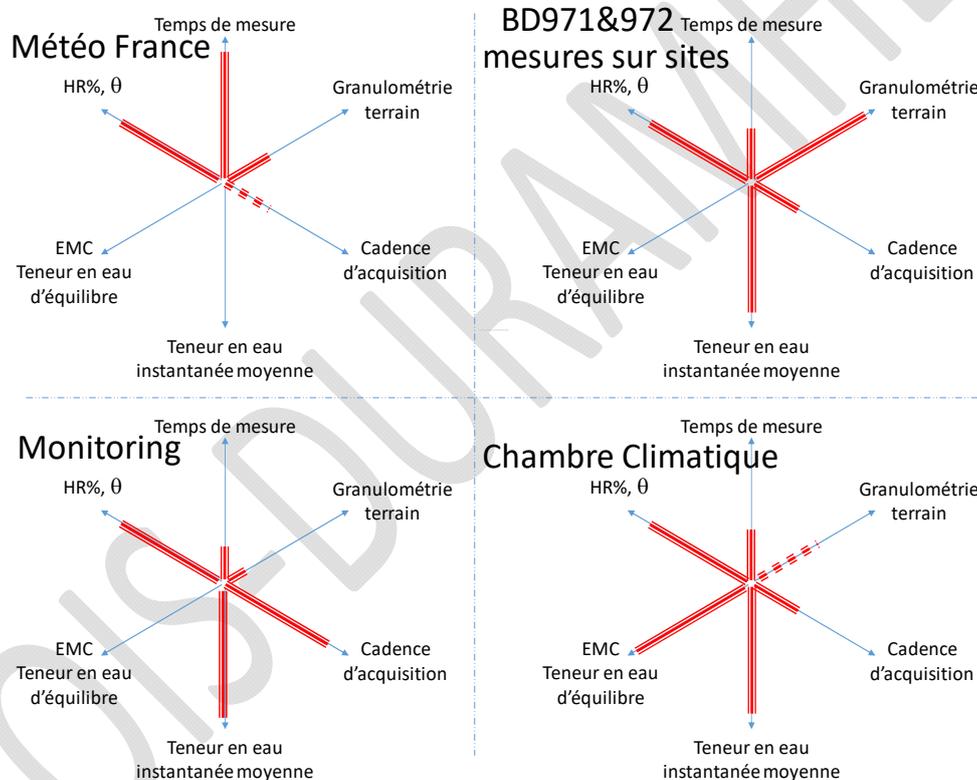


Figure 17 : Complémentarité des travaux BOIS-DURAMHEN

3.3.1 Etuvage et Identification CIRAD

L'objectif des travaux d'étuvage et d'identification des essences est de qualifier les essences rencontrées sur sites. Des échantillons sont prélevés à partir d'éléments bois faisant l'objet de mesures via l'humidimètre ou à partir de bois rencontrés par ailleurs sur chantiers représentatifs des essences présentes localement afin de déterminer leur nom et leur masse volumique anhydre.

L'humidimètre utilisé donne une humidité du bois fonction de son réglage basé sur la masse volumique anhydre. Connaissant l'essence et sa masse volumique anhydre déterminée lors des

travaux d'étuvage, nous pouvons appliquer des coefficients correcteurs sur le réglage initial et trouver l'humidité réelle du bois en œuvre étudié sur site[12].

3.3.2 Chambre Climatique

Dans une première partie expérimentale, Phase I, il est prévu de déterminer si la courbe présente dans l'Annexe Nationale à l'Eurocode 5, faite au début pour les bois résineux, peut être extrapolée aux essences les plus courantes des Antilles ; et aussi de déterminer si l'humidité d'équilibre présente dans les mêmes courbes, correspond à une humidité d'adsorption ou de désorption. Pour cela, l'humidité d'équilibre a été analysée, pour différents couples HR-T et différentes essences, d'environ 20 éprouvettes. (Pour plus d'information Voir Mémoire PFE *Analyse de l'humidité des bois en œuvre dans un environnement subtropical marin*-Martín Lautaro FERNÁNDEZ[13])

Ensuite, la deuxième étape concerne l'étalonnage à effectuer entre les mesures de HR-T effectuées sur les sites du BOIS DUR-AMHEN971 avec les données disponibles fournies par la station météorologique MF

Cette première étape expérimentale a nécessité le passage de mesures de HR- T à des mesures de teneur en eau par des essais en chambre climatique.

Pour rappel, le bois étant hygroscopique, l'échange d'humidité avec son environnement est permanent. **Il existe une valeur de d'humidité du bois pour laquelle, selon des conditions de température T(°C) et d'humidité relative de l'air HR (%) bien déterminées, les échanges de l'humidité vers l'intérieur du bois se retrouvent compensés par la diffusion vers l'extérieur.** Cette valeur correspond au taux d'humidité d'équilibre et est pratiquement indépendante de l'essence de bois.

Cependant, le bois n'est que rarement dans cet état d'équilibre. En effet, les conditions de température et d'humidité relative de l'air sont en évolution permanente.

La relation entre le taux d'humidité du bois ω et l'humidité relative ambiante HR(%) à température constante est représentée par les isothermes de sorption. Suivant que l'équilibre est obtenu à la suite d'une désorption (variation de la teneur en eau à partir d'un bois saturé en eau) ou d'une adsorption (variation de la teneur en eau à partir d'un bois sec), le taux d'humidité d'équilibre atteint une valeur différente pour une humidité relative donnée. L'isotherme de désorption est toujours supérieure à l'isotherme d'adsorption. La courbe de sorption du bois, visible sur la Figure, est donc une hystérésis. Par conséquent, avec une humidité relative de l'air de 70 %, l'humidité du bois suivant un mécanisme passant de l'état humide à l'état sec sera d'environ 15% tandis qu'elle sera aux alentours de 11% pour le mécanisme inverse. Cette propriété permet au bois de subir de plus faibles variations du taux d'humidité lorsqu'il est soumis à des conditions cycliques d'humidification.

Lorsque le bois est soumis à des conditions climatiques constantes, l'état d'équilibre hygroscopique est atteint après une période de temps importante. Par conséquent, les cycles de variation d'humidité relative ambiante, faibles ou élevés et de courtes durées n'ont que très peu d'impact sur l'atteinte du taux d'humidité d'équilibre sur une période de plusieurs semaines.

Les isothermes de sorption du bois décroissent avec une augmentation de la température. L'influence de ce paramètre, observable sur la Figure 44, reste cependant minime mais non négligeable. Les isothermes de désorption subissent le même sort.

Les caractéristiques des éprouvettes testées sont récapitulées dans le tableau suivant .

N°	Essence	CIRAD			ATLAS des Bois Tropicaux		Mesures Expérimentales	
		Famille	Masse volumique [kg/m ³]	Humidité [H%]	PSF (%)	Masse volumique 12% [kg/m ³]	Masse volumique [kg/m ³]	Masse sèche [kg/m ³]
GE 1	Virola (<i>Virola sp.</i>)	Feuille	544	13,6	34	518	693	
GE 3	Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i>)	Feuille	1084	13,4	23	1067	1067	
GE 7	Muiracatiara (<i>Astronium sp.</i>)	Feuille	789	15,6	22	798	642	
GE 19	Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i>)	Feuille	995	14,7	23	1067	1240	
ME 06	Angélique (<i>Basralocus</i>)	Feuille			29	788	984	
4	Bois massif tropical				23	1067	1071	
5	Bois massif résineux				23	1067	586	
10	Angélim (Bois massif tropical)				25	798	990	
13	Angélim (Bois massif tropical)				25	798	1093	
D α	Douglas (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)				27	538	515	
D β	Douglas (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)				27	538	592	
S1	Sapin (<i>Abies alba</i>)				29	489	417	

Tableau 10 : Caractéristiques des éprouvettes selon CIRAD, Atlas de Bois Tropicaux et mesures expérimentales

3.3.3 Monitoring

L'humidité relative de l'air (HR), la température de l'air (T) et d'autres paramètres tels que la vitesse du vent ou son orientation évoluent continuellement; dans ces conditions, la teneur en eau des bois en œuvre abrités varie également. Cette variation de teneur en eau intègre les évolutions de l'environnement, la diffusion de l'humidité au sein du matériau ($MC_i(x, y, z)$), ainsi que la massivité des pièces, notamment si on exprime cette teneur en eau par une valeur moyenne sur la totalité de la pièce ou sur une zone périphérique (\overline{MC}_i). Les programmes BOIS DUR-AMHEN s'appuient sur la mesure de ces paramètres en de nombreux sites et ouvrages de Guadeloupe et Martinique tous les quinze jours. Ces programmes utilisent également les relevés HR et T de Météo France de nombreuses stations MF, mais généralement pour les jours correspondant aux mesures sur sites proches afin de vérifier la qualité des mesures sur sites, ou pour des valeurs moyennées par mois ou par quinzaine. Ces relevés et ces données sont donc à une échelle de temps relativement longue et ne donnent pas d'informations sur les variations journalières à proximité des sites, ni sur l'impact de ces variations sur la teneur en eau des bois.

L'objectif de cette partie d'étude est donc de mesurer ces paramètres sur deux sites, un en Guadeloupe et un en Martinique (G000 et M000), avec sur ces sites des bois résineux et des bois tropicaux. Ces mesures sont basées sur le développement de systèmes de mesures spécifiques et sur la mise en œuvre d'un système de monitoring apte à assurer l'alimentation des capteurs, le suivi de leur bon fonctionnement, le transfert, le stockage et la visualisation des données. La fiabilité des mesures est également intégrée dans cette approche. Enfin, les valeurs de la teneur en eau \overline{MC}_i mesurées sont confrontées, comparées, aux valeurs d'humidité d'équilibre EMC calculées, à partir du diagramme d'équilibre hydrique des bois, avec HR, T relevées.

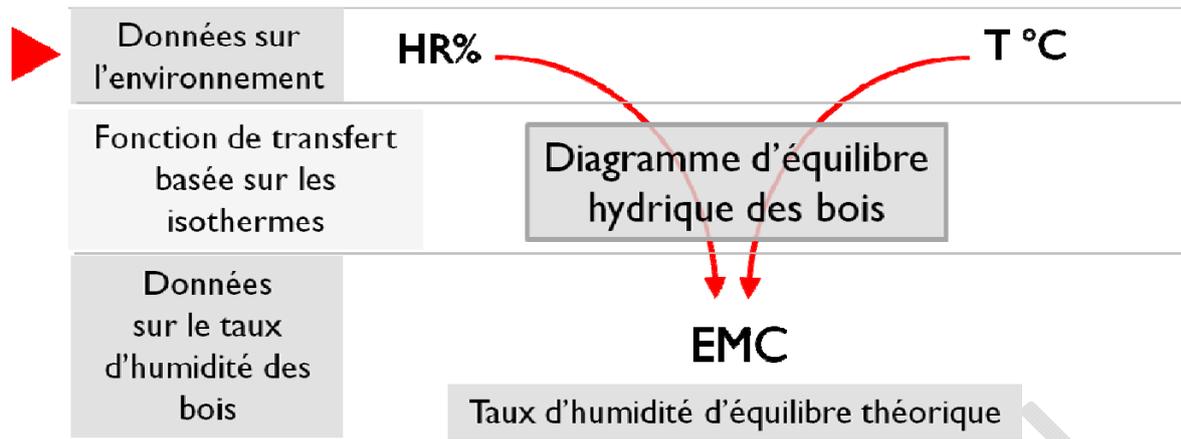


Figure 18 : Principe des travaux du Monitoring

BOIS-DURAMHEN

SYNTHESE CHAPITRE 3

Méthodologie Récolte

L'appareil utilisé pour récolter la teneur en eau du bois sur Sites est un humidimètre capacitif avec un réglage adopté par souci de simplification, deux masses volumiques:

- 420 kg/m³ pour les résineux
- 750 kg/m³ pour les Feuillus tropicaux.

Méthodologie Exploitation

- Robustesse du processus des données
- Le nombre de stations MF de référence est important et le quadrillage du territoire est pertinent. Toutes les ZMF sont couvertes à l'exception
 - Pour la Guadeloupe :Les Saintes ZMF ST
 - Pour la Martinique : ZMF P1 et P2
- Les Sites sont bien représentatifs des territoires (1 centaine a fait l'objet de l'étude en Guadeloupe, 710 en Martinique) ; aucune zone orpheline
- Les effets discriminants dus au climat sont
 - Un taux d'humidité d'équilibre constant supérieur à 20% sur une période de 3 mois consécutif avec un taux de variation constant
 - Les effets du cyclage importants avec taux de variation supérieur à 4% sur 3 jusqu'à 6 mois (selon la saison et le lieu)
- ce sont seulement les éléments extérieurs abrités qui sont choisis pour déterminer la teneur en eau du bois mesurée sur site qui sera comparée à l'humidité d'équilibre théorique déterminée à partir des données fournies par Météo-France

Travaux complémentaires

- Etuvage
- Identification
- Chambre climatique :
la finalité de cette tâche est de s'assurer ou non d'une parfaite correspondance des courbes d'humidité théorique d'équilibre des règles CB71, reprise dans l'AN de l'EC5-1, en utilisation en milieu marin subtropical pour les essences bois résineux et feuillus
- Monitoring:
 - Confirmation des phénomènes lors de mesures ponctuelles
 - Ou mise en évidence de phénomènes différenciés

Hypothèses principales retenues à justifier

- Cadence de mesures in situ tous les 15 jours est cohérente avec le phénomène physique de mise en équilibre hygroscopique du bois dans son milieu
- Masse volumique du bois utilisé pour el réglage de l'humidimètre cohérente avec les essences bois effectivement rencontrés su Site set faisant l'objet de mesures d'humidité
- Paramètres de l'air (T°C ;HR%) mesurées sur Sites au moyen de l'hygromètre cohérents aves les mesures récoltées par MF
- Correspondance des courbes d'humidité théorique d'équilibre des règles CB71, reprise dans l'AN de l'EC5-1, en utilisation en milieu marin subtropical pour les essences bois résineux et feuillus

4 INVESTIGATIONS

4.1 Répartition géographique et mesureS

4.1.1 Guadeloupe

A la fin du projet, le bilan des données recueillies est synthétisé ci-dessous :

-  10 zones ZMF étudiées (hors zone ST)
-  102 Sites faisant l'objet de Mesures
-  plus de 10 700 mesures moyennes $H\%_{\text{bois}}$ ont été réalisées sur éléments.
-  245 Eléments faisant l'objet de Mesures dont :
 - 87 Feuillus BM ;
 - 38 Résineux LC,
 - 118 Résineux BM
 - 2 bois composite
-  Avec 100 éléments extérieurs abrités et 54 éléments intérieurs abrités répartis sur 105 sites dans 10 zones climatiques Météo France (ZMF).

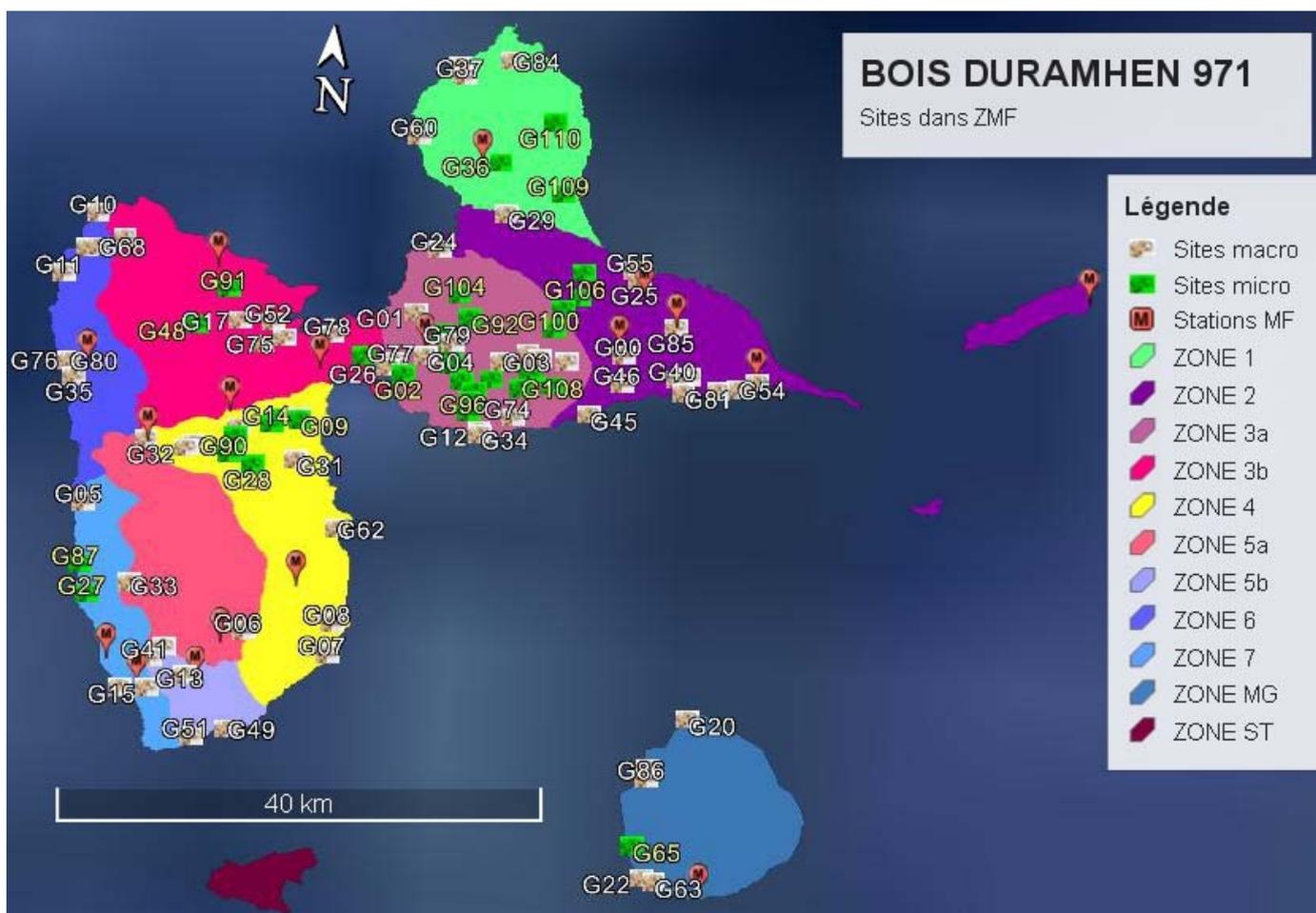


Figure 19 : Répartition globale des Sites sur le territoire guadeloupéen

4.1.2 Martinique

A la fin du projet, le bilan des données recueillies est synthétisé ci-dessous :

-  8 zones ZMF étudiées
-  71 Sites faisant l'objet de Mesures
-  plus de 9 570 mesures moyennes H%_{bois} ont été réalisées sur 156 éléments dont :
-  82 Feuillus BM ;
-  32 Résineux LC,
-  51 Résineux BM

Avec 84 éléments extérieurs abrités et 8 éléments intérieurs abrités répartis sur 71 sites dans 8 zones climatiques Météo France (ZMF).

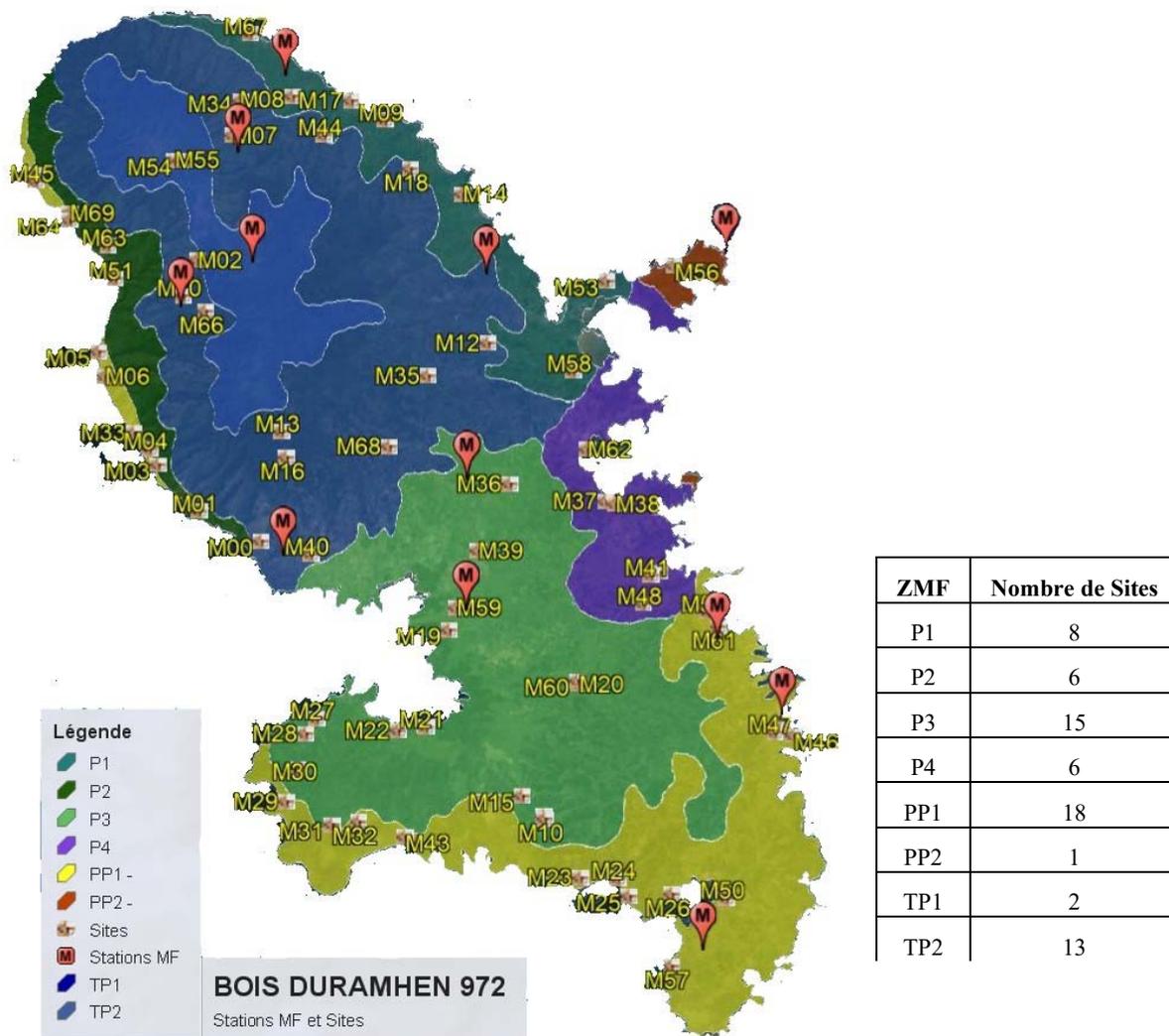


Figure 20 : Répartition globale des Sites sur le territoire martiniquais

4.2 Validation des hypothèses

4.2.1 Etuvage et identification CIRAD

Les essences étudiées dans lors de ces travaux fournissent des données nécessaires pour une bonne calibration des mesures relevées sur les différents sites de la Guadeloupe. Grâce à cela une cartographie correcte et réaliste peut être synthétisée pour rendre un suivi de l'humidité dans les différentes zones climatiques de la Guadeloupe[12].

Par ailleurs, cette étude devrait pouvoir augmenter les possibilités de construction en bois dans notre région en fournissant une documentation fiable sur les différentes essences de bois utilisables.

Pour avoir une vue d'ensemble sur tous les résultats obtenus durant cette étude, le tableau ci-dessous regroupe toutes les informations clé de chaque essence.

BOIS DUR-AMHEN971			
Essence	$\rho_{\text{anhydre}} \text{ moyen}$ (kg/m^3)	Coefficient correcteur k_h	Commentaires Propositions
Angelim Vermelho	1000	0,81	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=0,81$ pour tous les éléments Bois Angelim Vermelho notamment les abris voyageur
Angelim	660	1,06	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=1,06$ pour tous les éléments Bois Angelim du projet BOIS DUR-AMHEN notamment le Monitoring G000I
Angélique	700	1,03	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=1,03$ pour tous les éléments Bois Angélique du projet BOIS DUR-AMHEN
Courbaril	860	0,91	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=0,91$ PAR DEFAUT pour tous les éléments Bois Feuillus autres qu'Angelim Vermelho du projet BOIS DUR-AMHEN
Epicéa	420	1	On adopte le coefficient correcteur $k_h= 0,93$ par PAR DEFAUT pour tous les éléments : <ul style="list-style-type: none"> • BM Bois massifs Résineux • BLC Bois résineux Lamellé Collé du projet BOIS DUR-AMHEN
Pin Sylvestre et Maritime	480	0,93	
Douglas	480	0,93	
Pin Caraïbes	460	0,95	0,95

Tableau 11 : Proposition coefficients correcteurs Kcor2 BOIS DUR-AMHEN 971

BOIS DURAMHEN 972			
Essence	ρ anhydre moyen (kg/m ³)	Coefficient correcteur k_h	Commentaires Propositions
Angelim Vermelho	1000	0,81	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=0,81$ pour tous les éléments Bois Angelim Vermelho notamment <ul style="list-style-type: none"> les abris voyageurs type 3
Angelim	660	1,06	
Angélique	700 à 740	1,03	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=1$ pour les éléments Bois Angélique notamment l'élément M000B
Courbaril	860	0,91	On adopte ce coefficient correcteur $k_h=0,91$ par PAR DEFAUT pour tous les éléments Bois Feuillus du projet BOIS DURAMHEN 972 notamment <ul style="list-style-type: none"> les abris voyageurs type 1 L'élément M000D -Monitoring
Epicéa	420	1	On adopte le coefficient correcteur $k_h= 1$ pour les éléments : <ul style="list-style-type: none"> M000C Bois massifs Résineux monitoring M000A Bois massif résineux monitoring
Pin Sylvestre et Maritime	480	0,93	On adopte le coefficient correcteur $k_h= 0,93$ PAR DEFAUT pour tous les éléments du projet BOIS DURAMHEN 972: <ul style="list-style-type: none"> BM Bois massifs Résineux BLC Bois résineux Lamellé Collé
Douglas	480	0,93	
Pin Caraïbes	460	0,95	0,95

Tableau 12 : Proposition coefficients correcteurs Kcor2 BOIS DUR-AMHEN 972

4.2.2 Chambre Climatique

La comparaison entre les résultats obtenus pendant cette campagne expérimentale et les prévisions issues du diagramme d'équilibre hydrique des bois issus de l'annexe nationale de l'Eurocode 5- partie 1.1 est présentée sur la figure 21. Les prévisions de la courbe issue de l'EC5 se placent entre les points d'adsorption et de désorption pour des valeurs d'humidité relatives de l'air 70 – 80 % (Toutes les courbes et donc les largeurs complètes des faisceaux ne sont pas représentées sur cette figure). Pour des valeurs de HR supérieures. Les prévisions de l'EC5 sont au-dessus des résultats obtenus. Il faut garder en tête que ce sont les points pour lesquels l'incertitude liée aux perturbations d'environnement sur les plus importantes. Cependant des écarts de l'ordre de 6 % paraissent très importants[14].

Même si l'incertitude est plus grande pour les bois tropicaux, le graphe d'équilibre hydrique des bois de l'annexe nationale de l'Eurocod5 partie 1.1 peut être utilisé dans un premier temps pour évaluer la teneur en eau des bois en fonction des relevés d'humidité relative et température de l'air. La comptabilité des couples HR – T sur le tableau 1 montre que les situations à HR > 80 % ne représentent que 15 % des cas mesurés, qui correspond probablement à une climatologie locale.

Une autre façon de conclure est de présenter le graphe d'équilibre hydrique des bois suivant la proposition de la **Figure 22**, avec une zone grisée correspondant à la zone de précision la plus faible. Pour des résultats plus précis, il conviendrait de compléter ce travail par une campagne expérimentale dédiée.

Conclusions :

- *Écarts significatifs entre courbes NF EN 1995-161/NA et résultats pour les HR les plus élevés.
- *travaux à compléter pour les humidités plus élevées

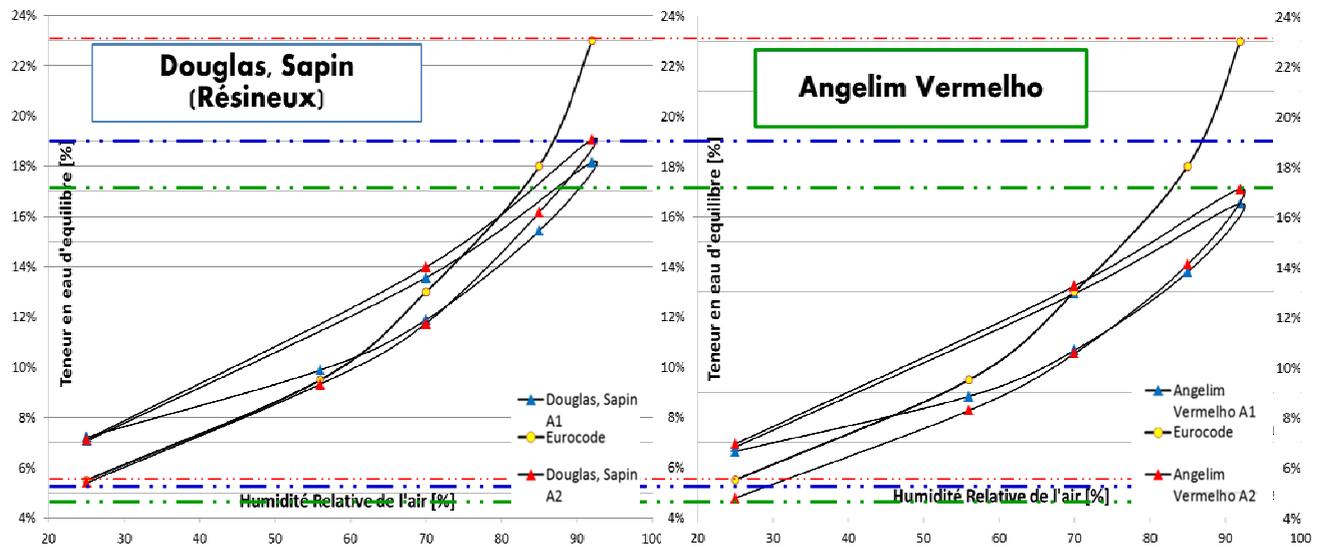


Figure 21 : Comparaison entre résultats obtenu et données issues de la courbe d'équilibre hydrique de la NF EN 1995-1.1/NA

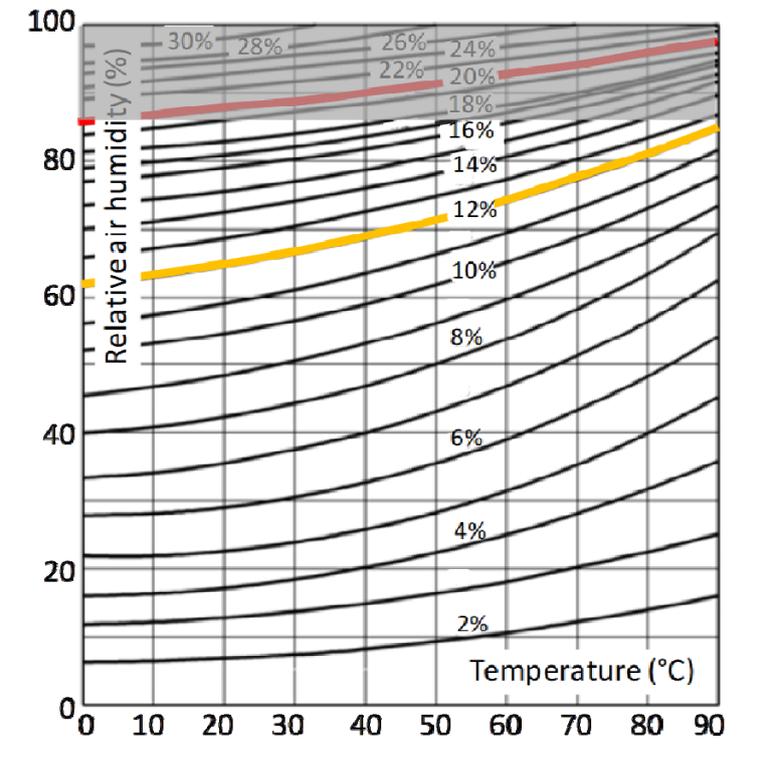


Figure 22 : Utilisation possible du diagramme d'équilibre hydrique des bois de l'EN 1995-1-6/NA

4.2.3 Monitoring

4.2.3.1 Les mesures de la teneur en eau du bois MCI

Les mesures ont été menées durant 8 mois, en phase avec les campagnes de relevés hebdomadaires ou bimensuels des programmes BOIS DUR-AMHEN 971 et 972. Les figures suivantes rapportent ces mesures et ces relevés. La comparaison de ces deux sources de mesures indépendantes montre la bonne corrélation entre les deux moyens de mesure.

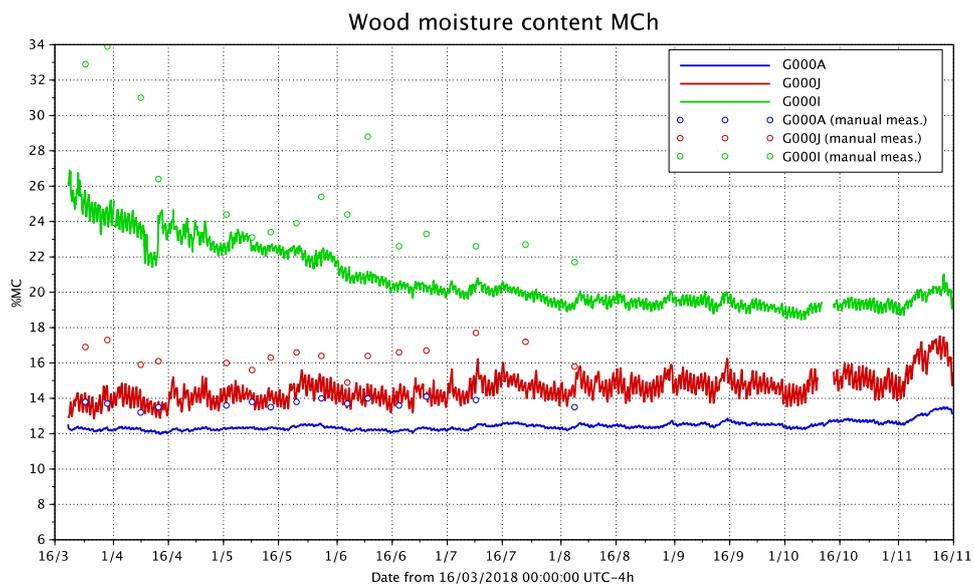


Figure 23 : Mesures de H% sur les pièces du site G000

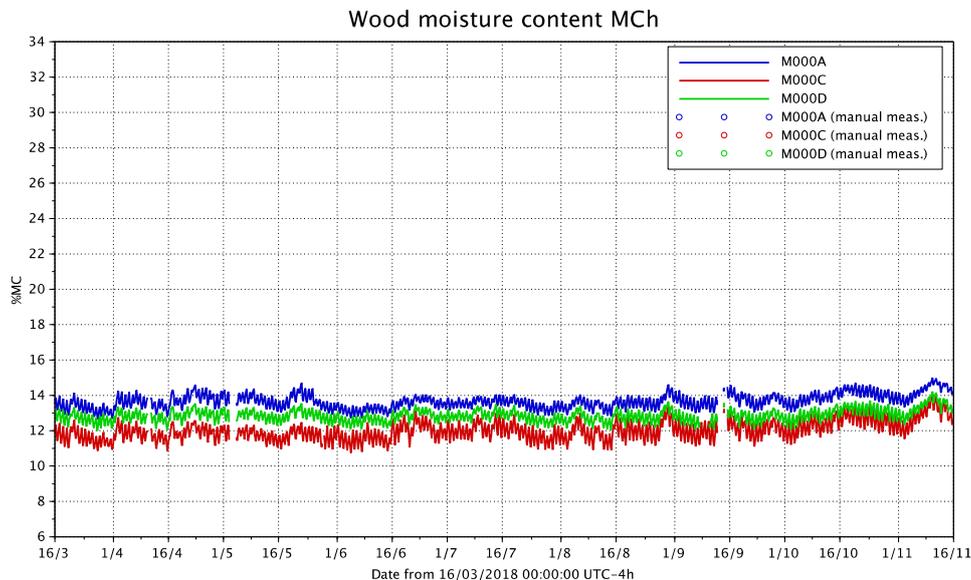


Figure 24 : Mesures de H% sur les pièces du site M000

- Pour le site G000 la courbe verte et les points verts correspondent à des mesures réalisées sur un bois tropical « vert » ; les évolutions de MCh montrent la phase de séchage de la pièce. La courbe rouge, et les ronds rouges, correspondent à une pièce en bois résineux en extérieur abrité et la courbe et les points bleus à un résineux en intérieur d'une habitation. La condition intérieure spécifique à ce site correspond à un espace sous toiture isolée, pour une pièce avec mezzanine. L'espace n'est pas climatisé, mais il est aéré en continu par des jalousies placées en rez-de-chaussée.
- Pour le site M000 les pièces sont toutes en extérieur abrité.

Les tendances d'évolution sont cohérentes entre les mesures BOIS DUR-AMHEN et les mesures de monitoring. On remarque cependant que les mesures BOIS DUR-AMHEN sont toutes supérieures aux mesures Monitoring.

Les oscillations rapides de MCh mesurées au cours de la journée sont inférieures à 1%. Les causes possibles peuvent être :

- La variation réelle de l'humidité du bois dans la couche superficielle 0-10 mm provoquée par les fortes variations de la température et de l'humidité de l'air ambiant au cours de la journée (et donc forte variation de l'EMC) ;
- L'artefact de calcul introduit par le modèle qui lie la résistance électrique du bois et le taux d'humidité du bois. Le taux d'humidité MCh est calculé en fonction de la résistance électrique du bois et de la température du bois. Si l'effet de la température est mal calibré dans les abaques de calcul, cela peut conduire à des variations du paramètre calculé MCh qui ne sont pas le reflet de la réalité.

Quelle que soit la cause de ces oscillations (phénomène physique ou artefact), elles restent dans les tolérances de mesure des humidimètres résistifs ou capacitifs, donc elles peuvent être négligées dans un premier temps.

4.2.3.2 Les mesures des paramètres de l'air T et HR

4.2.3.2.1 Mesures de T sur les 15 premiers jours de monitoring

Dans ce paragraphe, sont comparés les mesures de températures de l'air sur les sites, par monitoring et par mesures BD971 et 972. Pour G000 (Figure 25), on remarque les effets d'ensoleillement (courbe rouge). Hormis ces « pointes » les courbes vertes et rouges sont en très bon accord. On remarque également l'amplitude plus faible et le déphasage pour la courbe bleue en intérieur de maison). Pour les sites M000 (Figure 26), les trois mesures donnent des valeurs très proches.

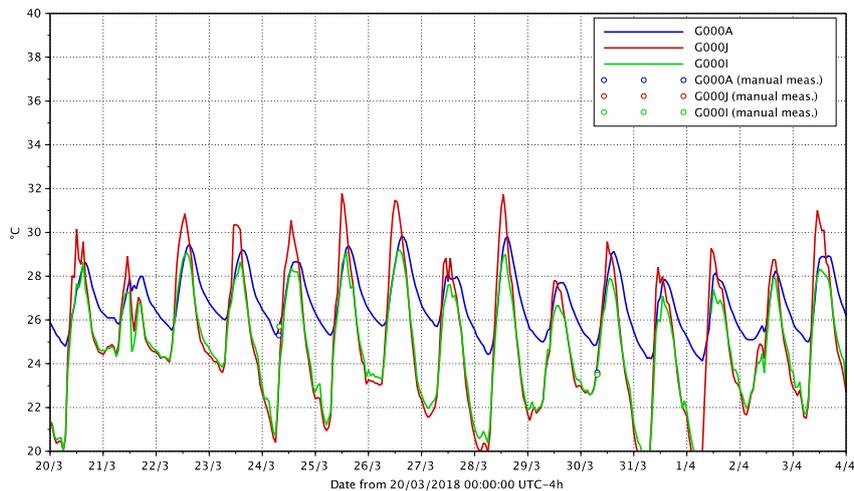
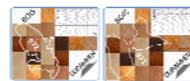


Figure 25 : Mesure des températures de l'air sur le site G000

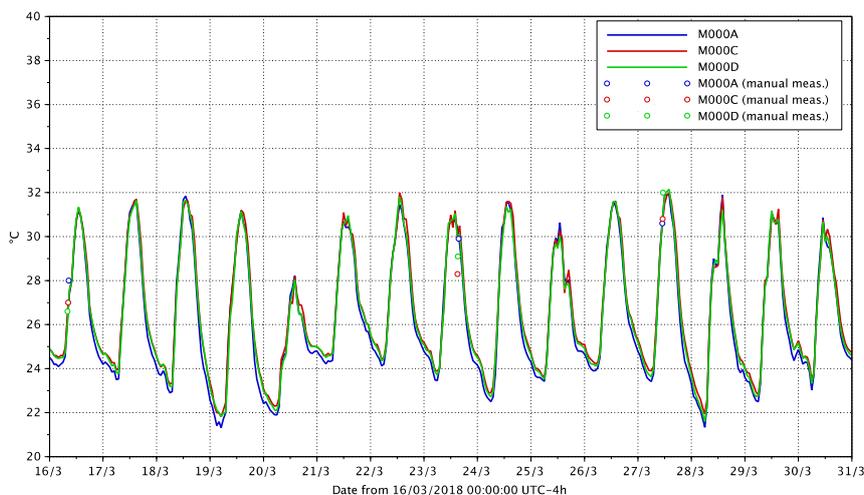


Figure 26 : Mesure des températures de l'air sur le site M000

4.2.3.2.2 Mesures de HR sur les 15 premiers jours de monitoring

Ce paragraphe présente la même analyse pour l'humidité relative de l'air. On peut énoncer les mêmes remarques que précédemment pour le site G000 (Figure 27). Idem pour le site M000 (Figure 28).

On peut tout de même remarquer les pointes élevées de HR, proches de 95 %. De même, les amplitudes entre minima et maxima journaliers sont aussi importantes de l'ordre de 40 %.

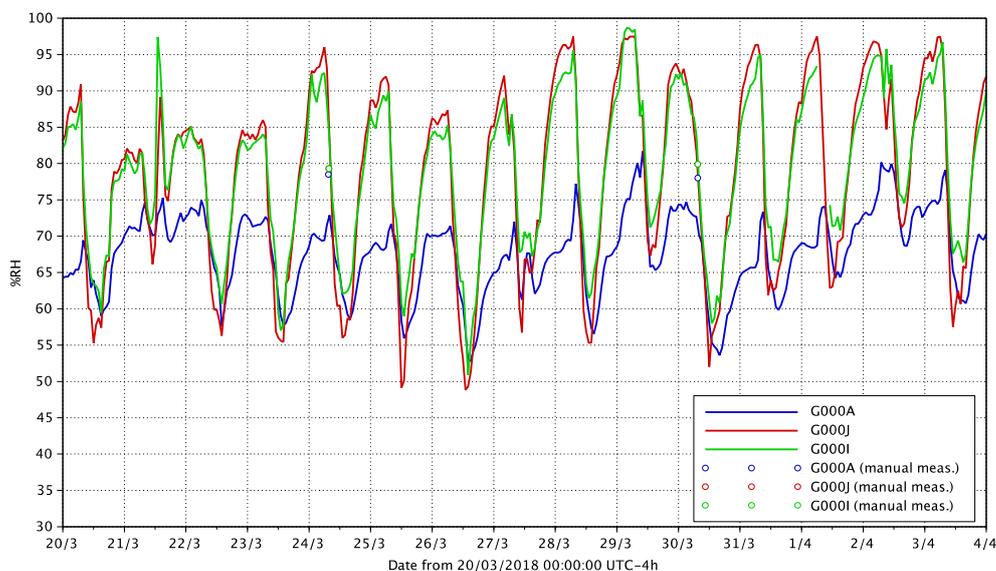


Figure 27 : Mesure des humidités relatives de l'air sur le site G000

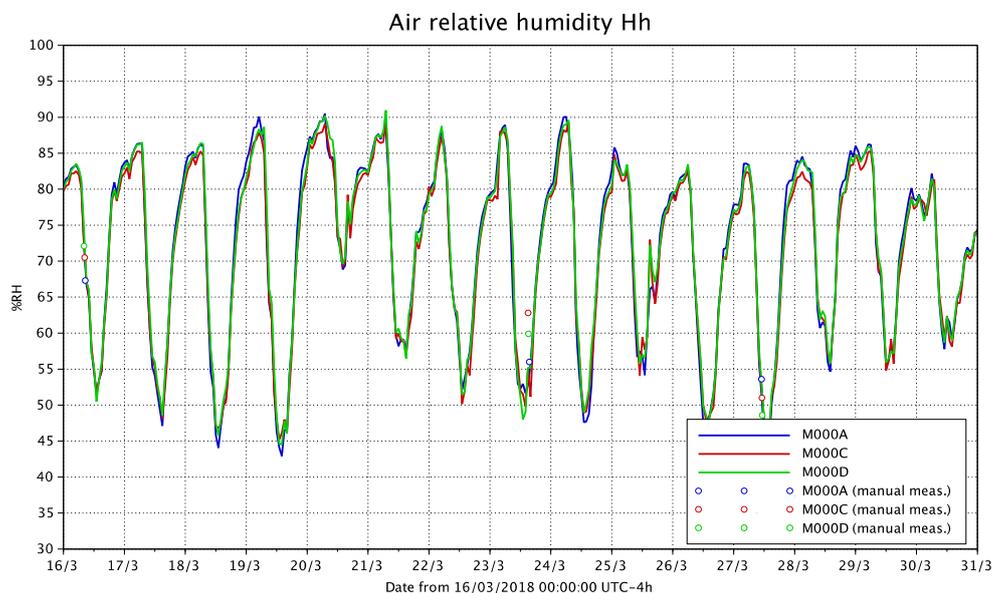


Figure 28 : Mesure des humidités relatives de l'air sur le site M000

4.2.3.3 Conclusions générales

La campagne de monitoring des programmes BOIS DUR-AMHEN971 et 972 a montré que le système mis en œuvre en termes de mesures, transmission, visualisation et stockage est pertinent et efficace. Les mesures de teneur en eau instantanée MC_i et de température T sont performants et fiables. La mesure d'humidité relative de l'air HR en extérieur abrité nécessite des capteurs plus performants pour être fiable sur des durées supérieures à quinze jours. La mesure de HR en intérieur n'a pas dérivée, elle donne des résultats satisfaisants.

Les tendances d'évolutions entre MC_j et EMC_j sont semblables. Une moyenne sur fenêtre glissante de 15 jours pour calculer EMC_{15j} confirme cette tendance et atténue les « bruit » journalier, intégrant ainsi l'effet de temps de sorption-désorption du bois. Pour la configuration intérieure testée, on peut remarquer un écart d'environ 2% entre le taux d'humidité MC_i extérieur abrité et l'intérieur ventilé. MC_i intérieur est très stable sur les huit mois de mesure, il reste cependant légèrement supérieur à 12%.

Les mesures bimensuelles BD_{971} et BD_{972} sont cohérentes avec celle issues du monitoring compte tenu des variations journalières importantes pour HR et T . Elles sont cohérentes en valeurs et en variations en ce qui concerne les teneurs en eau.

Les variations des paramètres température et hygrométrie de l'air T et HR (Th , Hh au sens notations MF) au cours de la journée sont très importantes. Elles sont plus importantes que les variations de la température et de l'hygrométrie moyenne (T_jM , H_jM) sur une fenêtre de plusieurs jours, une quinzaine de jours par exemple.

Une seule mesure de température et d'hygrométrie par jour ne peut à elle seule permettre de traduire la situation à l'échelle d'une journée. Cependant des moyennes mensuelles ou plutôt trimestrielles peuvent donner des informations exploitables pour évaluer la teneur en eau d'équilibre des bois en œuvre.

Par contre, les mesures de teneurs en eau, par monitoring et par relevés bimensuels BD_{971} et BD_{972} sont très cohérentes. Les valeurs BD_{971} et BD_{972} moyennées par mois traduisent bien le niveau d'humidité des bois. Ces variations sont lentes et les mesures instantanées reprennent un sens. Les mesures de monitoring confirment la pertinence de cette voie.

SYNTHESE CHAPITRE 4

Sites retenus

105 Sites avec 245 éléments répartis dans **10 zones climatiques Météo France ZMF** en Guadeloupe
71 Sites faisant l'objet de Mesures dans **8 ZMF** en Martinique

Concordance avec Méthodologie

100 éléments extérieurs abrités et 54 éléments intérieurs abrités en Guadeloupe
84 éléments extérieurs abrités et 8 éléments intérieurs abrités en Martinique

Résultats Travaux complémentaires

• Chambre climatique

- Les prévisions de la courbe issue de l'EC5 se placent entre les points d'adsorption et de désorption pour des valeurs d'humidité relatives de l'air 70 – 80 %. Pour des valeurs de HR supérieures, les prévisions de l'EC5 sont au-dessus des résultats obtenus. Il faut garder en tête que ce sont les points pour lesquels l'incertitude liée aux perturbations d'environnement sur les plus importantes. Cependant des écarts de l'ordre de 6 % paraissent très importants.
- Même si l'incertitude est plus grande pour les bois tropicaux, le graphe d'équilibre hydrique des bois de l'annexe nationale de l'Eurocode 5 partie 1.1 peut être utilisé dans un premier temps pour évaluer la teneur en eau des bois en fonction des relevés d'humidité relative et température de l'air
- Pour des résultats plus précis, il conviendrait de compléter ce travail par une campagne expérimentale dédiée
- Adaptation des règles d'utilisation en milieu marin sub tropical pour des essences résineux et feuillus

• Monitoring

- Les tendances d'évolution sont cohérentes entre les mesures de teneur en eau instantanée Bois Duramhen et les mesures de monitoring. On remarque cependant que les mesures Bois Duramhen sont toutes supérieures aux mesures Monitoring.
- Les variations des paramètres température et hygrométrie de l'air T et HR (Th, Hh au sens notations MF) au cours de la journée sont très importantes. Elles sont plus importantes que les variations de la température et de l'hygrométrie moyenne (TjM, HjM) sur une fenêtre de plusieurs jours, une quinzaine de jours par exemple
- Les mesures bimensuelles BD 971 et BD 972 sont cohérentes avec celle issues du monitoring compte tenu des variations journalières importantes pour HR et T. Elles sont cohérentes en valeurs et en variation en ce qui concerne les teneurs en eau
- Une seule mesure de température et d'hygrométrie par jour ne peut à elle seule permettre de traduire la situation à l'échelle d'une journée. Cependant des moyennes mensuelles ou plutôt trimestrielles peuvent donner des informations exploitables pour évaluer la teneur en eau d'équilibre des bois en œuvre.
- L'analyse des courbes d'évolutions des valeurs statistiques moyennes des températures TjM et Humidité HR% de l'air montre une différence nette entre élément extérieurs abrités et éléments intérieurs abrités : l'humidité à l'intérieur varie moins et est inférieure aux valeurs extérieures à l'inverse la température est plus importante qu'à l'extérieur

Hypothèses principales retenues confirmées

- La courbe hygroscopique de l'AN 1995-1 nécessite une adaptation au contexte climatique tropical des Antilles, en plus d'un calage pour les bois feuillus tropicaux
- Les mesures d'humidité instantanée, par monitoring et par relevés bimensuels sur Sites via l'humidimètre sont très cohérentes. Les valeurs BD971 et BD972 moyennées par mois traduisent bien le niveau d'humidité des bois. Ces variations sont lentes et les mesures instantanées reprennent un sens. Les mesures de monitoring confirment la pertinence de cette voie.
 - Les mesures sur Sites de HR% et T°C sont correctes, mais le calcul de EMC% à partir de ces s mesures n'est pas possible

5 ANALYSE ET RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE MESURES

5.1 Protocole

- **L'étape 1 : connaissance et exploitation des paramètres :**
Se base sur les données climatiques des stations météorologiques dans le but de déterminer les humidités du bois théoriques mensuelles au travers des courbes d'équilibre hygroscopique, ça veut dire à partir du HR% et T °C d'air. Elle se base, autant que possible, sur des données connues sur de longues périodes.
- **L'étape 2 : mesure des paramètres physiques :**
Elle suit la même logique mais se base sur les mesures des paramètres climatiques mesurées dans le cadre de la campagne de relevé sur site (HR%, T°C). Les humidités du bois à l'équilibre sur la base de ces relevés sont déduites (campagne de relevé sur 12 mois ; recherche de tendances)).
- **L'étape 3 : comparaison des mesures, données expérimentales/investigations sur sites**
Consiste en une comparaison des paramètres climatiques mesurés in situ avec les données journalières issues des stations météorologiques. Cette étape a pour finalité de comparer les données connues des stations MF avec les quelques valeurs des données obtenues in situ. Toute comparaison ne peut se faire compte tenu du faible nombre de msures sin situ à instant t et non un es réalisées à partir de l'hygro-thermomètre et une définition de leur utilisation dans le projet.
- **L'étape 4 : exploitation d'humidité du bois pour les essences résineux**
exploite les humidités du bois mesurées sur des bois résineux sur les sites proches d'une station météorologique. Ces dernières valeurs sont comparées aux humidités d'équilibre du bois théoriques déduites à l'issue de l'étape 1. L'origine des écarts éventuellement relevés à l'issue de l'étape 1 sont examinés.
- **L'étape 5 : exploitation d'humidité du bois pour les essences résineux**
suit la même logique que l'étape 4 mais se base sur les humidités mesurées sur des bois feuillus tropicaux. Elle permet de vérifier dans quelle mesure les courbes d'équilibre hygroscopique du bois connues peuvent être reprises pour cette famille d'essences.

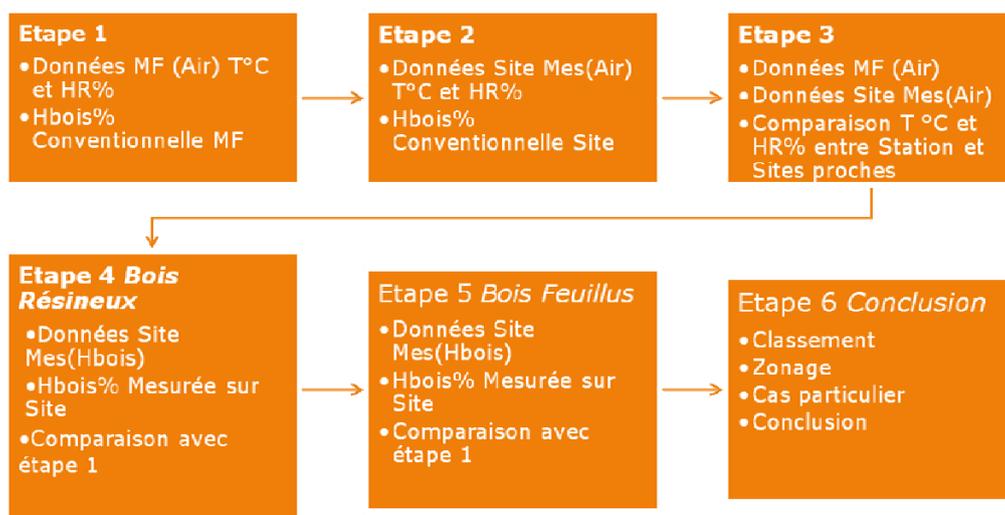


Figure 29 : Différentes Etapes du projet

5.2 Analyse des Paramètres de l'air HR% et T°C

5.2.1 Etape 3 : Comparaison des paramètres de l'air mesurés sur Sites avec les données MF

Les données de l'air mesurées sur site au moyen de l'hygromètre par les opérateurs sont récupérées et mis sous forme de graphe par le logiciel BOIS DUR-AMHEN971. **On compare les mesures d'humidité relative de l'air et températures recueillies au moyen de l'hygromètre sur les sites BOIS DUR-AMHEN les plus proches de la station MF de référence de la zone ZMF étudiée.**

Pour permettre une comparaison au jour le jour des données recueillies sur site avec celles de MF, nous travaillons à partir des données de **températures et humidité relative moyenne de l'air quotidiennes moyennes, minimales et maximales, dans un premier temps sur la période du 1^{er} novembre 2016 au 31 juillet 2017, recueillies sur le site internet de MF** pour les 11 zones climatiques par station de référence.

Mnémonique	Libellé	Unité	Pas de temps
TN	TEMPERATURE MINIMALE SOUS ABRI QUOTIDIENNE	DEG C ET 1/10	quotidien
TX	TEMPERATURE MAXIMALE SOUS ABRI QUOTIDIENNE	DEG C ET 1/10	quotidien
TM	TEMPERATURE MOYENNE SOUS ABRI QUOTIDIENNE	DEG C ET 1/10	quotidien
UN	HUMIDITE RELATIVE MINIMALE QUOTIDIENNE	%	quotidien
UX	HUMIDITE RELATIVE MAXIMALE QUOTIDIENNE	%	quotidien
UM	HUMIDITE RELATIVE MOYENNE	%	quotidien

Tableau 13 : Libellé des données MF valeurs quotidiennes

La comparaison des mesures sur Sites de HR% et T°C avec les valeurs fournies par Météo France amène les conclusions suivantes :

-  les évolutions de températures sont comparables. L'écart moyen sur les températures est de 4 °C ; l'impact de l'heure de prise de mesure est visible
-  L'écart moyen sur les humidités relatives HR% est de 12 % ; l'impact de l'heure de prise de mesure est très sensible.
-  Les mesures de HR et T sont correctes, mais le calcul de EMC à partir des mesures HR & T n'est pas possible.

5.2.2 Etape 3 : Comparaison des paramètres de l'air mesurés sur Sites, via le Monitoring et par MF

5.2.2.1 Comparaison monitoring-Météo France

Il existe des écarts entre donnée Météo et les relevés HR-T sur site, la distance entre Pôle Caraïbes et G000 est de 11 km avec une même. Les évolutions sont comparables et les écarts sont cohérents avec ceux observés entre deux éléments sur un même site

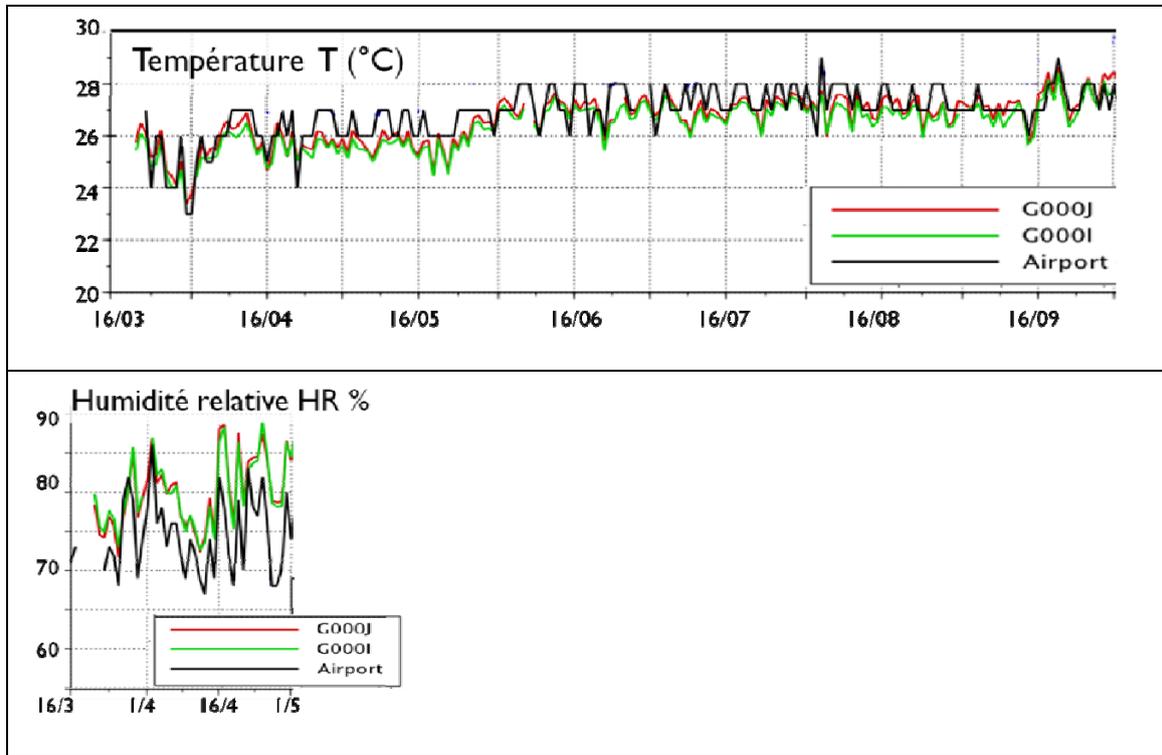


Figure 30 : Comparaison mesures monitoring/Données MF

5.2.2.2 Comparaison monitoring-Mesures sur Site

La Comparaison des mesures de monitoring avec les mesures sur Sites Bois Duramhen montre une très bonne concordance entre ces deux mesures.

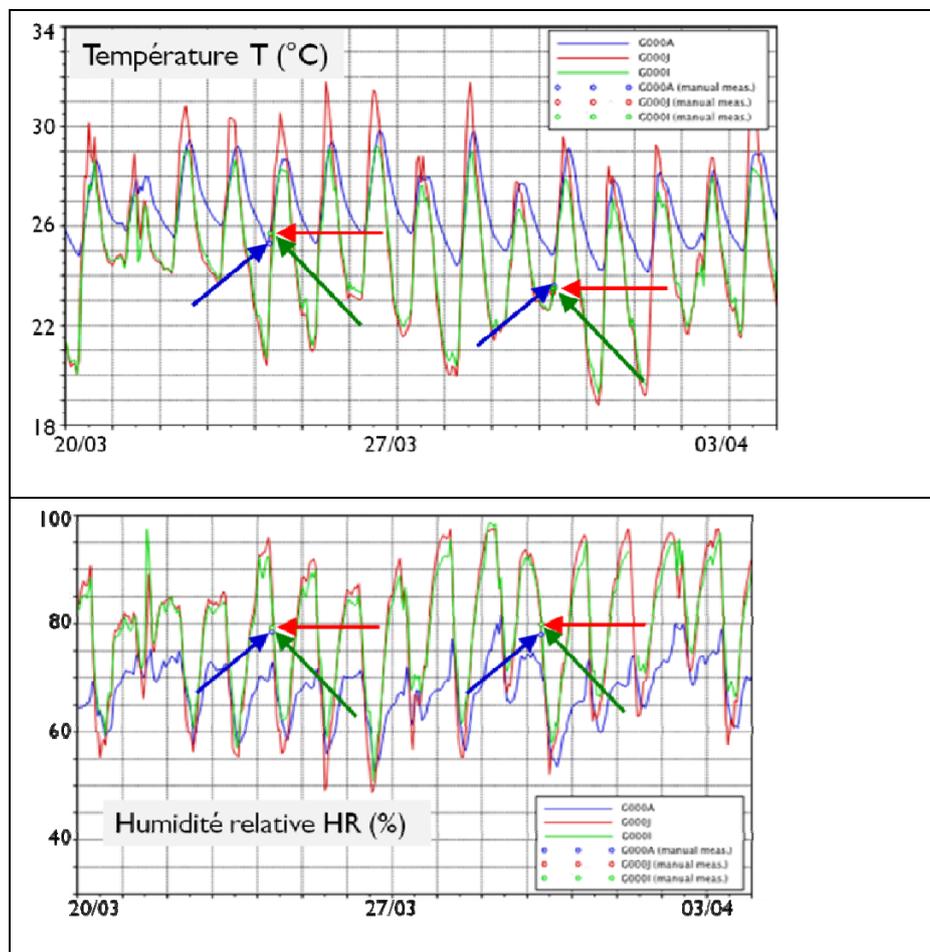


Figure 31 : Comparaison mesures monitoring/mesures sites

5.3 Analyse des Humidité du bois MC% et Humidité d'équilibre EMC%

5.3.1 Préambule

Les mesures d'humidité du bois recueillies sur site et indiquées dans les tableaux et graphes suivants comportent la correction définie au chapitre 4.2

La cadence de mesures de l'humidité du bois effectuées tous les 15 jours sur la plupart des sites est diminuée à toutes les semaines pour les Sites G000 et M000, pour vérifier l'incidence sur les résultats. Les graphes ci-dessous montrent ces variations, et confirment qu'une mesure tous les 15 jours est suffisante pour représenter la variation d'humidité dans les éléments bois des Sites faisant l'objet de mesures.

Par ailleurs, les résultats des travaux de monitoring qui permettent de mesurer toutes les heures les paramètres de l'air et l'humidité du bois diurne et nocturne sur le Site G000, ont aussi validé ce choix.

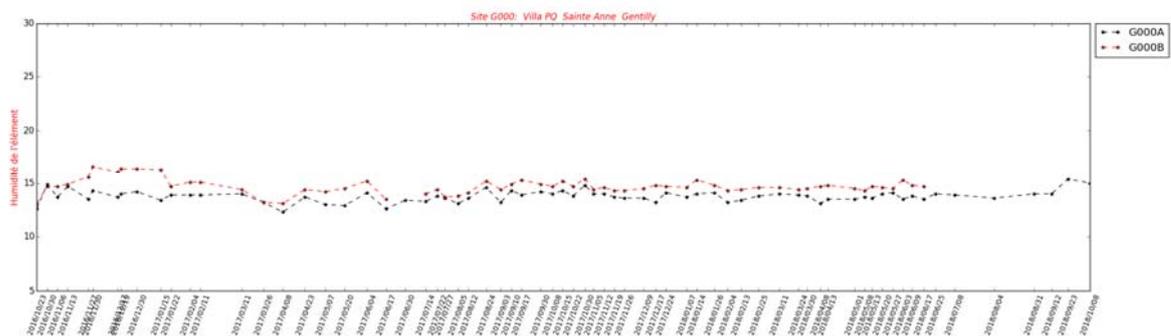


Figure 32 : Evolution humidité du bois en fonction du temps Site G000 éléments intérieurs abrités Résineux

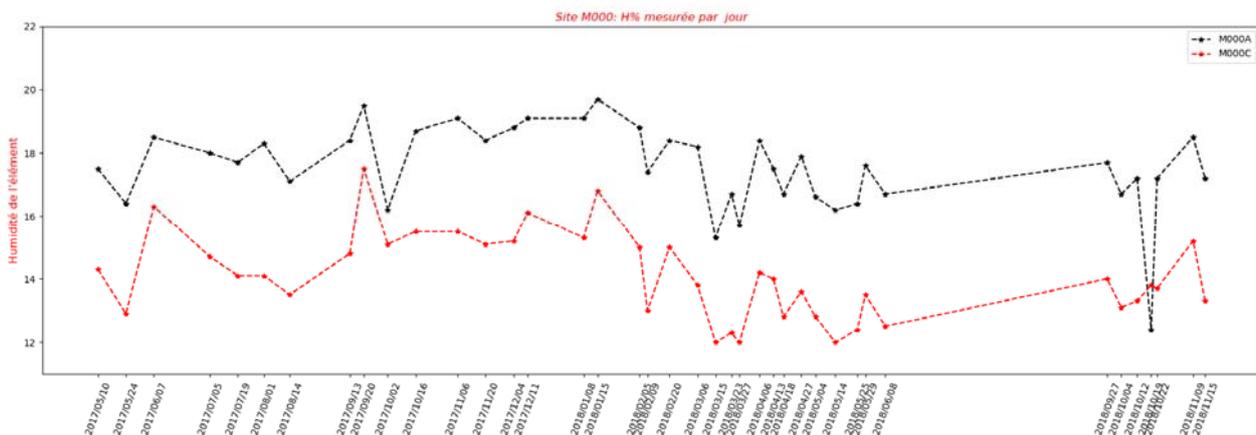


Figure 33 : Evolution humidité du bois en fonction du temps Site M000 éléments extérieurs abrités

En ce qui concerne les paramètres de l'air mesurés au moyen de l'hygromètre à une date t et une heure h précise, les conclusions précédentes démontrant le caractère constant de la température de l'air et fluctuant de l'humidité relative, nous poussent à ne pas utiliser ces mesures. En effet au vu du fort impact de la valeur de HR% sur l'humidité d'équilibre (EMC%) du bois en découlant, il serait hasardeux de tirer de conclusions à partir de ces données mesurées sur Sites ($T^{\circ}C$;HR%).

Ceci est confirmé par les résultats des travaux de monitoring qui démontrent la forte variation horaire des paramètres de l'air et pointe une forte variation d'humidité (presque à saturation) de HR% la nuit.

5.3.2 Etape 1 : Exploitation Données MF / valeurs conventionnelles

5.3.2.1 Rappel

L'étape 1 consiste à construire les courbes de variation de l'humidité d'équilibre du bois en fonction du temps à partir de données Météo France (humidité relative et Température de l'air) et de la courbe d'équilibre hygroscopique comme réalisé lors de l'étude pour 22 villes **France Hexagonale** par Thierry Lamadon de ce travail réalisé en 1993/1994 suivi sur une durée de 15 ans tenant compte du retour d'expérience à Bureau Veritas.

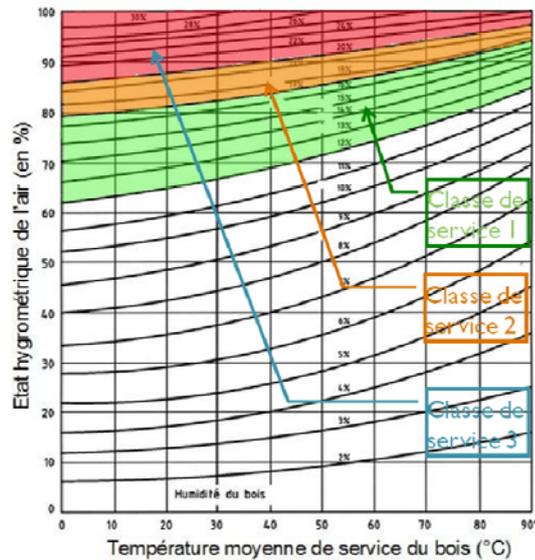


Figure 34 : Courbe d'équilibre hygroscopique définissant les classes de service

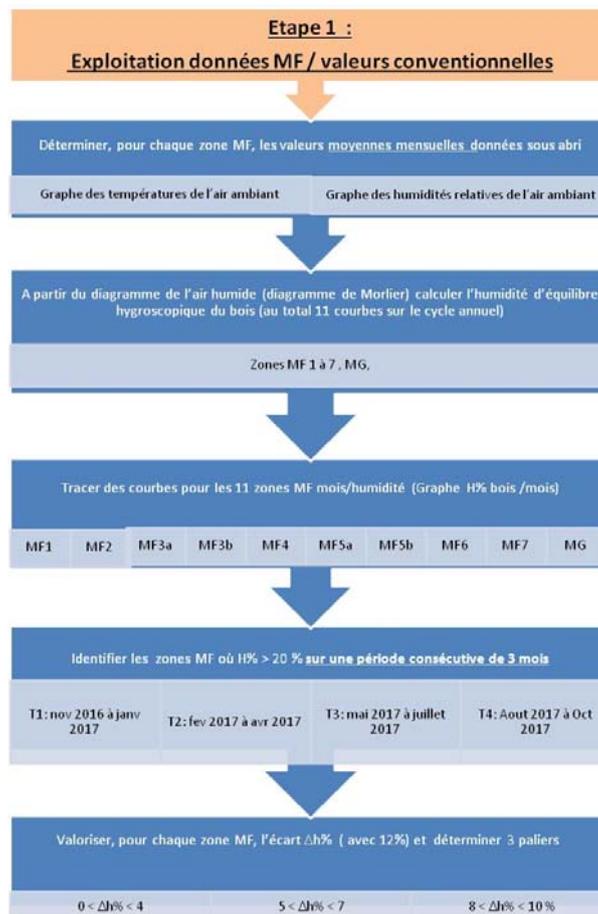


Figure 35 : Démarche de l'étape 1 BOIS-DURAMHEN

On constate donc que la température moyenne mensuelle est en général très stable dans une même zone ZMF sauf effet singulier dû à la différence d'altitude. De plus, les données longue durée et celles recueillies pour 2017 et 2018 sont quasi identiques. D'où on peut conclure à un équilibre spatio-temporelle de la température ; les moyennes mensuelles calculées sur de longue durée (plusieurs années) et celles déterminées par année sont similaires.

Ce n'est pas le cas pour l'humidité relative HR% qui fluctue beaucoup dans le temps et l'espace dans une même ZMF ; l'humidité d'équilibre du bois déduite de la courbe d'équilibre hygroscopique sera donc principalement affectée par ce paramètre HR%.

Ainsi, les études de la pluviométrie, de la température et de l'humidité relative de l'air démontrent la diversité du paysage et donc du climat de l'archipel guadeloupéen. Cette diversité se retrouve au niveau de l'humidité du bois mis en œuvre sur ce territoire. Ce paramètre influe sur les caractéristiques physiques et mécaniques du bois de plusieurs manières.

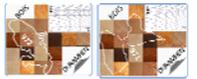
5.3.2.2 Résultats Etape 1 : Humidité d'équilibre du bois

Pour construire les graphes d'Humidité du bois H% pour chaque mois en fonction des paramètres ($\theta^{\circ}\text{C}$ / HR%) de l'air à partir de la courbe de l'équilibre hydrique du bois figurant dans l'AN de la NF EN 1995-1, les sources de données MF comportant les 2 paramètres Température/Humidité de l'air sont celles figurant dans les **tableaux 9 et 10**.

Les zones ZMF suivantes ne sont pas couvertes P2 et P4 pour la Martinique, ST pour la Guadeloupe.

La synthèse des résultats pour les éléments extérieurs abrités est donnée dans les tableaux suivants (les graphes sont en annexe 2).

Dans ce tableau, nous avons décidé que la classification en classe de service 3 pour une station est systématique à partir du moment la valeur moyenne de l'humidité d'équilibre théorique mensuelle H% est supérieure ou égale à 19%, pour au moins 3 mois. Il est à noter que cette conclusion de classement est guidée par la précision des données MF en terme de représentativité, ajoutée celle de la lecture de H% sur des courbes de l'équilibre hydrique de l'air humide.



Station MF					Humidité d'équilibre du bois EMC(%)												Résultats 12 mois					Résultats 3 mois					Conclusion		
ZMF	N°Station	Ville	Alt (m)	nbre année de mesures	janv	fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>= 20%	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart t ΔH	Nb>= 20%	Classe de service	Regime	Commentaires
1	97119008	PETIT-CANAL	35	2	18,1	16,2	16,5	16,5	16,8	17	17,8	18	19	20	19	21	16	18	21	5	2	16	18	20	4	2	3	perturbé	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 4 mois, du faible nombre de données disponibles (2 ans) et de la précision de lecture
2	97110002	LA DESIRADE	27	11	14	14	13,6	14,4	14,7	14,3	14,7	15	14,6	15	14,2	14,2	14	14	15	1	0	14	14	15	1	0	2	stationnaire	
2	97117013	LE MOULE	21	3	14,8	14,4	14,5	15	15	14,8	15,3	15,8	17	18	18,4	15,7	14	16	18	4	0	15	16	18	3	0	2	stationnaire	
2	97117012	LE MOULE	30	6	14,9	15,3	15,1	15,5	15,7	16	16,1	17	18,3	18,2	17,8	15,7	15	16	18	3	0	15	16	18	3	0	2	stationnaire	
2	97125011	SAINTE FRANCOIS	1	1	14,1	12,9	13,9	13,5	14	13,8	14,8	14,5	15	15,5	15,6	14	13	14	16	3	0	13	14	15	2	0	2	stationnaire	
3a	97101015	LES ABYMES	11	11	15,8	15,1	15	15,1	15,2	14,7	15,2	15,8	17	17	16,9	16,1	15	16	17	2	0	15	16	17	2	0	2	stationnaire	
3b	97129015	STE-ROSE	10	12	17,5	16	15,6	16,5	17	16	16,2	17,4	18,3	18,6	18,5	18,2	16	17	19	3	0	16	17	18	2	0	2	stationnaire	
4	97118007	PETIT-BOURG	110	7	22	21	21,2	22	23,7	22	23,5	24,7	24,7	25	25	25	21	23	25	4	12	21	23	25	4	12	3	stationnaire	
4	97107002	CAPESTERRE BELLE EAU	253	11	17,9	17,2	17,5	18	18	18	18	18	17,9	17,8	18	17,6	17	18	18	1	0	18	18	18	0	0	2	stationnaire	
4	97121002	POINTE-NOIRE	510	2,5	21,5	19	20,2	23	22,2	22,2	23,5	24	22	23	23	24	19	22	24	5	11	20	22	23	3	11	3	perturbé	
5a	97124009	ST CLAUDE	1141	2			31		30	30	31	26	28	28	24	30	24	29	31	7	9	27	29	31	4	9	3	perturbé	
5b	97109003	GOURBEYRE	477	3	17,5	17,9	18,5	19	18,9	18,5	18,9	18,5	18,6	18,5	18,2	17,8	18	18	19	2	0	18	18	19	1	0	3	stationnaire	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 4 mois, du faible nombre de données disponibles (2 ans) et de la précision de lecture
6	97121005	POINTE-NOIRE	213	2	17,4	15,9	15	15,2	15,8	15,4	15	17	17	16,7	17,5	16,9	15	16	18	3	0	15	16	17	2	0	2	stationnaire	
7	97104005	BAILLIF	6	5	13,3	12,8	12,6	12,5	12	11,9	12,5	13,4	14,4	14,4	14,4	13,6	12	13	14	3	0	12	13	14	2	0	2	stationnaire	
7	97105003	BASSE-TERRE	125	11	14,1	13,7	13,2	13,6	14	13,7	14,1	14,7	14,9	15,4	15	14,5	13	14	15	2	0	14	14	15	2	0	2	stationnaire	
MG	97112003	GRAND-BOURG	10	11	14,5	14	14	14,6	15	14,9	15	15,4	15,5	16	15,5	15	14	15	16	2	0	14	15	16	2	0	2	stationnaire	

Tableau 14 : Guadeloupe -Synthèse des résultats Humidité d'équilibre théorique du bois issus de l'étape 1

Station MF					Humidité d'équilibre du bois EMC(%)												Résultats 12 mois					Résultats 3 mois					Conclusion (classe de service conseillée)		
ZMF	N°Station	Ville	Alt (m)	nbre année de mesures	janv	fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ec art ΔH	Nb>= 20%	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>= 20%	Classe de service	Régime	Commentaires
P1	97203003	BASSE-POINTE	45	19	16,5	15,7	15,7	16	16,6	17,2	17,8	17,5	17,1	17,3	17,7	16,3	16	17	18	2	0	16	17	18	2	0	2	stationnaire	
P3	97224004	SAINT-JOSEPH	65	2	16,4	15	16	16	16	16,7	17	17,3	18	18,5	18,3	17	15	17	19	4	0	16	17	18	3	0	2	stationnaire	
P3	97213004	LE LAMENTIN	3	30	16	15,5	15,1	15,5	15,7	16	16,6	17,8	17,8	18	18	16,7	15	17	18	3	0	15	17	18	3	0	2	stationnaire	
PP1	97232003	LE VAUCLIN	12	3	14,4	14	14,9	14,6	15	15,3	15,5	15,4	15,3	16	15,7	15	14	15	16	2	0	14	15	16	1	0	2	stationnaire	
PP1	97226004	SAINTE ANNE	22	1			15,6	15,5	16,9	17	18,6	18,4	17,8	17,7	18,3	19,5	16	18	20	4	0	16	18	20	4	0	2	stationnaire	
PP1	97210004	LE FRANÇOIS	6	19	16,9	16,2	15,7	16	16,8	17,2	17,9	17,7	17,5	17,5	17,9	17	16	17	18	2	0	16	17	18	2	0	2	stationnaire	
PP2	97230001	LA TRINITE	26	3	14	13,7	14,4	14,4	14,9	15	15	14,6	14,9	15,3	15,4	14,6	14	15	15	2	0	14	15	15	1	0	2	stationnaire	
TP1	97218002	LE MORNE ROUGE	350	14	18,5	18	17,5	18	18	18,5	18,8	18,7	18,6	18,6	19	18,5	18	18	19	2	0	18	18	19	1	0	3	stationnaire	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 12mois et de la précision de lecture
TP2	97208001	FONDS SAINT-DENIS	493	3	18,6	18,1	18,5	18,4	18,4	18,6	18,8	18,8	18,7	18,1	18,6	19	18	19	19	1	0	18	19	19	0	0	3	stationnaire	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 12mois et de la précision de lecture
TP2	97209004	FORT-DE-FRANCE	143	3	15,5	15	15,4	15,5	16	16,9	16,9	16,4	16,9	16,9	17	15,8	15	16	17	2	0	15	16	17	2	0	2	stationnaire	
TP2	97201001	AJOUA-BOUILLON	338	19	18,6	18,2	18	18	18,2	18,8	19	18,8	18,5	18,7	19,5	18,6	18	19	20	2	0	18	19	19	1	0	3	stationnaire	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 12mois et de la précision de lecture
TP2	97228004	SAINTE MARIE	170	19	18,4	18,2	17,8	17,7	18	18,5	18,7	18,5	18,5	19	19	18,6	18	18	19	1	0	18	18	19	1	0	3	stationnaire	Classe de service 3 conseillée au vu des fortes valeurs homogènes sur 12mois et de la précision de lecture

Tableau 15 : Martinique -Synthèse des résultats Humidité d'équilibre théorique du bois issus de l'étape 1

5.3.2.3

Synthèse et conclusion étape 1 / Comparaison avec les travaux antérieurs

5.3.2.3.1 Synthèse et conclusion

On peut donc en déduire la carte suivante donnant l'humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) des éléments extérieurs abrités pour chaque station MF selon la méthode conventionnelle décrite précédemment pour 12 mois et 3 mois glissants. Les valeurs calculées ont été arrondies.

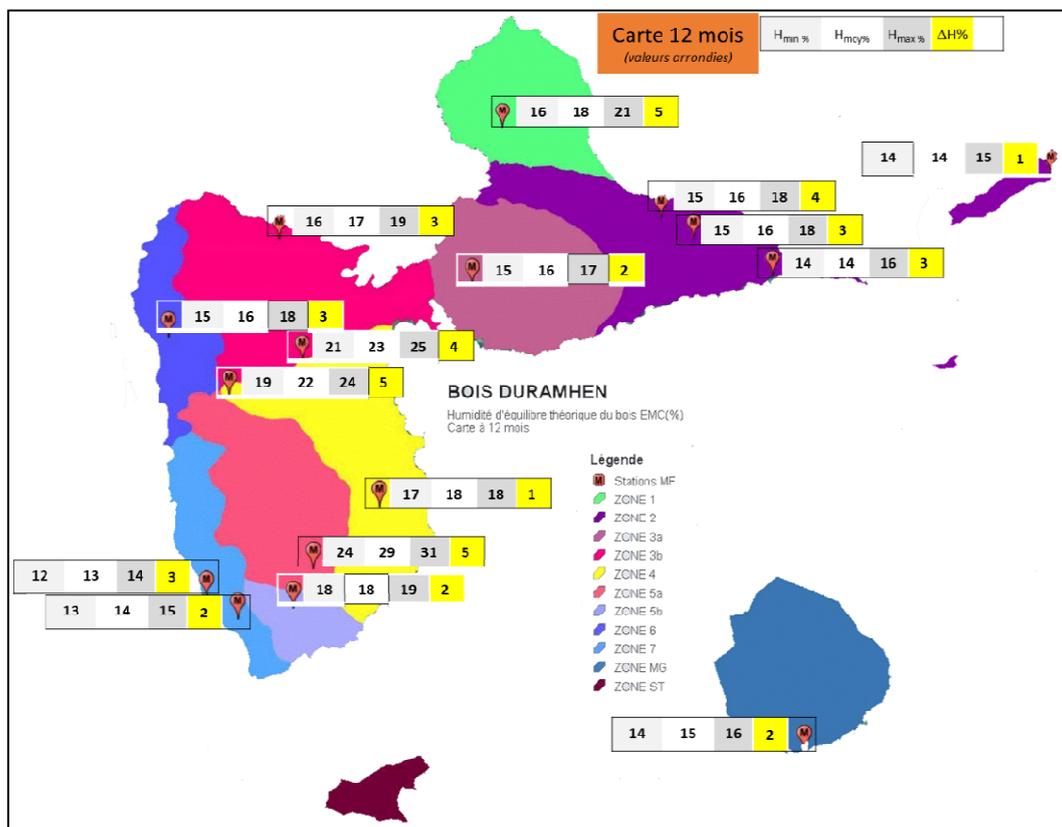


Figure 36 : Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 16 stations MF

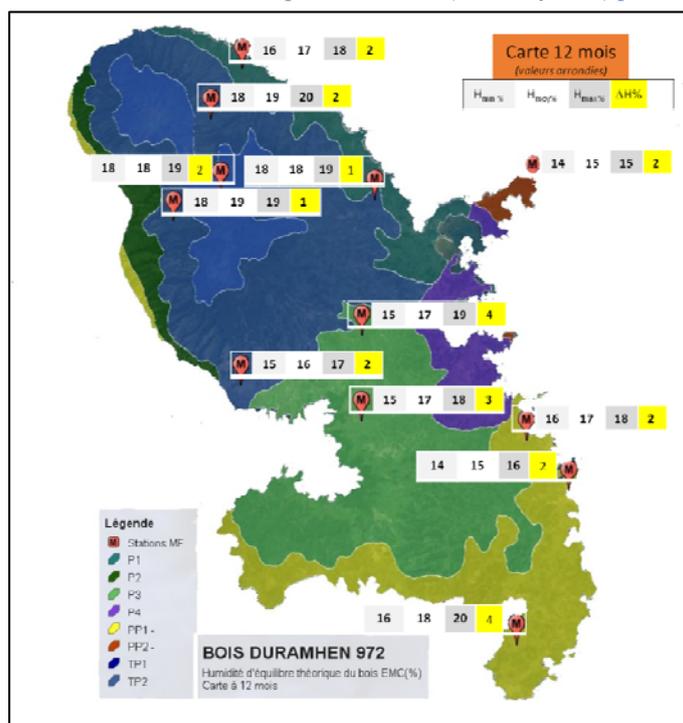


Figure 37 : Martinique Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 12 stations MF

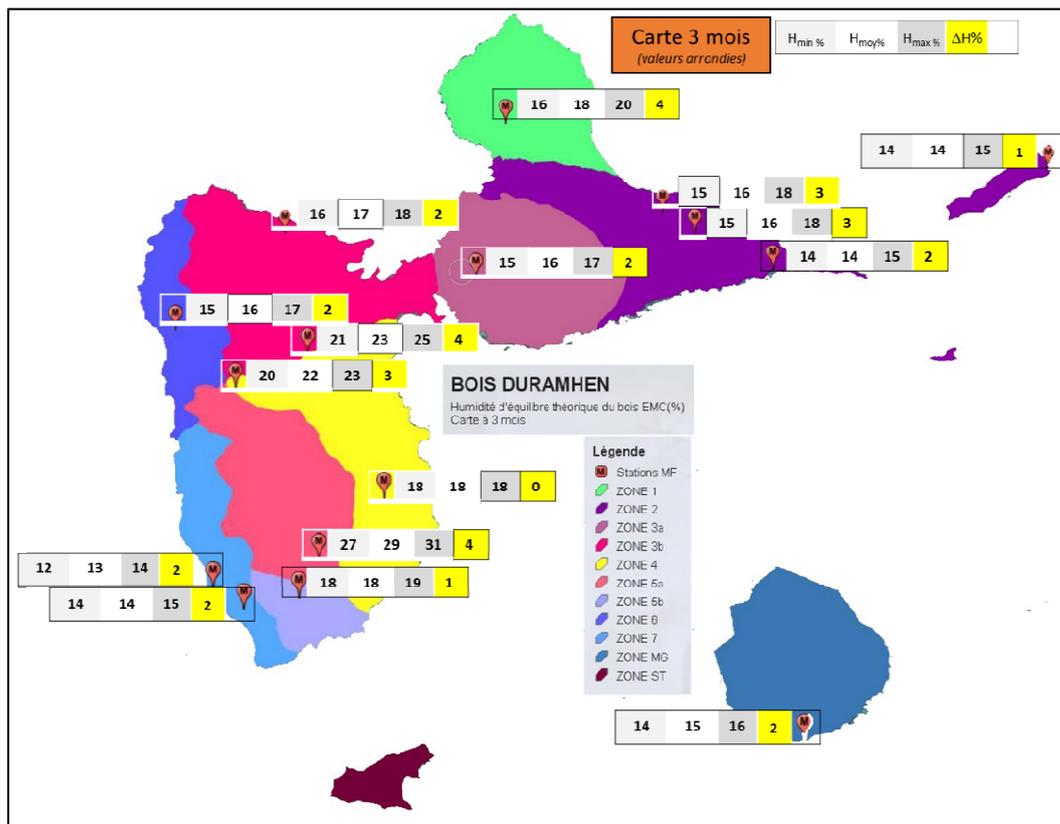


Figure 38 : Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 16 stations MF

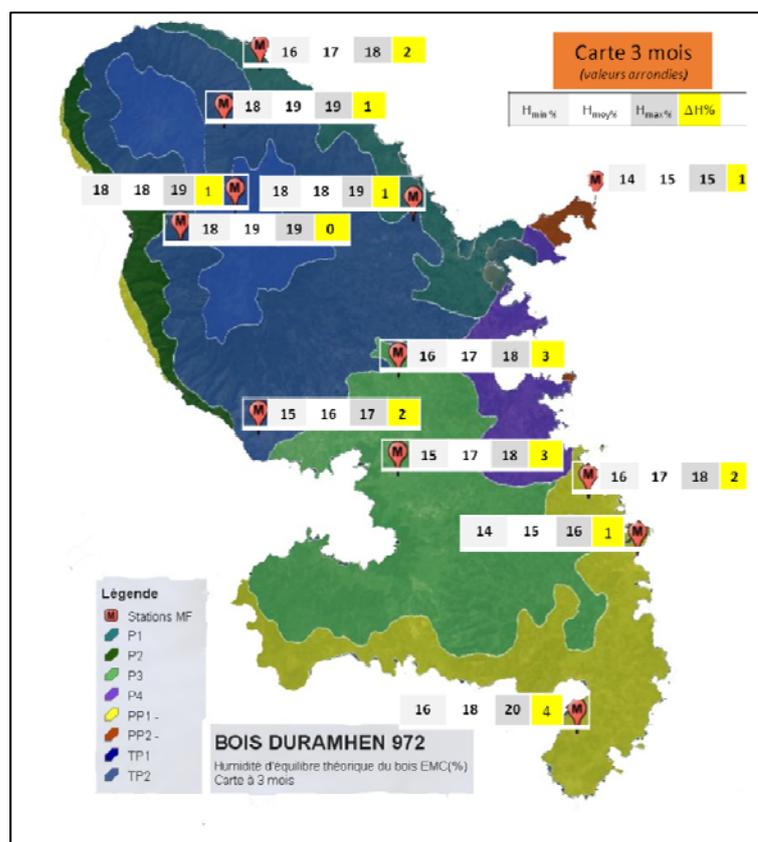


Figure 39 : Martinique Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 12 stations MF

Sur la base des cartes trouvées sur [internet \(figures 40 et 41\)](#), nous pouvons établir une comparaison avec nos résultats.

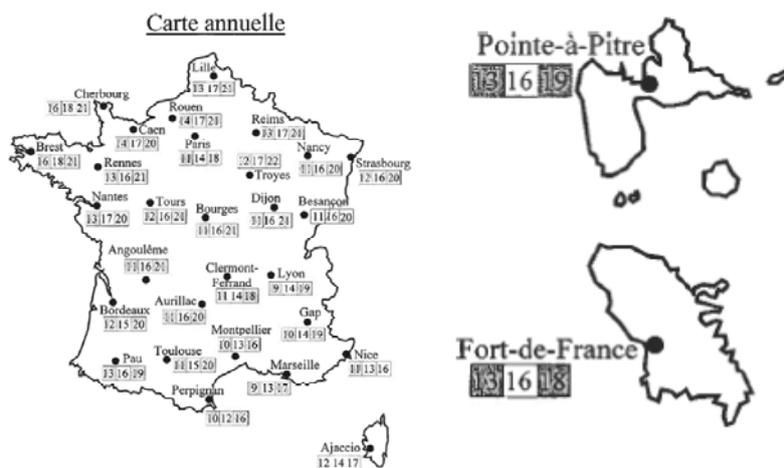


Figure 40 : Carte 12 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 22 villes + DOM

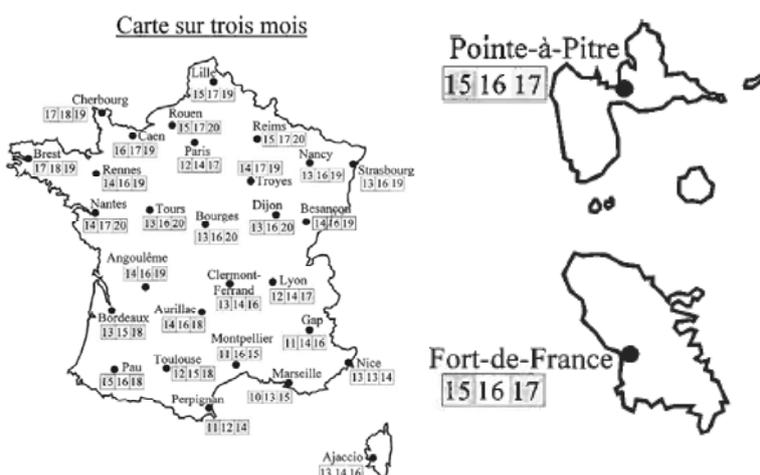


Figure 41 : Carte 3 mois Humidité d'équilibre du bois (Min,Moy,Max) pour 22 villes + DOM

Tout d'abord, les seules villes des Antilles françaises ayant fait l'objet de l'étude sont Pointe à Pitre représentée par la station MF du Raizet-aéroport et Fort-de-France représentée par la station MF du Lamentin-aéroport. La comparaison ne montre pas de différence notable entre les 2 études.

Notre étude démontre aussi que le caractère insulaire et archipélagique de la Guadeloupe avec ses microclimats à fortes variations spatio temporelles de HR% ne permet pas d'avoir une seule station représentative de l'ensemble des îles de l'archipel.

Etude	Humidité équilibre du bois EMC%(valeur conventionnelle)(12 mois/ 3mois)			
	Minimum	Moyenne	Maximun	Ecart ΔH
Source Nd/Internet Guadeloupe	13	16	19	Nd
	15	16	17	Nd
BOIS DURAMHEN971	15	16	17	2
	15	16	17	2
Source Nd/Internet Martinique	13	16	18	Nd
	15	16	17	Nd
BOIS DURAMHEN972	15	17	18	3
	15	17	18	3

Tableau 16 : Synthèse Etape vs Etude antérieure Station Raizet et Lamentin

5.3.2.3.2 Comparaison avec les travaux antérieurs 22 villes de l'Hexagone

Sur la base des études antérieures menées par **Thierry Lamadon**, nous pouvons établir une comparaison avec nos résultats avec ceux des 22 villes françaises étudiées.

Pour rappel, si on considère les **moyennes mensuelles** (température et humidité d'équilibre sous abri) relevées par Météo-France, on peut :

- Déterminer le **taux d'humidité d'équilibre théorique des bois en œuvre**
- Approcher les seuils associés aux **classes de service** de l'EN 1995.

Les critères de classement sont :

- les valeurs **maximales** de EMC (H%)
- les **variations saisonnières**

La pertinence d'étudier cet état de fait en « climat subtropical marin » et d'attirer l'attention des professionnels de la construction, normalisateurs...

- Emploi en structure; les coefficients modificateurs sont plus pénalisants en classe de service 3
- Facteur de risque à utiliser les coefficients de la classe de service 2
- Durabilité, certaines essences (certains panneaux à base de bois) sont limités à la classe de service 2.

Cela a pour conséquences, un choix circonstancié des essences et panneaux :

- En phase conception
- Pour une justification rationnelle par le calcul des structures

		0 < Δh < 4								
		5 < Δh < 7								
		8 < Δh < 10								
villes	mois à H = 20%	mois à H > 20%	Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri			Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri				
			maxi	mini	écart	maxi *	mini	écart		
Angoulême	1		20%	12%	8%	20%	12%	8%		
Avignon			16%	10%	6%	16%	10%	6%		
Besançon	1	1	21%	14%	7%	20%	14%	6%		
Bordeaux		3	22%	13%	9%	22%	13%	9%		
Bourges	1	1	21%	12%	9%	20%	12%	8%		
Brest	3		20%	18%	2%	20%	18%	2%		
Caen	2		20%	16%	4%	20%	16%	4%		
Cherbourg			18%	16%	2%	18%	16%	2%		
Clermont		1	21%	12%	9%	19%	12%	7%		
Lille		3	23%	14%	9%	23%	14%	9%		
Lyon	2		20%	11%	9%	20%	11%	9%		
Marseille			17%	11%	6%	17%	11%	6%		
Nantes		3	22%	14%	8%	22%	14%	8%		
Nice			17%	14%	3%	15%	14%	1%		
Paris	2		20%	13%	7%	20%	13%	7%		
Perpignan			16%	11%	5%	15%	11%	4%		
Reims		3	22%	15%	7%	22%	15%	7%		
Rennes		3	24%	14%	10%	23%	14%	9%		
Rouen			20%	17%	3%	20%	17%	3%		
Strasbourg			21%	12%	9%	20%	12%	8%		
Toulouse		3	21%	12%	9%	21%	12%	9%		
Tours			21%	12%	9%	20%	12%	8%		

* sur 3 mois consécutifs

Tableau 17 : Synthèse des résultats pour les 22 villes françaises



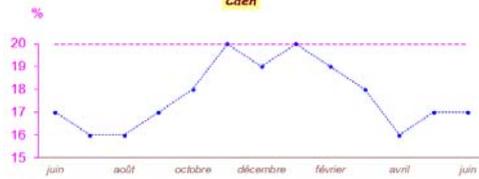
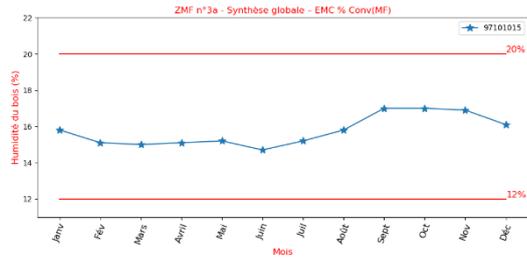
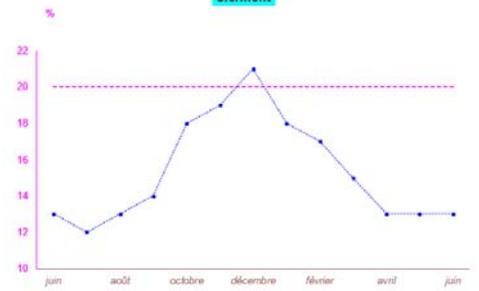
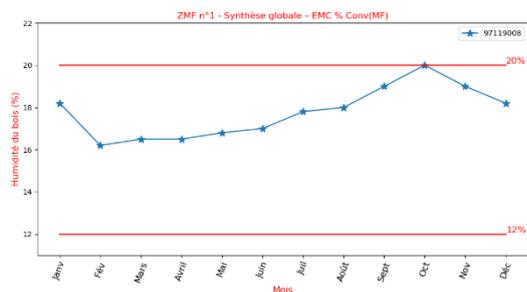
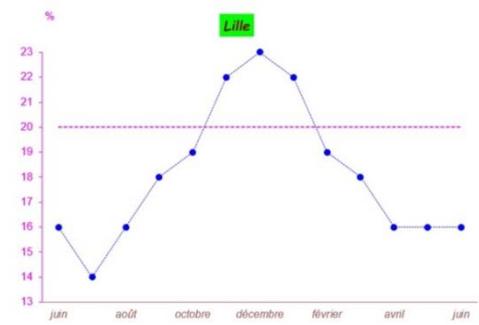
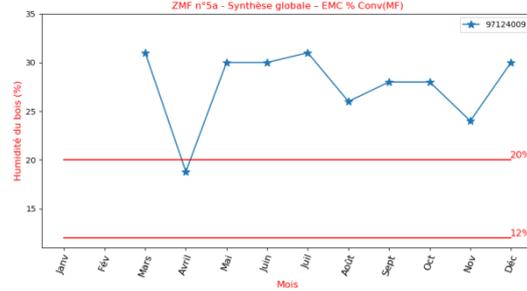
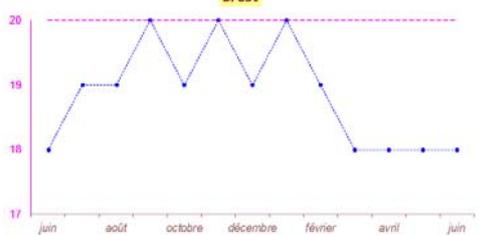
Régime	Exemple Ville Hexagone	Exemple Ville 971																					
<p>Premier palier : 0 < $\Delta h\% < 4$ pour H% maxi < 20%</p> <p>Stationnaire</p>	<p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p> <p>Caen</p> 	<p>ZMF n°3a - Synthèse globale - EMC % Conv(MF)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Station</th> <th colspan="5">Résultats % (12 mois)</th> </tr> <tr> <th>ZMF</th> <th>Ville</th> <th>Hmin (%)</th> <th>Hmoy (%)</th> <th>Hmax (%)</th> <th>Ecart ΔH</th> <th>Nb>=20 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3a</td> <td>ABYMES</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Station		Résultats % (12 mois)					ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %	3a	ABYMES	15	16	17	2	0
Station		Résultats % (12 mois)																					
ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %																	
3a	ABYMES	15	16	17	2	0																	
<p>Second palier : 5 < $\Delta h\% < 7$ pour H% maxi > 20%</p> <p>Perturbé</p>	<p>Clermont</p>  <p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p>	<p>ZMF n°1 - Synthèse globale - EMC % Conv(MF)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Station</th> <th colspan="5">Résultats % (12 mois)</th> </tr> <tr> <th>ZMF</th> <th>Ville</th> <th>Hmin (%)</th> <th>Hmoy (%)</th> <th>Hmax (%)</th> <th>Ecart ΔH</th> <th>Nb>=20 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>PETIT-CANAL</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>21</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Station		Résultats % (12 mois)					ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %	1	PETIT-CANAL	16	18	21	5	2
Station		Résultats % (12 mois)																					
ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %																	
1	PETIT-CANAL	16	18	21	5	2																	
<p>Troisième palier : 8 < $\Delta h\% < 10$ % pour H% maxi > 22-23%</p> <p>Perturbé</p>	<p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p> <p>Lille</p> 	<p>ZMF n°5a - Synthèse globale - EMC % Conv(MF)</p>  <p><i>Le mois d'avril présente une singularité qui est sûrement une anomalie de mesure (à écarter de l'analyse)</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Station</th> <th colspan="5">Résultats % (12 mois)</th> </tr> <tr> <th>ZMF</th> <th>Ville</th> <th>Hmin (%)</th> <th>Hmoy (%)</th> <th>Hmax (%)</th> <th>Ecart ΔH</th> <th>Nb>=20 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5a</td> <td>ST CLAUDE</td> <td>24</td> <td>29</td> <td>31</td> <td>7</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	Station		Résultats % (12 mois)					ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %	5a	ST CLAUDE	24	29	31	7	9
Station		Résultats % (12 mois)																					
ZMF	Ville	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %																	
5a	ST CLAUDE	24	29	31	7	9																	
<p>Particularités: phénomène de « cyclages » Exemple Ville de Brest:</p>	<p>Brest</p>  <p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p>	<p>Pas de cas rencontré en Guadeloupe</p>																					

Tableau 18 : Illustration des régimes et tendances en Guadeloupe

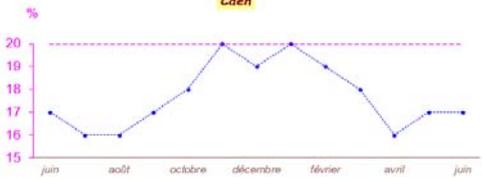
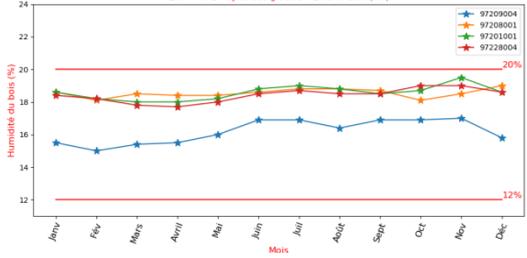
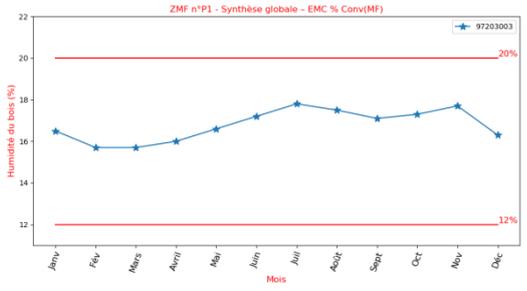
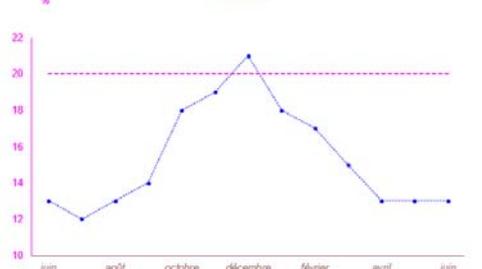
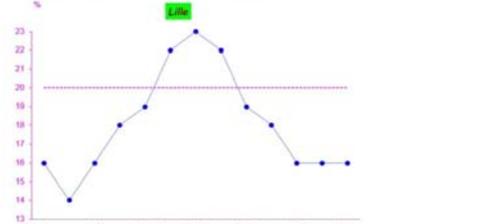
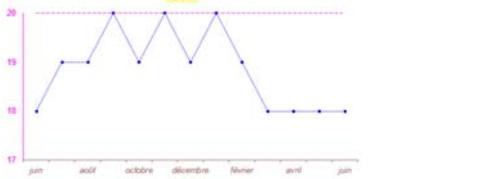
Régime	Stationnaire	Exemple Ville Hexagone	Exemple Ville 972																																										
<p>Premier palier : 0 < Δh% < 4 pour H% maxi < 20%</p>	Stationnaire	<p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p> <p>Caen</p> 	<p>ZMF n°TP2 - Synthèse globale - EMC % Conv(MF)</p>  <p>ZMF n°P1 - Synthèse globale - EMC % Conv(MF)</p>  <table border="1" data-bbox="949 795 1516 1030"> <thead> <tr> <th colspan="2">Station</th> <th colspan="5">Résultats % (12 mois)</th> </tr> <tr> <th>ZMF</th> <th>Ville</th> <th>H_{min} (%)</th> <th>H_{moy} (%)</th> <th>H_{max} (%)</th> <th>Ecart ΔH</th> <th>Nb>=20 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>BASSE-POINTE</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TP2</td> <td>FONDS ST -DENIS</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TP2</td> <td>AJOUPA-BOUILLON</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TP2</td> <td>SAINTE MARIE</td> <td>18</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Station		Résultats % (12 mois)					ZMF	Ville	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %	P1	BASSE-POINTE	16	17	18	2	0	TP2	FONDS ST -DENIS	18	19	19	1	0	TP2	AJOUPA-BOUILLON	18	19	20	2	0	TP2	SAINTE MARIE	18	18	19	1	0
Station		Résultats % (12 mois)																																											
ZMF	Ville	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>=20 %																																							
P1	BASSE-POINTE	16	17	18	2	0																																							
TP2	FONDS ST -DENIS	18	19	19	1	0																																							
TP2	AJOUPA-BOUILLON	18	19	20	2	0																																							
TP2	SAINTE MARIE	18	18	19	1	0																																							
<p>Second palier : 5 < Δh% < 7 pour H% maxi > 20%</p>	Perturbé	<p>Clermont</p>  <p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p>	Pas de cas rencontré en Martinique																																										
<p>Troisième palier : 8 < Δh% < 10 % pour H% maxi > 22-23%</p>	Perturbé	<p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p> <p>Caen</p> 	Pas de cas rencontré en Martinique																																										
<p>Particularités: phénomène de « cyclages » Exemple Ville de Brest:</p>		<p>Brest</p>  <p>Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri</p>	Pas de cas rencontré en Martinique																																										

Tableau 19 : Illustration des régimes et tendances en Martinique

5.3.3 Etape 4 : Etude des données H% bois mesurées sur Sites Bois Résineux

5.3.3.1 Préambule

Dans l'étape 4, il s'agit d'étudier les données d'humidité du **bois Résineux** mesurées sur site pour des éléments à l'extérieur abrité au moyen de l'humidimètre par les opérateurs mises sous forme de graphe par le logiciel BOIS DUR-AMHEN 971.

On compare les valeurs d'humidité du bois recueillies au moyen de l'humidimètre Merlin EVO SM sur les sites **BOIS DURAMHEN** à celles résultant de l'étape 1 (conventionnelle) issues de la station MF de référence du site étudié. **La valeur d'humidité déterminée pour un mois pour un élément donné est la moyenne des valeurs mesurées pendant le mois et non le maximum comme décrit dans la méthodologie.**

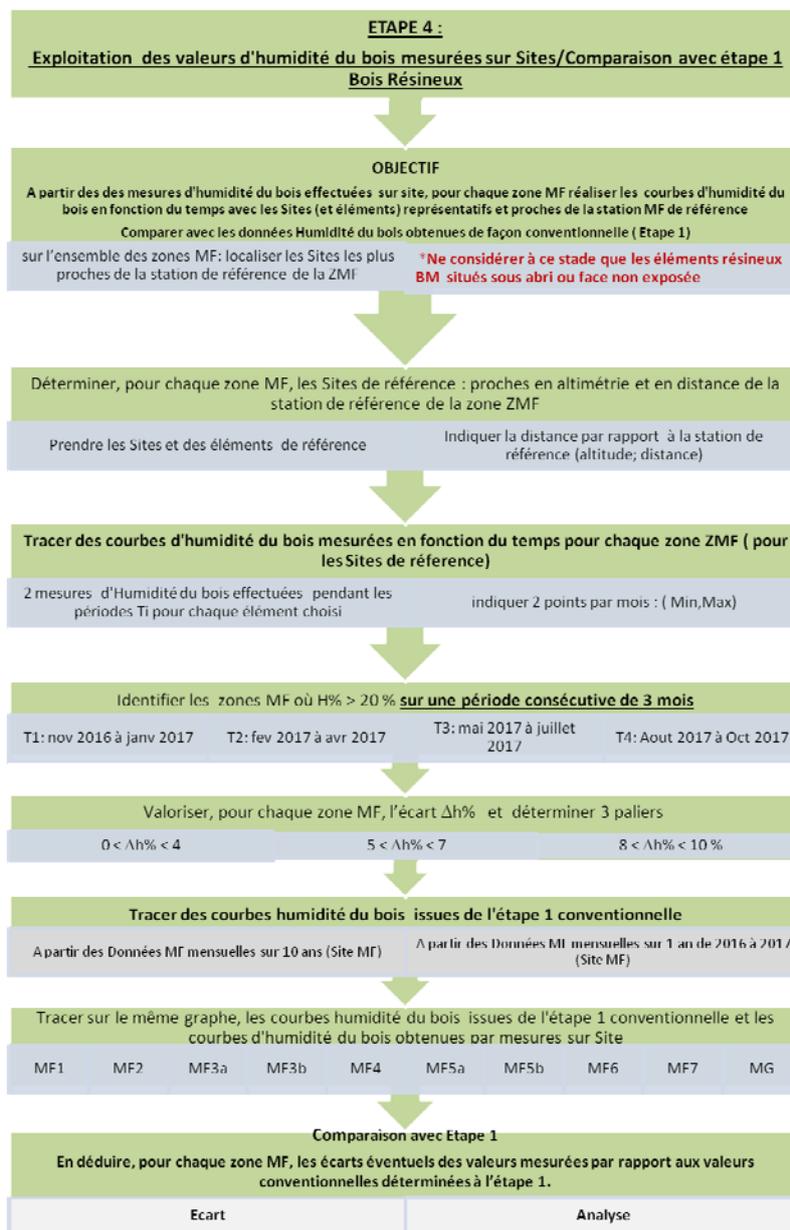


Figure 42 : Etape 4 méthodologie Bois Résineux extérieurs abrités

5.3.3.2 Sites retenus

Les données mesurées sur Sites (*Humidité du bois*) sont récupérées pour chaque élément de chaque Site, soit :

- 2 mesures par mois au moins
- Une moyenne est faite par mois de chaque année

Une moyenne est effectuée par mois quand les mesures relevées s'étalent sur plusieurs années ; les résultats par mois sont exploités dans le logiciel. Une moyenne est faite par mois de chaque année pour tracer la courbe H% bois (ou MC%) =fonction(Mois).

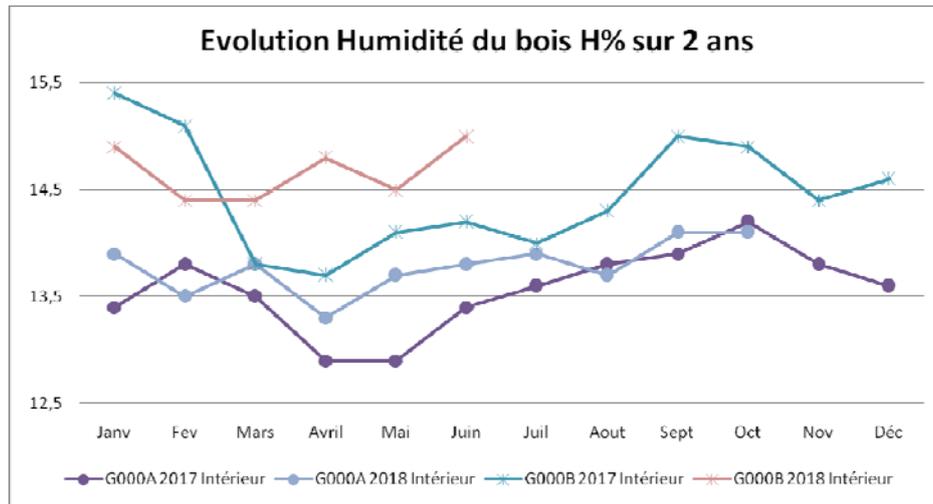


Figure 43 : Exemple de variation des mesures pour 2 Eléments sur 2 ans

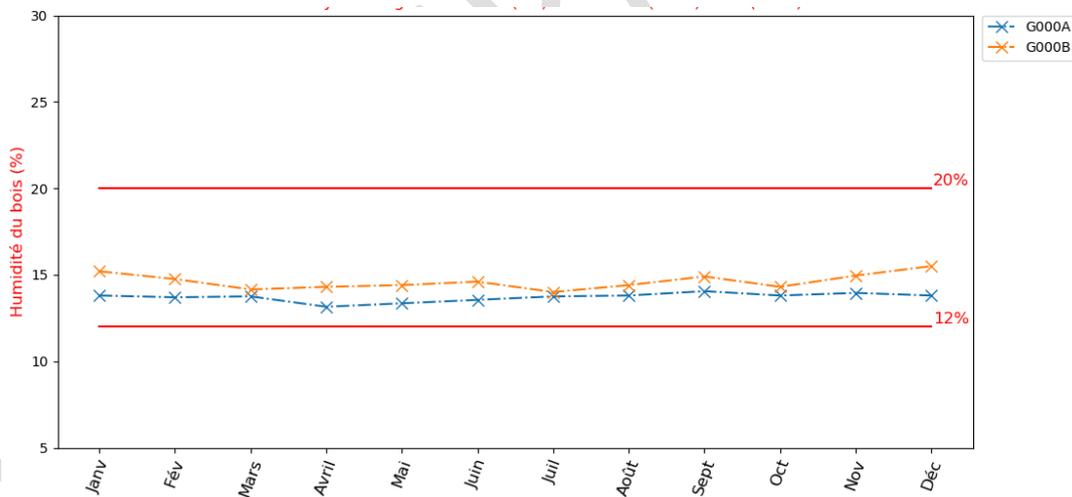


Figure 44 : Exemple de variation des mesures moyennées sur 1 an pour 2 Eléments

Pour l'étude et l'analyse des résultats des éléments extérieurs abrité nous avons sélectionné et trié tous les éléments résineux qui présentent des résultats homogènes et corrects compte tenu des différentes hypothèses prises ; notamment ont été écartés des mesures avec variation brutale inexplicquée, les sites et éléments pour lesquels l'influence de paramètre singuliers est importante notamment revêtement type peinture, proximité immédiate de la mer au vent d'Est (Alizés), bois massifs aboutés (BMA) et les éléments qui n'ont pas été séchés avant mise en œuvre (Sites récents qui ont moins d'un an).

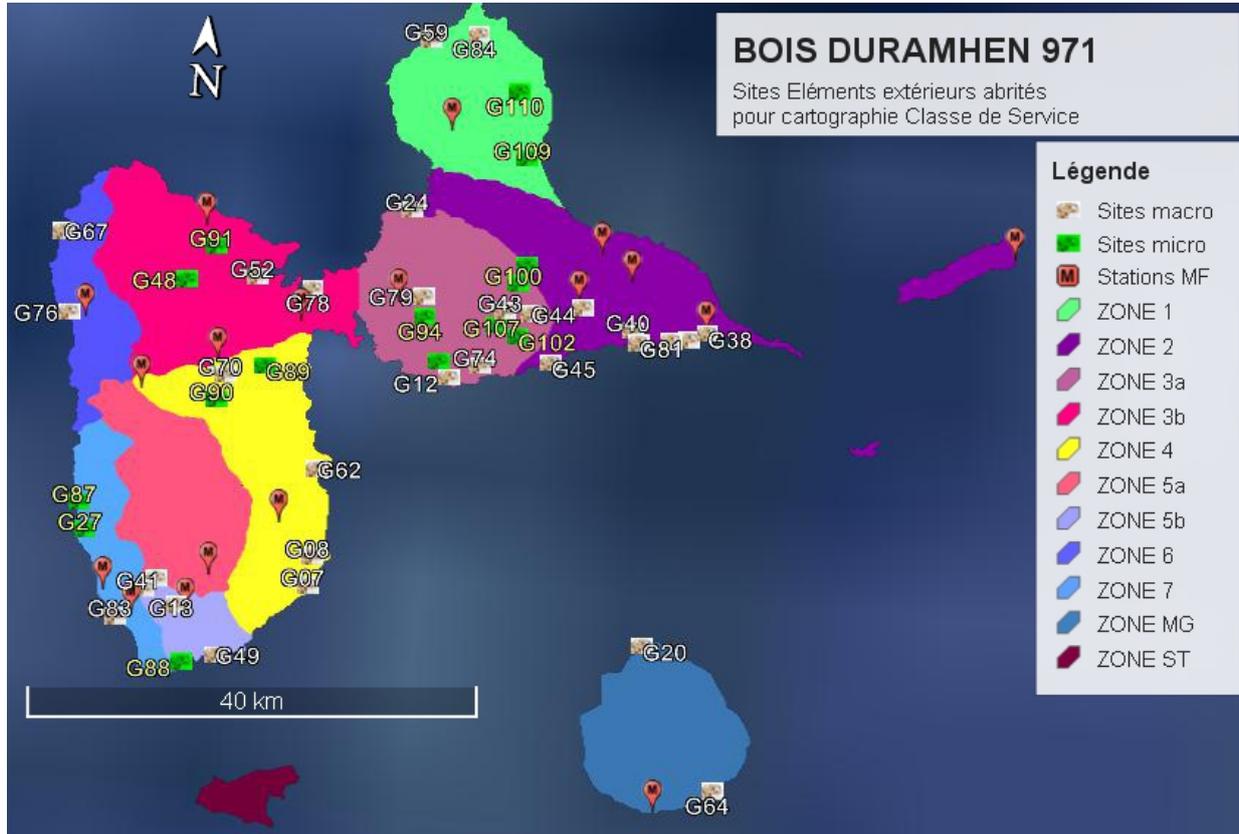


Figure 45 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Résineux Guadeloupe

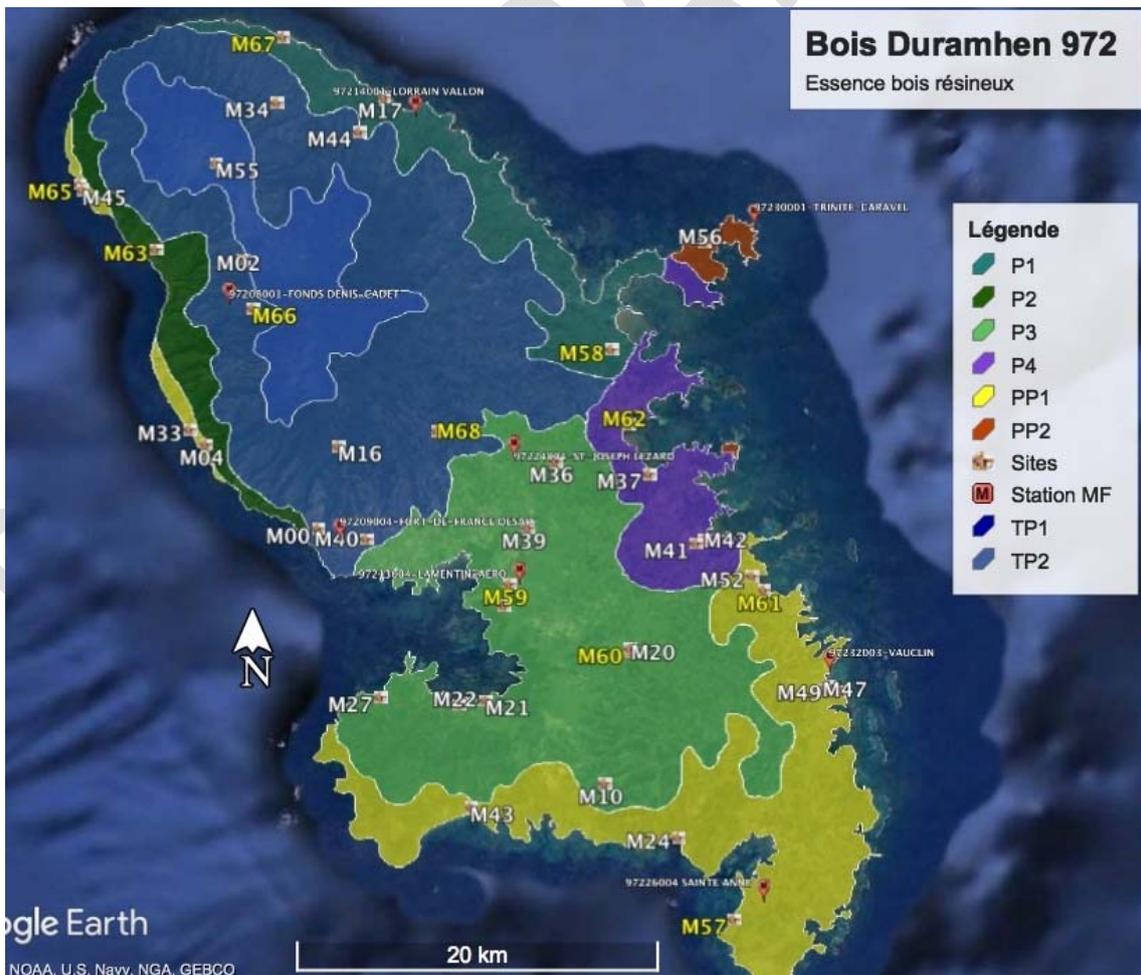
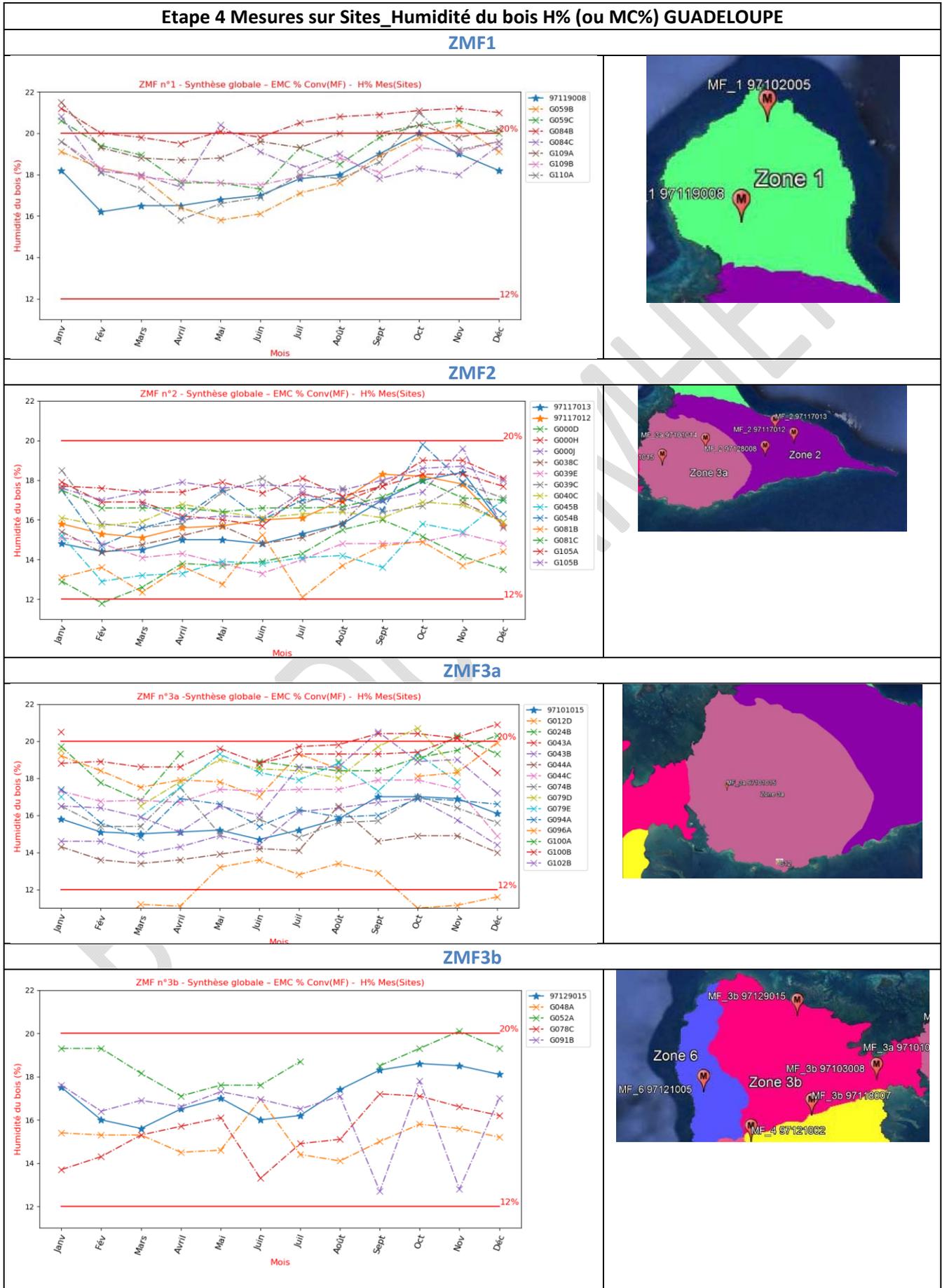


Figure 46 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Résineux Martinique

5.3.3.3 Résultats Mesures Humidité du bois moyenne sur 12 mois

Les valeurs moyennes par mois de l'humidité du bois résineux mesurés sur les éléments extérieurs abrités pour l'étape 4 sont donnés dans le tableau ci-dessous.



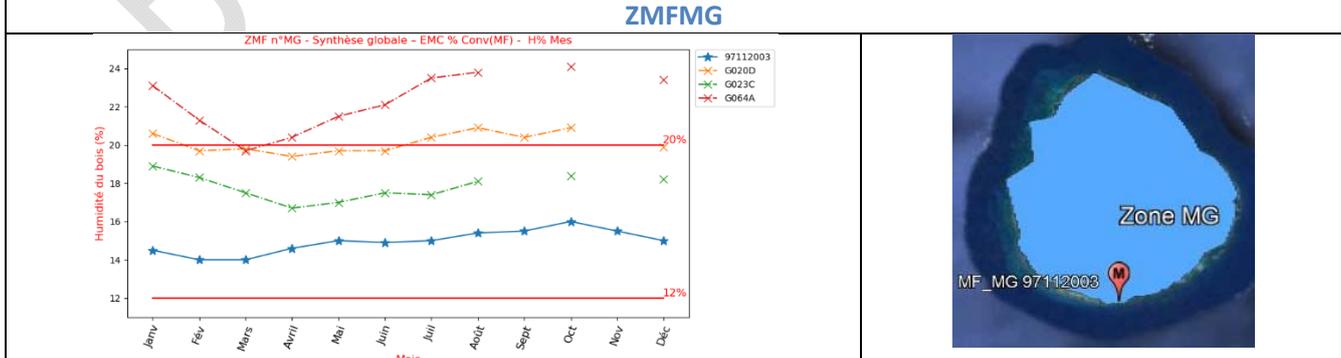
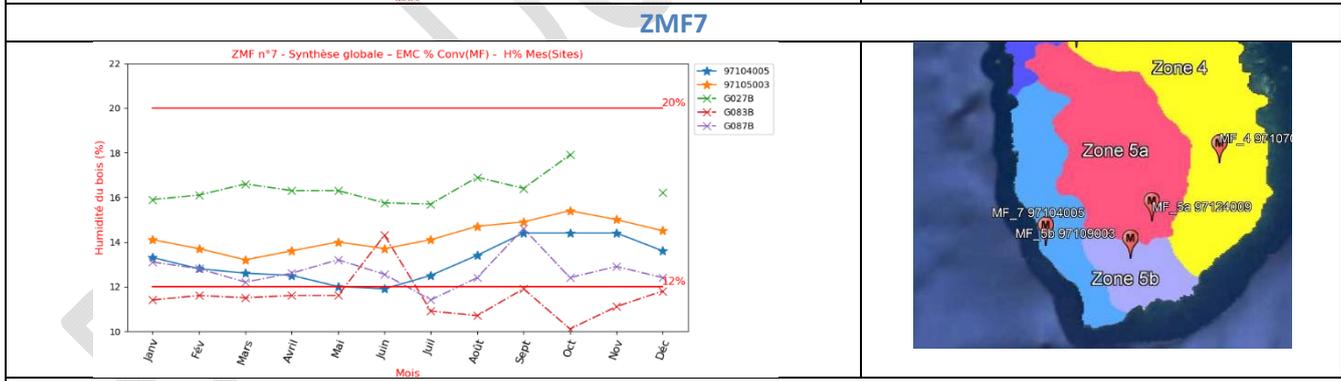
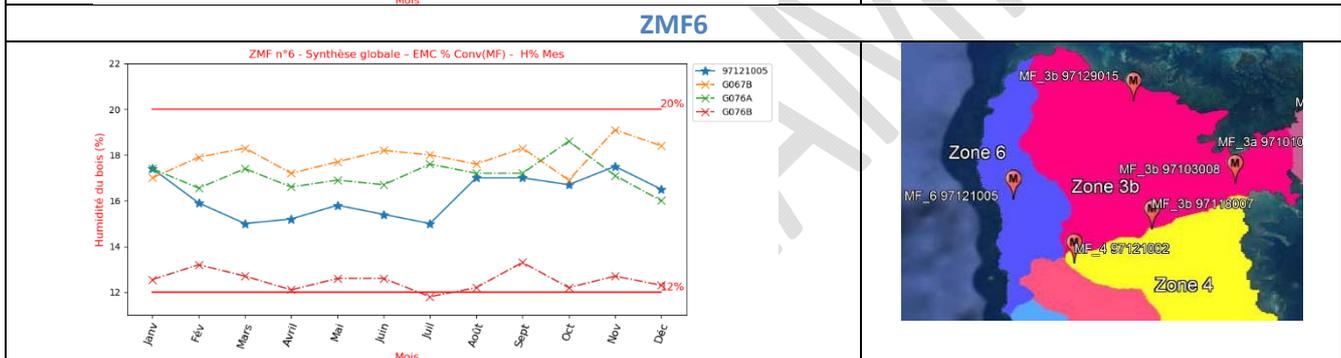
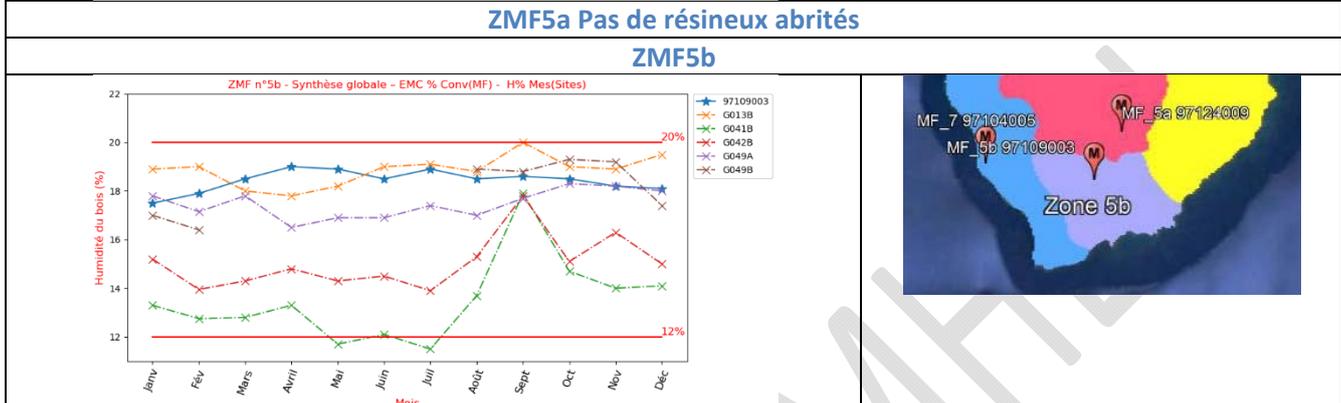
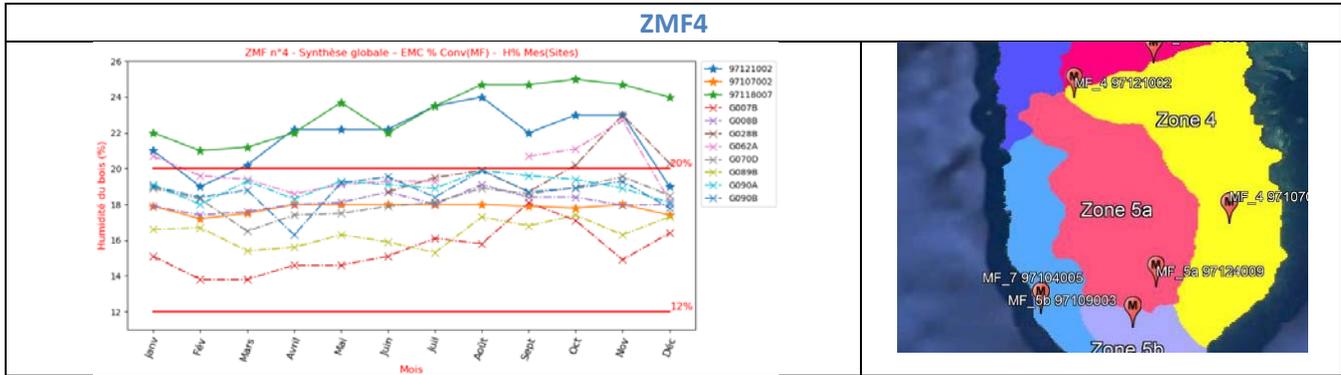
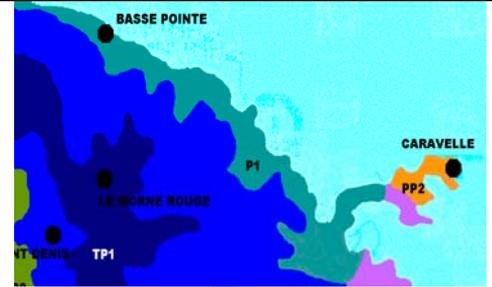
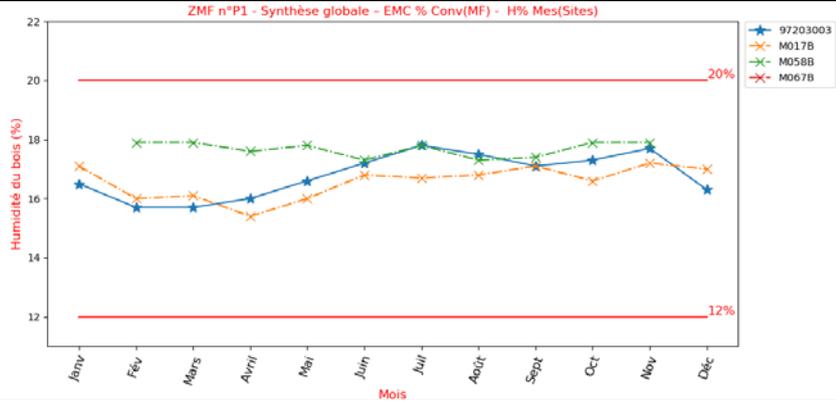


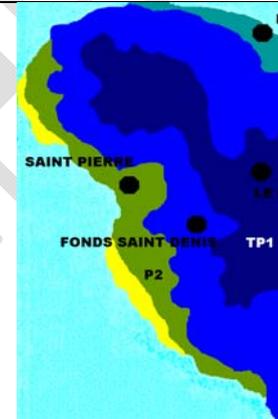
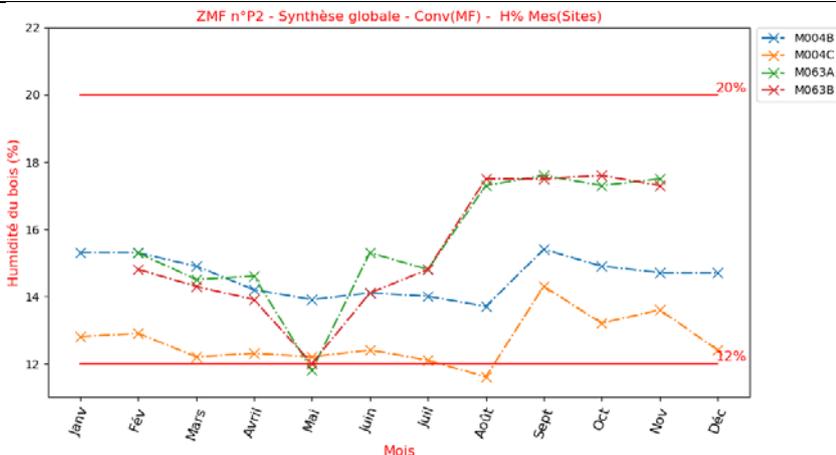
Figure 47 : Courbes Humidité mesurée du Bois résineux abrités extérieurs par ZMF -Guadeloupe

Etape 4 Mesures sur Sites_Humidité du bois H% (ou MC%) MARTINIQUE

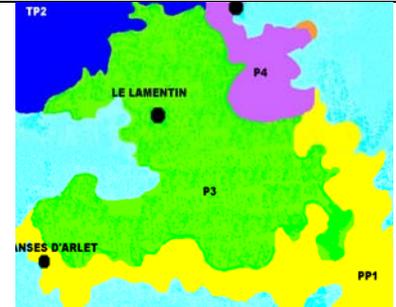
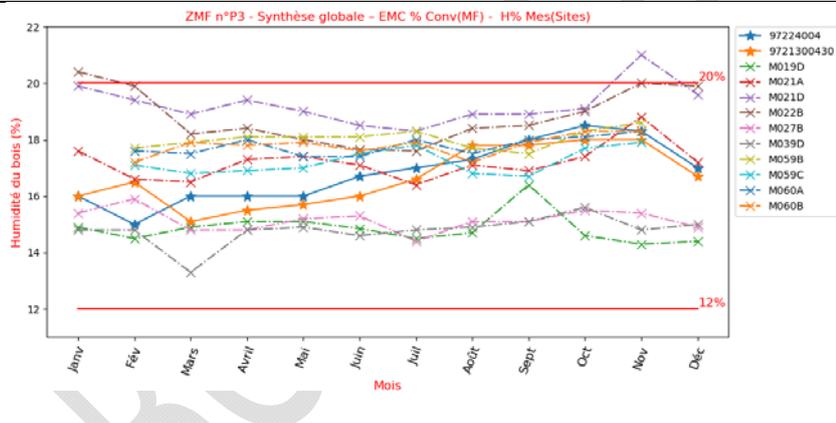
ZMF P1



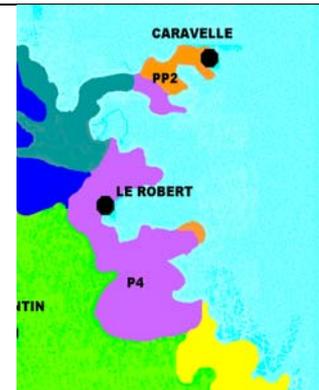
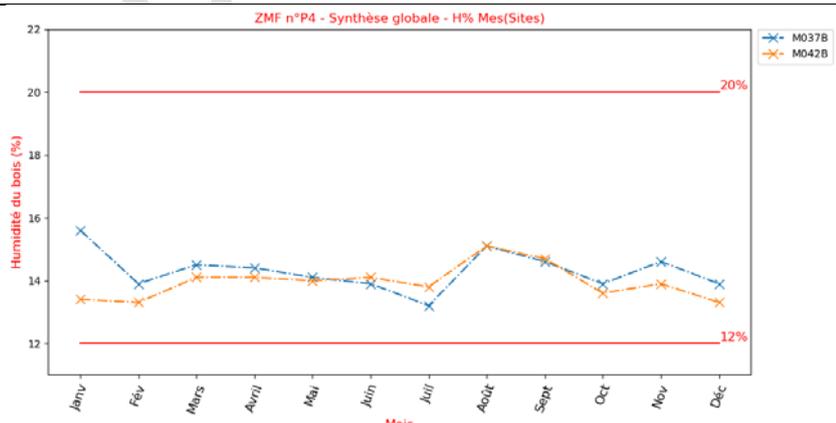
ZMF P2



ZMF P3



ZMF P4



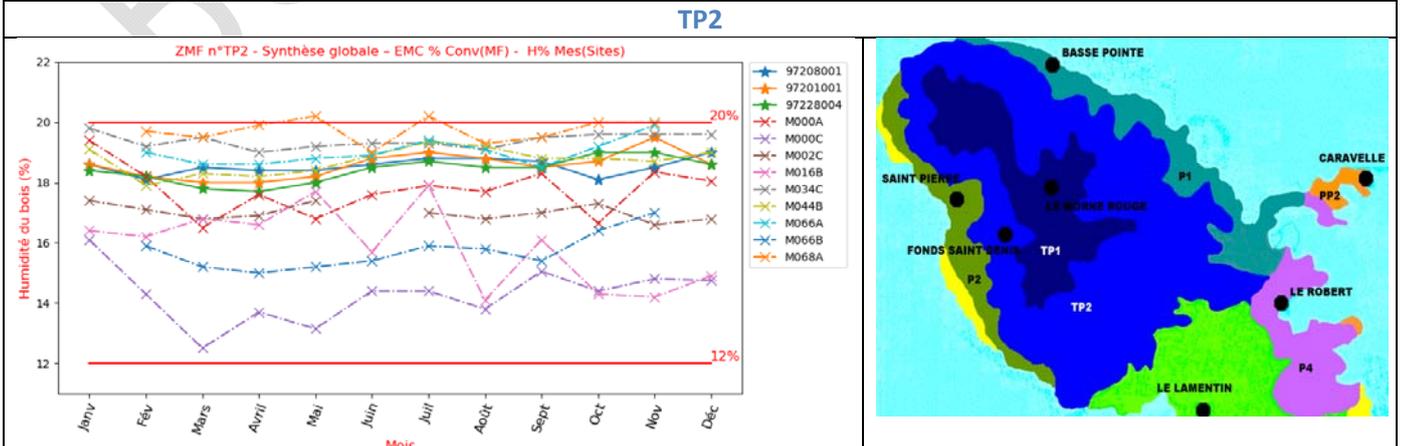
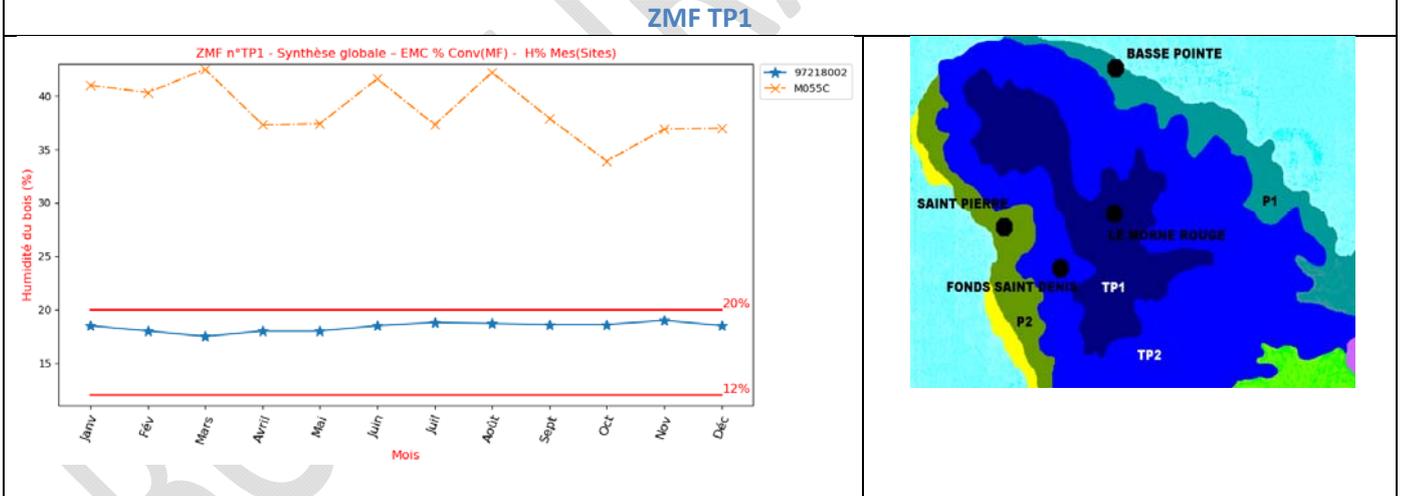
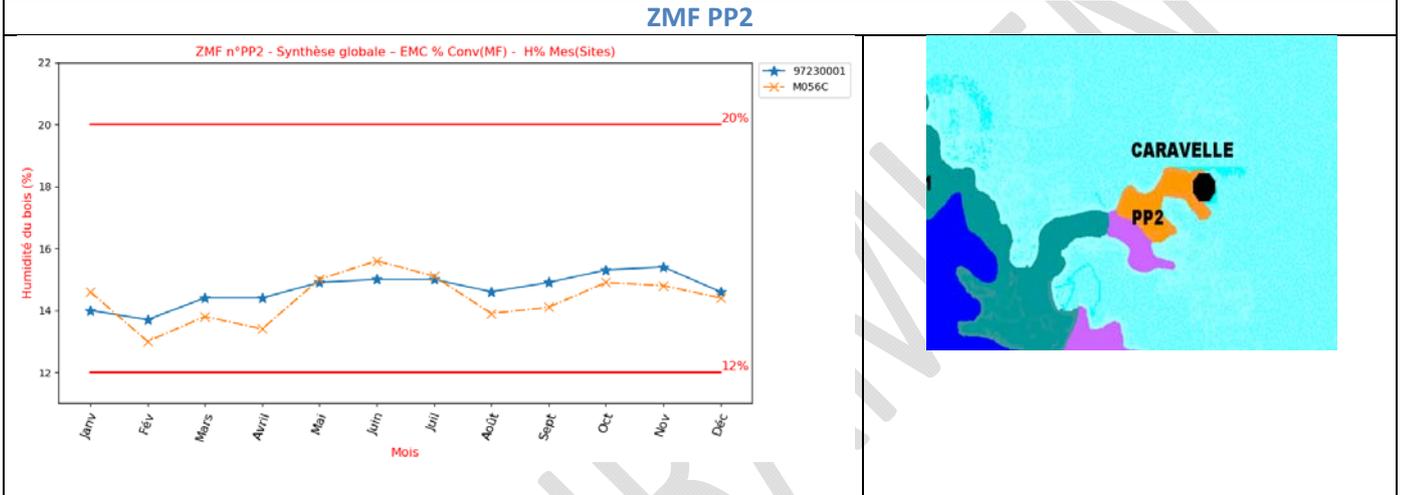
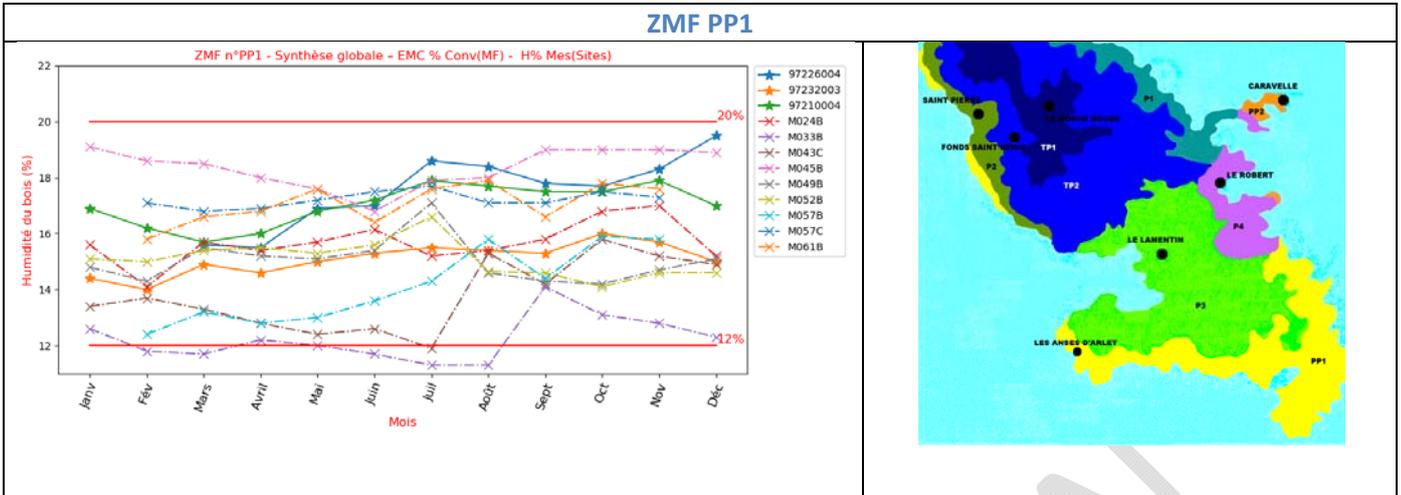


Figure 48 : Courbes Humidité mesurée du Bois résineux abrités extérieurs par ZMF -Martinique

5.3.4 Etape 5 : Etude des données mesurées sur Sites BM Feuillus

5.3.4.1 Préambule

Dans l'étape 5, il s'agit d'étudier les données d'humidité du bois Feuillus mesurées sur site pour éléments à l'extérieur abrité, au moyen de l'humidimètre par les opérateurs mises sous forme de graphe par le logiciel BOIS DUR-AMHEN971.

On compare les valeurs d'humidité du bois recueillies au moyen de l'humidimètre Merlin EVO SM sur les sites BOIS DUR-AMHEN à celles résultant de l'étape 1 (conventionnelle) issues de la station MF de référence du site étudié.

5.3.4.2 Sites

Pour l'étude et l'analyse des résultats des éléments extérieurs abrité nous avons sélectionné et trié tous les éléments feuillus qui présentent des résultats homogènes et corrects compte tenu des différentes hypothèses prises ; notamment ont été écartés des mesures avec variation brutale inexplicquée, les sites et éléments pour lesquels l'influence de paramètre singuliers est importante notamment revêtement type peinture, proximité immédiate de la mer au vent d'Est (Alizés) et les éléments qui n'ont pas été séchés avant mise en œuvre (Sites récents qui ont moins d'un an).

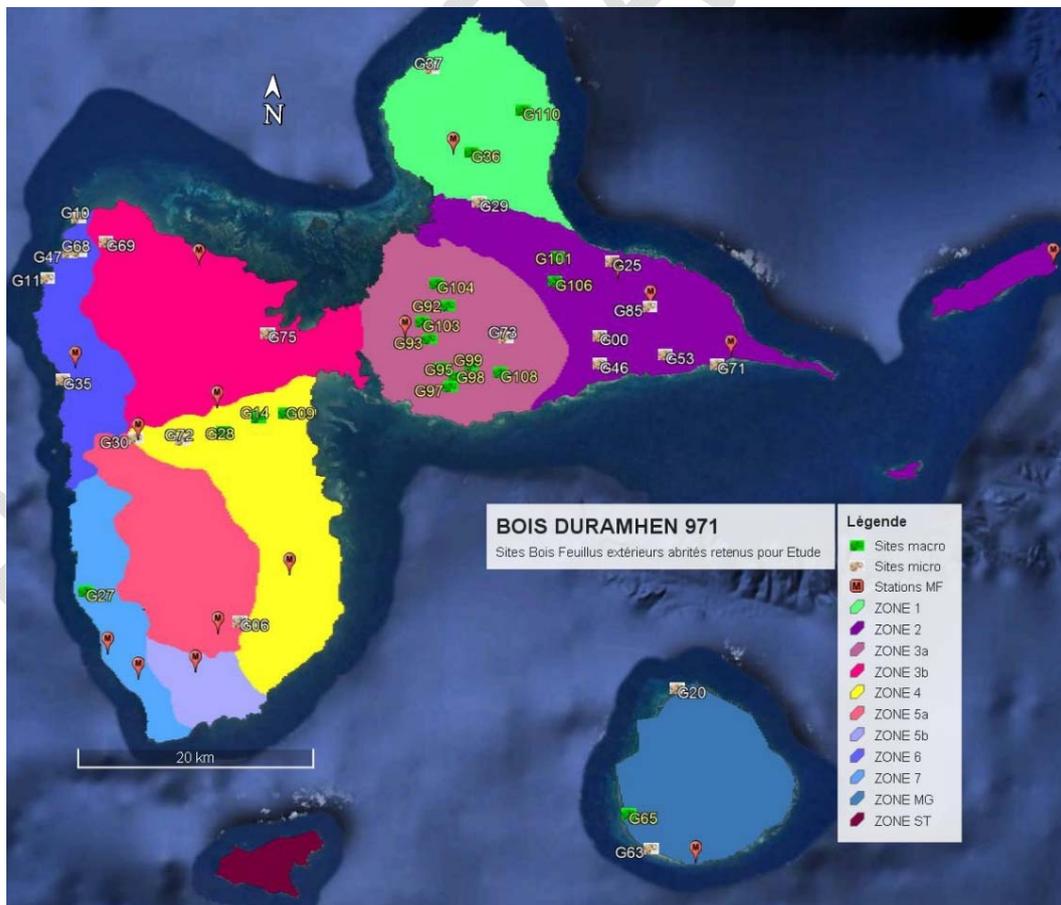


Figure 49 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Feuillus GUADELOUPE

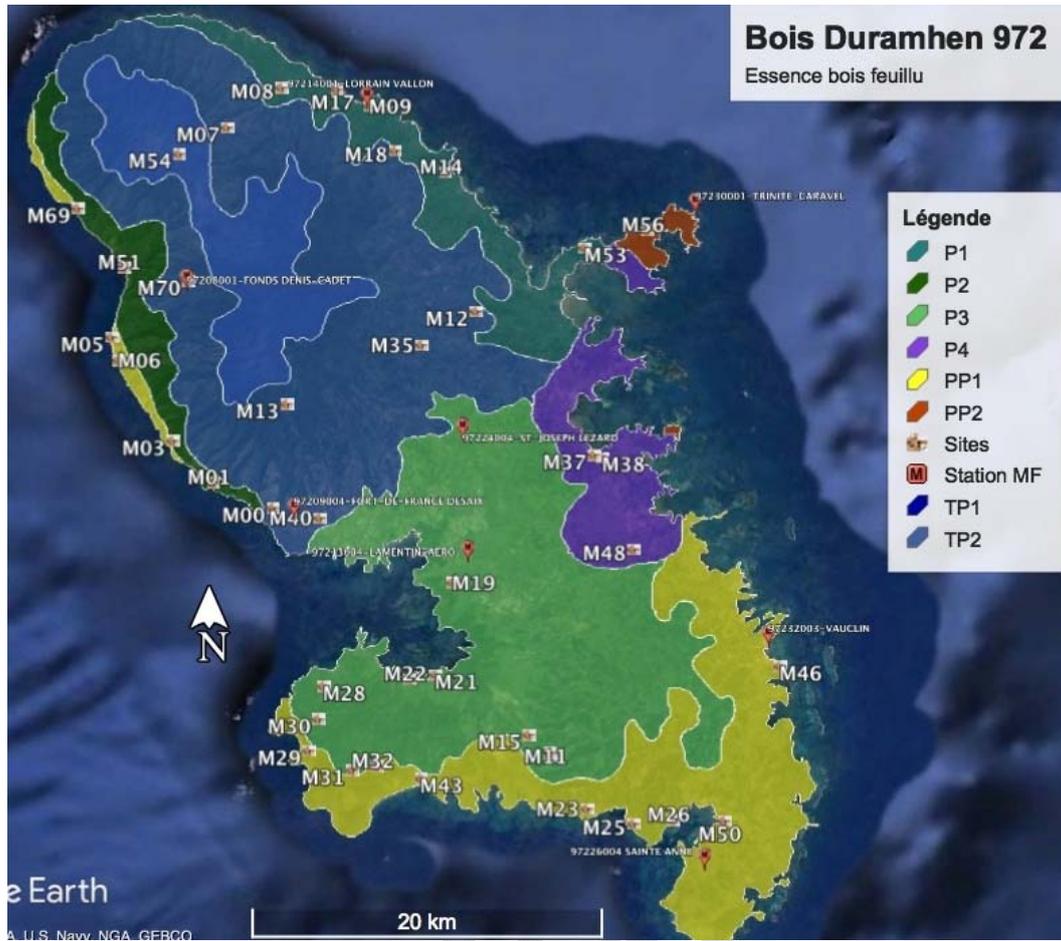
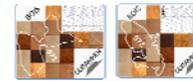


Figure 50 : Liste des Sites retenus avec éléments extérieurs abrités Feuillus MARTINIQUE

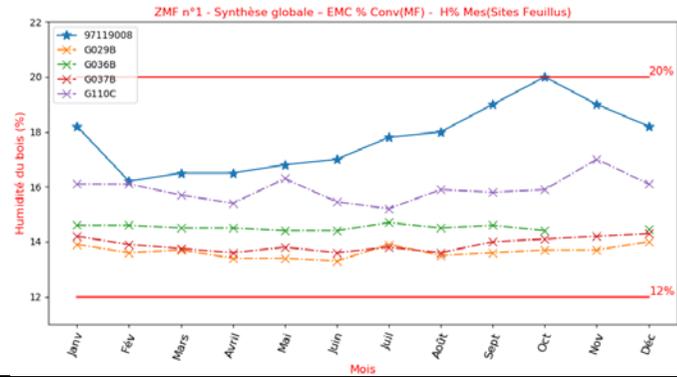
BOIS-DURAMHEN



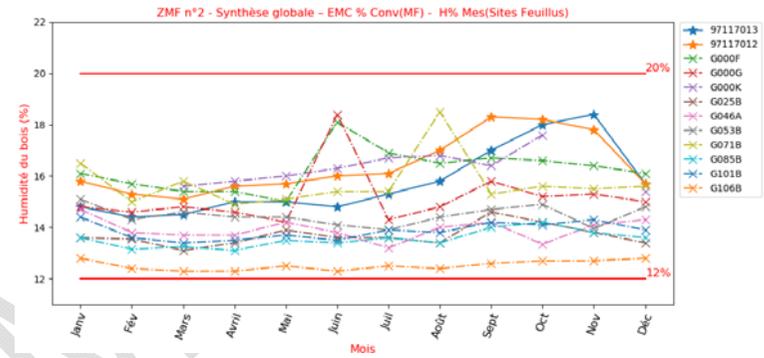
5.3.4.3 Résultats Mesures Humidité du bois moyenne sur 12 mois

BM Feuillus Extérieurs abrités - Humidité bois mesurée sur Sites GUADELOUPE

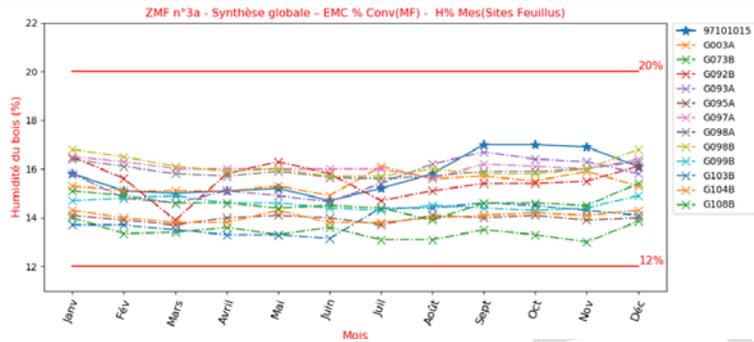
ZMF1



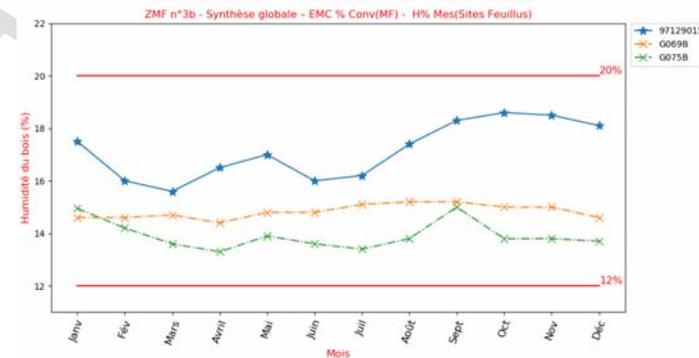
ZMF2



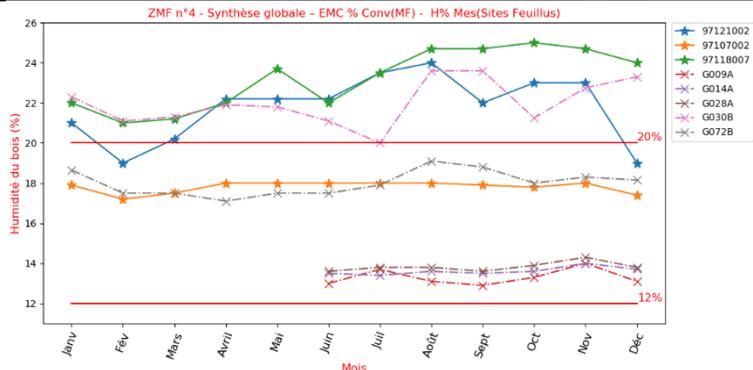
ZMF3a



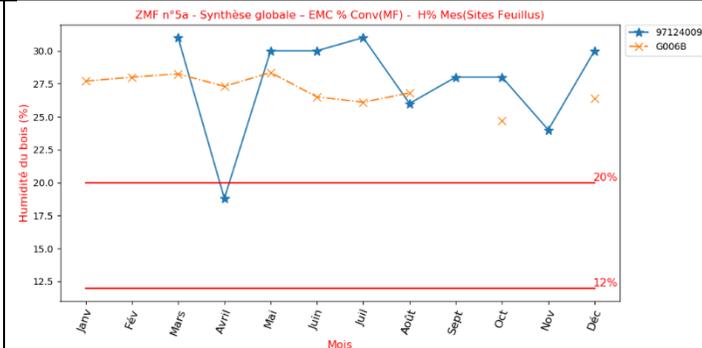
ZMF3b



ZMF4



ZMF5a



Le mois d'avril présente une singularité qui est sûrement une anomalie de mesure (à écarter de l'analyse)

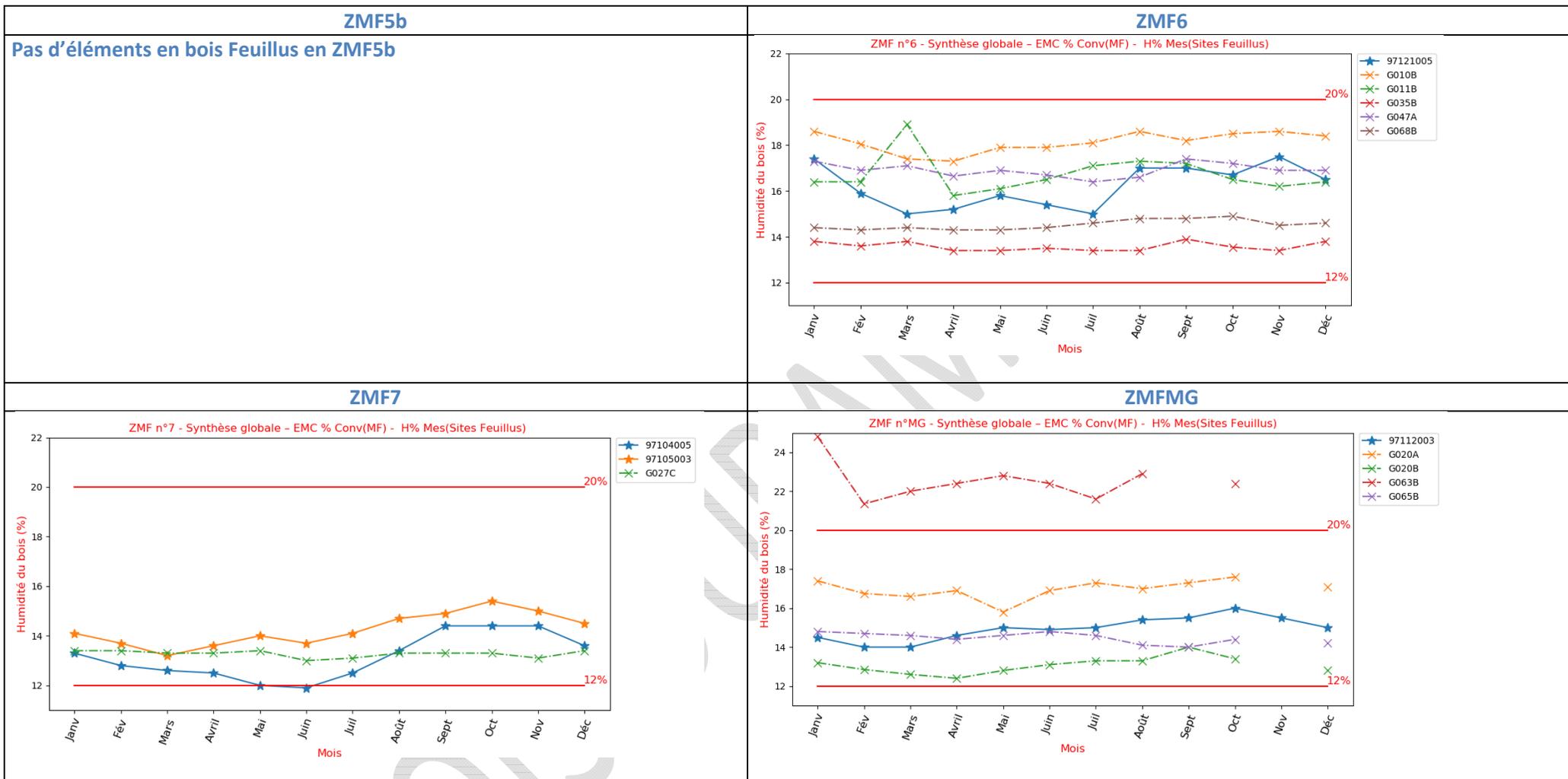
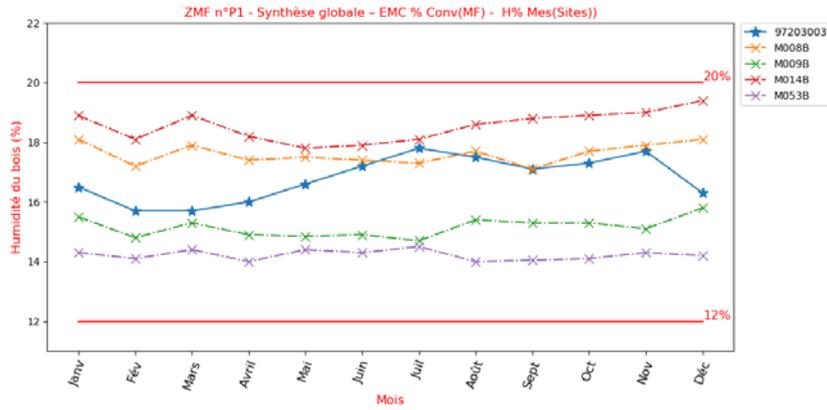


Figure 51 : Courbes Humidité mesurée et Humidité d'équilibre du bois éléments extérieurs abrités Feuillus Guadeloupe

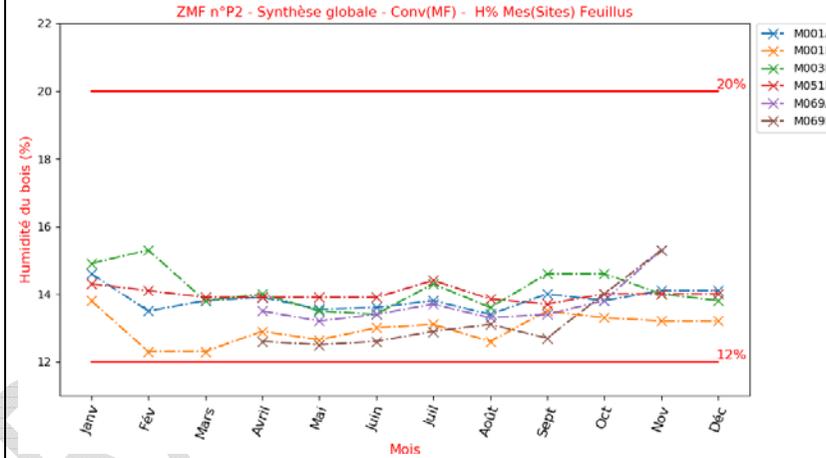


BM Feuillus Extérieurs abrités - Humidité bois mesurée sur Sites MARTINIQUE

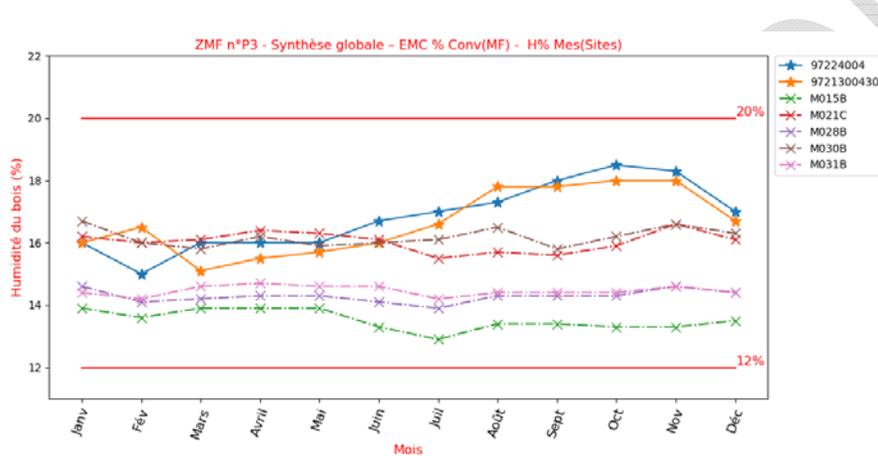
ZMF P1



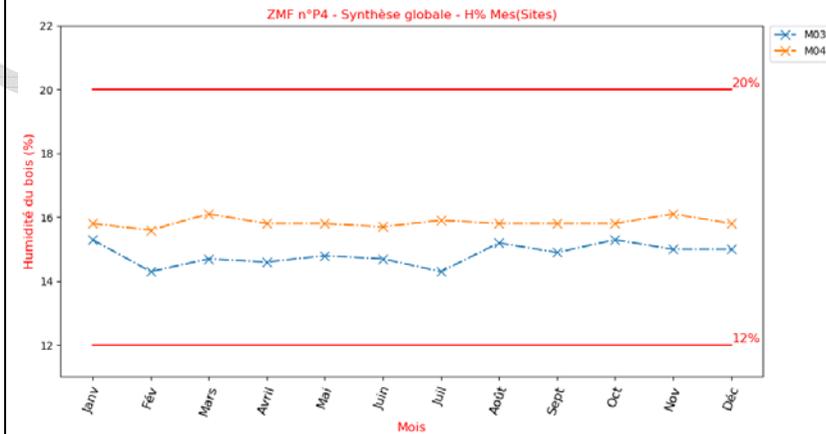
ZMF P2



ZMF P3



ZMF P4



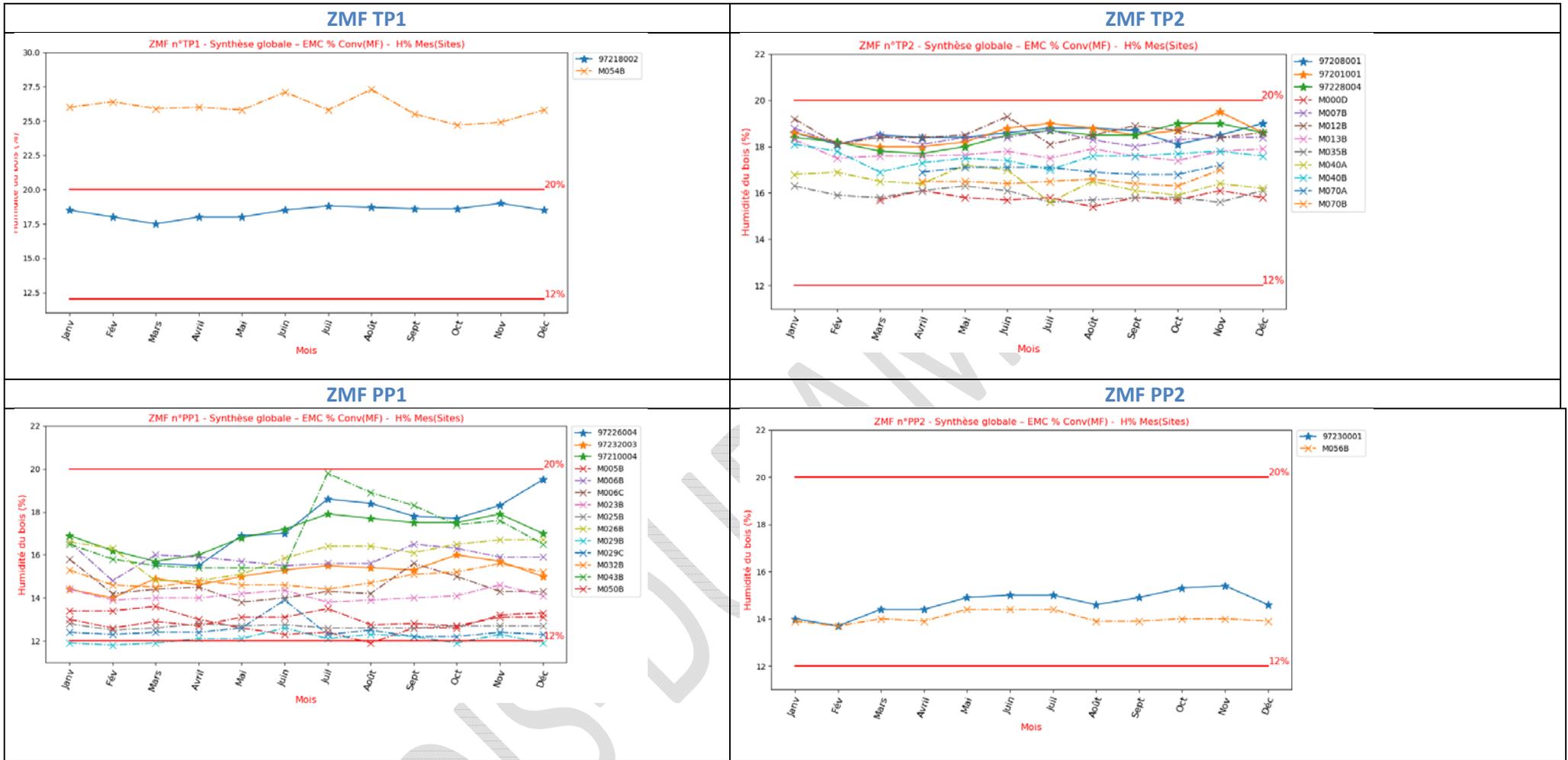
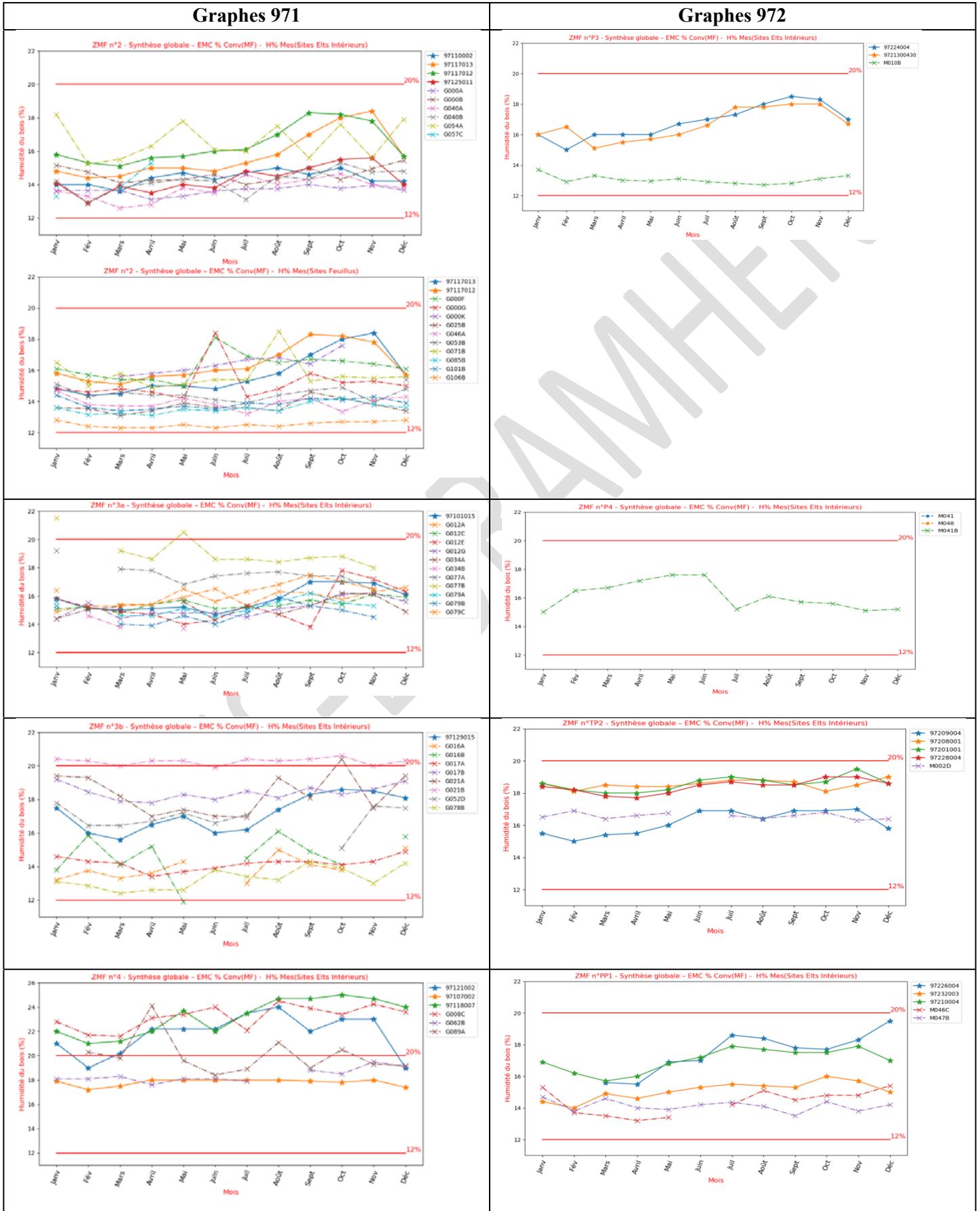


Figure 52 : Courbes Humidité mesurée et Humidité d'équilibre du bois éléments extérieurs abrités Feuillus -Martinique

5.4 Cas Singuliers influence des paramètres

5.4.1 Eléments Intérieurs

Les résultats obtenus pour les éléments bois situés en intérieur (et donc abrités) sont donnés ci-dessous avec pour comparaison les humidités d'équilibre théorique déduites des paramètres MF.





Bois Feuillus

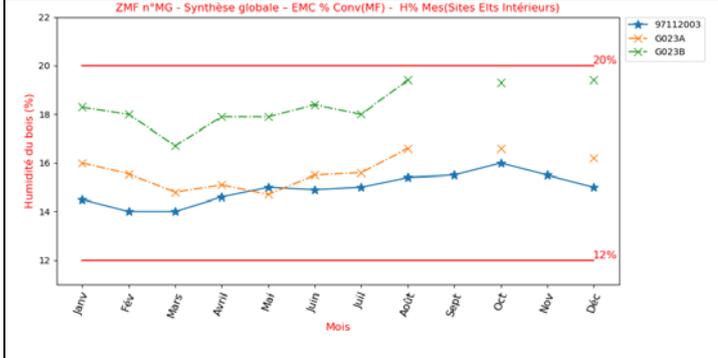
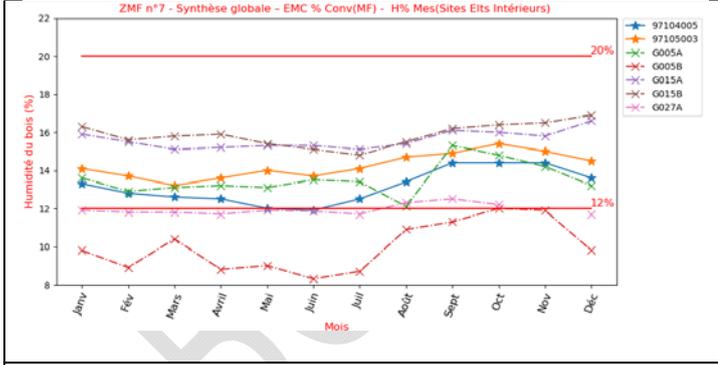
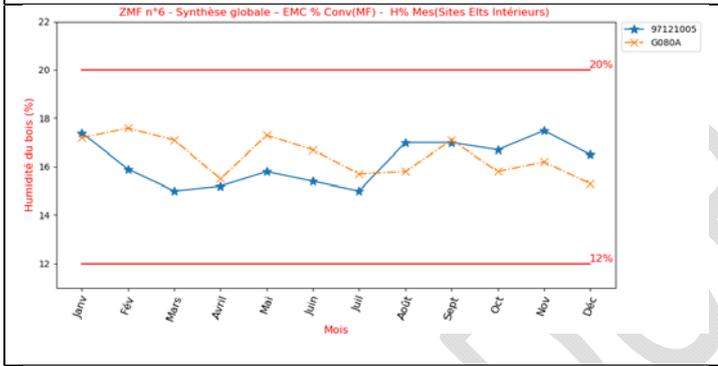
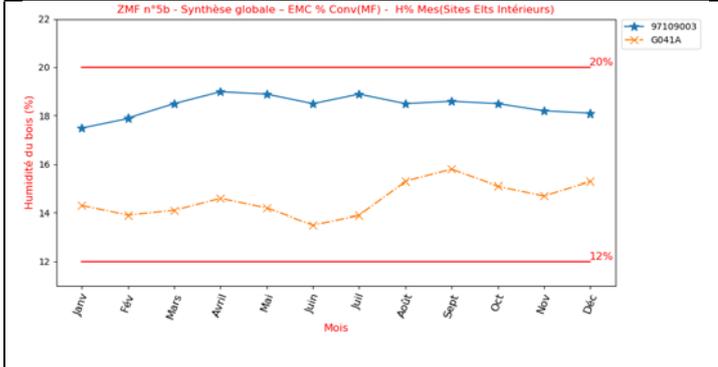
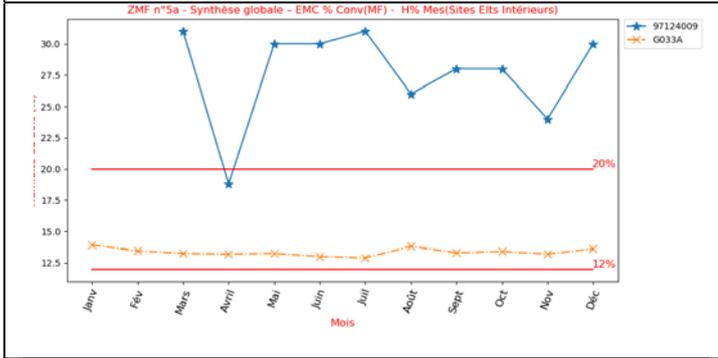


Figure 53 : Graphes Humidité pour éléments intérieurs abrités

5.4.2 Cas singulier Abris Bus

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Abris Bus	Comparer les résultats sur un même type de structure (matériau et réalisation) à plusieurs emplacement	G003, G025, G029, G035, G036, G037, G046, G053, G065, G068, G069, G072, G073, G085, G087, G095, G097, G098, G099, G101, G103, G106	Sites et éléments récents en cours de construction au démarrage du projet

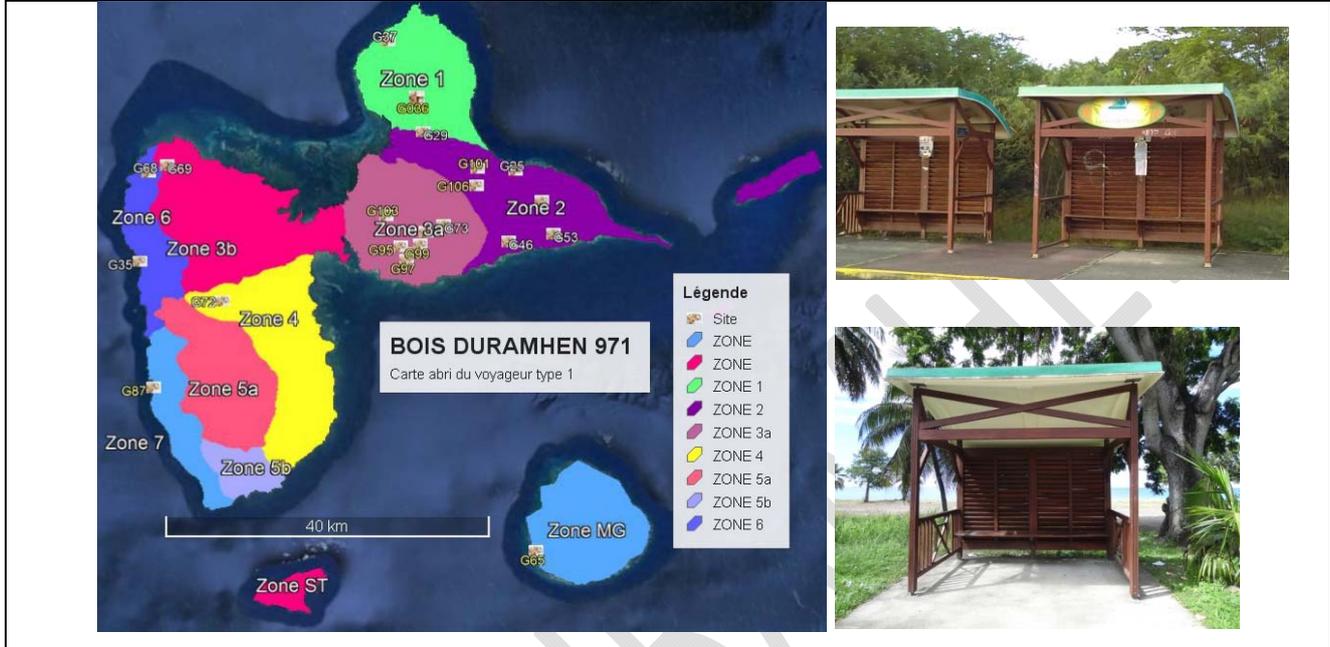


Figure 54 : Cas Singulier des abris Bus en Angelim Vermelho –Implantation GUADELOUPE

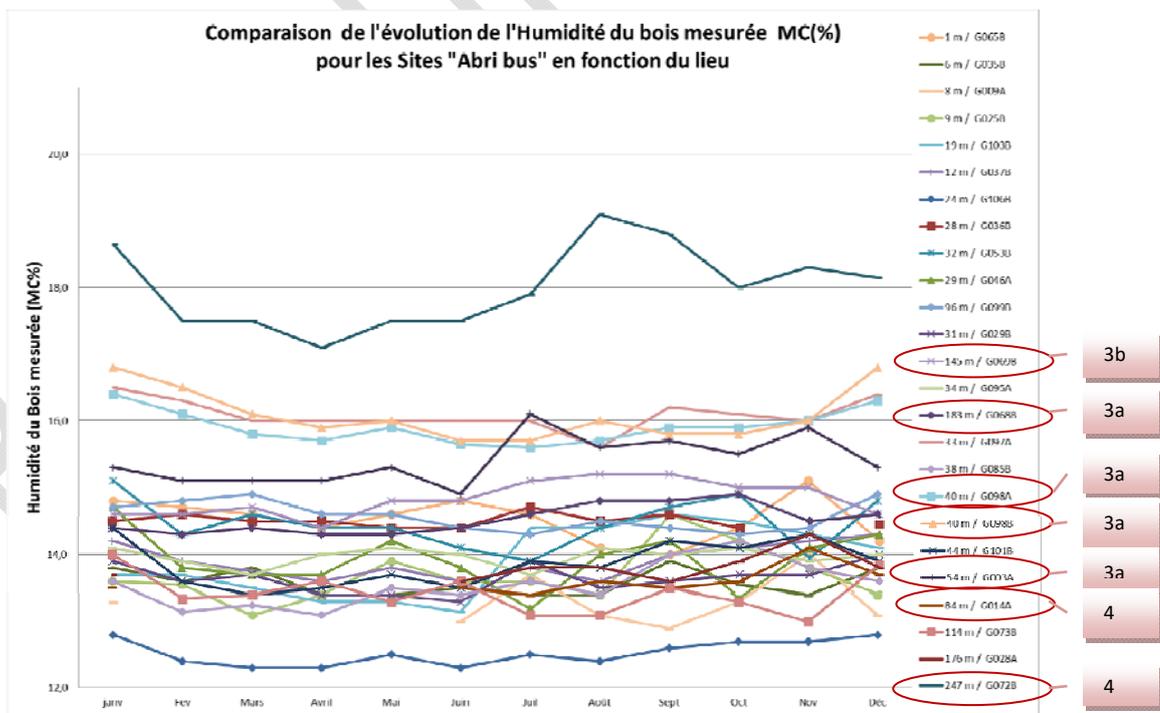


Figure 55 : Graphes d'humidité des Sites type « Abris bus Angelim Vermelho »- Guadeloupe

Les valeurs d'humidités les plus fortes mesurées pour les éléments d'abri bus sont par ordre décroissant : pour ceux situés dans les montagnes des mamelles (G072) nettement plus fortes, puis les fonds de vallée des Grands Fonds (G003, G098 et G097) et enfin les montagnes de Deshaies (G069).

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Abri Bus	Comparer les résultats sur un même type de structure (matériau et réalisation) à plusieurs emplacements	M050, M023, M029	Sites et éléments récents en cours de construction au démarrage du projet

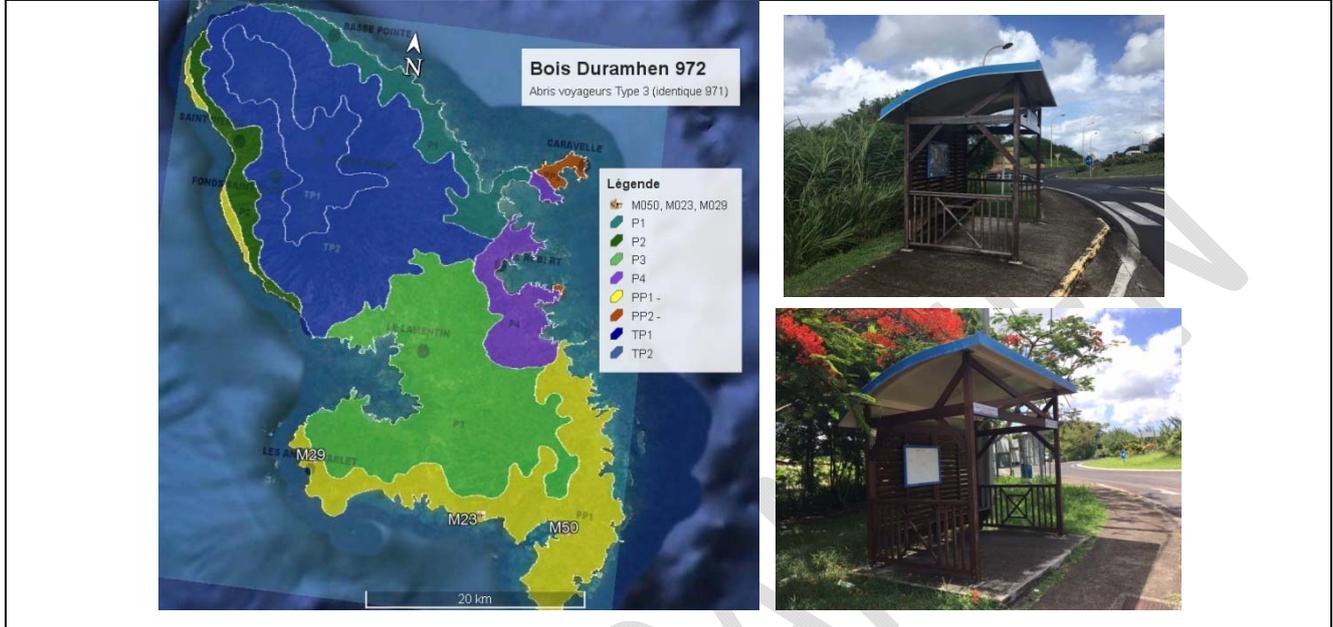


Figure 56 : Cas Singulier des abris Bus en Angelim Vermelho –Implantation Martinique

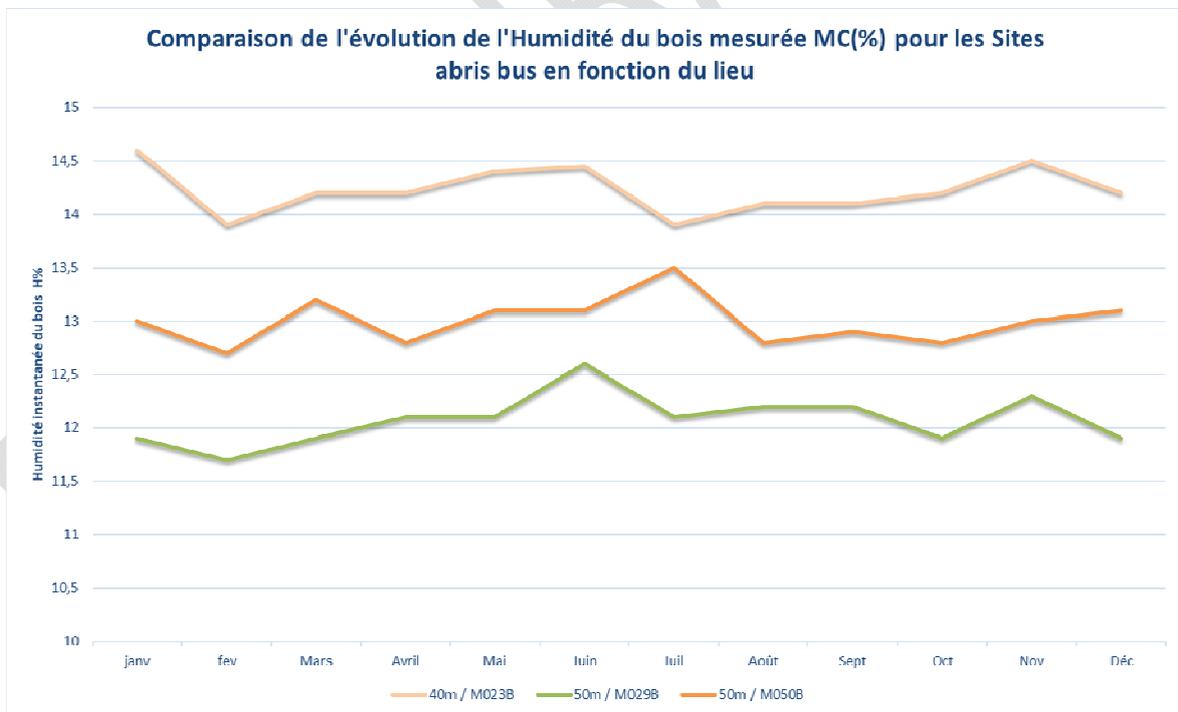


Figure 57 : Graphes d'humidité des Sites type « Abri bus Angelim Vermelho Martinique

5.4.3 Altitude

Nous regardons l'influence de l'altitude sur l'humidité du bois en faisant un focus sur les valeurs seuils suivantes : 90m, 300m, et 400m.

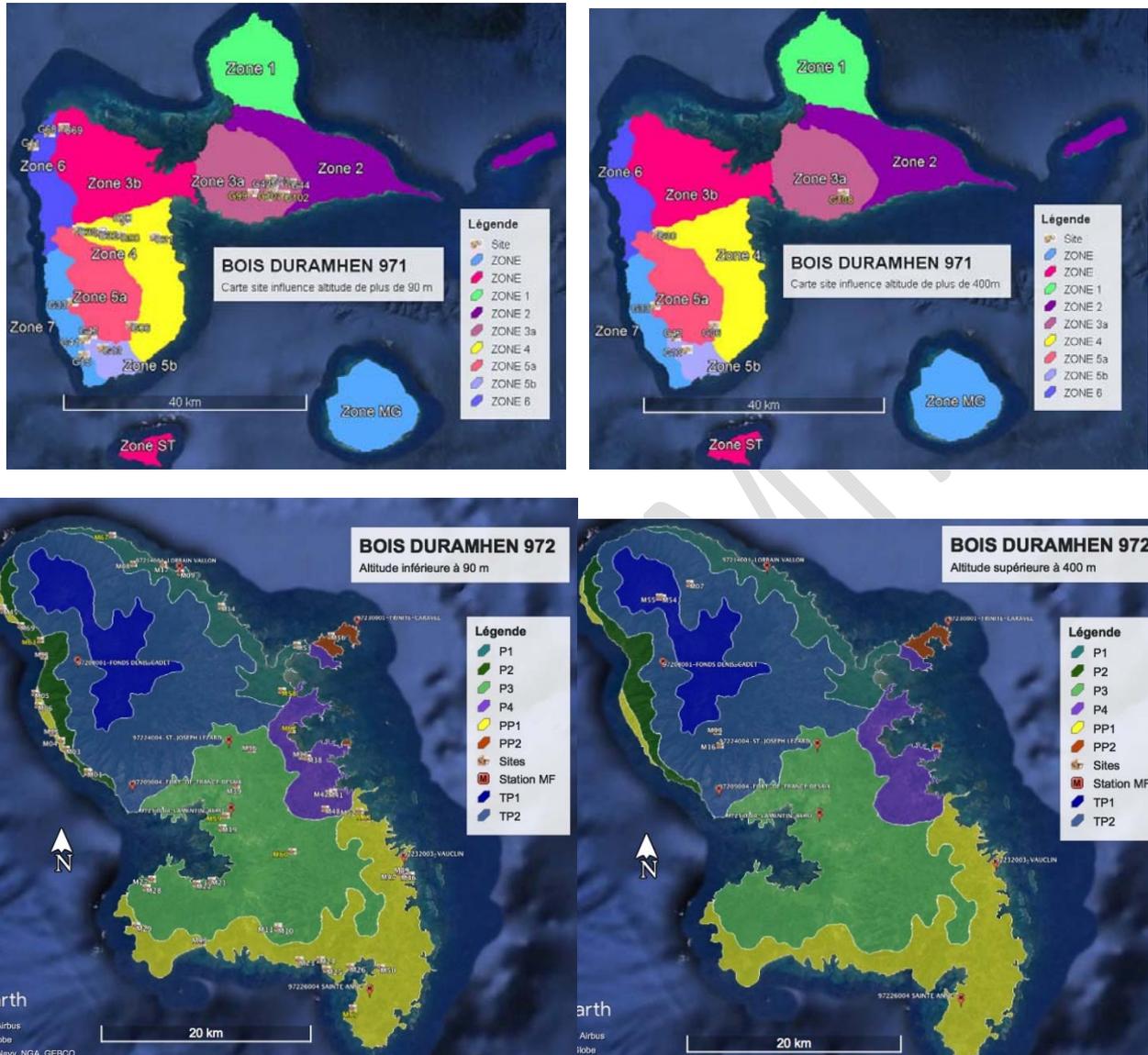
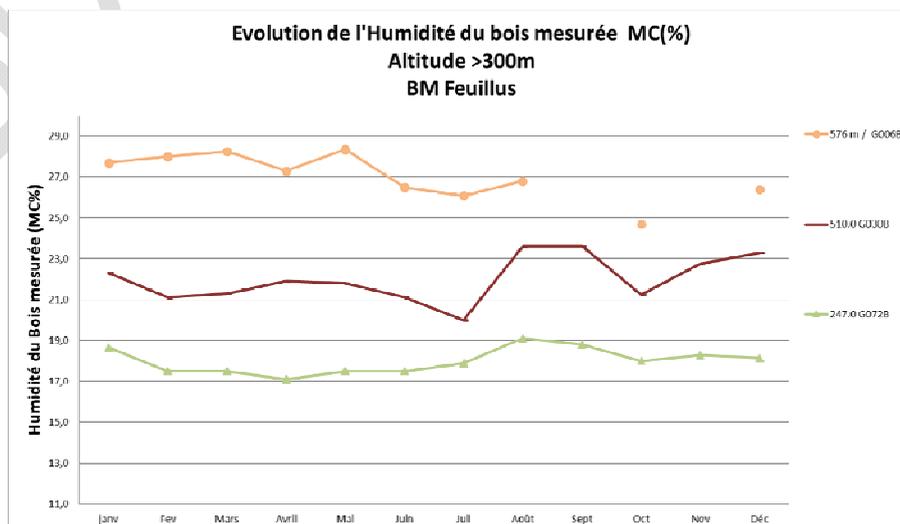


Figure 58 : Implantation des Sites selon l'altitude >400m et <90m



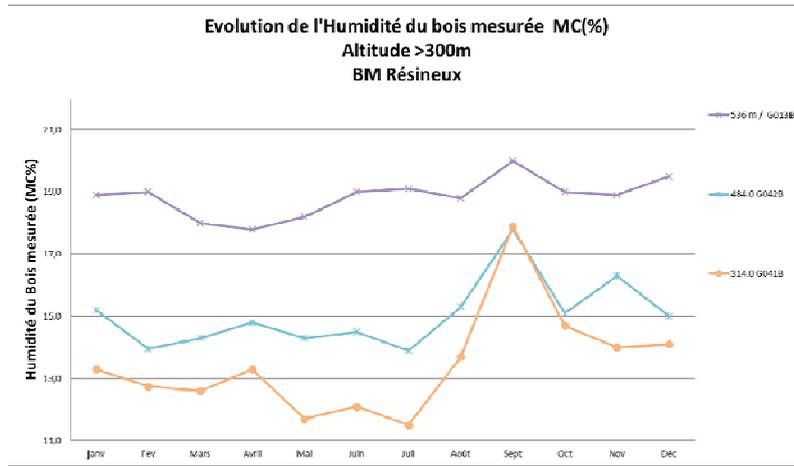


Figure 59 : Graphes d'humidité des Sites à une Altitude > 300m Guadeloupe

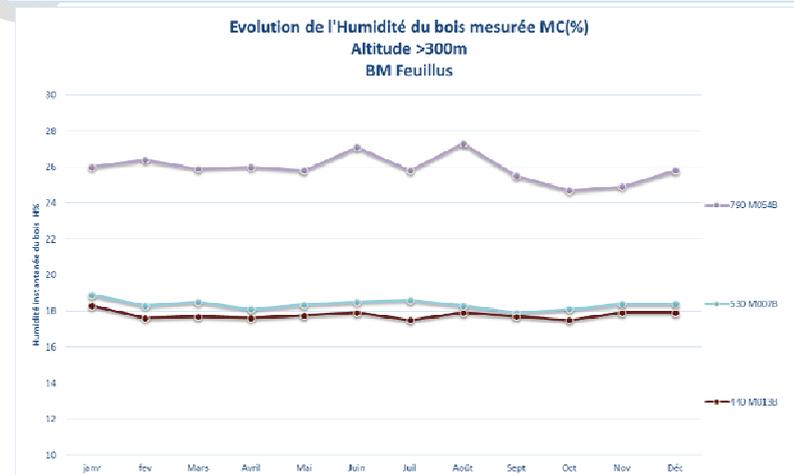
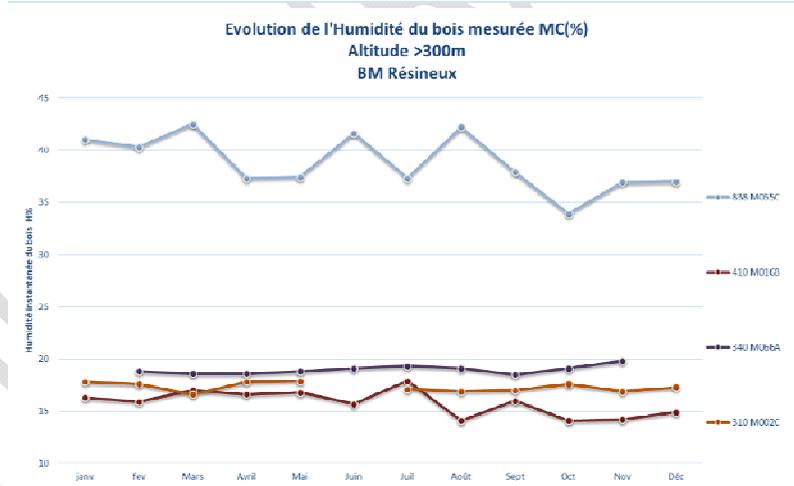
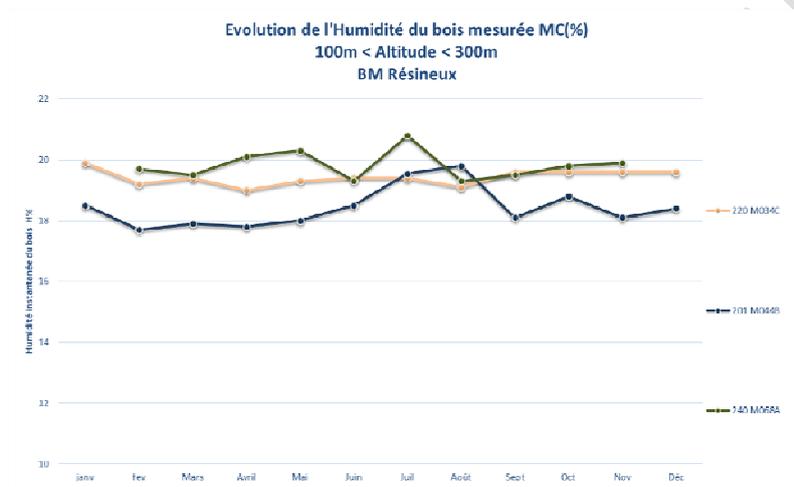


Figure 60 : Graphes d'humidité des Sites à une Altitude inférieure à 300m et >300m -Martinique

5.4.4 Comparaison résultats pour des éléments intérieurs et extérieurs abrités

Ici nous examinons l'influence de l'emplacement de l'élément faisant l'objet de mesure dans l'ouvrage : extérieur abrité ou intérieur abrité.

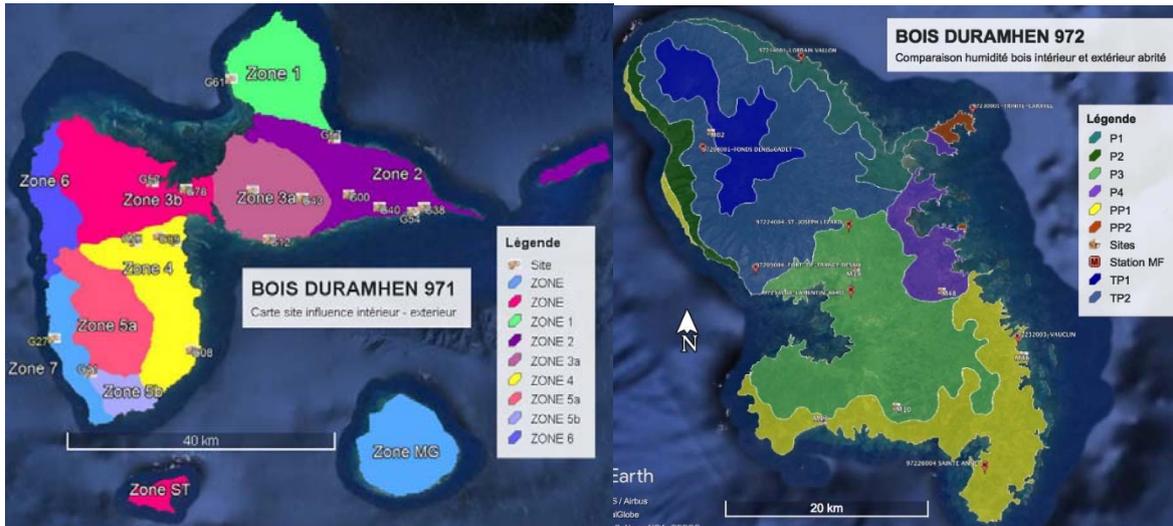


Figure 61 : Implantation des Sites comportant des éléments intérieurs et extérieurs abrités

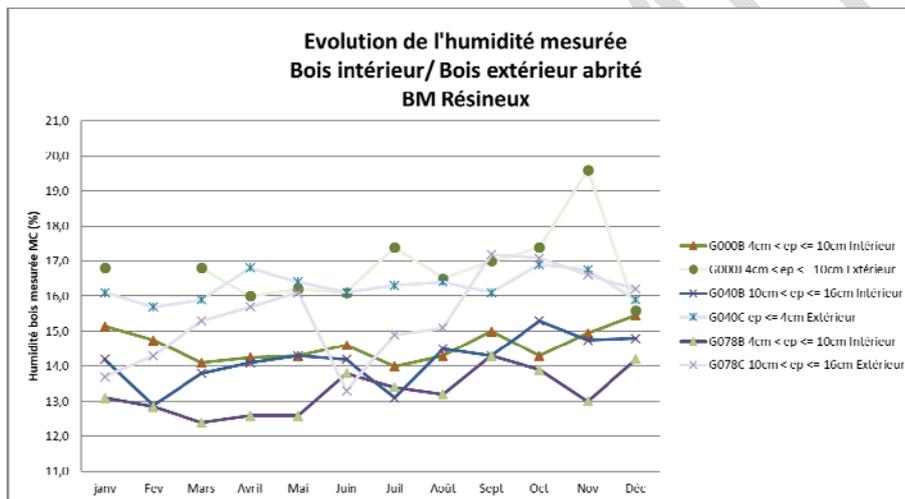


Figure 62 : Comparaison humidité des Eléments intérieurs et extérieurs au sein d'un même Site

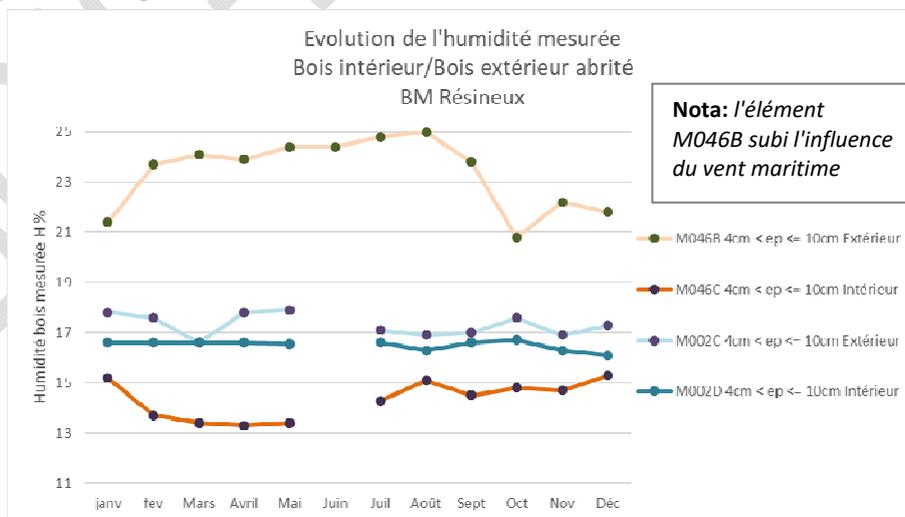


Figure 63 : Comparaison humidité des Eléments intérieurs et extérieurs au sein d'un même Site-Martinique

L'humidité du bois intérieur est plus faible que l'humidité du bois à l'extérieur abrité sur ces 5 exemples

5.4.5 Bois mis œuvre avant séchage

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Humidité du bois en œuvre	Constater l'évolution de l'humidité du bois dans le temps depuis sa mise en œuvre	G023, G050, G076, G077, G080, G082 M011, M021, M023, M034, M036, M043, M044, M058, M059, M061	Sites et éléments récents en cours de construction au démarrage du projet

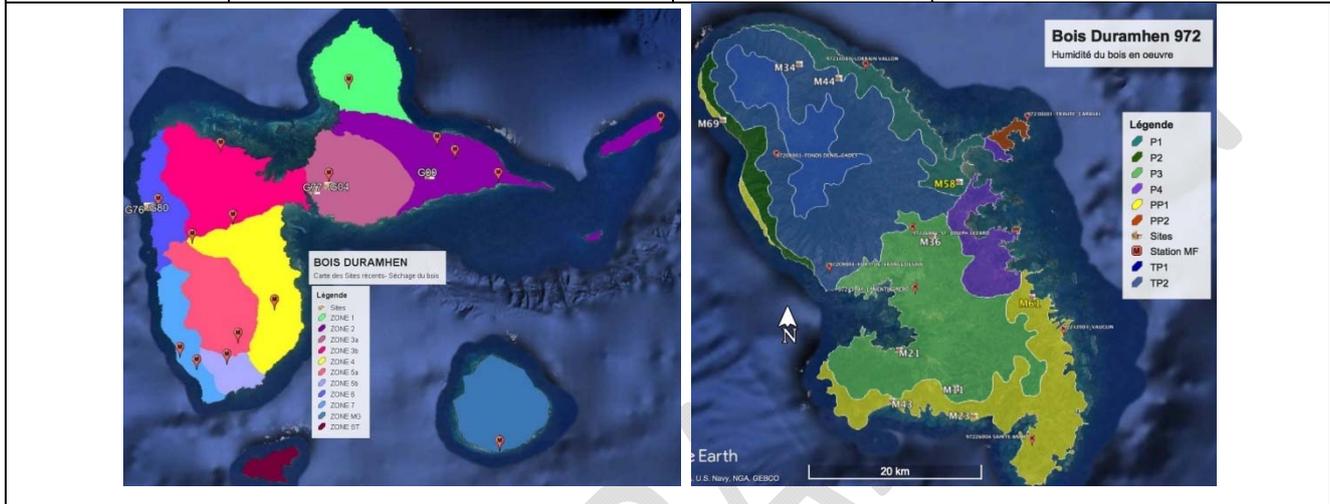


Figure 64 : Sites Bois mis en œuvre avant séchage

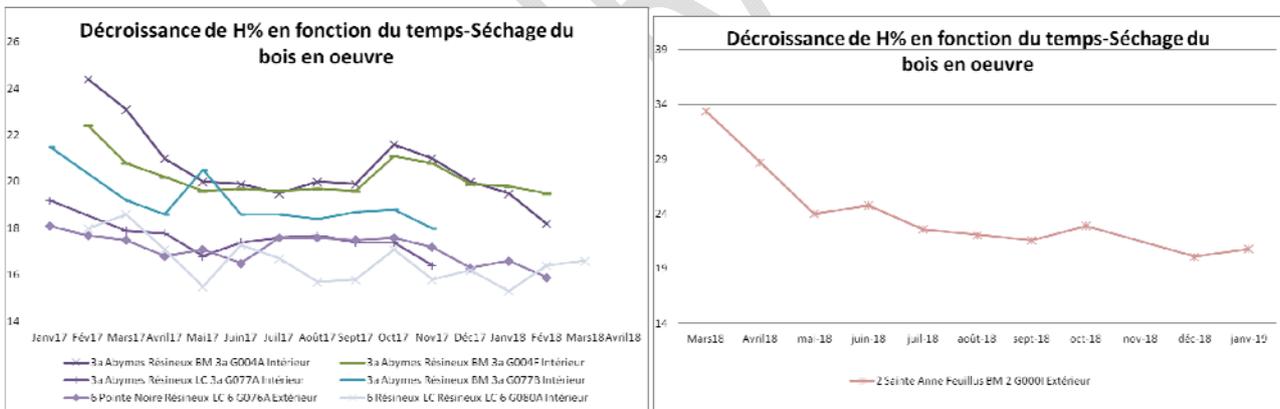


Figure 65 : Graphes d'humidité des Bois mis en œuvre avant séchage

Nous constatons que les éléments mis en œuvre avant séchage, prennent un certain temps avant de trouver l'humidité d'équilibre en leur lieu d'implantation ; ces éléments en peuvent donc être utilisés pour donner une tendance vu que leur humidité n'est pas stabilisée

5.4.6 Influence de l'implantation maritime

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Influence Maritime	Constater l'influence du vent de mer sur l'humidité du bois (vent d'Est)	G005, G007, G010, G018, G020, G022, G023, G026, G027, G035, G038, G039, G045, G049, G051, G054, G055, G057, G060, G061, G063, G064, G071, G076, G077, G078, G080, G081, G083, G086, G087, G088 M005, M017 M021, M022, M024, M026, M027, M033, M046, M049, M051, M057, M062, M065, M067, M069	Sites et éléments proximité maritime avec influence du vent maritime d'Est

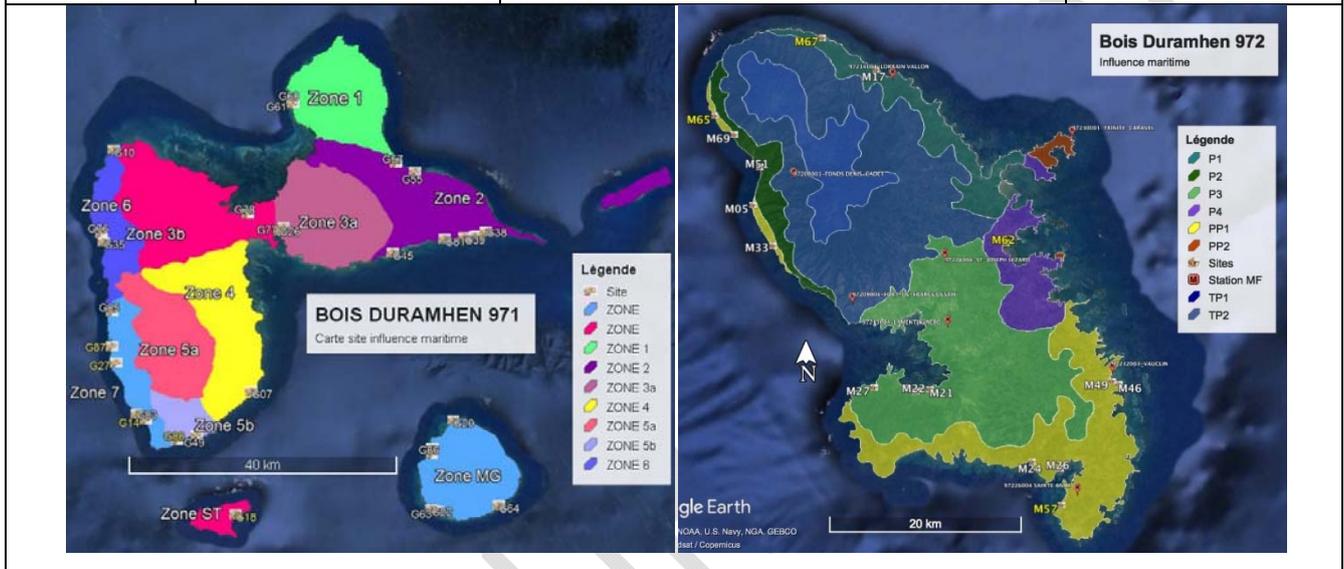


Figure 66 : Sites Implantation maritime

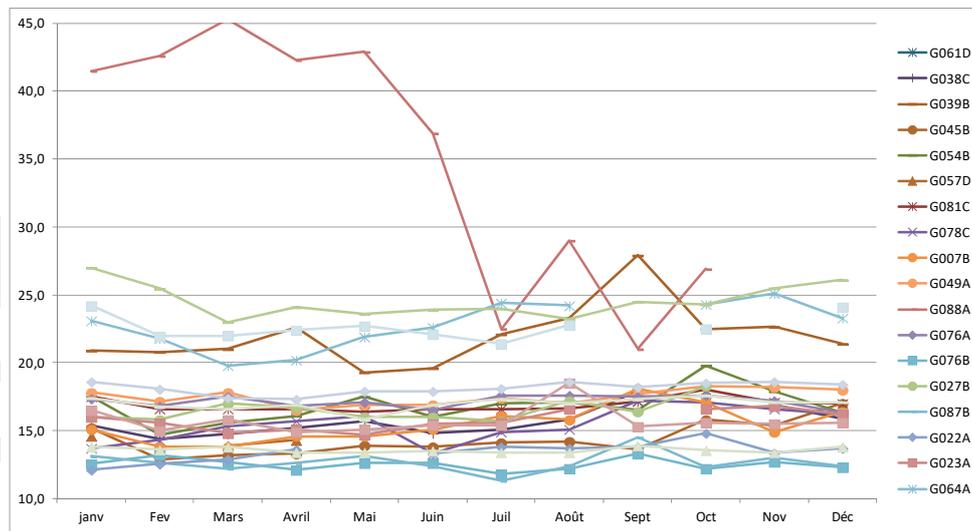


Figure 67 : Graphes d'humidité des Bois influence maritime Guadeloupe

Les éléments bois situés à proximité immédiate de la mer et soumis au vent marin d'Est (Alizé), présentent une plus forte humidité que les autres éléments situés hors zone maritime et/ou non soumis au vent d'Est.



Influence vent maritime Éléments Bois dans Sites proches mer

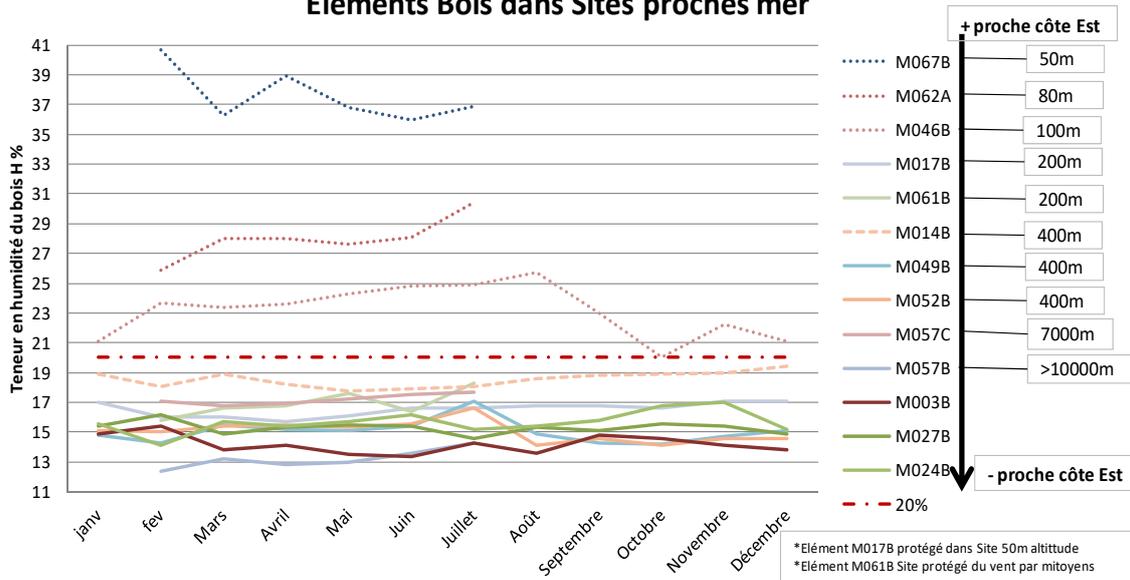


Figure 68 : Graphes d'humidité des Bois influence maritime -Martinique

BOIS-DURAMIN

5.4.7 Influence du revêtement type peinture

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Comparaison Humidité bois peinture/ bois brut	Constater l'influence de la peinture sur la prise d'humidité du bois et la perte d'humidité par ressuage	G004, G005, G007, G074, G105 (brute et peint), G011, G023, G038 (lasure et peint)	Sites comportant des éléments peints et bruts ayant la même essence et de section similaire

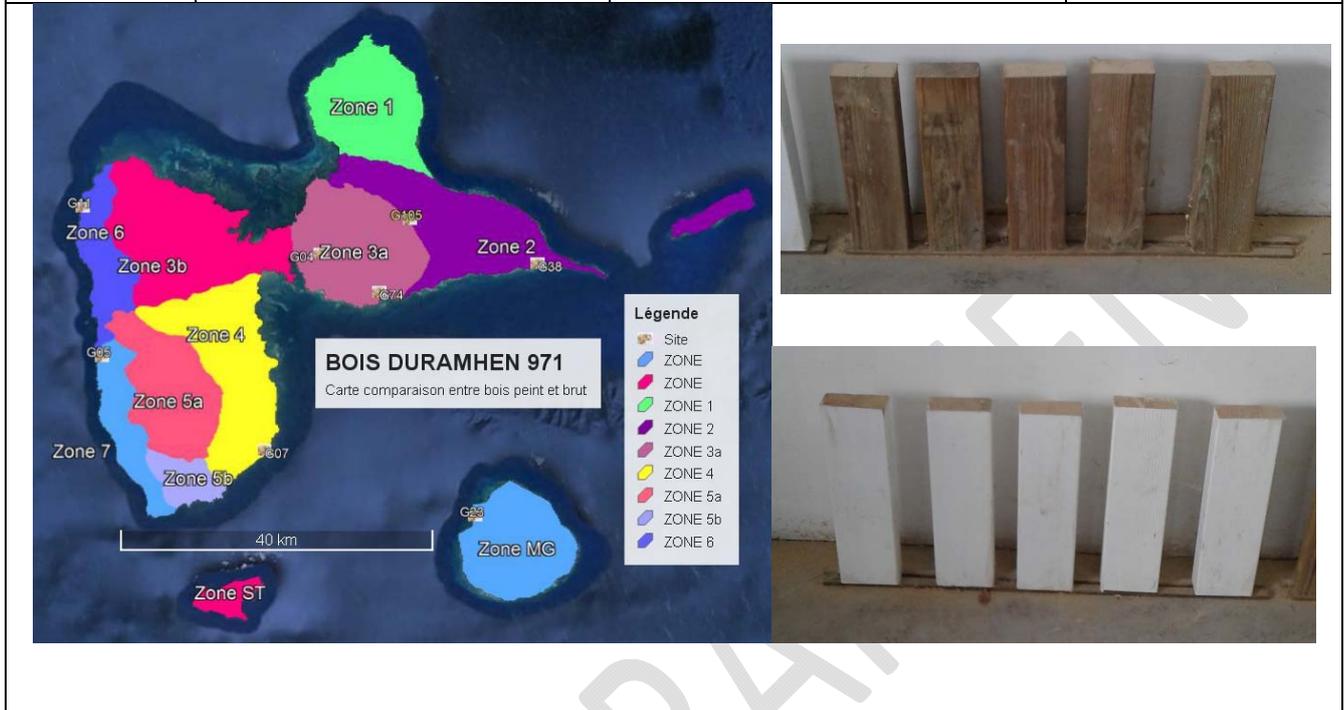


Figure 69 : Influence revêtement du bois (peinture)

La questions e pose sur le fait que la peinture ait un impact sur les mesures réalisées à l'aide d'un humidimètre. Mais influe-t-elle sur la teneur en eau du bois ?

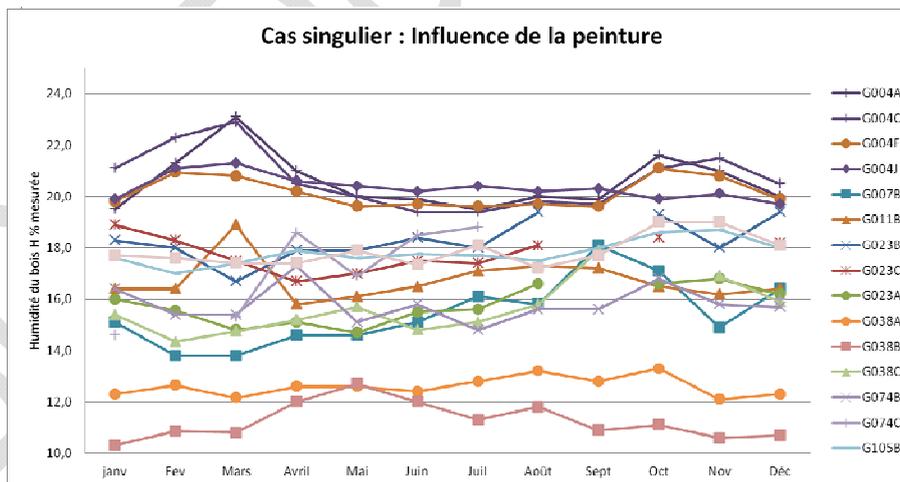


Figure 70 : Graphes d'humidité des Bois influence de la peinture Guadeloupe

Un site étudié dans le cadre de cette étude permet d'aborder cette interrogation puisqu'il comporte un poteau recouvert de lasure (G023A) situé à quelques mètres (dans un autre emplacement de l'ouvrage étudié) d'un poteau à section (14x14cm²), emplacement (abrité) et essence (bois résineux) égaux et recouvert de peinture bleu (G023C). Ces deux éléments participent à la structure du site numéroté G23, situé sur l'île de Marie-Galante et possèdent une teneur en eau respective dont l'évolution est représenté sur la Figure 71.

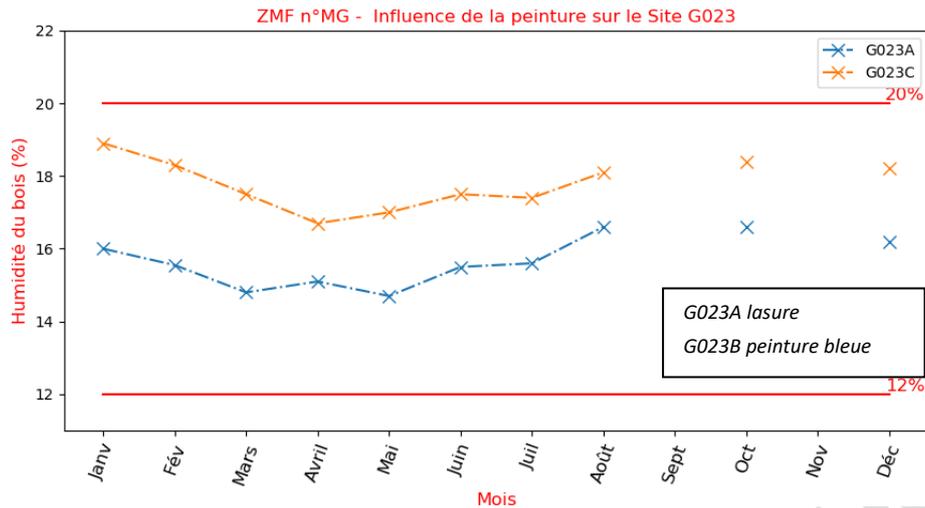


Figure 71 - Évolution de l'humidité de deux poteaux au revêtement différent du site G023 en fonction du temps

Ainsi, l'humidité du poteau revêtu de peinture (G023B) est toujours supérieure à celle du poteau revêtu de lasure. Les mesures réalisées jusqu'à aujourd'hui font ressortir un écart maxi de 3 points en janvier puis 2 points en moyenne. La peinture semble donc avoir une influence non négligeable sur l'humidité du bois. Cette observation reste cependant à relativiser puisque les deux poteaux n'ont peut être pas été réalisés à partir de la même essence.

Sur l'exemple suivant, Site M039 en Martinique, comporte deux carbet quasi-identiques et côte à côte, l'élément bois poutre M039B est peint en blanc et l'autre M039D est lasuré.

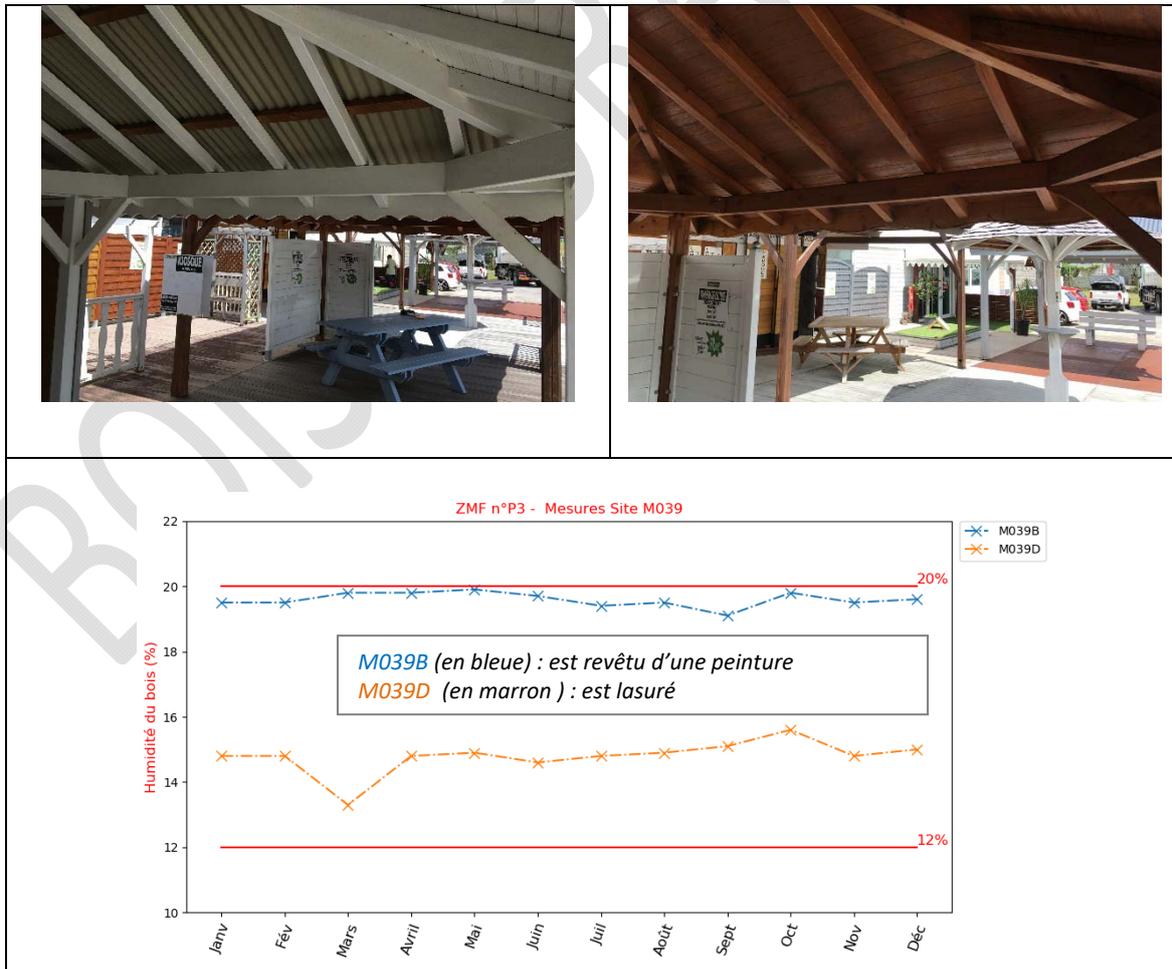


Figure 72 : Graphes d'humidité des Bois influence de la peinture Martinique

D'autres paramètres peuvent aussi influencer et il serait donc prudent de présenter d'autres exemples.

Deux autres éléments de deux sites différents sont candidats à l'analyse de l'influence de ce produit de finition. En effet, ces derniers ont été premièrement mesurés mis en œuvre mais sans revêtement. Par la suite, une peinture a été appliquée. La dernière mesure effectuée est, dans les deux cas, la seule qui a été réalisée suite à l'application du revêtement.

Un des deux éléments ne constitue cependant pas un exemple intéressant puisque sa mise en œuvre s'est faite peu de temps avant qu'il ne soit recouvert. L'évolution de l'humidité du bois est donc soumise à l'application d'une peinture mais aussi (et surtout) à l'influence des conditions de température et d'humidité de l'air qui font tendre la teneur en eau initiale de l'élément vers l'humidité d'équilibre. L'influence de l'application ou non de la peinture est donc difficile à cerner dans ce cas.

Le deuxième élément a une date de mise en œuvre suffisamment ancienne pour que son humidité ait eu le temps d'évoluer depuis sa teneur en eau initiale. Cette poutre en lamellé collé à inertie variable contribue à la structure de l'ouvrage constructif numéroté G064 et situé sur l'île de Marie Galante. Une série de mesures réalisée sur une période s'étendant de fin février à fin avril a fait ressortir une humidité moyenne de l'élément de 21,5 %. Ce paramètre a considérablement augmenté puisque suite à l'application d'une peinture (24 mai 2017), la prise de mesures réalisée le lendemain a révélé une humidité normale de 23,5%. Cet exemple ne permet cependant pas, à ce jour, d'observer l'évolution de l'humidité après le séchage du revêtement appliqué.

Il faut aussi noter que cet ouvrage est exposé au vent maritime d'Est et subi donc l'influence de ce vent comme vu précédemment.

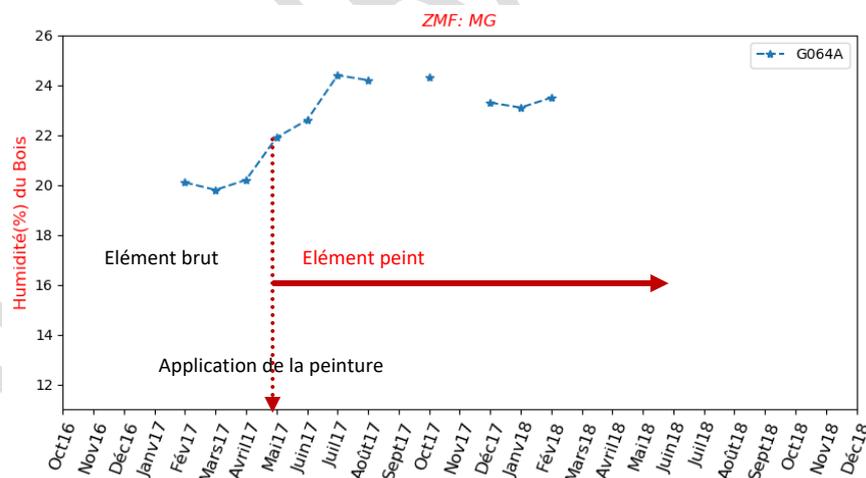


Figure 73 - Évolution de l'humidité d'une poutre après application d'un revêtement -Site G064

Les différents exemples étudiés ne permettent donc pas une conclusion définitive sur l'influence de la peinture sur l'humidité du bois, d'autant plus que sa nature n'est pas clairement connue et définie (microporeuse, peinture ... ?). En prévision de cette difficulté à avoir des exemples suffisamment exploitables, une expérience a été réalisée dans le cadre du projet. Dix éprouvettes ont été découpées à partir d'une même pièce avant que cinq d'entre elles ne soient recouvertes de peinture. La Figure 74 et la Figure 75 témoignent de l'évolution de leur teneur en eau mesurée en fonction du temps. Une même valeur de départ a été prise pour tous les échantillons qui est celle de l'humidité de la pièce de bois utilisée pour réaliser l'ensemble des échantillons située en extérieur. L'application de la peinture s'est faite entre les deux premières dates.

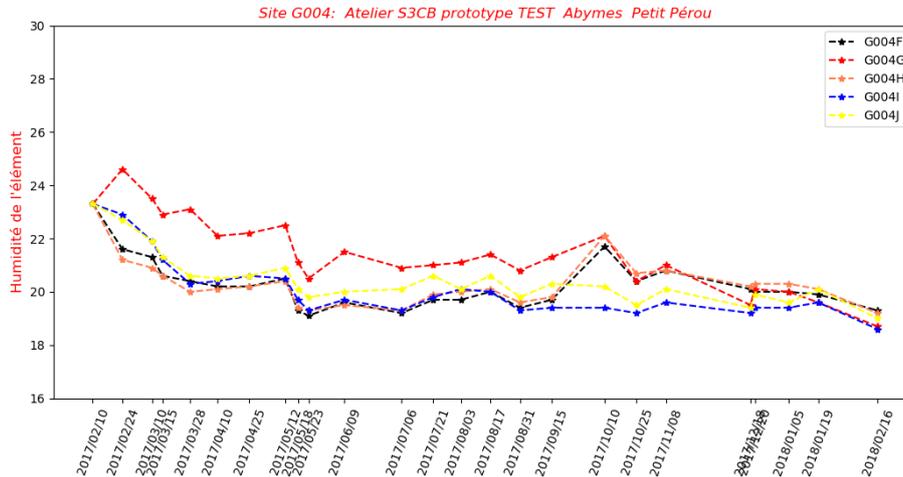


Figure 74 - Évolution de l'humidité des 5 échantillons non peints en fonction du temps

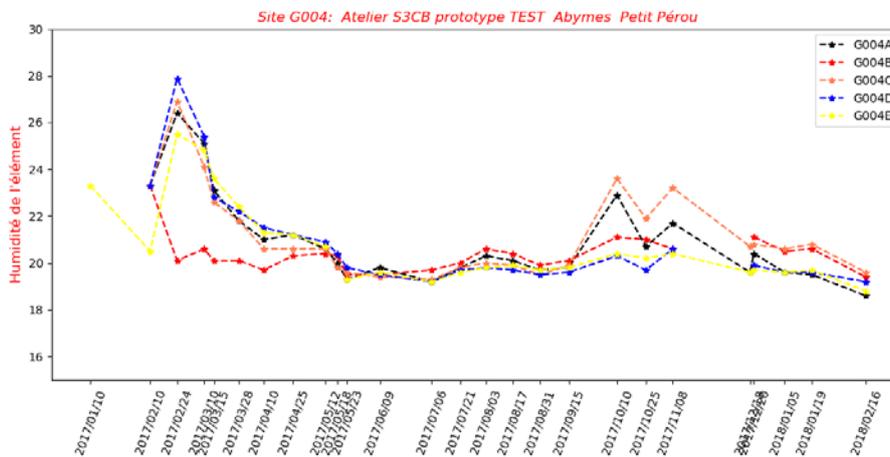


Figure 75 - Évolution de l'humidité des 5 échantillons peints en fonction du temps

Des tendances se dessinent pour les deux graphiques et méritent interprétation. Une dégression quasi-linéaire des 5 échantillons non peints est observée. Cela s'explique par le fait que l'humidité de la pièce de bois initiale était importante due à son exposition aux agents climatiques. Une fois réalisés et placés à l'intérieur, les 5 échantillons non peints ont vu leur humidité tendre vers l'équilibre hygroscopique.

Les 5 échantillons non revêtus de peinture, quant à eux, subissent une importante augmentation de leur teneur en eau après que la peinture eut été appliquée. Ce paramètre diminue ensuite progressivement afin d'atteindre l'équilibre hygroscopique. Un seul échantillon, le numéro G, fait figure d'exception. L'hypothèse que cet élément ait été découpé à partir d'une autre pièce de bois que les autres échantillons pourrait expliquer l'augmentation de sa teneur en eau vers l'équilibre hygroscopique. L'humidité initiale de la pièce de bois principale n'a donc pas été attribuée à cet échantillon.

La Figure 76 compare un échantillon représentatif sans revêtement avec l'échantillon recouvert de peinture. Cette représentation permet de mettre en valeur et de comparer les évolutions perçues et décrites précédemment pour les deux types d'échantillon. Ainsi, la peinture influe fortement sur la teneur en eau du bois avec une forte augmentation (3,3%) de celle-ci observée suite à l'application du produit. Cet important « sursaut » provoque et est suivi par une humidité du bois plus importante pour les échantillons peints vis-à-vis des échantillons non recouverts de revêtement. Cet écart régresse au fur et à mesure du temps et une humidité d'équilibre égale est atteinte pour les deux types d'échantillon.

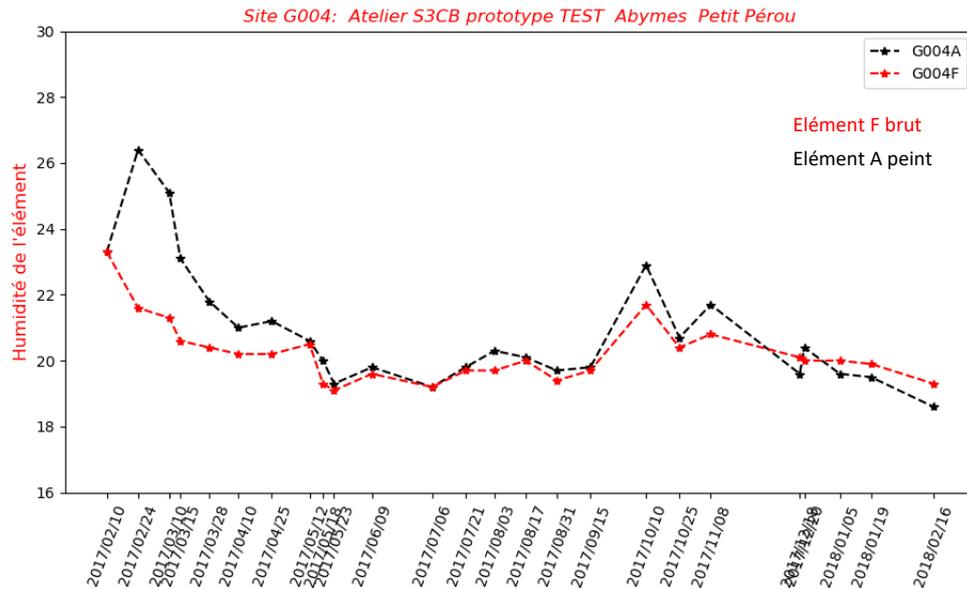


Figure 76 - Comparaison échantillons médians peint et non peint en fonction du temps

Cette expérience met ainsi en valeur le rôle non influant du revêtement mis en œuvre dans ce cas sur l'humidité de ces éprouvettes bois.

Il serait cependant précipité d'apporter une conclusion ; cependant il a été réalisé la même expérience avec des échantillons placés en extérieur abrités pour voir l'impact dans un environnement où les agents climatiques auront possiblement plus d'impact sur les produits de finition telle que la peinture. Sachant que la première tendance laisse à penser que la peinture empêche à l'humidité de diminuer.

5.4.8 Bois de faible épaisseur (bardage /fermettes)

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Comparaison Humidité bois de faible épaisseur	Constater l'influence de la massivité et faible épaisseur du bois sur la diffusion de l'humidité	Bardage : G012, G040, G045, G056, G057, G061, G062, G063, G066, G081 Fermette : G034, G000, G026, M000, M060	Sites comportant des éléments peints et bruts ayant la même essence et de section similaire

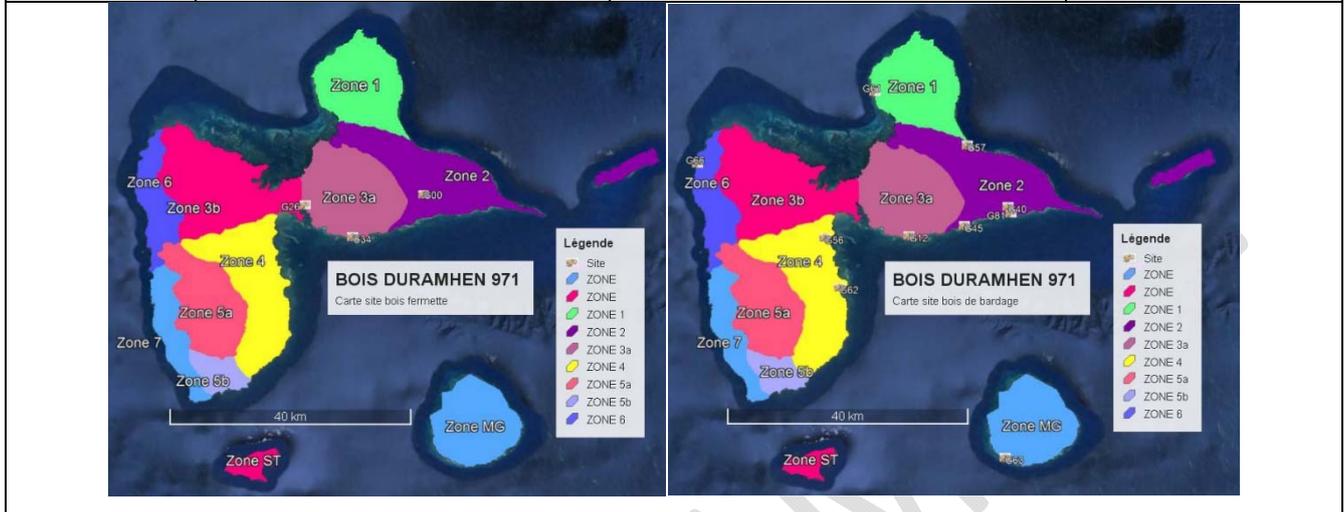


Figure 77 : Sites Bois faible épaisseur

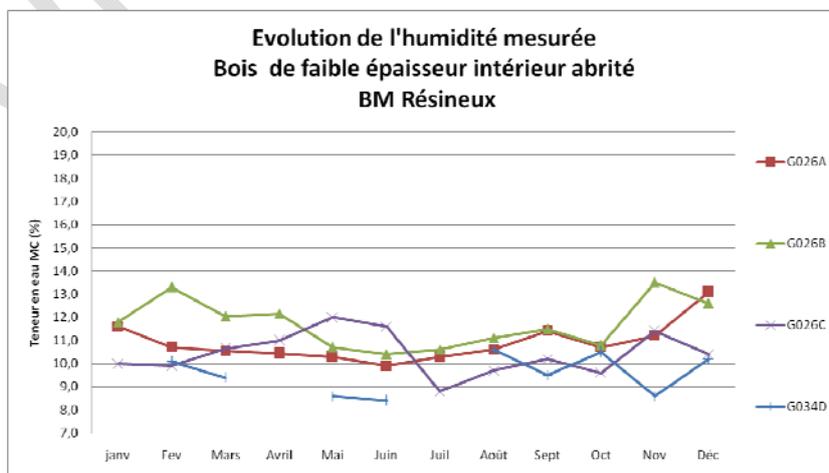
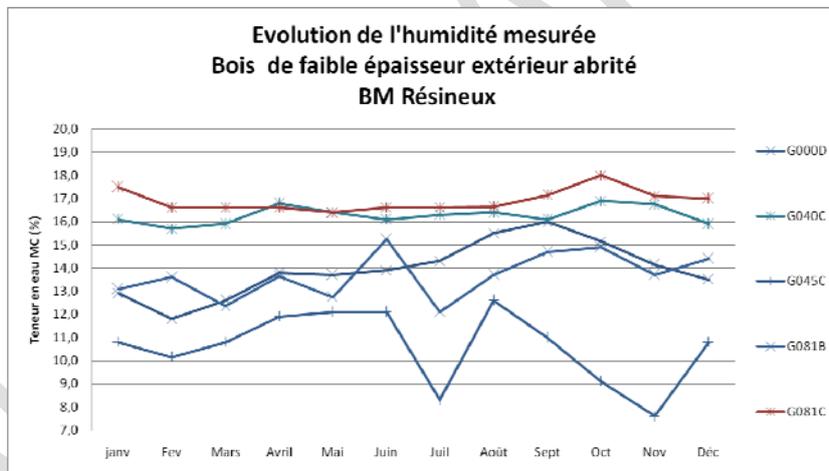


Figure 78 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité - Guadeloupe

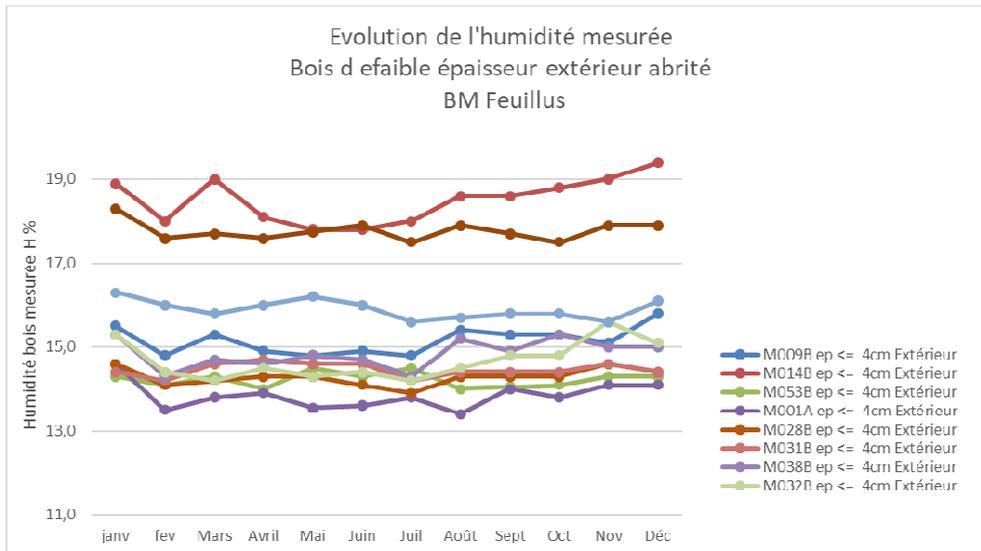


Figure 79 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité BM Feuillus -Martinique

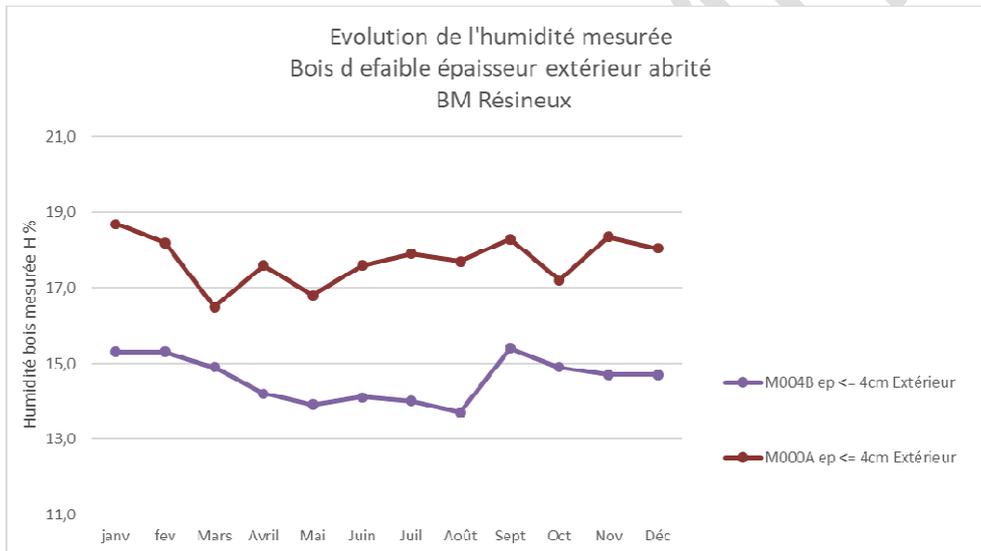


Figure 80 : Graphes d'humidité des Bois influence de la massivité BM Résineux -Martinique

5.4.1 Bois aboutés BMA

Paramètres	Objectif	Sites	Commentaires
Comparaison Humidité bois sur plusieurs éléments aboutés	Constater la variabilité de l'humidité sur hauteur de l'élément	M000, M027 M036, M058, M063	Sites comportant des éléments BMA

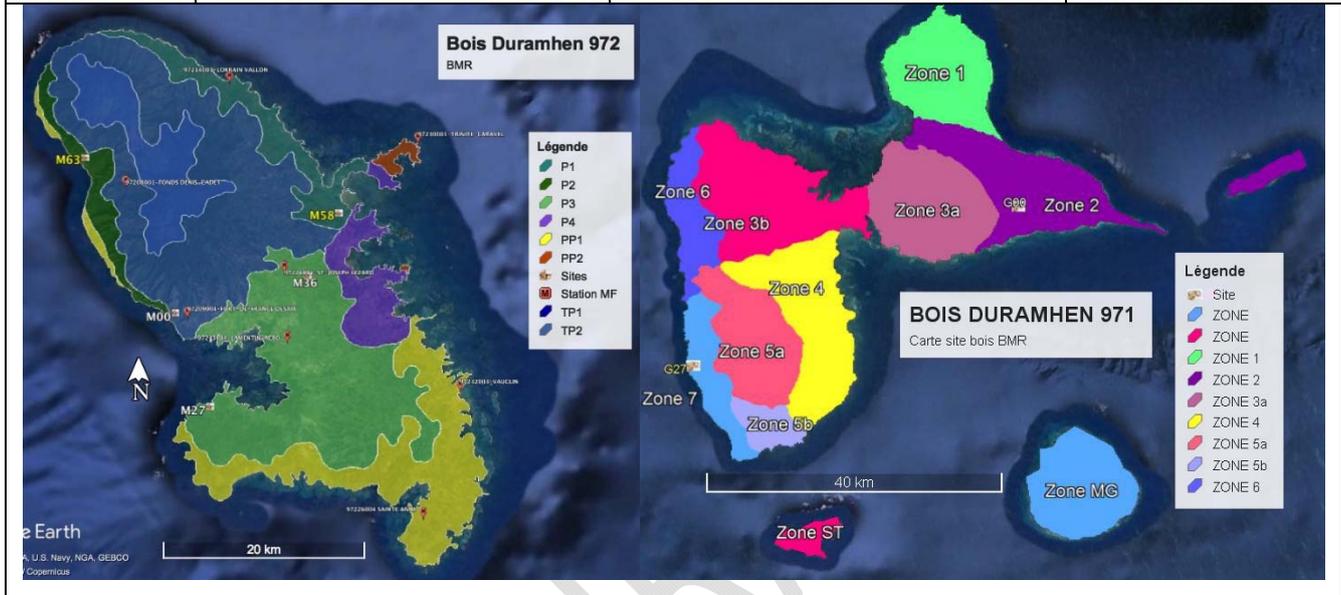


Figure 81 : Sites Bois massifs aboutés

Selon le rapport de JM BARGY chargé de faire l'analyse de ce paramètre [16] durant son stage dans le cadre du projet BOIS DURAMHEN 971; **lors des mesures réalisées dans le cadre de cette étude, plusieurs éléments ont montré des valeurs d'humidité d'une grande variabilité sur certaines faces.** Deux paramètres provoquant cette distribution non homogène peuvent être mis en valeur : de mauvaises dispositions constructives et un matériau bois abouté. Ainsi, pour le premier, différents cas ont pu être relevés : toiture non perméable, avancée de toit non suffisante, pied de poteau insuffisamment surélevé... Des infiltrations, éclaboussures ou encore contacts direct avec l'eau de pluie en découlaient et provoquaient l'apparition de zones plus humides que d'autres sur une même face.

L'influence de bonnes ou mauvaises dispositions constructives n'est pas un phénomène nouvellement connu. La grande variabilité d'humidité du bois observée sur une pièce de bois résultant d'un ou plusieurs aboutages mérite cependant d'être relevée. Les bois aboutés, de par l'absence de défauts structurels, possèdent généralement une meilleure stabilité dans le temps ainsi qu'une résistance mécanique plus importante. Il apparaît toutefois, que d'un aboutage à un autre, l'humidité du bois mesurée présente des variations plus ou moins importantes.

Un exemple permet d'illustrer cette affirmation. Un poteau abrité, situé en intérieur est donc choisi. La première face mesurée est celle immortalisée sur la Figure 82. Cette dernière met en valeur les différents aboutages de cette face et leur valeur d'humidité moyenne respectives. L'humidité maximale mesurée est de 15% révèle un écart important de 4% avec la valeur minimale qui est de 11%.

La seconde face, opposée à la première, est ensuite considérée (Figure 83). Sur cette face, la valeur minimale de 11,1% présente un écart plus faible de 3,1% avec la valeur maximale qui est de 14,2%. La différence reste cependant importante.



Figure 82 - Poteau abouté, mesures d'humidité moyennes du bois suivant les différents aboutages de la première face

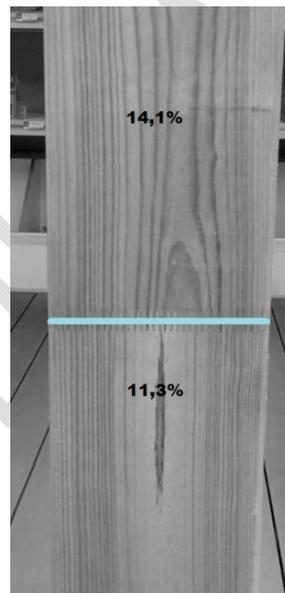


Figure 83 - Poteau abouté, mesures d'humidité moyennes du bois suivant les différents aboutages de la seconde face

Des variations plus ou moins importantes de teneur en eau ont été relevées sur la totalité des éléments bois réalisés à partir d'un ou plusieurs aboutages. Les différences de 4%, voire de 3% observées dans l'exemple précédent sont relativement importantes et interrogent sur l'humidité du bois à considérer pour un élément abouté.

Par ailleurs, il semble intéressant de se demander si ces différences d'humidité du bois ont un impact sur la durabilité du matériau. La rétractibilité ou le gonflement des différentes pièces aboutées peuvent-elles provoquer des discontinuités au niveau de l'aboutage ? Comment l'ensemble de l'élément bois réagit-il ?

6 CONCLUSIONS

Le projet BOIS-DURAMHEN971 est cohérent avec les études précédemment menées en métropole, dite méthode conventionnelle a été abordée. Les résultats pour la Guadeloupe sous forme de cartes à trois mois et à douze mois montrent un premier niveau d'apport par rapport à ce qui était disponible précédemment. On est passé d'une donnée pour une ville (PàP) à au moins une donnée par zone climatique Météo France (ZMF) avec la méthode conventionnelle, soit deux fois seize jeux de H % (Hmin, Hmoy, Hmax, amplitude de variation) pour la Guadeloupe.

Avec la méthode Bois-Duramhen, le programme BOIS-DURAMHEN fournit des évolutions de l'humidité instantanée H% du bois en œuvre (105 éléments extérieurs abrités) sur douze mois avec un filtre possible pour bois résineux et bois tropicaux et également sur un critère de massivité des pièces testées. Ces résultats sont relatifs au bois extérieurs abrités, mais pourraient aussi être appliqués aux bois mis en œuvre en intérieur abrité dans des conditions courantes (intérieure habitée avec ventilation normale).

Les résultats obtenus via la méthode conventionnelle permettent de donner des tendances sur quelques zones qui présentent les caractéristiques de la classe de service 3 ; ces tendances sont confirmées par les mesures effectuées sur les Sites_Bois-Duramhen:

GUADELOUPE

- la zone des montagnes autour des Stations MF de St Claude, Petit-Bour-Inra, Pointe Noire-Mamelles
- la zone des Grands Fonds en fonds de colline (cuvette, vallée) non exposés au soleil et caractérisés par beaucoup d'humidité de l'air
- les zones à proximité de cours d'eau
- la zone Nord Grande Terre (Port Louis, Anse Bertrand) : Zone ZMF1 comporte une seule station disposant du couple HR/T°C ; elle donne des valeurs d'humidité d'équilibre théorique assez proches de 20 %. Compte tenu du faible nombre d'années de données Météo France récoltées et de la seule station disponible dans la zone ZMF 1, cela nous pousse à classer en classe de service 3, faute d'éléments complémentaires contraires probants, d'autant plus que la lecture de H% (ou EMC%) humidité d'équilibre théorique du bois sur la courbe hygroscopique comporte une marge d'erreur. Cette zone « indéterminée » devrait être faire l'objet d'une étude complémentaire avec d'autres stations.

MARTINIQUE

- la zone de montagnes autour des Stations MF de Ajoupa Bouillon, Fonds-St-Denis, Morne rouge, Sainte Marie
- les zones à proximité de cours d'eau

A noter que nous avons décidé la classification systématique, en classe de service 3 pour une station, à partir du moment où la valeur moyenne de l'humidité d'équilibre théorique mensuelle H% est supérieure ou égale à 19%, pour au moins 3 mois. Il est à noter que cette conclusion de classement est guidée par la précision des données MF en terme de représentativité, ajoutée celle de la lecture de H% sur des courbes de l'équilibre hydrique de l'air humide.

Il est noter quelques cas singuliers pour lesquels les humidités mesurées sur Sites sont plus fortes que la moyenne ; ces cas sont exclus de l'exploitation des résultats pour ne pas influencer et fausser les tendances générales trouvées, mais ils doivent être pris en compte par les acteurs de la construction lors de la conception de leur ouvrage bois avec la particularité de leur influence sur l'humidité du bois en service.

Au titre de perspectives pour ce travail, doit être présent à l'esprit des différents acteurs de la construction en bois, la pertinence et de l'actualité de cette étude dans une période où on rédige la prochaine version des Eurocodes. La prise en compte de l'humidité des bois en œuvre dans leur environnement est un point crucial

pour une bonne utilisation de ce matériau et pour lui ouvrir des marchés pertinents avec des garanties de fiabilité et de pérennité.

Le travail mené dans le cadre du programme BOIS-DURAMHEN correspond à une demande de la profession et contribue à combler des lacunes d'informations pour appliquer correctement l'Eurocode 5-1 actuel. Le travail mené prend en compte les futurs critères qui apparaîtront sous une forme ou une autre dans la prochaine version de cet Eurocode 5-1.

Avant l'échéance de cette nouvelle version de l'Eurocode 5-1 et au titre de la valorisation du travail réalisé dans le cadre de ces programmes BOIS-DURAMHEN, la rédaction de règles professionnelles est fort probablement le meilleur moyen pour assurer l'essaiage des informations et des outils développés pour ces programmes auprès de la globalité des acteurs locaux : objectif essentiel de ce travail !

BOIS-DURAMHEN

7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Eurocode 5 CEN TC 250 SC5, NF EN 1995-1-1, « Eurocode 5, Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments », 2005.
- [2] Eurocode 5/NA AFNOR, NF EN 1995-1-1/NA, « Eurocode 5, Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments, Annexe nationale à la NF EN1995-1-1 : 2005 », 2005.
- [3] L. Cador, « Rapport technique n°3c / Estimation des Surcoûts classe de service 3 ».
- [4] T. Lamadon, « Taux d'humidité et panneaux dérivés en service, Note de cadrage-BOIS DUR-AMHEN971 », 2017.
- [5] « DTU 51.4 Platelages extérieurs en bois ».
- [6] N. Manfoumi Boussougou, « Contribution à l'adaptation de l'Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement. », 2012.
- [7] Météo-France, « Le climat en Guadeloupe, Les Abymes : Météo-France ».
- [8] C. Brévignon, « Atlas climatique, l'environnement atmosphérique de la Guadeloupe, de Saint-Barthélemy et Saint-Martin, Météo France », 2005.
- [9] L. Bertrand, « Elaboration d'une réglementation thermique des bâtiments Etat des lieux technique », CSTB.
- [10] P. Quistin, « Protocole partie 1 Mesures humidité et Outil Numérique ».
- [11] P. Quistin, « Protocole partie 2 Caractérisation mécanique des Essences Etuvage et Monitoring ».
- [12] P. Quistin, « Rapport technique n°3a / Etuvage et Identification CIRAD ».
- [13] M. L. Fernandez, « Analyse de l'humidité des bois en oeuvre dans un environnement subtropical marin », Mémoire de Master, 2018.
- [14] E. Fournely, « Rapport technique n°3f / Chambre climatique ».
- [15] C. Peterson, « Hand Held Moisture Meters. », Fort Lauderdale, Symposium report, 2008.
- [16] J. M. Bargy, « Etude de l'humidité du bois mis en oeuvre dans son environnement - application et expérimentation dans la Région Guadeloupe 971. », Rapport de stage de master Génie civil, Polytech Clermont-Ferrand, 2017.
- [17] P. Quistin, E. Fournely, L. Cador, et L. Romana, « BOIS DUR-AMHEN- durabilité, aménagement, humidité, environnement », 5èmes journées du GDR 3544 « Sciences du bois », Bordeaux, 2016.
- [18] P. Quistin, E. Fournely, L. Cador, et L. Romana, « BOIS DUR-AMHEN- Cadre Méthodologique Général », juin 2018.
- [19] P. Quistin, E. Fournely, L. Cador, et L. Romana, « BOIS DUR-AMHEN- durabilité, aménagement, humidité, environnement », 7èmes journées du GDR 3544 « Sciences du bois », Cluny, 2018.
- [20] P. Quistin, E. Fournely, L. Cador, et L. Romana, « BOIS DUR-AMHEN972- durabilité, aménagement, humidité, environnement », 7èmes journées du GDR 3544 « Sciences du bois », Cluny, 2017.
- [21] P. Quistin, « BOIS DUR-AMHEN971 - Technical report n°1, methodology of study », 2017.
- [22] P. Quistin, E. Fournely, L. Cador, et L. Romana, « Impact of environment on timber structures, BOIS DUR-AMHEN971, The case of Guadeloupe (FWI) », WCTE 2018 Séoul, Corée, 2018.
- [23] P. Quistin, L. Cador, E. Fournely, G. Godi, et L. Romana, « Compte-rendu de réunion n°7 Comité Technique Co Tech n°7 », mars 2018.
- [24] P. Quistin, L. Cador, E. Fournely, G. Godi, et L. Romana, « Compte-rendu de réunion n°8 Comité Technique Co Tech n°8 », juill. 2018.
- [25] P. Quistin, « Méthodologie - Analyse des Investigations CoTech n°7 », mars 2018.
- [26] P. Quistin, « Rapport technique n°1 / Cadre méthodologique ».
- [27] E. Fournely, « Rapport technique n°3e / Monitoring ».
- [28] L. Romana, « Rapport technique n°3d / test de Flexion ».
- [29] P. Quistin, « Rapport technique n°3b / Influence des paramètres cas singuliers ».
- [30] Réglementation Thermique Guadeloupe RTG -Région Guadeloupe
- [31] Notice technique MerlinTechnology
- [32] Fluke 971-Temperature Humiditer –Mode d'emploi
- [33] P. Quistin, L. Cador, E. Fournely, et L. Romana « Rapport technique n°2 / Investigations mesures -971 »
- [34] P. Quistin, L. Cador, E. Fournely, et L. Romana « Rapport technique n°2 / Investigations mesures -972 »

8 ANNEXES

8.1 ANNEXE 1 :Etape 1-Graphe Humidité d'équilibre du bois (H%) issue de la méthode conventionnelle (étape 1)

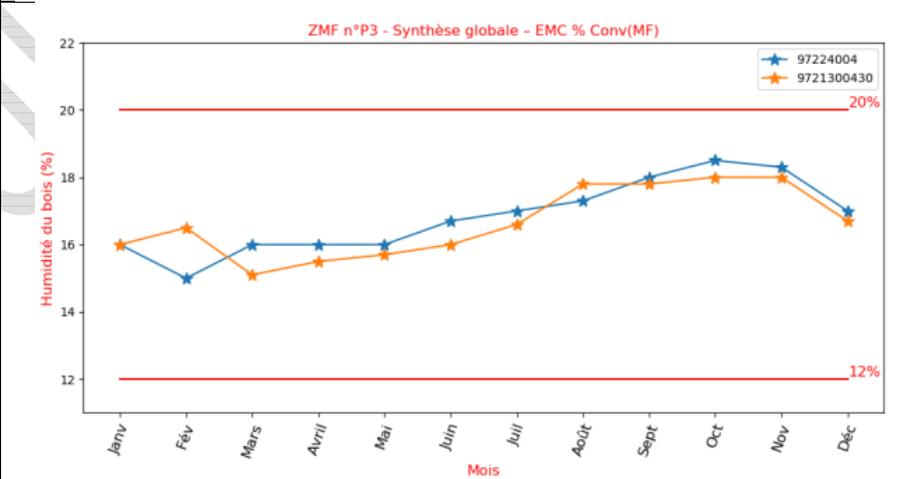
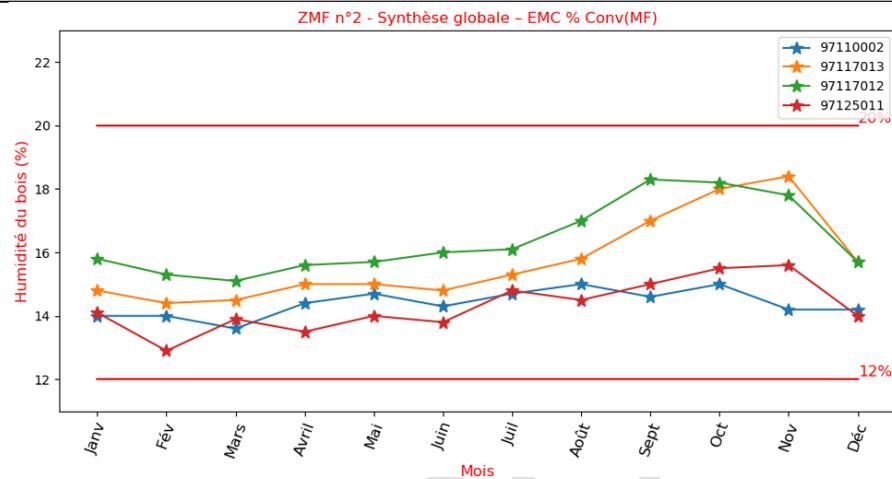
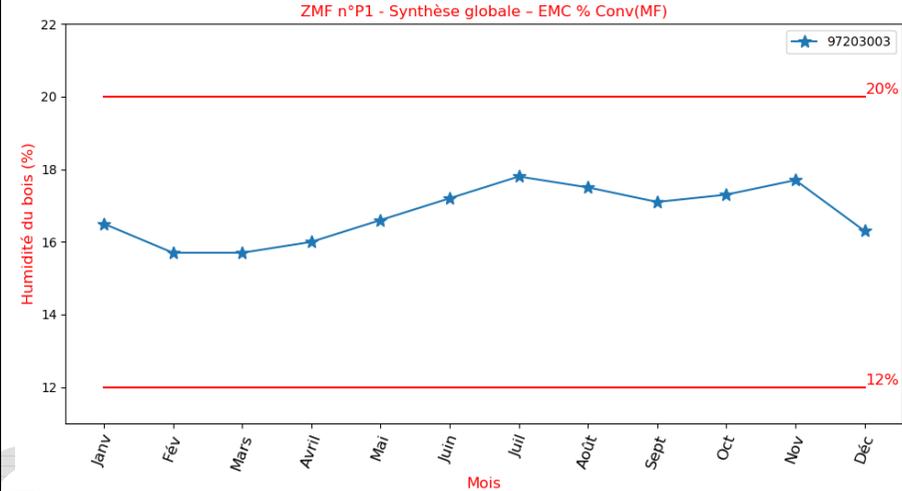
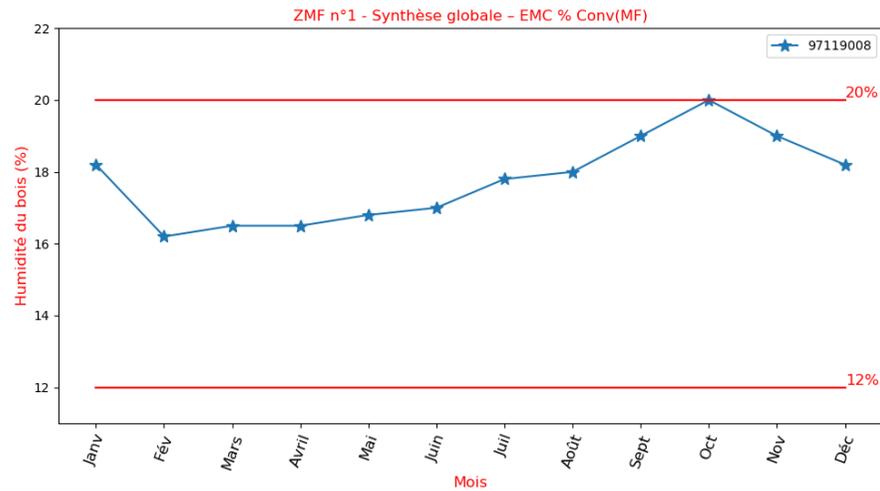
BOIS-DURAMHEN

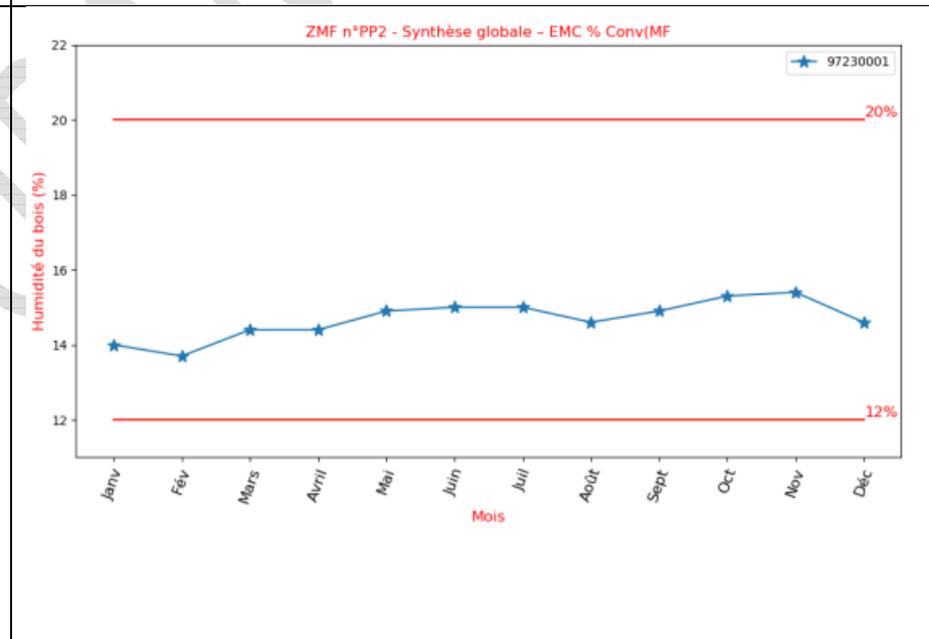
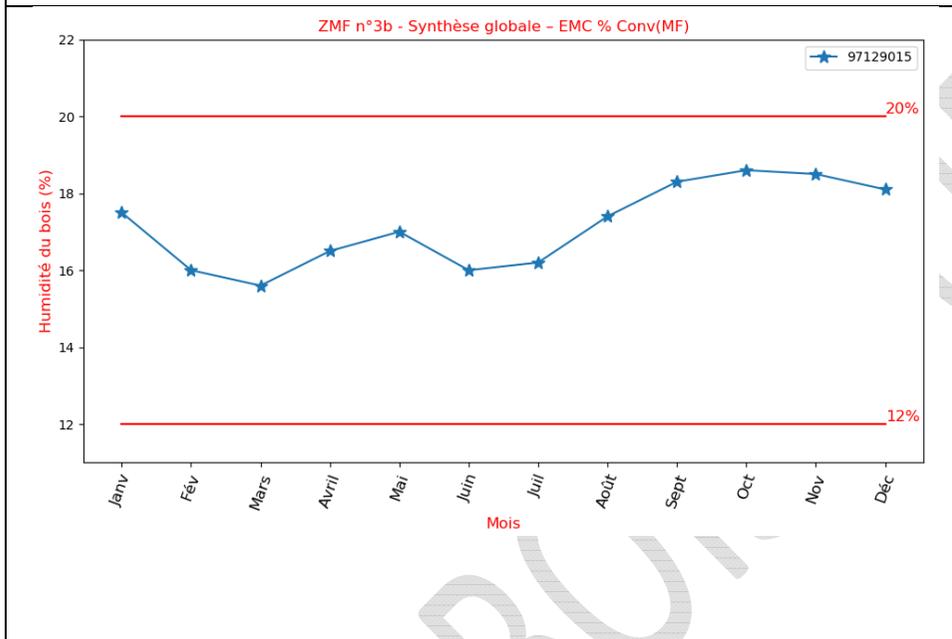
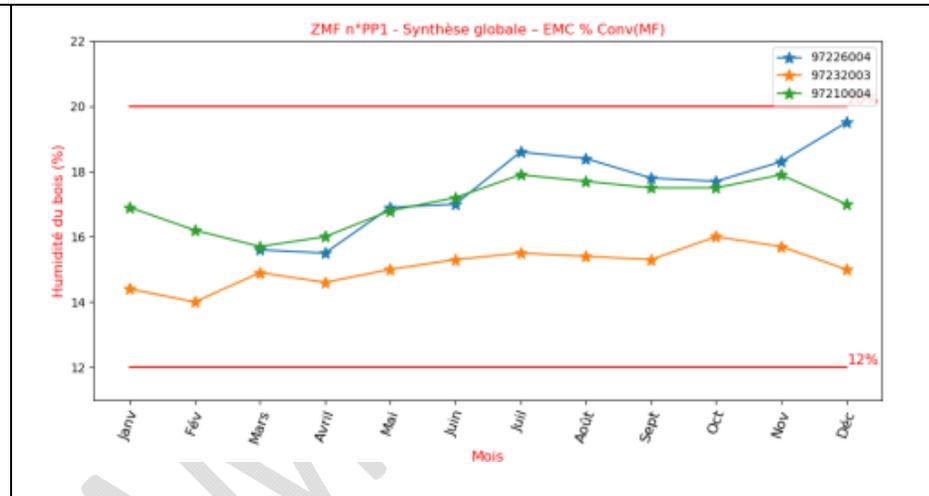
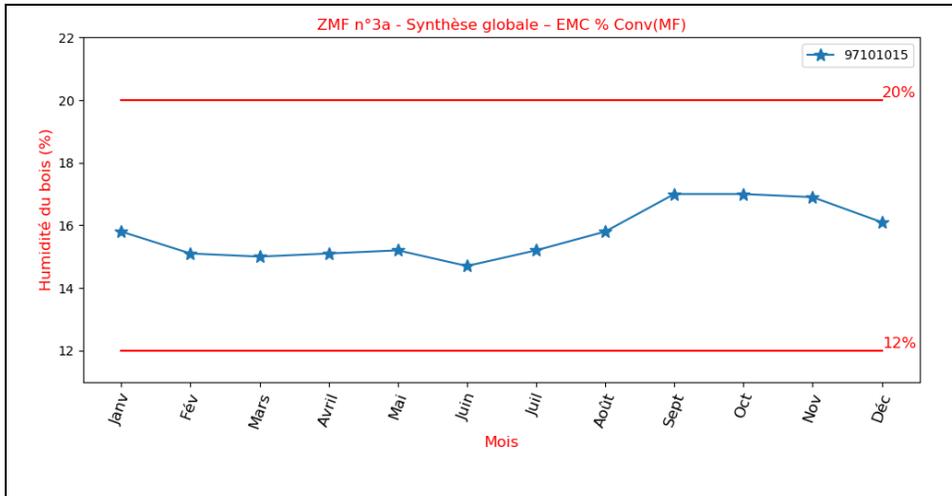
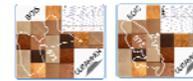


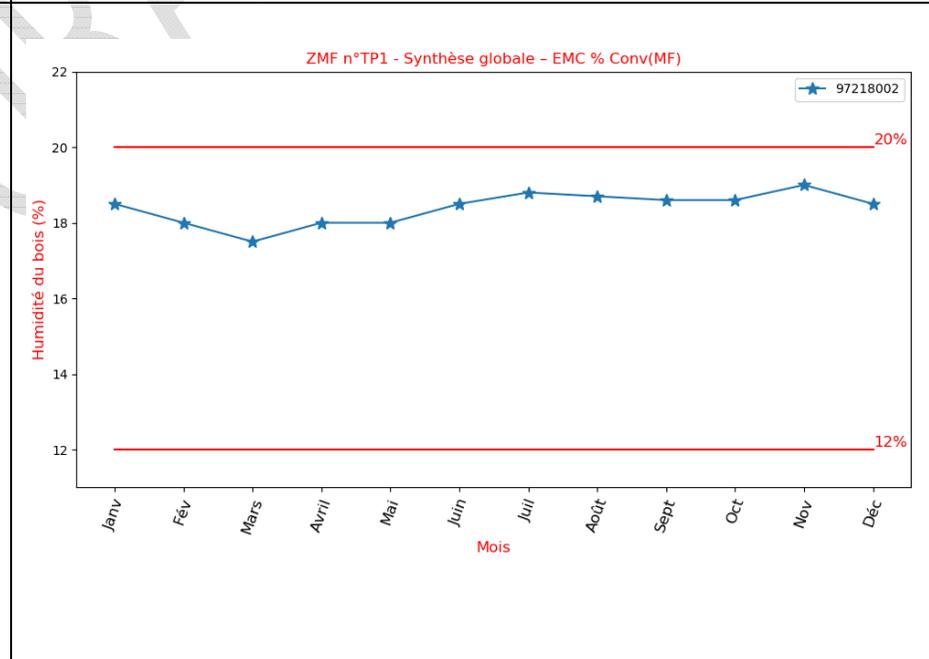
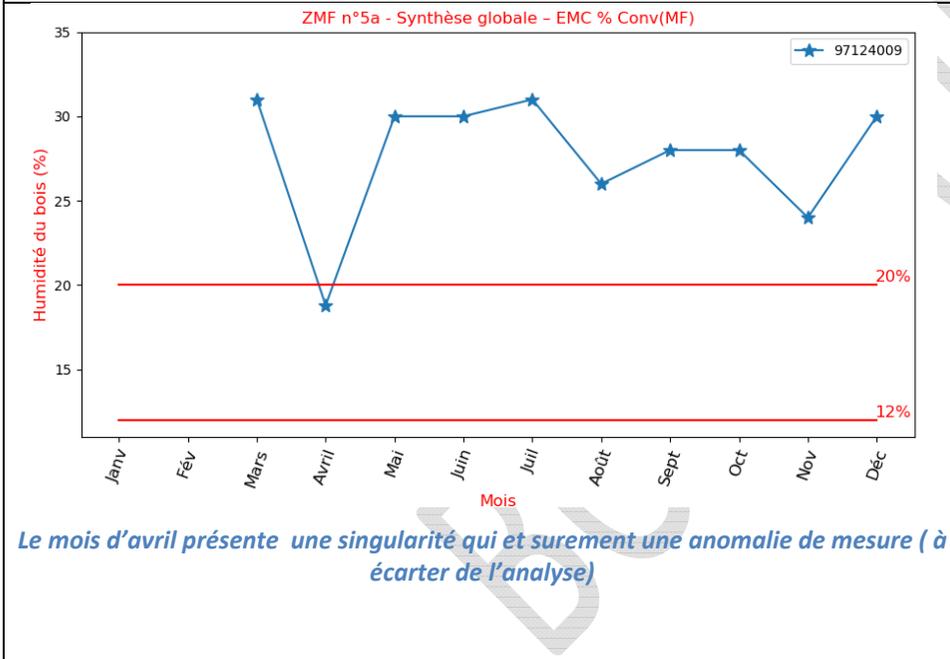
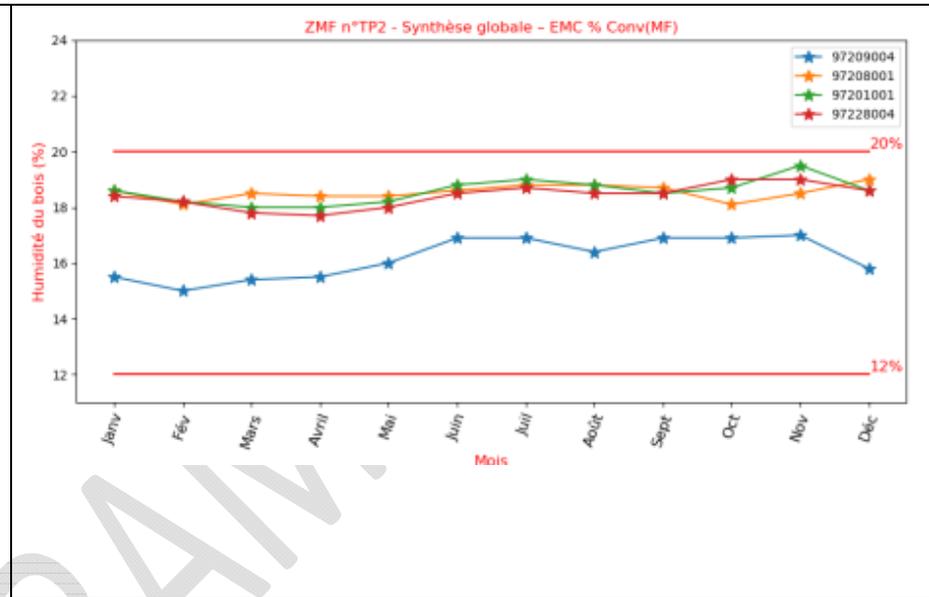
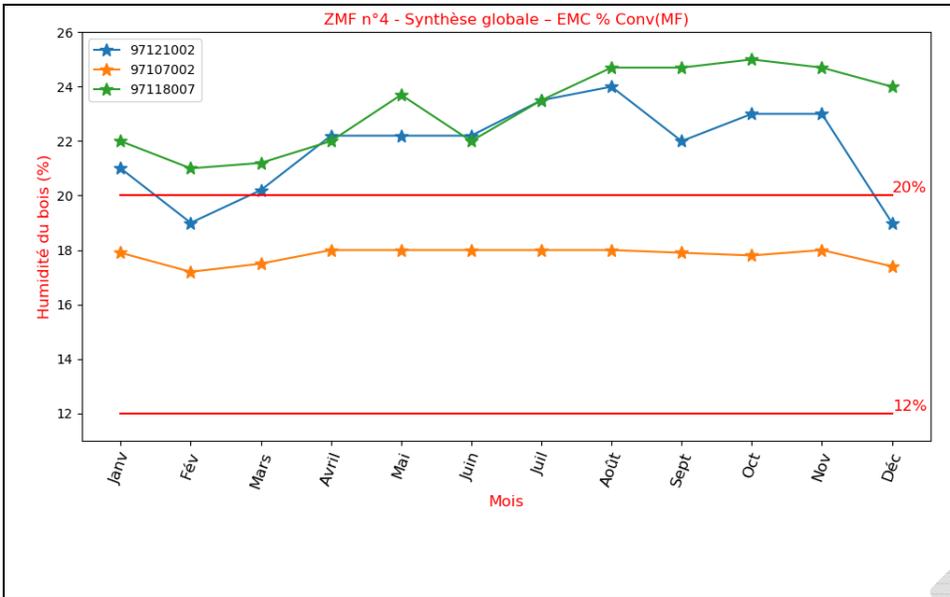
Etape 1- Méthode Conventionnelle Humidité d'équilibre théorique du bois EMC%

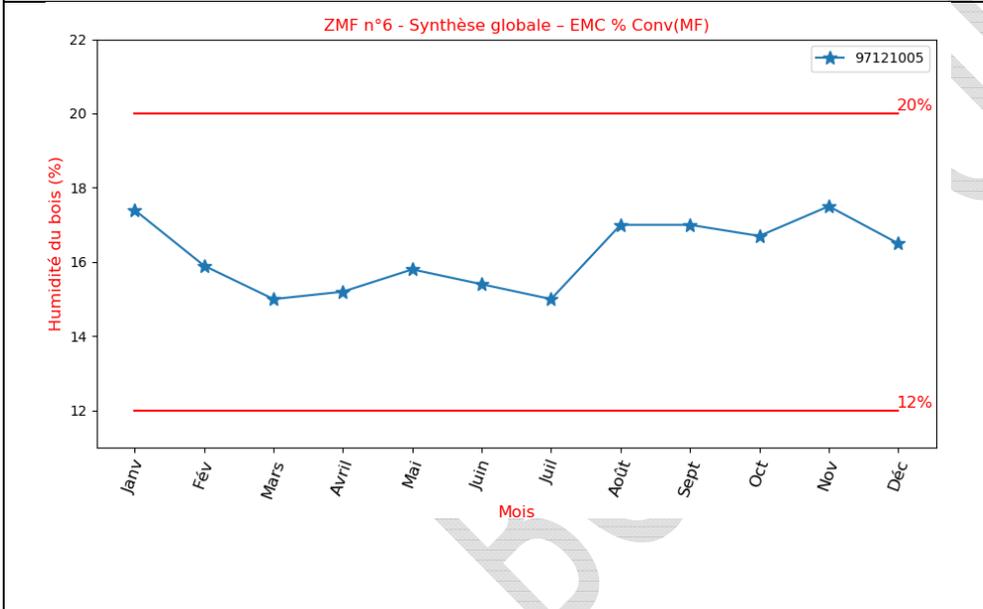
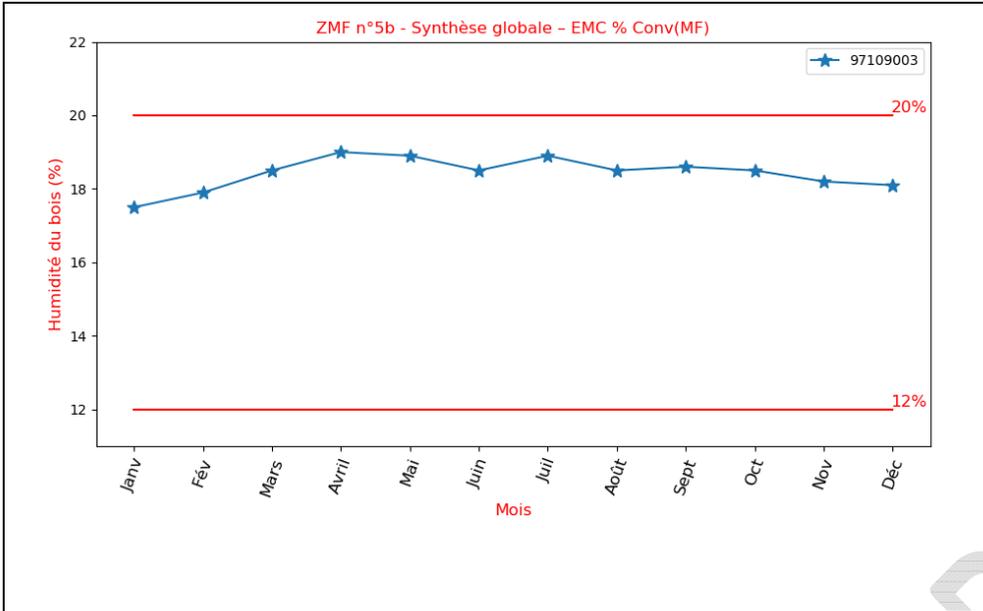
971

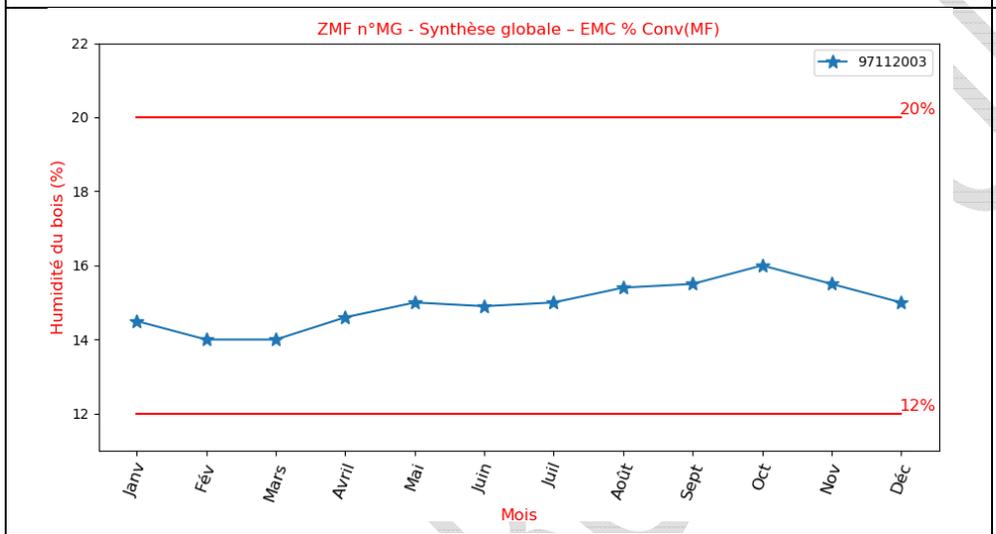
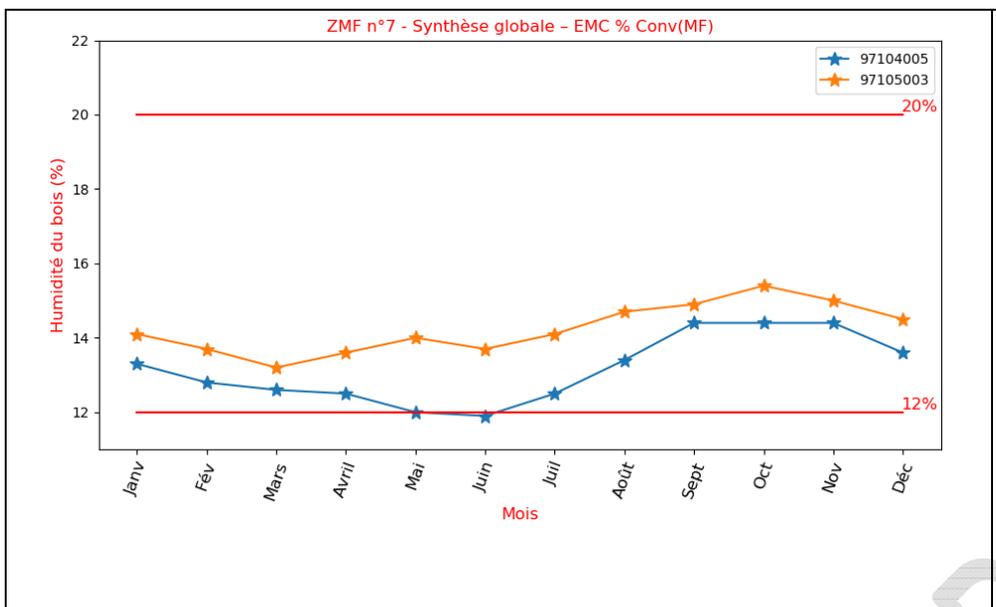
972











8.2 ANNEXE 2 : Etape 4-Tableau Résultats H % Bois résineux mesures sur sites Guadeloupe

Eléments Sites GUADELOUPE					Teneur en eau du bois H _{bois} (%)												Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION Classe de service		
ZMF	Ville	Alt ()	Elément	Massivité Ep(cm)	janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>= 20%	Regime	Commentaires	
1	Anse Bertrand	12	G059B	4cm < ep <= 10cm	19,1	18,3	18,0	16,4	15,8	16,1	17,1	17,6	18,9	19,8	20,4	19,1	16	18	20	5	16	18	20	4	2	2	perturbé	
1	Anse Bertrand	12	G059C	4cm < ep <= 10cm	20,6	19,4	19,0	17,6	17,6	17,3	19,3	18,5	19,8	20,4	20,6	20,0	17	19	21	3	18	19	20	3	5	3	stationnaire	
1	Anse Bertrand	28	G084B	4cm < ep <= 10cm	21,2	20,0	19,8	19,5	20,1	19,8	20,5	20,8	20,9	21,1	21,2	21,0	20	20	21	2	20	20	21	1	12	3	stationnaire	
1	Anse Bertrand	28	G084C	10cm < ep <= 16cm	20,8	18,2	18,0	17,4	20,4	19,1	18,3	19,0	17,8	18,3	18,0	19,4	17	19	21	3	18	19	19	2	2	2	stationnaire	
1	Anse Bertrand	53	G109A	10cm < ep <= 16cm	21,5	19,3	18,8	18,7	18,8	19,6	19,3	20,0	20,0	20,4	19,7	20,2	19	20	22	3	19	20	20	2	7	3	stationnaire	
1	Anse Bertrand	53	G109B	4cm < ep <= 10cm	19,6	18,3	17,9	17,7	17,6	17,5	17,9	18,8	18,1	19,3	19,1	19,6	18	18	20	2	18	18	19	2	2	2	stationnaire	
1	Anse Bertrand	28	G110A	4cm < ep <= 10cm	19,6	18,1	17,3	15,8	16,6	16,9	18,0	17,8	18,6	21,0	19,2	19,6	16	18	21	5	16	18	20	4	3	3	perturbé	
2	Sainte Anne	42	G000D	ep <= 4cm	12,9	11,8	12,6	13,8	13,7	13,9	14,3	15,5	16,0	15,2	14,2	13,5	12	14	16	4	12	14	16	3	0	2	stationnaire	
2	Sainte Anne	42	G000H	4cm < ep <= 10cm	17,9	16,9	16,9	16,2	16,0	15,7	17,3	16,9	17,7	18,3	18,3	17,7	16	17	18	3	16	17	18	2	0	2	stationnaire	
2	Sainte Anne	42	G000J	4cm < ep <= 10cm	16,8	18,1	16,8	16,0	16,2	16,1	17,4	16,5	17,0	17,4	19,6	15,6	16	17	20	4	16	17	18	2	1	16	stationnaire	
2	Saint François	4	G038C	4cm < ep <= 10cm	15,4	14,4	14,8	15,2	15,7	14,8	15,1	15,8	17,9		16,9	15,9	14	16	18	4	15	16	17	3	0	2	stationnaire	
2	Saint François	0	G039E	4cm < ep <= 10cm	15,1	14,8	14,1	14,3	13,8	13,3	14,0	14,8	14,8	14,9	15,3	14,8	13	15	15	2	14	15	15	1	0	2	stationnaire	
2	Saint François	0	G039C	4cm < ep <= 10cm	18,5	15,8	15,6	15,8	17,4	18,1	16,8	17,6	16,4	16,7	17,9	17,1	16	17	19	3	16	17	18	2	0	2	stationnaire	
2	Saint François	36	G040C	ep <= 4cm	16,1	15,7	15,9	16,8	16,4	16,1	16,3	16,4	16,1	16,9	16,8	15,9	16	16	17	1	16	16	17	1	0	2	stationnaire	



2	Sainte Anne	3	G045B	4cm < ep <= 10cm	15,2	12,9	13,2	13,3	13,9	13,8	14,1	14,2	13,6	15,8	15,4	17,0	13	14	17	4	13	14	16	3	0	2	stationnaire	
2	Sainte Anne	3	G045C	ep <= 4cm	10,8	10,2	10,8	11,9	12,1	12,1	8,3	12,6	11,0	9,1	7,6	10,8	8	11	13	4	9	11	12	3	0	2	stationnaire	Bardage
2	Saint François	1	G054B	4cm < ep <= 10cm	17,5	14,7	15,6	16,1	17,5	16,0	17,0	17,1	16,5	19,8	17,9	16,3	15	17	20	5	15	17	18	3	1	2	perturbé	
2	Saint François	35	G081B	ep <= 4cm	13,1	13,6	12,4	13,7	12,8	15,3	12,1	13,7	14,7	14,9	13,7	14,4	12	14	15	3	13	14	14	2	0	2	stationnaire	Bardage
2	Saint François	35	G081C	ep <= 4cm	17,5	16,6	16,6	16,6	16,4	16,6	16,6	16,7	17,2	18,0	17,1	17,0	16	17	18	2	17	17	17	1	0	2	stationnaire	
2	Moule	43	G105A	10cm < ep <= 16cm	17,7	17,6	17,4	17,4	17,9	17,4	18,1	17,2	17,7	19,0	19,0	18,1	17	18	19	2	17	18	19	1	0	2	stationnaire	
2	Moule	43	G105B	4cm < ep <= 10cm	17,6	17,0	17,4	17,9	17,6	17,8	17,7	17,5	18,0	18,6	18,7	18,0	17	18	19	2	17	18	18	1	0	2	stationnaire	
3a	Gosier	17	G012E	ep <= 4cm	15,8	15,2	14,9	14,7	14,0	14,3	15,3	14,7	13,8	17,8	17,2	16,3	14	15	18	4	14	15	17	3	0	2	stationnaire	Bardage
3a	Morne à l'eau	13	G024B	10cm < ep <= 16cm	19,7	17,8	16,8	19,3		18,6		18,9		18,9	20,3	19,3	17	19	20	4	18	19	20	2	2	2	stationnaire	
3a	Sainte Anne	117	G043A	10cm < ep <= 16cm	18,8	18,9	18,6	18,6	19,6	18,8	19,7	19,8	20,4	20,4	20,2	18,3	19	19	20	2	19	19	20	2	6	3	stationnaire	
3a	Sainte Anne	117	G043B	4cm < ep <= 10cm	14,6	14,6	13,9	14,3	14,9	14,4	16,2	16,4	16,7	16,9	15,8	14,4	14	15	17	3	14	15	17	2	0	2	stationnaire	
3a	Sainte Anne	106	G044A	4cm < ep <= 10cm	14,3	13,6	13,4	13,6	13,9	14,2	14,1	14,6	14,6	14,9	14,9	14,0	13	14	15	2	14	14	15	1	0	2	stationnaire	
3a	Sainte Anne	106	G044C	4cm < ep <= 10cm	17,3	16,8	16,8	16,7	17,4	17,3	17,4	17,4	17,9	17,9	17,4	14,9	17	17	18	1	16	17	18	1	0	2	stationnaire	
3a	Gosier	55	G074B	10cm < ep <= 16cm	16,4	15,4	15,4	17,3	15,1	15,8	14,8	15,6	15,6	16,8	15,8	15,7	15	16	17	3	15	16	16	1	0	2	stationnaire	
3a	Abymes	26	G079D	16cm < ep	19,5		16,5	17,8	19,0	18,5	18,4	18,0	19,7	20,7	18,4		17	19	21	4	17	19	20	2	3	3	stationnaire	
3a	Abymes	26	G079E	4cm < ep <= 10cm	17,0		15,9	17,5	19,3	18,3	17,9	18,8	17,3	19,3	17,8		16	18	19	3	16	18	19	2	0	2	stationnaire	
3a	Abymes	29	G094A	4cm < ep <= 10cm	17,4	15,8	14,8	16,8	16,4	15,4	16,4	15,9	15,9	17,1	16,8	16,6	15	16	17	3	16	16	17	1	0	2	stationnaire	



3a	Gosier	30	G096A	4cm < ep <= 10cm	19,1	18,3	17,5	17,8	17,8	16,9	19,3	18,5		18,1	18,3	19,9	17	18	20	3	18	18	19	2	1	2	stationnaire	
3a	Sainte Anne	74	G100B	4cm < ep <= 10cm	20,5					18,8	19,3	19,3	19,3	19,4	20,2	20,9	19	20	21	2	19	20	21	2	3	3	stationnaire	
3a	Sainte Anne	113	G102B	4cm < ep <= 10cm	16,5	16,4	15,9	15,1	16,5	16,0	18,6	18,6	20,5	18,9	19,0	17,2	15	17	21	5	16	17	19	4	1	2	perturbé	
3b	Sainte Rose	72	G048A	10cm < ep <= 16cm	15,4	15,3	15,3	14,5	14,6	17,0	14,4	14,1	15,0	15,8	15,6	15,2	14	15	17	3	15	15	16	1	0	2	stationnaire	
3b	Lamentin	22	G052A	10cm < ep <= 16cm	19,3	19,3	18,2	17,1	17,6	17,6	18,7		18,5	19,3	20,1	19,3	17	19	20	3	17	19	20	2	1	2	stationnaire	
3b	Baie Mahault	15	G078C	10cm < ep <= 16cm	13,7	14,3	15,3	15,7	16,1	13,3	14,9	15,1	17,2	17,1	16,6	16,2	13	15	17	4	14	15	17	3	0	2	stationnaire	
3b	Sainte rose	20	G091B	4cm < ep <= 10cm	17,6	16,4	16,9	16,6	17,3	17,0	16,5	17,1	12,7	17,8	12,8	17,0	16	16	18	1	14	16	17	3	0	2	stationnaire	
4	Capesterre Be	24	G007B	4cm < ep <= 10cm	15,1	13,8	13,8	14,6	14,6	15,1	16,1	15,8	18,1	17,1	14,9	16,4	14	15	18	4	14	15	17	3	0	2	stationnaire	
4	Capesterre Be	40	G008B	10cm < ep <= 16cm	17,9	17,4	17,6	18,0	18,1	18,7	18,0	19,1	18,4	18,4	18,0	18,0	17	18	19	2	18	18	19	1	0	2	stationnaire	
4	Petit Bourg	176	G028B	4cm < ep <= 10cm						18,7	19,5	19,9	18,7	20,2	23,0	20,3	19	20	23	4	19	20	22	3	5	3	stationnaire	
4	Goyave	20	G062A	4cm < ep <= 10cm	20,7	19,6	19,4	18,6	19,1	19,3	19,3		20,7	21,1	22,7	19,9	19	20	23	4	19	20	22	3	6	3	stationnaire	
4	Petit Bourg	147	G070D	4cm < ep <= 10cm	18,9	18,3	16,5	17,4	17,5	17,9	18,1	18,9	18,6	19,0	19,6	18,5	17	18	20	3	17	18	19	2	1	2	stationnaire	
4	Petit Bourg	50	G089B	10cm < ep <= 16cm	16,6	16,7	15,4	15,6	16,3	15,9	15,3	17,3	16,8	17,4	16,3	17,3	15	16	17	2	16	16	17	1	0	2	stationnaire	
4	Petit Bourg	215	G090A	10cm < ep <= 16cm	19,1	18,0	19,3	18,3	19,3	19,1	18,9	19,9	19,6	19,4	18,9	18,1	18	19	20	2	18	19	20	1	2	2	stationnaire	
4	Petit Bourg	215	G090B	10cm < ep <= 16cm	19,0	18,4	18,8	16,3	19,2	19,6	18,4	19,9	18,7	18,9	19,3	17,8	16	19	20	4	18	19	19	1	2	2	stationnaire	
5b	Gourbeyre	536	G013B	4cm < ep <= 10cm	18,9	19,0	18,0	17,8	18,2	19,0	19,1	18,8	20,0	19,0	18,9	19,5	18	19	20	2	18	19	19	1	2	2	stationnaire	



5b	Saint Claude	484	G042B	4cm < ep <= 10cm	15,2	14,0	14,3	14,8	14,3	14,5	13,9	15,3	17,8	15,1	16,3	15,0	14	15	18	4	14	15	16	2	0	2	stationnaire	
5b	Trois Rivières	9	G049A	10cm < ep <= 16cm	17,8	17,2	17,8	16,5	16,9	16,9	17,4	17,0	17,7	18,3	18,2	18,0	17	17	18	2	17	17	18	1	0	2	stationnaire	
6	Deshaies	112	G067B	4cm < ep <= 10cm	17,0	17,9	18,3	17,2	17,7	18,2	18,0	17,6	18,3	16,9	19,1	18,4	17	18	19	2	18	18	18	1	0	2	stationnaire	
6	Pointe Noire	22	G076A	4cm < ep <= 10cm	17,4	16,8	17,5	16,8	17,1	16,5	17,6	17,6	17,5	17,6	17,2	16,3	17	17	18	1	17	17	18	1	0	2	stationnaire	
6	Pointe Noire	22	G076B	4cm < ep <= 10cm	12,6	13,2	12,7	12,1	12,6	12,6	11,8	12,2	13,3	12,2	12,7	12,3	12	13	13	2	12	13	13	1	0	2	stationnaire	
7	Vieux Habitants	80	G027B	4cm < ep <= 10cm	16,0	15,8	17,0	16,7	16,0	16,0	15,7	17,2	16,4	18,3	16,3	16	16	18	3	16	17	17	1	0	2	stationnaire		
7	Basse Terre	10	G083B	10cm < ep <= 16cm	11,4	11,6	11,5	11,6	11,6	14,3	10,9	10,7	11,9	10,1	18,1	11,8	11	12	18	7	11	12	14	3	0	2	perturbé	
7	Vieux Habitants	19	G087B	4cm < ep <= 10cm	13,1	12,6	12,2	12,6	13,1	12,4	11,3	12,4	14,5	12,3	13,0	12,4	11	13	15	3	12	13	13	1	0	2	stationnaire	
MG	Saint Louis	25	G020D	4cm < ep <= 10cm	20,6	19,7	19,8	19,4	19,7	19,7	20,4	20,1	19,0	20,9	19,9	19	20	21	2	20	20	20	1	9	3	stationnaire		
MG	Grand Bourg	2	G022A	10cm < ep <= 16cm	12,1	12,6	12,9	13,6	13,3	13,8	13,7	13,8	14,8	13,4	13,7	12	13	15	3	13	13	14	2	0	2	stationnaire		
MG	Saint Louis	2	G023A	4cm < ep <= 10cm	16,0	15,6	14,8	15,1	14,7	15,5	15,6	16,6	16,6	16,8	16,2	15	16	17	2	15	16	17	2	0	2	stationnaire		
MG	Capesterre	6	G064A	10cm < ep <= 16cm	23,1	21,8	19,8	20,2	21,9	22,6	24,4	24,2	24,3	19,9	23,3	20	22	24	5	21	22	24	4	11	3	perturbé		

8.3 ANNEXE 3 : Etape 4 -Tableau Résultats H % Bois Résineux mesures sur sites Martinique

ZMF	Eléments Résineux Sites MARTINIQUE				Teneur en eau du bois H _{bois} (%)										Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION				
	Ville	Alt (l)	Éléme nt	Massivité Ep(cm)	janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb> = 20%	Classe de service conseill ée	Régime	Commentaires
P1	Le Lorrain	50	M017B	4cm < ep <= 10cm	17,1	16	16,1	15,4	16	16,8	16,7	16,8	17,1	16,6	17,2	17	15,4	16,6	17,2	2	15,8	16,6	17,1	1	0	2	stationnaire	
P1	La Trinité	20	M058B	4cm < ep <= 10cm		17,9	17,9	17,6	17,8	17,3	17,8	17,3	17,4	17,9	17,9		17,3	17,7	17,9	1	17,5	17,7	17,9	0	0	2	stationnaire	
P2	Bellefontaine	30	M004B	ep <= 4cm	15,3	15,3	14,9	14,2	13,9	14,1	14	13,7	15,4	14,9	14,7	14,7	13,7	14,6	15,4	2	13,9	14,6	15,2	1	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
P2	Bellefontaine	30	M004C	4cm < ep <= 10cm	12,8	12,9	12,2	12,3	12,2	12,4	12,1	11,6	14,3	13,2	13,6	12,4	11,6	12,7	14,3	3	12,0	12,7	13,7	2	0	2	stationnaire	
P2	Saint-Pierre	70	M063A	4cm < ep <= 10cm		15,3	14,5	14,6	11,8	15,3	14,8	17,3	17,6	17,3	17,5		11,8	15,6	17,6	6	13,6	15,7	17,5	4	0	2	perturbé	
P2	Saint-Pierre	70	M063B	4cm < ep <= 10cm		14,8	14,3	13,9	12	14,1	14,8	17,5	17,5	17,6	17,3		12,0	15,4	17,6	6	13,3	15,5	17,5	4	0	2	perturbé	
P3	Le Lamentin	6	M019D	4cm < ep <= 10cm	14,9	14,5	14,9	15,1	15,1	14,8 5	14,5	14,7	16,4	14,6	14,3	14,4	14,5	14,9	16,4	2	14,4	14,9	15,2	1	0	2	stationnaire	
P3	Les Trois-îlets	0	M021A	10cm < ep <= 16cm	17,6	16,6	16,5	17,3	17,4	17,1	16,4	17,1	16,9	17,4	18,8	17,2	16,4	17,2	18,8	2	16,8	17,2	17,9	1	0	2	stationnaire	
P3	Les Trois-îlets	0	M022B	4cm < ep <= 10cm	20,4	19,9	18,2	18,4	18	17,6 5	17,6	18,4	18,5	19	20	19,9	17,6	18,8	20,4	3	17,8	18,8	20,1	2	4	3	stationnaire	proximité immédiate de la mer
P3	Les Trois-îlets	10	M027B	4cm < ep <= 10cm	15,4	15,9	14,8	14,8	15,2	15,3	14,4	15,1	15,1	15,5	15,4	14,9	14,4	15,2	15,9	2	14,9	15,2	15,4	1	0	2	stationnaire	
P3	Le Lamentin	10	M039D	4cm < ep <= 10cm	14,8	14,8	13,3	14,8	14,9	14,6	14,8	14,9	15,1	15,6	14,8	15	13,3	14,8	15,6	2	14,3	14,8	15,2	1	0	2	stationnaire	
P3	Le Lamentin	5	M059C	4cm < ep <= 10cm		17,1	16,8	16,9	17	17,5	17,8	16,8	16,7	17,7	17,9		16,8	17,2	17,9	1	16,9	17,3	17,9	1	0	2	stationnaire	



P3	Saint-Esprit	60	M060B	4cm < ep <= 10cm		17,2	17,9	17,8	17,9	17,6	17,9	17,2	17,9	18,3	18,3		17,2	17,8	18,3	1	17,2	17,8	18,3	1	0	2	stationnaire	
P4	Le Robert	50	M037B	4cm < ep <= 10cm	15,6	13,9	14,5	14,4	14,1	13,9	13,2	15,1	14,6	13,9	14,6	13,9	13,2	14,3	15,6	2	13,7	14,3	14,7	1	0	2	stationnaire	
P4	Le François	0	M042B	4cm < ep <= 10cm	13,4	13,3	14,1	14,1	14	14,1	13,8	15,1	14,7	13,6	13,9	13,3	13,3	14,0	15,1	2	13,3	14,0	14,5	1	0	2	stationnaire	
PP1	Sainte-Luce	10	M024B	4cm < ep <= 10cm	15,6	14,2	15,6	15,6	15,5	16,4	15,1	15,4	15,8	16,6	16,9	15,3	14,2	15,7	16,9	3	15,0	15,7	16,4	1	0	2	stationnaire	
PP1	Bellefontaine	0	M033B	4cm < ep <= 10cm	12,6	11,9	11,9	12,3	11,9	11,7	11,4	11,3	13,8	13,4	13,2	12,4	11,3	12,3	13,8	3	11,5	12,3	13,5	2	0	2	stationnaire	
PP1	Le Prêcheur	20	M045B	4cm < ep <= 10cm	19,1	18,6	18,5	17,9	17,6	16,9	17,8	18	19	18,9	19	18,9	16,9	18,4	19,1	2	17,4	18,4	19,0	2	1	2	stationnaire	
PP1	Le Vaucelin	0	M049B	16cm < ep	15,2	14,1	15,6	15,2	15,5	15,6	16,6	14,7	14,1	14,4	14,5	15,3	14,1	15,1	16,6	3	14,3	15,1	15,9	2	0	2	stationnaire	
PP1	Le François	31	M052B	4cm < ep <= 10cm	15,1	14,8	15,4	15,6	15,3	15,7	16,5	14,6	14,8	14,1	14,6	14,7	14,6	15,1	16,5	2	14,5	15,1	15,8	1	0	2	stationnaire	
PP1	Sainte-Anne	20	M057B	4cm < ep <= 10cm		12,5	13,1	12,7	13	13,7	14,2	15,8	14,4	15,9	15,9		12,5	14,1	15,9	3	12,5	14,1	15,9	3	0	2	stationnaire	
PP1	Le François	20	M061B	4cm < ep <= 10cm		15,9	16,6	16,6	17,3	16,5	17,7	17,6	16,9	17,6	17,7		15,9	17,0	17,7	2	15,9	17,0	17,7	2	0	2	stationnaire	
PP1	Le Prêcheur	0	M065B	4cm < ep <= 10cm		18,6	18,1	18,1	17,2	17,3	17,6	17,1	18	18,6	19,1		17,1	18,0	19,1	2	17,3	18,1	19,1	2	1	2	stationnaire	
PP2	La Trinité	40	M056C	4cm < ep <= 10cm	14,6	13,1	13,7	13,4	14,9	15,6	15,1	13,8	14,2	15,1	14,9	14,5	13,1	14,4	15,6	3	13,4	14,4	15,2	2	0	2	stationnaire	
TP1	Le Morne-Rouge	838	M055C	10cm < ep <= 16cm	41	40,3	42,5	37,3	37,4	41,6	37,3	42,2	37,9	33,9	36,9	37	37,3	38,8	42,5	5	35,9	38,8	41,3	5	12	3	perturbé	
TP2	Schoelcher	20	M000A	ep <= 4cm	18,4	17,5	16,5	17,6	16,8	17,6	17,9	17,7	18,3	17,2	18,4	18,1	16,5	17,8	19,4	3	17,0	17,8	18,6	2	1	2	stationnaire	fermettes
TP2	Schoelcher	20	M000C	4cm < ep <= 10cm	15	13,7	12,5	13,7	13,1	14,4	14,4	13,8	15,0	14,4	14,8	14,7	12,5	14,2	15,3	3	13,1	14,2	14,9	2	0	2	stationnaire	
TP2	Saint-Pierre	310	M002C	4cm < ep <= 10cm	17,8	17,6	16,6	17,8	17,9		17,1	16,9	17	17,6	16,9	17,3	16,6	17,3	17,9	1	17,0	17,3	17,9	1	0	2	stationnaire	



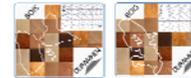
TP2	Fort-de-France	410	M016B	4cm < ep <= 10cm	16,3	15,9	17	16,6	16,8	15,7	17,9	14,1	16	14,1	14,2	14,9	14,1	15,8	17,9	4	14,4	15,8	16,8	2	0	2	stationnaire	
TP2	Basse-Pointe	220	M034C	4cm < ep <= 10cm	19,9	19,2	19,4	19	19,3	19,4	19,4	19,1	19,6	19,6	19,6	19,6	19,0	19,4	19,9	1	19,2	19,4	19,7	1	11	3	stationnaire	
TP2	Le Lorrain	201	M044B	4cm < ep <= 10cm	18,5	17,7	17,9	17,8	18	18,5	19,5	19,8	18,1	18,8	18,1	18,4	17,7	18,4	19,8	2	17,8	18,4	19,3	1	2	2	stationnaire	
TP2	Fond Saint-Denis	340	M066A	10cm < ep <= 16cm	18,3	18,8	18,6	18,6	18,8	19,1	19,3	19,1	18,5	19,1	19,8		18,6	19,0	19,8	1	18,7	19,0	19,8	1	5	3	stationnaire	
TP2	Saint-Joseph	240	M068A	4cm < ep <= 10cm		19,7	19,5	20,1	20,3	19,3	20,8	19,3	19,5	19,8	19,9		19,3	19,8	20,8	2	19,5	19,8	20,1	1	10	3	stationnaire	

BOIS-DURAM



8.4 ANNEXE 4 : Etape 5-Tableau Résultats H % Bois feuillus mesures sur sites Guadeloupe

Éléments Feuillus Sites GUADELOUPE					Teneur en eau du bois H _{bois} (%)										Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION				
ZMF	Ville	Alt ()	Éléme nt	Massivité Ep(cm)	janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecar t ΔH	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecar t ΔH	Nb> = 20%	Classe de service	Régime	Commentaires
1	Petit Canal	31.0	G029B	"4cm<ep<10cm"	13,9	13,6	13,7	13,4	13,4	13,3	13,9	13,5	13,6	13,7	13,7	14,0	13,3	13,6	14,0	0,7	13,4	13,6	13,9	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur
1	Port Louis	28	G036B	"4cm<ep<10cm"	14,6	14,6	14,5	14,5	14,4	14,4	14,7	14,5	14,6	14,4	14,6	14,6	14,4	14,5	14,7	0,3	14,4	14,5	14,6	0,2	0	2	stationnaire	Abri voyageur
1	Anse Bertrand	12	G037B	"4cm<ep<10cm"	14,2	13,9	13,8	13,6	13,8	13,6	13,8	13,6	14,0	14,1	14,2	14,3	13,6	13,9	14,3	0,7	13,7	13,9	14,2	0,6	0	2	stationnaire	Abri voyageur
1	Anse Bertrand	28	G110C	"4cm<ep<10cm"	16,1	16,1	15,7	15,4	16,3	15,5	15,2	15,9	15,8	15,9	17,0	16,1	15,2	15,9	17,0	1,8	15,5	15,9	16,4	0,9	0	2	stationnaire	
2	Sainte Anne	42.0	G000F	"4cm<ep<10cm"	16,1	15,7	15,4	15,4	15,0	18,1	16,9	16,5	16,7	16,6	16,4	16,1	15,0	16,2	18,1	3,1	15,3	16,2	17,2	1,9	0	2	stationnaire	
2	Sainte Anne	42.0	G000K	10cm <ep≤16cm	16,5	17,2	15,6	15,8	16,0	16,3	16,7	16,8	16,4	17,6	15,4	15,6	16,4	17,6	2,0	15,8	16,4	17,0	1,2	0	2	stationnaire		
2	Moule	9.0	G025B	"10cm<ep<16cm"	13,6	13,55	13,1	13,4	13,9	13,6	13,6	13,4	14,6	14,2	13,8	13,4	13,1	13,7	14,6	1,5	13,4	13,7	14,2	0,8	0		stationnaire	Abri voyageur
2	Sainte Anne	29.0	G046A	"4cm<ep<10cm"	14,7	13,8	13,7	13,7	14,2	13,8	13,2	14,0	14,2	13,4	14,1	14,3	13,2	13,9	14,7	1,5	13,7	13,9	14,4	0,7	0	2	stationnaire	
2	Saint François	32.0	G053B	"4cm<ep<10cm"	15,1	14,3	14,6	14,4	14,4	14,1	13,9	14,4	14,7	14,9	14,0	14,8	13,9	14,5	15,1	1,2	14,1	14,5	14,7	0,6	0	2	stationnaire	Abri voyageur
2	Saint François	0.0	G071B	"4cm<ep<10cm"	16,5	15,0	15,8	14,9	15,1	15,4	15,4	18,5	15,3	15,6	15,5	15,6	14,9	15,7	18,5	3,6	15,1	15,7	16,5	1,3	0	2	stationnaire	
2	Moule	38.0	G085B	"10cm<ep<16cm"	13,6	13,2	13,3	13,1	13,5	13,4	13,6	13,4	14,0	14,2	13,8	13,6	13,1	13,6	14,2	1,1	13,2	13,6	14,0	0,8	0	2	stationnaire	Abri voyageur
2	Morne à l'eau	44	G101B	"4cm<ep<10cm"	14,4	13,6	13,4	13,5	13,7	13,5	13,9	13,8	14,2	14,1	14,3	13,9	13,4	13,9	14,4	1,0	13,5	13,9	14,2	0,7	0	2	stationnaire	Abri voyageur
2	Morne à l'eau	24	G106B	"4cm<ep<10cm"	12,8	12,4	12,3	12,3	12,5	12,3	12,5	12,4	12,6	12,7	12,7	12,8	12,3	12,5	12,8	0,5	12,3	12,5	12,8	0,4	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3a	Abymes	54.0	G003A	"4cm<ep<10cm"	15,3	15,1	15,1	15,1	15,3	14,9	16,1	15,6	15,7	15,5	15,9	15,3	14,9	15,4	16,1	1,2	15,1	15,4	15,8	0,7	0	2	stationnaire	Abri voyageur



3a	Sainte Anne	114.0	G073B	"10cm<ep<16cm"	14,0	13,4	13,4	13,6	13,3	13,6	13,1	13,1	13,5	13,3	13,0	13,9	13,1	13,4	14,0	0,9	13,2	13,4	13,7	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3a	Abymes	29	G092B	"4cm<ep<10cm"	16,5	15,6	13,9	15,8	16,3	15,8	14,7	15,1	15,4	15,4	15,5	16,1	13,9	15,5	16,5	2,6	15,1	15,5	16,1	1,0	0	2	stationnaire	
3a	Abymes	23	G093A	"4cm<ep<10cm"	15,8	14,8	14,6	15,1	14,9	14,7	15,4	16,2	16,7	16,4	16,3	15,8	14,6	15,6	16,7	2,1	14,8	15,6	16,5	1,6	0	2	stationnaire	
3a	Gosier	34	G095A	"4cm<ep<10cm"	14,1	13,9	13,7	14,0	14,1	14,0	13,7	14,1	14,0	14,1	13,9	14,0	13,7	14,0	14,1	0,4	13,9	14,0	14,1	0,2	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3a	Gosier	33	G097A	"4cm<ep<10cm"	16,5	16,3	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	16,2	16,1	16,0	16,4	15,6	16,1	16,5	0,9	15,9	16,1	16,4	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3a	Gosier	40	G098A	"4cm<ep<10cm"	16,4	16,1	15,8	15,7	15,9	15,7	15,6	15,7	15,9	15,9	16,0	16,3	15,6	15,9	16,4	0,8	15,7	15,9	16,3	0,6	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3a	Gosier	40	G098B	"4cm<ep<10cm"	16,8	16,5	16,1	15,9	16,0	15,7	15,7	16,0	15,8	15,8	16,0	16,8	15,7	16,1	16,8	1,1	15,8	16,1	16,7	0,9	0	2	stationnaire	
3a	Gosier	96	G099B	"4cm<ep<10cm"	14,7	14,8	14,9	14,6	14,6	14,4	14,3	14,5	14,4	14,3	14,4	14,9	14,3	14,6	14,9	0,6	14,4	14,6	14,8	0,4	0	2	stationnaire	
3a	Abymes	19	G103B	"4cm<ep<10cm"	13,7	13,7	13,5	13,3	13,3	13,2	14,4	14,4	14,6	14,5	14,3	14,1	13,2	13,9	14,6	1,5	13,3	13,9	14,5	1,3	0	2	stationnaire	
3a	Abymes	17	G104B	"4cm<ep<10cm"	14,3	14,0	13,8	13,8	14,3	13,8	13,8	14,0	14,1	14,2	14,1	14,3	13,8	14,0	14,3	0,5	13,9	14,0	14,2	0,4	0	2	stationnaire	
3a	Gosier	109	G108B	"4cm<ep<10cm"	15,1	14,9	14,6	14,6	14,4	14,5	14,4	13,9	14,6	14,6	14,5	15,4	13,9	14,6	15,4	1,5	14,3	14,6	15,1	0,9	0	2	stationnaire	
3b	Sainte Rose	145.0	G069B	"4cm<ep<10cm"	14,6	14,6	14,7	14,4	14,8	14,8	15,1	15,2	15,2	15,0	15,0	14,6	14,4	14,8	15,2	0,8	14,6	14,8	15,2	0,6	0	2	stationnaire	Abri voyageur
3b	Lamentin	20.0	G075B	"4cm<ep<10cm"	15,0	14,2	13,6	13,3	13,9	13,6	13,4	13,8	15,0	13,8	13,8	13,7	13,3	13,9	15,0	1,7	13,6	13,9	14,3	0,7	0	2	stationnaire	Abri voyageur
4	Petit Bourg	8.0	G009A	4cm < ep <= 10cm	13,3					13,0	13,7	13,1	12,9	13,3	14,0	13,1	13,0	13,3	14,0	1,0	13,0	13,3	13,5	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur
4	Petit Bourg	84.0	G014A	4cm < ep <= 10cm	13,5					13,5	13,4	13,6	13,5	13,6	14,1	13,7	13,4	13,6	14,1	0,7	13,5	13,6	13,8	0,4	0	2	stationnaire	Abri voyageur
4	Petit Bourg	176.0	G028A	4cm < ep <= 10cm	13,7					13,6	13,8	13,8	13,6	13,9	14,3	13,8	13,6	13,8	14,3	0,7	13,6	13,8	14,0	0,4	0	2	stationnaire	
4	Petit Bourg	510.0	G030B	"4cm<ep<10cm"	22,3	21,1	21,3	21,9	21,8	21,1	20,0	23,6	23,6	21,3	22,8	23,3	20,0	22,0	23,6	3,6	21,0	22,0	22,8	1,9	12	3	stationnaire	
4	Petit Bourg	247.0	G072B	"4cm<ep<10cm"	18,7	17,5	17,5	17,1	17,5	17,5	17,9	19,1	18,8	18,0	18,3	18,2	17,1	18,0	19,1	2,0	17,4	18,0	18,6	1,3	0	2	stationnaire	Abri voyageur



5a	Capesterre Be	576.0	G006B	"4cm<ep<10cm"	27,7	28,0	28,3	27,3	28,4	26,5	26,1	26,8		24,7		26,4	26,1	27,0	28,4	2,3	24,7	26,8	28,0	3,3	10	3	stationnaire	
6	Deshaies	7.0	G010B	"4cm<ep<10cm"	18,6	18,1	17,4	17,3	17,9	17,9	18,1	18,6	18,2	18,5	18,6	18,4	17,3	18,1	18,6	1,3	17,5	18,1	18,5	1,0	0	2	stationnaire	
6	Deshaies	112.0	G011B	"10cm<ep<16cm"	16,4	16,4	18,9	15,8	16,1	16,5	17,1	17,3	17,2	16,5	16,2	16,4	15,8	16,7	18,9	3,1	16,1	16,7	17,2	1,1	0	2	stationnaire	
6	Pointe Noire	6.0	G035B	"4cm<ep<10cm"	13,8	13,6	13,8	13,4	13,4	13,5	13,4	13,4	13,9	13,6	13,4	13,8	13,4	13,6	13,9	0,5	13,4	13,6	13,7	0,3	0	2	stationnaire	Abri voyageur
6	Deshaies	44	G047A	"10cm<ep<16cm"	17,3	16,9	17,1	16,7	16,9	16,7	16,4	16,6	17,4	17,2	16,9	16,9	16,4	16,9	17,4	1,0	16,6	16,9	17,2	0,6	0	2	stationnaire	
6	Deshaies	183.0	G068B	"4cm<ep<10cm"	14,4	14,3	14,4	14,3	14,3	14,4	14,6	14,8	14,8	14,9	14,5	14,6	14,3	14,5	14,9	0,6	14,3	14,5	14,8	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur
7	Vieux Habitants	80	G027C	"10cm<ep<16cm"	13,4	13,4	13,3	13,1	13,4	13,1	13,1	13,3	13,3	13,3	13,1	13,4	13,1	13,3	13,4	0,4	13,2	13,3	13,4	0,3	0	2	stationnaire	
MG	Saint Louis	25.0	G020A	"10cm<ep<16cm"	17,6	17,0	16,6	17,0	15,8	16,9	17,4	16,9	17,4	17,6	17,1		15,8	17,0	17,6	1,8	16,5	17,1	17,5	1,0	0	2	stationnaire	
MG	Saint Louis	25.0	G020B	"4cm<ep<10cm"	13,3	12,8	12,6	12,6	12,9	13,1	13,3	13,3	12,7	13,4	12,8		12,6	13,0	13,4	0,8	12,7	13,0	13,2	0,6	0	2	stationnaire	
MG	Grand Bourg	4.0	G063B	"4cm<ep<10cm"	24,8	21,4	22,0	22,4	22,8	22,4	21,6	22,9		22,4	25,4		21,4	22,8	25,4	4,1	21,9	22,9	25,1	3,2	10	3	perturbé	
MG	Saint Louis	1.0	G065B	"4cm<ep<10cm"	14,8	14,8	14,6	14,4	14,7	14,8	14,6	14,2	14,0	14,4	14,1		14,2	14,5	14,8	0,6	14,2	14,5	14,7	0,5	0	2	stationnaire	Abri voyageur

8.5 ANNEXE 5 : Etape 5-Tableau Résultats H % Bois feuillus mesures sur sites Martinique

Éléments Feuillus Sites MARTINIQUE					Teneur en eau du bois H _{bois} (%)										Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION				
ZMF	Ville	Alt ()	Éléme nt	Massivité Ep(cm)	janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb> = 20%	Classe de service	Régime	Commentaires
P1	Basse-Pointe	60	M008B	4cm < ep <= 10cm	18,1	17,3	18,1	17,6	17,7	17,2	17,4	17,9	17,4	17,9	18	18,2	17,2	17,7	18,2	1	17,4	17,7	18,1	1	0	2	stationnaire	
P1	Le Lorrain	60	M009B	ep <= 4cm	15,5	14,8	15,3	14,9	14,8	14,9	14,8	15,4	15,3	15,3	15,1	15,8	14,8	15,2	15,8	1	14,8	15,2	15,5	1	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
P1	Sainte-Marie	10	M014B	ep <= 4cm	18,9	18	19	18,1	17,8	17,8	18	18,6	18,6	18,8	19	19,4	17,8	18,5	19,4	2	17,9	18,5	19,1	1	1	2	stationnaire	Abri Voyageur
P1	La Trinité	66	M053B	ep <= 4cm	14,3	14,1	14,3	14	14,5	14,3	14,5	14	14,0 5	14,1	14,3	14,3	14,0	14,2	14,5	1	14,1	14,2	14,4	0	0	2	stationnaire	Carbet
P2	Case-Pilote	80	M001A	ep <= 4cm	14,6	13,5	13,8	13,9	13,5 5	13,6	13,8	13,4	14	13,8	14,1	14,1	13,4	13,8	14,6	1	13,6	13,8	14,3	1	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
P2	Case-Pilote	80	M001B	4cm < ep <= 10cm	13,8	12,3	12,3	12,9	12,6 5	13	13,1	12,6	13,5	13,3	13,2	13,2	12,3	13,0	13,8	2	12,5	13,0	13,4	1	0	2	stationnaire	
P2	Bellefontaine	0	M003B	4cm < ep <= 10cm	14,9	15,3	13,8	14	13,5	13,4	14,3	13,6	14,6	14,6	14	13,8	13,4	14,2	15,3	2	13,6	14,2	14,7	1	0	2	stationnaire	
P2	Saint-Pierre	0	M051B	4cm < ep <= 10cm	14,3	14,1	13,9	13,9	13,9	13,9	14,4	13,8 5	13,7	14	14	14	13,9	14,0	14,4	1	13,9	14,0	14,1	0	0	2	stationnaire	
P2	Saint-Pierre	240	M069A	4cm < ep <= 10cm	13,5			13,5	13,2	13,4	13,7	13,3	13,4	13,8	15,3		13,2	13,7	15,3	2	13,4	13,8	15,3	2	0	2	stationnaire	
P2	Saint-Pierre	240	M069B	4cm < ep <= 10cm	12,5			12,6	12,5	12,6	12,9	13,1	12,7	12,7	13,9		12,5	12,9	13,9	1	12,6	12,9	13,9	1	0	2	stationnaire	
P3	Sainte-Luce	140	M015B	4cm < ep <= 10cm	13,9	13,6	13,9	13,9	13,9	13,3	12,9	13,4	13,4	13,3	13,3	13,5	12,9	13,5	13,9	1	13,2	13,5	13,9	1	0	2	stationnaire	
P3	Les Trois-Îlets	0	M021C	4cm < ep <= 10cm	16,2	16	16,1	16,4	16,3	16,1	15,5	15,7	15,6	15,9	16,6	16,1	15,5	16,0	16,6	1	15,6	16,0	16,3	1	0	2	stationnaire	
P3	Les Anses d'Arlets	80	M028B	ep <= 4cm	14,6	14,1	14,2	14,3	14,3	14,1	13,9	14,3	14,3	14,3	14,6	14,4	13,9	14,3	14,6	1	14,1	14,3	14,5	0	0	2	stationnaire	Abri Voyageur



P3	Les Anses d'Arlets	190	M030B	4cm < ep <= 10cm	16,7	16	15,8	16,2	15,9	16	16,1	16,5	15,8	16,2	16,6	16,3	15,8	16,2	16,7	1	16,0	16,2	16,5	1	0	2	stationnaire	
P3	Le Diamant	190	M031B	ep <= 4cm	14,4	14,2	14,6	14,7	14,6	14,2	14,4	14,4	14,4	14,4	14,6	14,4	14,2	14,5	14,7	1	14,3	14,5	14,6	0	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
P4	Le Robert	50	M038B	ep <= 4cm	15,3	14,3	14,7	14,6	14,8	14,7	14,3	15,2	14,9	15,3	15	15	14,3	14,8	15,3	1	14,5	14,8	15,1	1	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
P4	Le François	35	M048B	10cm < ep <= 16cm	15,8	15,6	16,1	15,8	15,8	15,7	15,9	15,8	15,8	15,8	16,1	15,8	15,6	15,8	16,1	1	15,7	15,8	15,9	0	0	2	stationnaire	
PP1	Le Carbet	10	M005B	4cm < ep <= 10cm	13,3	13,4	13,6	13,1	12,5	12,3	12,4	12,1	12,7	12,6	13,1	13,3	12,1	12,9	13,6	2	12,3	12,9	13,4	1	0	2	stationnaire	
PP1	Le Carbet	10	M006B	4cm < ep <= 10cm	16,5	14,6	16,1	15,8	15,6	15,3	15,6	15,4	16,4	16,1	15,8	15,8	14,6	15,8	16,5	2	15,4	15,8	16,1	1	0	2	stationnaire	
PP1	Le Carbet	10	M006C	4cm < ep <= 10cm	15,6	14,2	14,2	13,8	13,6	13,7	13,7	13,8	15,3	14,6	14,1	13,9	13,6	14,2	15,6	2	13,7	14,2	14,7	1	0	2	stationnaire	
PP1	Sainte-Luce	40	M023B	10cm < ep <= 16cm	14,6	13,9	14,2	14,2	14,4	14,4	13,9	14,1	14,1	14,2	14,5	14,2	13,9	14,2	14,6	1	14,0	14,2	14,4	0	0	2	stationnaire	
PP1	Rivière Pilote	40	M025B	4cm < ep <= 10cm	12,8	12,6	12,7	12,9	13	12,9	12,6	12,7	12,7	12,8	12,6	12,7	12,6	12,8	13,0	0	12,7	12,8	13,0	0	0	2	stationnaire	
PP1	Le Marin	0	M026B	10cm < ep <= 16cm	16,6	16,3	14,9	14,9	15,2	15,8	16,3	16,5	16,4	16,6	16,7	16,7	14,9	16,1	16,7	2	15,0	16,1	16,7	2	0	2	stationnaire	
PP1	Les Anses d'Arlets	50	M029B	4cm < ep <= 10cm	11,9	11,7	11,9	12,1	12,1	12,6	12,1	12,2	12,2	11,9	12,3	11,9	11,7	12,1	12,6	1	11,8	12,1	12,3	0	0	2	stationnaire	
PP1	Les Anses d'Arlets	50	M029C	4cm < ep <= 10cm	12,4	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,3	12,4	12,3	12,2	12,4	12,3	12,3	12,4	12,6	0	12,3	12,4	12,5	0	0	2	stationnaire	
PP1	Le Diamant	120	M032B	ep <= 4cm	15,3	14,4	14,2	14,5	14,3	14,4	14,2	14,5	14,8	14,8	15,6	15,1	14,2	14,7	15,6	1	14,3	14,7	15,3	1	0	2	stationnaire	Abri Voyageur
PP1	Sainte-Anne	20	M050B	4cm < ep <= 10cm	13	12,7	13,2	12,8	13,1	13,1	13,5	12,8	12,9	12,8	13	13,1	12,7	13,0	13,5	1	12,8	13,0	13,2	0	0	2	stationnaire	
PP2	La Trinité	40	M056B	4cm < ep <= 10cm	13,9	13,7	14	13,9	14,4	14,4	14,4	13,9	13,9	14	14	13,9	13,7	14,0	14,4	1	13,8	14,0	14,4	1	0	2	stationnaire	
TP1	Ajoupa-Bouillon	790	M054B	4cm < ep <= 10cm	26	26,4	25,9	26	25,8	27,1	25,8	27,3	25,5	24,7	24,9	25,8	25,8	25,9	27,3	2	25,0	25,9	26,7	2	12	3	stationnaire	
TP2	Schoelcher	20	M000D	10cm < ep <=	15,7	15,7	15,7	16,1	15,8	15,7	15,8	15,4	15,8	15,7	16,1	15,8	15,4	15,8	16,1	1	15,6	15,8	15,9	0	0	2	stationnaire	



8.6 ANNEXE 6 : Tableau Résultats H % Bois résineux abrités intérieurs mesures sur sites Guadeloupe

Éléments Sites intérieurs Feuillus et Résineux -GUADELOUPE						Teneur en eau du bois Hbois (%)												Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION classe de service conseillée		
ZMF	Essence	Ville	Alt ()	Élément	Massivité Ep(cm)	janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Hmin (%)	Hmoy (%)	Hmax (%)	Ecart ΔH	Nb>= 20%	Régime	Commentaires	
2	Résineux BM	Sainte Anne	42.0	G000A	4cm < ep <= 10cm	13,7	13,7	13,7	13,1	13,3	13,6	13,8	13,8	14,0	13,8	14,0	13,7	13,1	13,7	14,0	0,9	13,3	13,7	13,9	0,6	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Sainte Anne	42.0	G000B	4cm < ep <= 10cm	15,2	14,8	14,1	14,3	14,3	14,6	14,0	14,3	15,0	14,3	15,0	15,5	14,0	14,6	15,5	1,5	14,2	14,6	15,2	1,0	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Saint François	36.0	G040A	10cm < ep <= 16cm	13,6	13,3	12,6	12,8	13,8	13,5	14,6	14,0	14,3	14,7	14,0	13,8	12,6	13,7	14,7	2,1	12,9	13,7	14,3	1,4	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Saint François	36.0	G040B	10cm < ep <= 16cm	14,2	12,9	13,8	14,1	14,3	14,2	13,1	14,5	14,3	15,3	14,8	14,8	12,9	14,2	15,3	2,4	13,6	14,2	15,0	1,4	0	2	stationnaire	
2	Résineux LC	Saint François	1.0	G054A	4cm < ep <= 10cm	18,2	15,3	15,5	16,3	17,8	16,1	16,0	17,5	15,6	17,6	15,6	17,9	15,3	16,6	18,2	3,0	15,7	16,6	17,2	1,6	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	5.0	G001A	10cm < ep <= 16cm	16,9	16,0	16,1	16,7	16,6	16,3	17,3	16,9	16,6	17,7	17,9		16,0	16,8	17,9	2,0	16,2	16,8	17,8	1,6	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	5.0	G001B	10cm < ep <= 16cm	18,5	17,2	17,9	17,5	17,6	17,6	18,2	17,9	17,9	18,2	18,7		17,2	17,9	18,7	1,6	17,5	18,0	18,6	1,1	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	13.0	G002A	10cm < ep <= 16cm	16,9	15,3	14,8	15,4	14,5	14,9	15,2	15,8	16,4	15,9	16,4	14,2	14,5	15,5	16,9	2,4	14,9	15,5	16,2	1,4	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Abymes	13.0	G002B	4cm < ep <= 10cm	15,1	14,1	14,6	14,3	14,0	14,1	14,0	15,0	13,8	13,1	15,3	14,1	14,0	14,3	15,3	1,3	14,0	14,3	14,8	0,9	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	17.0	G012A	10cm < ep <= 16cm	14,8	15,2	15,3	15,3	15,8	15,7	15,2	16,1	16,4	15,6	16,2	16,4	14,8	15,7	16,4	1,6	15,1	15,7	16,1	1,0	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	17.0	G012C	10cm < ep <= 16cm	15,1	15,3	15,1	15,3	15,0	15,1	15,1	15,3	15,7	15,3	16,2	16,0	15,0	15,4	16,2	1,2	15,1	15,4	15,8	0,8	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	17.0	G012E	10cm < ep <= 16cm	15,8	15,2	14,9	14,7	14,0	14,3	15,3	14,7	13,8	17,8	17,2	16,3	14,0	15,3	17,8	3,8	14,3	15,3	17,1	2,8	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	17.0	G012G	4cm < ep <= 10cm	14,4	15,5	14,4	14,8	14,8	14,8	14,5	15,1	15,3	16,1	16,2	15,6	14,4	15,1	16,2	1,8	14,7	15,1	16,0	1,3	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	PAP	8.0	G026A	ep <= 4cm	11,6	10,7	10,6	10,5	10,3	9,9	10,3	10,6	11,4	10,7	11,2	13,1	9,9	10,9	13,1	3,2	10,2	10,9	12,0	1,8	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	PAP	8.0	G026B	ep <= 4cm	11,8	13,3	12,1	12,2	10,7	10,4	10,6	11,1	11,5	10,8	13,5	12,6	10,4	11,7	13,5	3,1	10,6	11,7	12,6	2,1	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	PAP	8.0	G026C	ep <= 4cm	10,0	9,9	10,7	11,0	12,0	11,6	8,8	9,7	10,2	9,6	11,4	10,4	8,8	10,4	12,0	3,2	9,6	10,4	11,5	2,0	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	16.0	G034A	4cm < ep <= 10cm	14,3	15,0	15,3		15,5	14,3		14,8	15,4	16,2	15,9	15,2	14,3	15,2	16,2	1,9	14,6	15,2	15,8	1,3	0	2	stationnaire	
3a	Résineux BM	Gosier	16.0	G034D	ep <= 4cm		10,1	9,4		8,6	8,4		10,6	9,5	10,5	8,6	10,2	8,4	9,5	10,6	2,2	8,5	9,5	10,2	1,7	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	26.0	G079A	10cm < ep <= 16cm	15,6		14,6	14,6	15,1	14,5	15,0	15,6	16,2	15,5	15,3		14,5	15,2	16,2	1,7	14,6	15,2	15,8	1,2	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	26.0	G079B	4cm < ep <= 10cm	15,3		14,0	13,9	14,6	14,0	14,8	15,9	15,3	15,0	14,5		13,9	14,7	15,9	2,0	14,0	14,7	15,4	1,5	0	2	stationnaire	
3a	Résineux LC	Abymes	26.0	G079C	16cm < ep	16,4		15,4	15,4	16,5	15,6	16,3	16,8	17,5	17,0	16,5		15,4	16,3	17,5	2,1	15,4	16,3	17,1	1,7	0	2	stationnaire	
3b	Résineux BM	Lamentin	33	G016A	10cm < ep <= 16cm	13,2	13,8	13,3	13,6	14,3		13,0	15,0	14,1	13,8		15,1	13,0	13,9	15,1	2,1	13,4	13,9	14,5	1,0	0	2	stationnaire	
3b	Résineux BM	Lamentin	33	G016B	10cm < ep <= 16cm	13,8	15,9	14,1	15,2	11,9		14,5	16,1	14,9	14,1		15,8	11,9	14,6	16,1	4,2	13,2	14,6	15,3	2,1	0	2	perturbé	



3b	Résineux LC	Lamentin	32.0	G017A	10cm < ep <= 16cm	14,2	14,4	14,0	13,6	13,7	13,7	14,3	14,3	14,1	14,1	14,3	14,8	13,6	14,1	14,8	1,2	13,7	14,1	14,5	0,8	0	2	stationnaire	
3b	Résineux LC	Lamentin	32.0	G017B	10cm < ep <= 16cm	19,4	18,7	18,2	18,1	18,5	18,4	18,6	18,1	18,6	18,3	18,5	19,3	18,1	18,6	19,4	1,3	18,3	18,6	19,1	0,9	0	2	stationnaire	
3b	Résineux BM	Lamentin	22.0	G052D	4cm < ep <= 10cm	18,9	17,1	17,5	17,6	18,2	17,3	17,6		15,0	20,7	18,2		17,1	17,8	20,7	3,7	15,0	17,6	19,3	4,3	1	2	perturbé	
3b	Résineux LC	Baie Mahault	15.0	G078B	4cm < ep <= 10cm	13,1	12,9	12,4	12,6	12,6	13,8	13,4	13,2	14,3	13,9	13,0	14,2	12,4	13,3	14,3	1,9	12,5	13,3	13,8	1,3	0	2	stationnaire	
4	Résineux BM	Capesterre Be	40.0	G008C	4cm < ep <= 10cm	22,8	21,7	21,6	23,1	23,4	24,0	22,1	24,5	23,9	23,4	22,7	23,6	21,6	23,1	24,5	2,9	22,0	23,1	23,9	1,9	12	3	stationnaire	
4	Résineux LC	Goyave	20.0	G062B	4cm < ep <= 10cm	18,1	18,1	18,3	17,6	18,1	18,1	17,9		18,8	18,5	19,5	19,1	17,6	18,4	19,5	1,9	17,9	18,4	19,0	1,1	1	2	stationnaire	
4	Résineux BM	Petit Bourg	50	G089A	10cm < ep <= 16cm		20,3	19,8	24,1	19,6	18,4	18,9	21,1	19,0	20,5	19,3	19,2	18,4	20,0	24,1	5,7	19,0	20,0	21,4	2,4	6	3	perturbé	
5b	Résineux BM	Saint Claude	314.0	G041A	4cm < ep <= 10cm	14,3	13,9	14,1	14,6	14,2	13,5	13,9	15,3	15,8	15,1	14,7	15,3	13,5	14,6	15,8	2,3	13,9	14,6	15,4	1,5	0	2	stationnaire	
7	Résineux LC	Gourbeyre	173.0	G015A	4cm < ep <= 10cm	15,9	15,5	15,1	15,2	15,3	15,3	15,1	15,4	16,1	16,0	15,0	16,6	15,1	15,5	16,6	1,5	15,2	15,5	16,0	0,8	0	2	stationnaire	
7	Résineux BM	Gourbeyre	173.0	G015B	10cm < ep <= 16cm	16,3	15,6	15,8	15,9	15,4	15,1	14,8	15,5	16,2	16,4	16,7	16,9	14,8	15,9	16,9	2,1	15,1	15,9	16,7	1,6	0	2	stationnaire	
7	Résineux BM	Vieux Habitants	80	G027A	4cm < ep <= 10cm	11,9	11,8	11,8	11,7	12,0	11,6	11,8	12,4	12,6	12,1	18,0	11,7	11,6	12,5	18,0	6,4	11,8	12,5	14,2	2,5	0	2	perturbé	-
MG	Résineux BM	Saint Louis	2.0	G023B	10cm < ep <= 16cm	18,3	18,0	16,7	17,9	17,9	18,4	18,0	19,4		19,3	18,0	19,4	16,7	18,3	19,4	2,7	17,5	18,4	19,4	1,9	0	2	stationnaire	
MG	Résineux BM	Saint Louis	2.0	G023C	10cm < ep <= 16cm	18,9	18,3	17,5	16,7	17,0	17,5	17,4	18,1		18,4		18,2	16,7	17,8	18,9	2,2	17,1	17,9	18,6	1,5	0	2	stationnaire	
2	Feuillus BM	Saint François	4.0	G038A	10cm<ep≤16cm	12,3	12,7	12,2	12,6	12,6	12,4	12,8	13,2	12,8	13,3	12,1	12,3	12,2	12,6	13,3	1,2	12,2	12,6	13,1	0,9	0	2	stationnaire	
2	Feuillus BM	Saint François	4.0	G038B	4cmsep≤10cm	10,3	10,9	10,8	12,0	12,7	12,0	11,3	11,8	10,9	11,1	10,6	10,7	10,3	11,3	12,7	2,4	10,5	11,3	12,2	1,7	0	2	stationnaire	
3a	Feuillus BM	Gosier	17.0	G012B	10cm<ep≤16cm	14,3	14,0	14,1	14,3	14,1	14,3	13,9	14,3	14,5	14,1	14,2	14,3	13,9	14,2	14,5	0,6	14,1	14,2	14,3	0,2	0	2	stationnaire	
3a	Feuillus BM	Gosier	17.0	G012F	10cm<ep≤16cm	14,6	14,8	14,7	14,2	14,7	14,6	14,5	14,8	14,7	14,6	14,6	14,7	14,2	14,6	14,8	0,6	14,5	14,6	14,7	0,2	0	2	stationnaire	
4	Feuillus BM	Petit Bourg	241.0	G032B	10cm<ep≤16cm	17,6	16,6	16,9	16,6	16,4	16,9	16,8	16,7			16,8	17,5	16,4	16,9	17,6	1,2	16,6	16,9	17,3	0,7	0	2	stationnaire	
4	Feuillus BM	Goyave	20.0	G062D	ep<4cm	22,4	20,8	20,2	18,8	19,8	19,5	20,5		19,1	19,4	21,3	18,5	18,8	20,0	22,4	3,6	19,3	20,0	21,1	1,9	7	3	stationnaire	
5a	Feuillus BM	Vieux Habitants	507.0	G033A	4cmsep≤10cm	13,9	13,5	13,3	13,2	13,3	13,0	12,9	13,8	13,3	13,4	13,2	13,6	12,9	13,4	13,9	1,0	13,1	13,4	13,7	0,6	0	2	stationnaire	
6	Feuillus BM	Deshaies	112.0	G066A	10cm<ep≤16cm	12,8	12,7	14,6	13,3	13,1	13,1	12,8	13,1	13,2	13,2	12,9	13,4	12,7	13,2	14,6	1,9	13,0	13,2	13,7	0,7	0	2	stationnaire	
7	Feuillus BM	Vieux Habitants	80	G027D	10cm<ep≤16cm	13,6	13,8	13,8	13,6	13,9	13,5	13,3	13,6	13,6	13,7	13,4	13,8	13,3	13,6	13,9	0,6	13,5	13,6	13,8	0,3	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Sainte Anne	42.0	G000A	4cm < ep <= 10cm	13,7	13,7	13,7	13,1	13,3	13,6	13,8	13,8	14,0	13,8	14,0	13,7	13,1	13,7	14,0	0,9	13,3	13,7	13,9	0,6	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Sainte Anne	42.0	G000B	4cm < ep <= 10cm	15,2	14,8	14,1	14,3	14,3	14,6	14,0	14,3	15,0	14,3	15,0	15,5	14,0	14,6	15,5	1,5	14,2	14,6	15,2	1,0	0	2	stationnaire	
2	Résineux BM	Saint François	36.0	G040A	10cm < ep <= 16cm	13,6	13,3	12,6	12,8	13,8	13,5	14,6	14,0	14,3	14,7	14,0	13,8	12,6	13,7	14,7	2,1	12,9	13,7	14,3	1,4	0	2	stationnaire	

8.7 ANNEXE 7 : Tableau Résultats H % Bois résineux abrités intérieurs mesures sur sites Martinique

Éléments intérieurs Sites Feuillus et Résineux -MARTINIQUE						Teneur en eau du bois Hbois (%)										Résultats 12 mois				Résultats 3 mois					CONCLUSION classe de service				
ZMF	Essence	Ville	Alt ()	Élément	Massivité Ep(cm)	janv	Feb	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	H _{min} (%)	H _{moy} (%)	H _{max} (%)	Ecart ΔH	Nb>= 20%		Régime	Commentaires
P3	Résineux BM	Sainte-Luce	80	M010B	ep <= 4cm	13,7	12,9	13,3	13,0	13,0	13,1	12,9	12,8	12,7	12,8	13,1	13,3	12,8	13,0	13,7	0,9	12,8	13,0	13,4	0,6	0	2	stationnaire	
P4	Résineux BM	Le François	10	M041B	10cm < ep <= 16cm	15,0	16,5	16,7	17,2	17,6	17,6	15,2	16,1	15,7	15,6	15,1	15,2	15,0	16,1	17,6	2,6	15,1	16,1	17,5	2,4	0	2	stationnaire	
PP1	Résineux BM	Le Vauclin	0	M046C	4cm < ep <= 10cm	15,2	13,7	13,4	13,3	13,4		14,3	15,1	14,5	14,8	14,7	15,3	13,3	14,3	15,3	2,0	13,4	14,3	15,1	1,7	0	2	stationnaire	
PP1	Résineux LC	Le Vauclin	10	M047B	16cm < ep	14,6	13,8	14,6	13,9	13,9	14,3	14,5	14,1	13,8	14,4	13,8	14,3	13,8	14,2	14,6	0,8	14,0	14,2	14,3	0,3	0	2	stationnaire	
TP2	Résineux LC	Saint-Pierre	310	M002D	4cm < ep <= 10cm	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6		16,6	16,3	16,6	16,7	16,3	16,1	16,3	16,5	16,7	0,4	16,3	16,5	16,6	0,3	0	2	stationnaire	
P3	Feuillus BM	Le Lamentin	10	M039E	4cm < ep <= 10cm	11,9	11,6	11,7	11,7	12,1	11,7	11,8	11,7	11,3	11,8	11,8	11,9	11,6	11,8	12,1	0,5	11,6	11,8	11,9	0,3	0	2	stationnaire	
P4	Feuillus BM	Le François	35	M048C	10cm < ep <= 16cm	16,3	16,4	16,1	16,0	16,1	16,1	16,3	17,5	15,3	16,0	16,5	16,3	16,0	16,2	17,5	1,5	15,9	16,2	16,6	0,7	0	2	stationnaire	
P3	Résineux BM	Sainte-Luce	80	M010B	ep <= 4cm	13,7	12,9	13,3	13,0	13,0	13,1	12,9	12,8	12,7	12,8	13,1	13,3	12,8	13,0	13,7	0,9	12,8	13,0	13,4	0,6	0	2	stationnaire	
P4	Résineux BM	Le François	10	M041B	10cm < ep <= 16cm	15,0	16,5	16,7	17,2	17,6	17,6	15,2	16,1	15,7	15,6	15,1	15,2	15,0	16,1	17,6	2,6	15,1	16,1	17,5	2,4	0	2	stationnaire	