



# EFFET BIOCLIMATIQUE DES ARBRES AGROFORESTIERS SUR LE BIEN-ÊTRE ANIMAL EN PARCOURS VOLAILLES



# Table des matières

1. Contexte de l'étude.....	2
2. Protocole expérimental.....	2
2.1. Critères de sélection des sites de parcours volailles agroforestiers.....	2
2.2. Les situations à tester.....	3
2.3. Procédure de mise en place des différents capteurs.....	3
3. Campagne de relevés.....	4
3.1. Tableau récapitulatif des capteurs posés dans le Gers.....	4
3.2. Tableau récapitulatif des capteurs posés dans le Lot-et-Garonne.....	5
4. Analyses des données et résultats.....	6
4.1. Organisation des données et du jeu de données.....	6
5. Les analyses descriptives.....	8
5.1. Températures et hygrométrie.....	10
5.2. Evaluation du stress induit sur les animaux par les couples humidité-température.....	11
6. Analyse de la variance ou ANOVA.....	12
6.1. Vérification de la normalité des données.....	12
6.2. Vérification de l'homogénéité des variances.....	13
6.3. Analyse de la variance par l'ANOVA de Welch.....	14
6.4. Test de Games Howell.....	15
6.4.1. Effet de l'arbre sur la température.....	15
6.4.2. Effet de l'arbre sur l'hygrométrie.....	17
6.4.3. Effet de l'arbre sur le stress des volailles et palmipèdes.....	18
7. Conclusion.....	19





# 1. Contexte de l'étude

Peu de données existent sur les parcours volailles. Jamais l'effet bioclimatique de l'arbre sur le bien-être des volailles et palmipèdes n'a été mesuré de façon statistiquement robuste. Il existe quelques jeux de données, mais celles-ci sont trop éparpillées pour avoir des résultats fiables et en tirer des conclusions. L'objectif est de créer un nouveau jeu de données qui viendra appuyer ou contester de façon objective et avérée les rares tendances déjà mises en avant. Ces données pourront ensuite être mises en parallèle de façon fiable avec des indicateurs de bien-être animal, afin de faire le lien entre effet bioclimatique de l'arbre et bien-être des volailles et palmipèdes sur parcours.

Cette étude s'appuie sur les relevés de 56 capteurs mixtes, hygrométrie et température. Un tiers des capteurs a été posé en plein soleil, un autre tiers au cœur des éléments arborés des parcours, le dernier tiers en zone de transition entre deux infrastructures agroforestières. Nous avons choisi de nous focaliser sur les mois d'août et septembre, pour lesquels nous avons des relevés pour l'ensemble des parcours pilotes.

## 2. Protocole expérimental

### 2.1. Critères de sélection des sites de parcours volailles agroforestiers

- Périmètre : la région Nouvelle-Aquitaine + 3 parcours pionniers du Gers
- 9 sites expérimentaux concernés (parcours volailles et palmipèdes)
- Les éléments arborés sélectionnés doivent avoir leurs houppiers qui se touchent et/ou se superposent de façon continue (sujets de 5 ans ou plus).
- Les sujets doivent posséder une hauteur de tronc de 1 m 80 minimum et doivent posséder une circonférence de 8 à 10 cm, à 1 m 30 de hauteur du sol.



## 2.2. Les situations à tester

- Sous bosquets
- Sous haies
- Sous linéaires d'arbres forestiers/fruitiers
- Plein soleil hors de toute ombre de végétation ligneuse
- Plein soleil entre deux éléments arborés du parcours (zone de transition)

## 2.3. Procédure de mise en place des différents capteurs

Sur un parcours, 3 modalités sont comparées :

- Plein soleil hors de toute ombre de végétation ligneuse et loin de l'influence d'arbres, à **30 m minimum d'isolement** de tout élément arboré
- Zones de transition de plein soleil entre deux éléments arborés du parcours (zone de transition du parcours) à **3 m** de l'élément arboré le plus proche (au Nord ou à l'Ouest) de la plantation incluant l'arbre équipé d'un capteur
- Sous bosquets/ ou Sous haies de feuillus/ ou Sous haies de résineux/ ou Sous un linéaire d'arbres tige ou fruitiers/ ou Sous forêt

**Chaque capteur** (hors modalités plein soleil) est placé sur le tronc, à **1 m de hauteur du sol**. Les capteurs "**Plein soleil**" sont placés **sur un tuteur en acacia à 1 m de hauteur**. Le capteur "**Plein soleil entre deux éléments arborés du parcours**" est à **3 m de l'autre modalité sélectionnée**, "Sous bosquets", ou "Sous haies de feuillus", ou "Sous haies de résineux", ou "Sous linéaire forestier ou fruitier"

- Si les plantations sont orientées N/S, le capteur est placé au Sud de l'élément arboré choisi.
- Si les plantations sont orientées E/O, le capteur est placé à l'Ouest de l'élément choisi.

Exemple : cas de la ferme du Hautquoi (32)

Conseillère avicole CA47





Dans ce cadre, 9 parcours expérimentaux ont été suivis :

- 3 parcours de palmipèdes gras dans le Lot-et-Garonne
- 3 parcours de poulets de chair dans le Lot-et-Garonne
- 3 parcours de poulets de chair dans le Gers



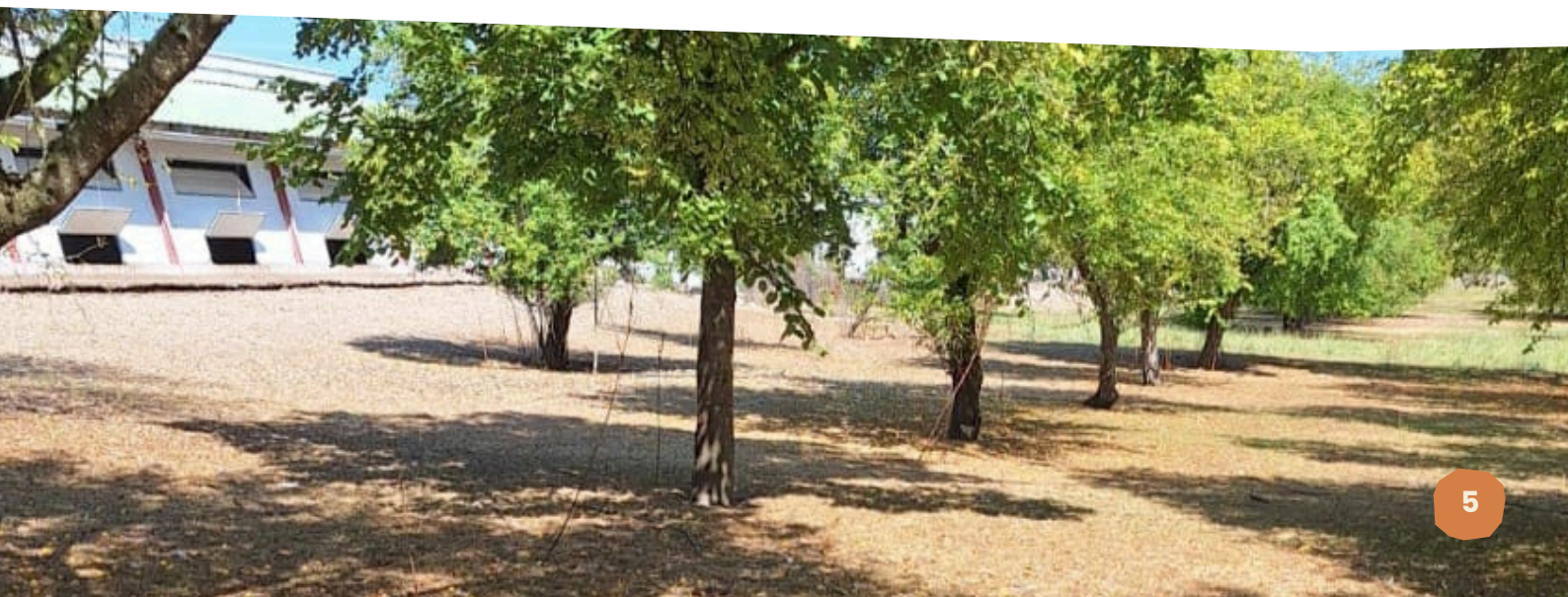
## 3. Campagne de relevés

### 3.1. Tableau récapitulatif des capteurs posés dans le Gers

N°CAPTEUR	Code Capteur	Exploitation	Commune	Modalités	Détails	Date début de campagne	Date fin de campagne
1	40	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
2	41	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
3	42	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
4	43	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
5	44	EARL du Hautquoi	Leboulin	arbre isolé	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
6	45	EARL du Hautquoi	Leboulin	arbre isolé	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
7	46	EARL du Hautquoi	Leboulin	haie	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
8	47	EARL du Hautquoi	Leboulin	haie	parcours 1	06/08/2024	03/10/2024
9b	48	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
10	49	EARL du Hautquoi	Leboulin	foret	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
11	50	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
12	51	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
13	52	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
13b	53	EARL du Hautquoi	Leboulin	foret	parcours 3	06/08/2024	03/10/2024
14	54	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 4	06/08/2024	03/10/2024
15	55	EARL du Hautquoi	Leboulin	transition	parcours 4	06/08/2024	03/10/2024
16	56	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 4	06/08/2024	03/10/2024
17	57	EARL du Hautquoi	Leboulin	bosquet	parcours 4	06/08/2024	03/10/2024
18	58	EARL du Hautquoi	Leboulin	plein soleil	hors parcours	06/08/2024	03/10/2024
19	59	EARL du Hautquoi	Leboulin	plein soleil	hors parcours	06/08/2024	03/10/2024
20	60	EARL du Hautquoi	Leboulin	plein soleil	hors parcours	06/08/2024	03/10/2024

### 3.2. Tableau récapitulatif des capteurs posés dans le Lot-et-Garonne

N°CAPTEUR	Code Capteur	Exploitation	Commune	Modalités	Date début de campagne	Date fin de campagne
1	38	EARL DE CAV	Le Temple/L	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
2	56	EARL DE CAV	Le Temple/L	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
3	60	EARL DE CAV	Le Temple/L	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
4	50	EARL DE CAV	Le Temple/L	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024
5	47	EARL DE CAV	Le Temple/L	Plein soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
6	40	EARL DE CAV	Le Temple/L	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
7	12	SCEA DE VAL	Castillonnes	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
8	30	SCEA DE VAL	Castillonnes	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024
9	31	SCEA DE VAL	Castillonnes	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
10	51	SCEA DE VAL	Castillonnes	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
11	22	SCEA DE VAL	Castillonnes	Plein soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
12	19	SCEA DE VAL	Castillonnes	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
13	32	EARL LA FER	Galapian	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
14	27	EARL LA FER	Galapian	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
15	44	EARL LA FER	Galapian	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
16	10	EARL LA FER	Galapian	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024
17	49	EARL LA FER	Galapian	Plein soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
18	52	EARL LA FER	Galapian	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
19	14	SARL SOULE	Frespech	Arbre isolé	25/07/2024	23/09/2024
20	48	SARL SOULE	Frespech	Arbre isolé	25/07/2024	23/09/2024
21	61	SARL SOULE	Frespech	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
22	43	SARL SOULE	Frespech	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024
23	36	SARL SOULE	Frespech	Plein Soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
24	37	SARL SOULE	Frespech	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
25	54	EARL DE VER	Salles	Arbres isolé	25/07/2024	23/09/2024
26	17	EARL DE VER	Salles	Arbres 2 isolé	25/07/2024	23/09/2024
27	46	EARL DE VER	Salles	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
28	35	EARL DE VER	Salles	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024
29	59	EARL DE VER	Salles	Plein soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
30	8	EARL DE VER	Salles	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
31	48	GAEC TERRE	Monflanquin	Arbres 1 isolé	25/07/2024	23/09/2024
32	18	GAEC TERRE	Monflanquin	Arbres 2 isolé	25/07/2024	23/09/2024
33	57	GAEC TERRE	Monflanquin	Plein soleil 1	25/07/2024	23/09/2024
34	55	GAEC TERRE	Monflanquin	Plein soleil 2	25/07/2024	23/09/2024
35	62	GAEC TERRE	Monflanquin	Transition 1	25/07/2024	23/09/2024
36	39	GAEC TERRE	Monflanquin	Transition 2	25/07/2024	23/09/2024





# 4. Analyses des données et résultats

## 4.1. Organisation des données et du jeu de données

Les campagnes ne se sont pas exactement déroulées sur la même période. Afin de minimiser un biais temporel, il a été décidé de ne garder les mesures que sur la période s'étalant du 06 août 2024 au 23 septembre 2024.

Les différents capteurs qui ont été positionnés sur les parcours ont relevé des valeurs d'humidité et de température toutes les 5 min, 24h/24. Ainsi, ce sont 623 317 valeurs de température et d'hygrométrie qui ont été enregistrées.

Grâce à ces données de température et d'humidité, il a été possible de calculer, puis d'ajouter, des valeurs et des seuils de stress thermique (THI) ressentis par les volailles.

Le THI (Temperature Humidity Index), ou Indice Température-Humidité, est une mesure utilisée pour évaluer le niveau de stress thermique chez les animaux, ici les volailles. Cet indice combine la température et l'humidité relative pour estimer la sensation de chaleur perçue par une volaille, en tenant compte de l'impact de l'humidité sur la régulation thermique (source : <https://climatbat.chambres-agriculture.fr>).

En production de volaille, quatre niveaux différents de risques ont été définis à partir de la formule de THI.

THI < 65	absence de risque
THI 66 à 72	risque modéré
THI 73 à 78	risque sévère
THI > 79	risque très sévère

Formule de THI :

$$\text{THI} = (1,8 * T + 32) - [(0,55 - 0,0055 * U) * (1,8T - 26)]$$

Avec T : température de l'air en °C, et U : humidité relative en %



Ainsi le jeu de mesure est composé de 9 variables :

- Date : date de relevé de la valeur
- Time : heure de relevé de la valeur
- Deg C : valeur de température enregistrée en degré Celsius (°C)
- Humidity : taux d'humidité de l'air enregistré (%)
- Sensor number : numéro du capteur
- Modality\* : modalité étudiée
- Parcel number : Parcelle des relevés
- V\_thermal.stress : valeurs de stress thermique, calculées à partir du Thermal Humidity Index (THI)
- L\_thermal.stress : seuil de stress thermique, calculées à partir du Thermal Humidity Index (THI)



\*Les différentes modalités étudiées sont :

- Grove : bosquet
- Hedge : haie
- Isolated tree : arbre isolé
- Transition : transition entre deux structures arborées
- Full sun : plein soleil
- Forest : sous-bois

Le jeu de relevés a été organisé de la manière suivante (extrait de la base de données Excel) :

date	time	deg C	humidity	sensor number	modality	parcel number	v_thermal stress	l_thermal stress
06/08/2024	12:02:38	35,5	41	41	transition	A	83,6	very severe risk
06/08/2024	12:07:38	35,6	40	41	transition	A	83,51	very severe risk
06/08/2024	12:12:38	34,8	40	41	transition	A	82,55	very severe risk
06/08/2024	12:17:38	34,8	40	41	transition	A	82,55	very severe risk
06/08/2024	12:22:38	34,9	40	41	transition	A	82,67	very severe risk
06/08/2024	12:27:38	35,6	39	41	transition	A	83,3	very severe risk
06/08/2024	12:32:38	36,2	37	41	transition	A	83,59	very severe risk
06/08/2024	12:37:38	34,3	39	41	transition	A	81,75	very severe risk
06/08/2024	12:42:38	35,5	39	41	transition	A	83,18	very severe risk
06/08/2024	12:47:38	34,2	39	41	transition	A	81,63	very severe risk
06/08/2024	12:52:38	35,5	40	41	transition	A	83,39	very severe risk
06/08/2024	12:57:38	33,5	40	41	transition	A	80,98	very severe risk
06/08/2024	13:02:38	34,2	43	41	transition	A	82,41	very severe risk
06/08/2024	13:07:38	35,5	39	41	transition	A	83,18	very severe risk
06/08/2024	13:12:38	36,2	35	41	transition	A	83,16	very severe risk
06/08/2024	13:17:38	36,8	35	41	transition	A	83,85	very severe risk
06/08/2024	13:22:38	34,1	39	41	transition	A	81,51	very severe risk





Pour optimiser l'analyse des données, il a été décidé de les regrouper, pour certains graphiques, en 4 groupes correspondant à 4 périodes distinctes de la journée :

- Fin de nuit : 0h - 6h
- Matinée : 6h - 12h
- Après-midi : 12h - 18h
- Soirée : 18h - 24h

L'évolution du stress thermique a ainsi été étudié sur chacune de ces plages journalières.

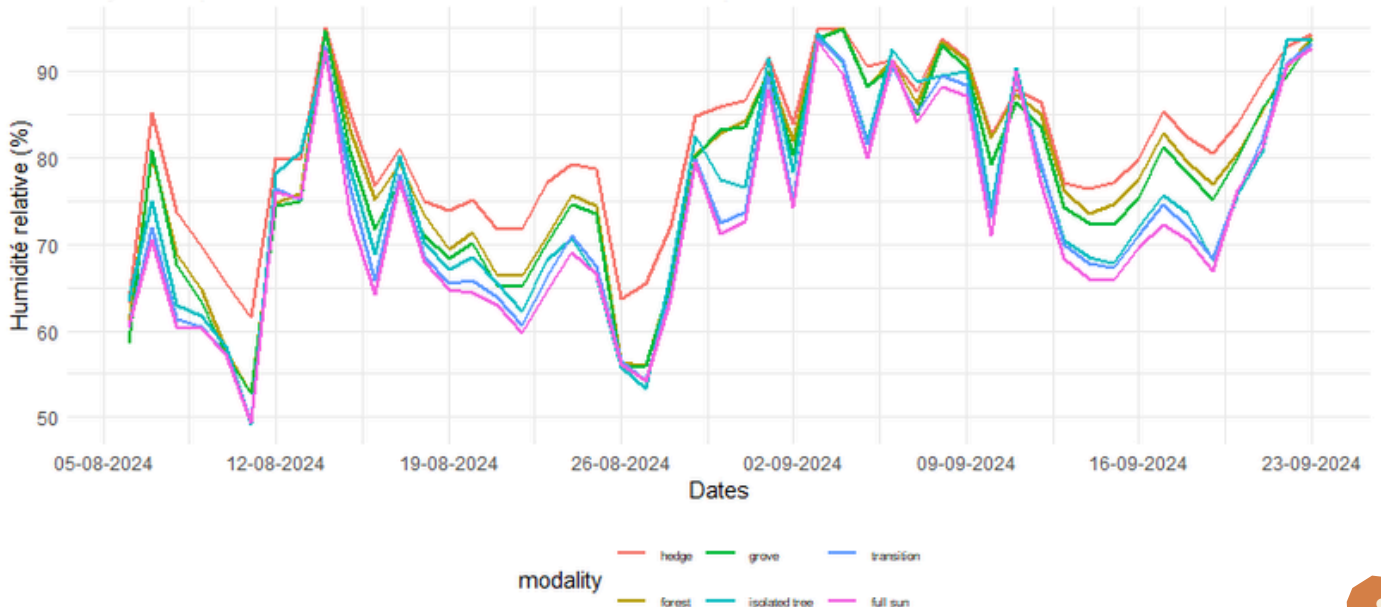
## 5. Les analyses descriptives

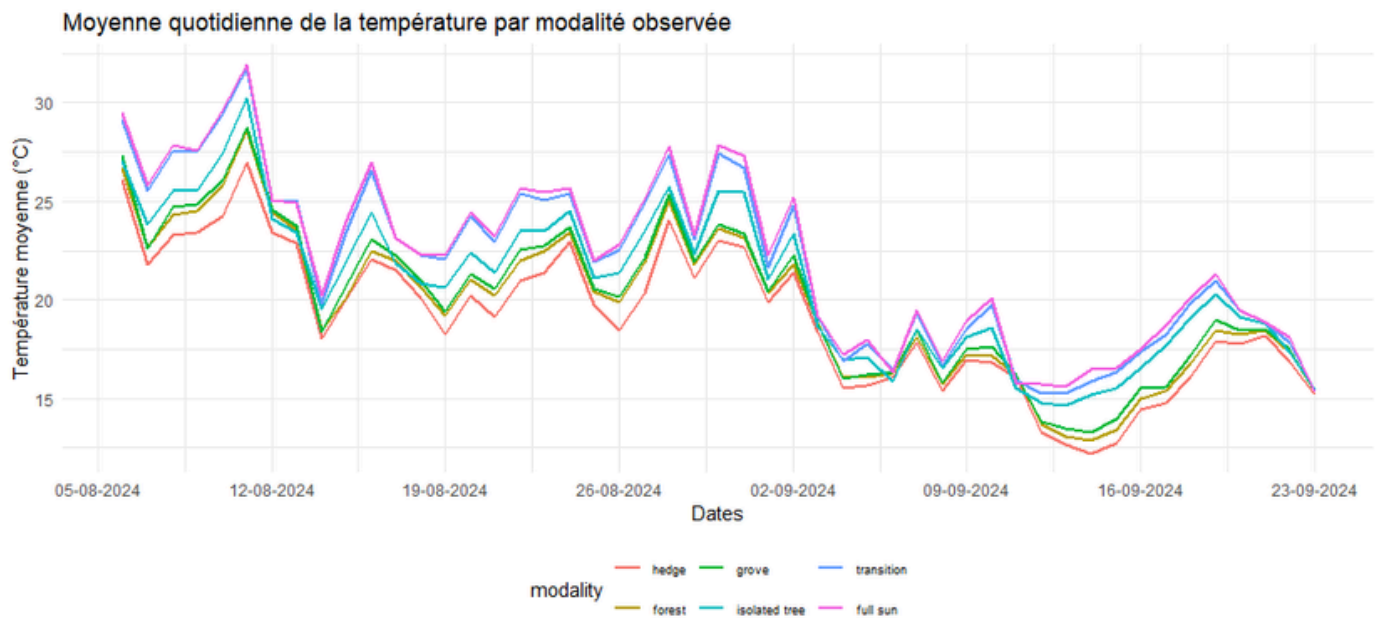
### 5.1 Température et hygrométrie

Boxplots de la température et de l'humidité par modalité observée pendant la campagne d'été 2024



Moyenne quotidienne de l'humidité relative observée par modalité





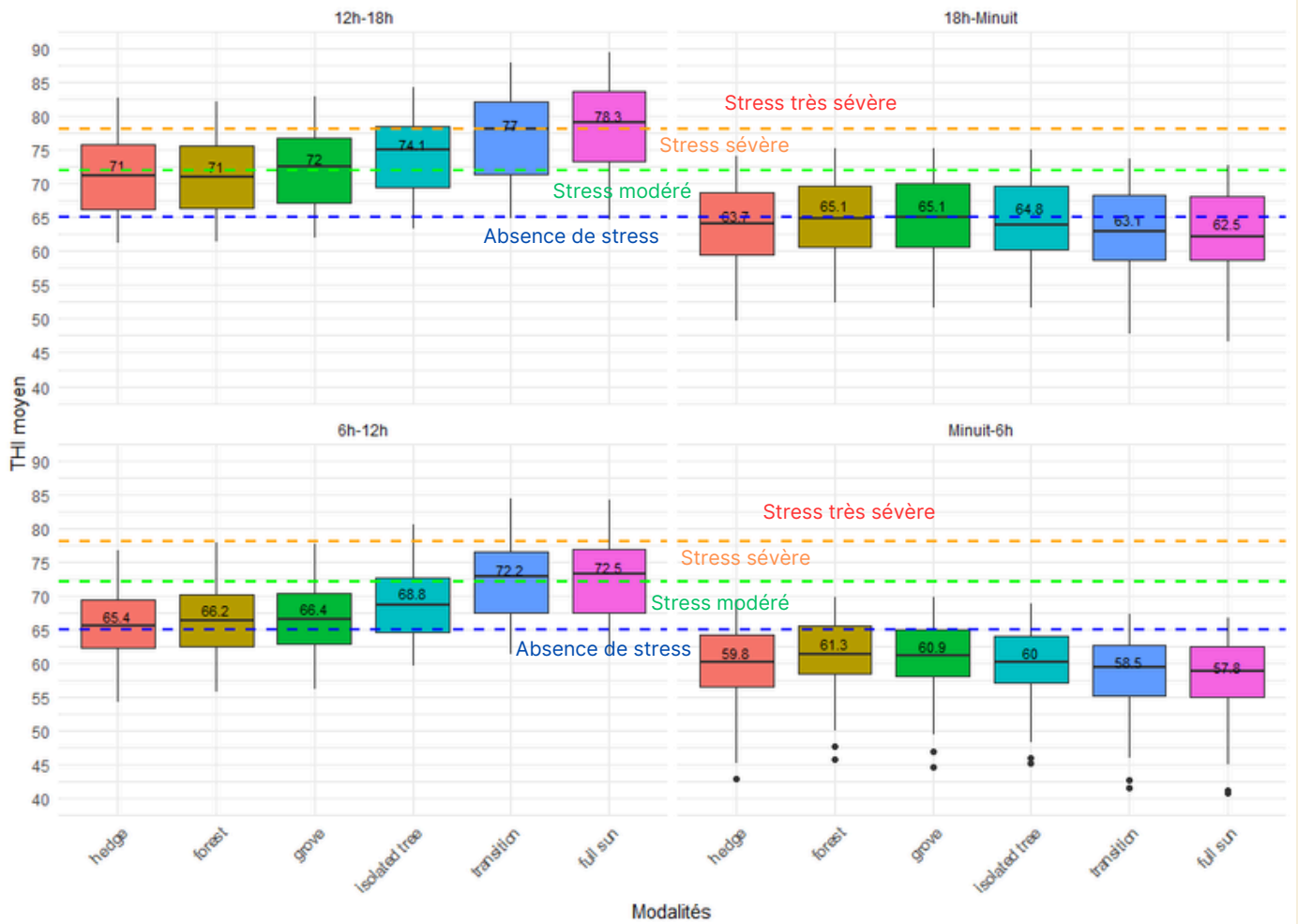
Les **graphiques de températures et d'hygrométries** mettent en évidence des différences entre les modalités observées. La haie, composée d'une végétation dense, est **la zone la plus fraîche qui varie le moins, suivie du bosquet et du sous-bois**. En revanche, **les zones de transition et le plein soleil affichent les températures les plus élevées, avec un écart moyen de 2,1°C entre la haie et le plein soleil**, pouvant atteindre **jusqu'à 6°C** lors des pics de chaleur observés lors de la campagne de cet **été 2024**. **Les arbres isolés montrent un effet modéré sur les températures**, se rapprochant davantage **des zones de transition et du plein soleil** en termes de **régulation thermique**.

Concernant l'hygrométrie, **les haies et bosquets maintiennent une humidité relative plus élevée**, ce qui contribue à **un micro-climat plus stable** et favorable au bien-être des volailles. Ces graphiques montrent **les premières tendances et soulèvent l'importance de la densité et de la proximité des différents éléments arborés pour atténuer les variations climatiques extrêmes**, notamment en période estivale, alors que **les zones de transition et les arbres isolés n'offrent qu'une protection limitée**.



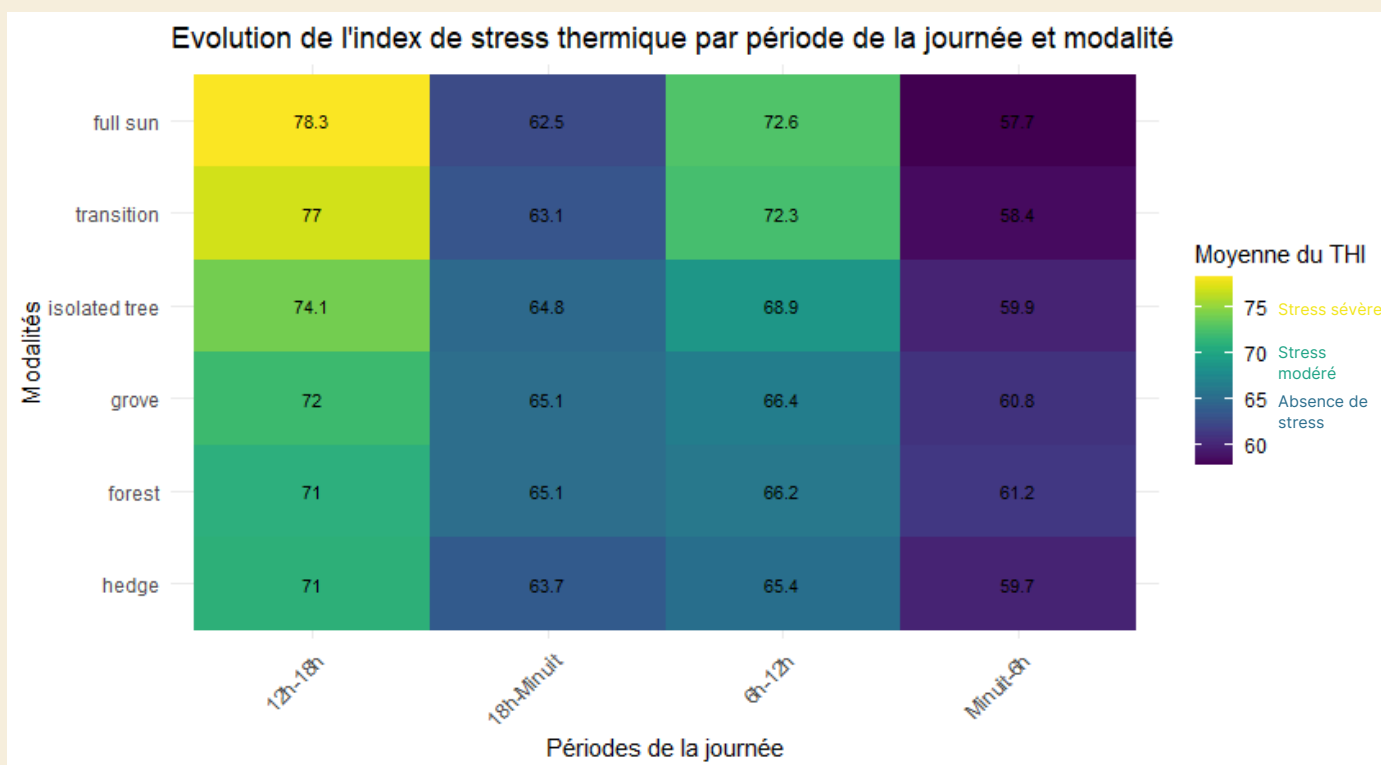


## Distribution du stress thermique par modalité et par période de la journée



## Évolution moyenne de l'index de stress thermique par période de la journée





Ces différents graphiques d'évaluation du stress thermique des volailles, mesuré via l'Indice Température-Humidité (THI), tendent à montrer de fortes variations en fonction des modalités, aussi bien sur toute la période de mesure qu'au niveau d'une journée. Sur l'ensemble de la période des relevés, **le stress thermique est constamment plus élevé dans les zones de plein soleil et de transition**, où les valeurs de THI atteignent des niveaux modérés à sévères ou très sévères. **Les haies et bosquets**, en revanche, **permettent de maintenir un THI en dessous des seuils de stress thermique critique**, surtout durant les pics de chaleur estivale, grâce une densité de végétation qui stabilise les conditions ambiantes.

Plus précisément, les graphiques de **l'évolution journalière** montrent que **le stress thermique atteint des pics en après-midi**, correspondant aux températures les plus élevées de la journée. **Les modalités de plein soleil et de transition** enregistrent **des niveaux de stress thermique modérés à très sévères** durant cette période, **exposant les volailles à des conditions particulièrement éprouvantes**. En revanche, **les haies, bosquets réduisent les fluctuations thermiques**. **Les arbres isolés modèrent quelque peu les températures, mais leur effet reste proche des niveaux de stress observés dans les zones de transition et en plein soleil.**



# 6. Analyse de la variance ou ANOVA

"Le but de la démarche est de comparer s'il existe, au cours de de cette campagne 2024 des corrélations et des différences significatives de valeurs de température, d'humidité et de stress thermique, entre les différentes modalités étudiées.

Les relevés d'origine (une mesure toutes les 5 minutes) ont été repris afin de tester la robustesse de l'analyse descriptive.

## 6.1. Vérification de la normalité des données

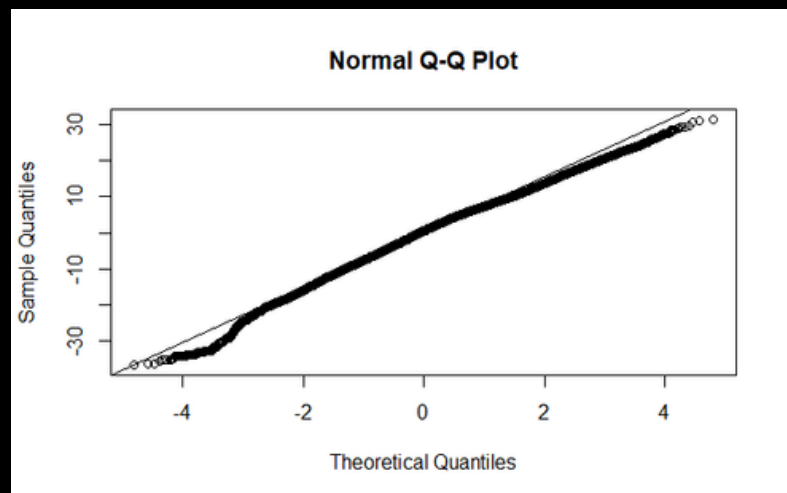
Le taille des échantillons est de très loin supérieure à 5 000 individus statistiques (couples date/time).

Pour des échantillons de grande taille, l'approche la plus fiable pour évaluer la normalité consiste en une évaluation visuelle des résidus de l'ANOVA à l'aide d'un Q-Q plot (quantile-quantile plot). En effet, pour de grands échantillons, les tests statistiques de normalité deviennent trop sensibles et détectent même de faibles écarts par rapport à la normalité, qui n'ont pas d'impact significatif sur les résultats de l'ANOVA.

Le Q-Q plot permet de vérifier visuellement si les résidus suivent une distribution normale. Si les points obtenus sur le graphique du Q-Q plot forment une ligne droite, cela suggère que l'hypothèse de normalité est respectée.

### Résultat du Q-Q plot :

Les points du graphique suivent globalement la ligne diagonale, suggérant que les résidus sont proches d'une distribution normale. On observe toutefois une légère déviation aux extrémités, ce qui est fréquent lorsque des valeurs extrêmes sont présentes dans les données.



Cette déviation modérée aux extrémités reste acceptable dans le cadre de cette analyse. Ainsi, l'hypothèse de normalité des résidus est globalement respectée. Ce type de forme est souvent jugé convenable pour une ANOVA, surtout lorsque la majorité du graphique montre un bon alignement avec la ligne théorique, ce qui est bien le cas ici.

## 6.2. Vérification de l'homogénéité des variances

Préalablement à la réalisation de l'ANOVA, il est nécessaire de tester l'homogénéité des variances entre les différents groupes d'intérêt. Ici les groupes étudiés sont "modality", "deg C", "humidity" et "v\_thermal.stress".

### Hypothèses

- Si la p-valeur est supérieure à 0,05, cela signifie que l'hypothèse d'homogénéité des variances est respectée. Il est alors possible de continuer l'ANOVA.
- Si la p-valeur est inférieure à 0,05, cela signifie que les variances diffèrent significativement entre les groupes, ce qui indique que l'ANOVA n'est pas appropriée sans ajustements.

### Résultats du test de Levene :

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

Df F value Pr(>F)

group 23 1168 < 2.2e-16 \*\*\*

620293

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Les résultats du test de Levene indiquent une p-valeur extrêmement inférieure à 0,05 ( $\text{Pr}(>F) < 2.2e-16$ ), ce qui signifie que l'hypothèse d'homogénéité des variances entre les groupes est rejetée. Il existe donc des différences significatives dans les variances des groupes, ce qui viole une des hypothèses fondamentales de l'ANOVA.

**Comme l'hypothèse de l'homogénéité des variances entre les groupes est rejetée nous devons donc utiliser l'ANOVA de Welch.**

### 6.3. Analyse de la variance par l'ANOVA de Welch

Lorsque sont rencontrées des inégalités de variance, l'utilisation de l'ANOVA de Welch est préférée à celle de l'ANOVA. Elle permet d'évaluer les différences moyennes entre les groupes sans nécessiter l'hypothèse d'homogénéité des variances.

Cas 1. Les résultats de l'ANOVA de Welch (températures et modalités) :

One-way analysis of means (not assuming equal variances)

data:deg.C and modality

F = 2390, num df = 5, denom df = 142788, p-value < 2.2e-16

Cas.2 Les résultats de l'ANOVA de Welch (hygrométries et modalités) :

One-way analysis of means (not assuming equal variances)

data:humidity and modality

F = 1500.1, num df = 5, denom df = 139140, p-value < 2.2e-16

Cas 3. Les résultats de l'ANOVA de Welch (stress thermique et modalités) :

One-way analysis of means (not assuming equal variances)

data:v\_thermal.stress and modality

F = 1080.8, num df = 5, denom df = 139344, p-value < 2.2e-16

L'ANOVA de Welch indique en résultat une p-valeur extrêmement faible ( $p < 2.2e-16$ ) pour les 3 cas différents. De même **les moyennes des températures, d'hygrométrie et de stress thermique diffèrent de manière significative entre les diverses combinaisons de "modalités"**. Avec  $p < 0,05$ , cela confirme que les différences entre certains groupes sont statistiquement significatives. Par ailleurs, la F-statistique est élevée (F = 2390 pour le cas 1, F = 1500 pour le cas 2 et F = 1080 pour le cas 3), ce qui suggère que **la variabilité entre les groupes (modalités) est bien plus importante que celle à l'intérieur de chaque groupe**, confirmant ainsi la différence significative observée.

Étant donné que le test révèle des différences significatives dans les trois cas, une analyse plus approfondie peut être réalisée pour identifier précisément comment diffèrent les combinaisons de "modalités" en termes de températures, hygrométrie, ou valeurs de stress thermique.

Des tests de comparaisons post-hoc sont donc effectués. Parmi les tests, celui de Games-Howell a été retenu, car il est le plus adapté en présence de variances inégales.



## 6.4. Test de Games Howell

Ce test nous permet de savoir quels sont les groupes d'individus statistiques dont les valeurs mesurées sont significativement différentes et d'évaluer ces différences. Dans notre cas, chacune des modalités présente des valeurs moyennes de températures, hygrométrie et THI significativement différentes au sens statistique.

### 6.4.1. Effet de l'arbre sur la température

Tableau 1 : Comparaisons avec les différences de températures les plus significatives entre modalités

Modality 1	Modality 2	p-value	Statistic	Significance
full sun	hedge	0	109.785234	Significatif
transition	hedge	0	107.384420	Significatif
full sun	grove	0	95.428167	Significatif
transition	grove	0	93.305773	Significatif
full sun	forest	0	87.321911	Significatif
transition	forest	0	83.452230	Significatif
isolated tree	hedge	0	65.765707	Significatif
full sun	isolated tree	0	60.208227	Significatif
transition	isolated tree	0	54.212980	Significatif
isolated tree	forest	0	41.384387	Significatif
isolated tree	grove	0	39.596539	Significatif
grove	hedge	0	34.430419	Significatif
forest	hedge	0	21.324610	Significatif
full sun	transition	0	11.865972	Significatif
grove	forest	0	9.845785	Significatif





Cette **analyse statistique** met en évidence **l'impact de l'arbre sur les températures estivales** ambiantes. Chaque modalité au sens de notre étude présente des valeurs de températures significativement différentes de toutes les autres.

En analyse descriptive nous avons pu observer que **la température est d'autant plus modérée que les ligneux sont proches et denses**, et grâce à cette étude nous savons que ces différences sont significatives.

La haie est l'élément arboré le plus massif en végétation du fait des éléments de bourrage qui occupent la strate basse en complément des houppiers des sujet émergents. Ces derniers sont aussi présents dans les bosquets ou les arbres isolés mais la strate basse en est absente.

**La haie est la zone la moins chaude du parcours devant le sous-bois**, puis vient le **bosquet**, suivi de **l'arbre isolé** et **les zones les plus chaudes** sont respectivement **l'espace de transition et enfin le plein soleil**.

En moyenne, sur les mois d'août à septembre, **un écart moyen significatif de 2.1°C entre la haie et le plein-soleil** a été mesuré. Pendant **les pics de chaleurs** cet écart moyen a atteint **6°C sur la journée**.

**L'espace de transition est peu influencé par l'arbre** en termes de régulation de la température lors des journées les plus chaudes. Notons ici l'importance, dans la conception des parcours, d'avoir **une distance maximum de 15 m entre 2 éléments arborés** afin de permettre aux animaux de se déplacer sur l'ensemble de leur zone d'exercice.

Il est également intéressant de signaler que **les arbres isolés ont un impact proche de celui de la zone de transition**, même s'ils amortissent un peu les variations de températures. Ces deux éléments présentent des **situations intermédiaires** (températures intermédiaires) entre **la haie et le plein soleil**.



## 6.4.2. Effet de l'arbre sur l'hygrométrie

Tableau 2 : Comparaisons des hygrométries les plus significatives entre modalités

Modality 1	Modality 2	p-value	Statistic
full sun	hedge	0	-102.13704
transition	hedge	0	-94.74255
isolated tree	hedge	0	-74.42513
full sun	grove	0	-64.33165
full sun	forest	0	-63.51311
transition	forest	0	-54.20466
transition	grove	0	-53.45214
grove	hedge	0	-49.82396
full sun	isolated tree	0	-37.45654
isolated tree	forest	0	-35.49336
forest	hedge	0	-32.65785
isolated tree	grove	0	-29.10531
transition	isolated tree	0	-23.70823
full sun	transition	0	-17.04260
grove	forest	0	-12.01182

Cette analyse statistique met en évidence **le rôle fondamental de l'arbre sur l'hygrométrie ambiante**. Nous pouvons observer que, sur cette valeur, **la notion de densité de ligneux semble encore plus marquée que pour la température**. Les **différences les moins significatives** sont **entre le bosquet et le sous-bois, le plein soleil et la transition, la transition et l'arbre isolé**.

Globalement, nous observons que **les différentes modalités, sauf la haie, passent par des valeurs très proches lors des situations d'hygrométrie très faible**. La surface foliaire cumulée est primordiale dans la régulation de l'hygrométrie. La haie est l'infrastructure agroforestière ayant la plus grande surface foliaire par m<sup>2</sup> de parcours occupé.

**La haie est la zone la moins sèche du parcours, l'arbre isolé se trouve en position intermédiaire alors que la zone de transition et à peine plus humide que le plein soleil**. Les **sous-bois et bosquets ont des humidités relatives assez proches**. L'effet « **emprise couverte** » par les ligneux semble assez peu influencé ce paramètre.



### 6.4.3. Effet de l'arbre sur le stress des volailles et palmipèdes

Tableau 3 : Comparaisons avec les différences de stress thermique les plus significatives entre modalités

Modality 1	Modality 2	p-value	Statistic
transition	hedge	0.0000000	76.290524
full sun	hedge	0.0000000	74.871460
transition	grove	0.0000000	62.211827
full sun	grove	0.0000000	59.813011
isolated tree	hedge	0.0000000	53.488050
transition	forest	0.0000000	53.237039
full sun	forest	0.0000000	52.788045
full sun	isolated tree	0.0000000	31.503056
transition	isolated tree	0.0000000	31.356811
isolated tree	grove	0.0000000	31.025746
isolated tree	forest	0.0000000	29.886257
grove	hedge	0.0000000	29.830086
forest	hedge	0.0000000	20.953656
grove	forest	0.0007008	5.740319

Nous retrouvons ici des éléments déjà relevés au sujet des températures et de l'hygrométrie relative. **La haie reste l'élément arboré créant les conditions les plus favorables aux animaux.**

Cependant cet indicateur composite de la température et de l'humidité relative présente des éléments originaux. En termes de stress thermique, **la zone de transition et l'arbre isolé occupent une position intermédiaire et ne sont pas très éloignés du bosquet ou du sous-bois.**

**Sur cet indicateur, la présence du ligneux est importante et la densité a moins d'influence que sur chacun des facteurs température et hygrométrie. Cela confirme l'intérêt de mêler sur un parcours différents types d'infrastructures agroforestières, afin d'en optimiser le coût d'implantation et de gestion en mixant des haies avec d'autres formations ligneuses moins denses.**

# 7. Conclusion

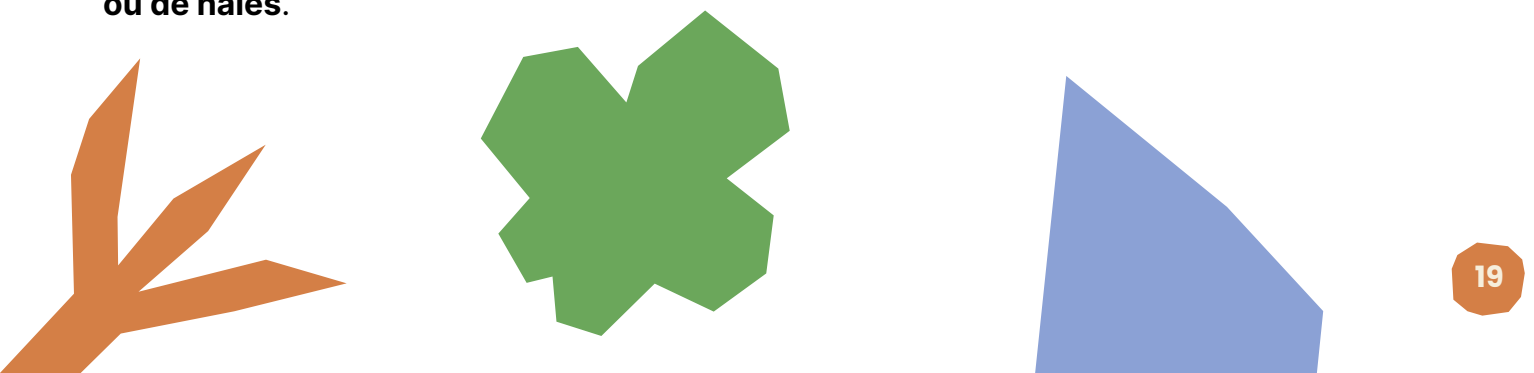
Les résultats de cette étude démontrent de manière robuste **l'impact protecteur des arbres agroforestiers sur le paramètre du bien-être animal**. Les haies et les bosquets denses, composés de trois strates de végétation, **jouent un rôle fondamental en tant qu'amortisseurs bioclimatiques** dans les parcours. Plus la densité de végétation est élevée dans la zone, plus la médiane des températures et de l'hygrométrie se rapproche de la moyenne, et plus l'écart type diminue. Cela traduit une **stabilisation efficace des conditions microclimatiques**, en réduisant les fluctuations extrêmes que subissent les volailles. En période de **chaleur intense, les haies et bosquets** présents sur le parcours **maintiennent les volailles à l'abri du stress thermique, avec des températures moyennes réduites jusqu'à -6°C par rapport aux zones de plein soleil**.

**L'aménagement des parcours** est également **un facteur clé** pour l'optimisation des conditions technico-économiques d'élevage et pour le bien-être animal. Les données collectées indiquent que **la distance entre les éléments arborés ne doit pas excéder la distance d'exploration naturelle de la volaille, soit 15 mètres**. Cet espacement permet aux animaux d'accéder à des zones de confort tout au long du parcours, limitant leur exposition, même transitoire, aux conditions extrêmes et facilitant l'exploration complète de leur environnement, sans stress thermique excessif.

**L'effet d'atténuation du stress thermique dépend de la densité et de la stratification en plusieurs couches de végétation des ligneux**, qui **créent un microclimat plus stable**, réduisant les variations de températures et d'hygrométrie. Ces observations enrichissent également les connaissances sur les parcours, notamment celles du guide technique "Parcours volailles agroforestiers", fournissant des connaissances complémentaires et concrètes pour optimiser un parcours agroforestier avicole.

Cependant **cette étude ne s'est concentrée que sur une campagne de relevés d'une saison estivale** et il serait intéressant de l'étendre sur plusieurs années pour affiner et renforcer les résultats obtenus. **Mesurer l'effet potentiel bioclimatique des arbres durant la période hivernale** permettrait également de compléter l'analyse des parcours et de **mieux comprendre les effets saisonniers de l'agroforesterie sur le bien-être des volailles**.

Vu **l'effet amortisseur des arbres** très marqué **sur les températures et le THI**, la même étude en condition hivernale aurait de l'intérêt pour **évaluer l'optimisation de la productivité liée à un moindre besoin de régulation thermique** mais aussi **une éventuelle économie d'énergie fossile pour le chauffage des bâtiments en les entourant d'arbres et ou de haies**.



L'Association Française d'Agroforesterie tient à **remercier chaleureusement notre partenaire technique, la Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne**, qui nous a soutenus par son action efficace, et avec laquelle a été réalisée cette étude des parcours arborés. L'Association Française d'Agroforesterie tient également à remercier l'ITAVI, avec lequel nous avons échangé sur le projet. Leurs expertises riches et croisées sur le sujet ont été précieuses pour la réalisation de cette étude.

Cette étude, financée par la région Nouvelle-Aquitaine, a été réalisée dans le cadre du projet DEVANCE-volet expérimental, qui a pour but d'acquérir et de capitaliser des données sur les parcours volailles dans la région.

