



HAL
open science

Étude de leviers agroécologiques pour une production viticole de qualité au Château Latour

Théo Derenoncourt

► **To cite this version:**

Théo Derenoncourt. Étude de leviers agroécologiques pour une production viticole de qualité au Château Latour. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04813735

HAL Id: dumas-04813735

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04813735v1>

Submitted on 5 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE



CHATEAU LATOUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

Option : Viticulture Œnologie

Étude de leviers agroécologiques pour une production viticole de qualité au Château Latour

Par

Théo DERENONCOURT

Année de soutenance : 2024

Organisme d'accueil : Château Latour

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

Option : Viticulture-Œnologie

**Étude de leviers agroécologiques pour
une production viticole de qualité au
Château Latour**

Par

Théo DERENONCOURT

Année de soutenance : 2024

Mémoire préparé sous la direction de :
Raphaël METRAL

Organisme d'accueil :
Château Latour, Pauillac

Présenté le : 28 juin 2024

Maître d'apprentissage :
Hélène GENIN

Devant le Jury:
GARCIA Léo
LACOMBE Thierry
METAY Aurélie
METRAL Raphaël

Résumé :

La mise en place de pratiques agroécologiques en viticulture est un sujet d'étude au cœur des préoccupations actuelles. Le contexte de cette étude se situe sur l'agroforesterie et les couverts végétaux (semés et naturels) dans un vignoble bordelais face aux défis climatiques et écologiques.

Les objectifs sont d'analyser l'impact sur la vigne, ainsi que sur la biodiversité et la fertilité des sols de 2022 à 2024.

Concernant les résultats, l'agroforesterie attire plus d'auxiliaires sous certaines conditions climatiques, n'affecte pas négativement la croissance des rameaux, l'alimentation azotée et la fertilité de la vigne, ni le style du vin (légère tendance de volume et de complexité à la dégustation). Les couverts végétaux ont la capacité d'augmenter la biodiversité et d'incorporer des éléments nutritifs aux sols, en apportant de la matière sèche, de l'azote et des nutriments (P, K, S, Mg). Les meilleurs résultats concernent les couverts semés.

En conclusion, les pratiques agroécologiques en viticulture peuvent augmenter la diversité des insectes sans impacts significatifs sur la culture principale, les couverts enrichissent en éléments fertilisants et favorisent l'augmentation de la faune.

Mots Clés : diversité, faune auxiliaire, viticulture, changement climatique, agroécologie, agroforesterie, couverts végétaux, auxiliaires, ravageurs, fertilité.

Pour citer ce document : [Derenoncourt, Théo, 2024. Étude de pratiques agroécologiques pour une production viticole de qualité au Château Latour. Mémoire d'ingénieur agronome, option viticulture-œnologie, L'Institut Agro Montpellier. 36 p.]

Abstract:

The implementation of agroecological practices in viticulture is a key focus of current research. This study, conducted in a Bordeaux vineyard, examines the impact of agroforestry and cover crops (both sown and natural) in the context of climate and ecological challenges.

The objectives are to analyze the effects on the vine, as well as on soil biodiversity and fertility from 2022 to 2024.

The results show that agroforestry attracts more beneficial insects under certain climatic conditions, does not negatively affect shoot growth, nitrogen nutrition, or vine fertility, and has no significant impact on wine style (slight trend towards increased volume and complexity in tasting). Cover crops can increase biodiversity and incorporate nutrients into the soil, providing dry matter, nitrogen, and other nutrients (P, K, S, Mg), with the best results observed in sown cover crops.

In conclusion, agroecological practices in viticulture can enhance insect diversity without significant impacts on the main crop, enrich the soil with nutrients, and promote increased fauna.

Keywords: diversity, beneficial insects, viticulture, climate change, agroecology, agroforestry, cover crops, beneficials, pests, fertility.

To cite this document: [Derenoncourt, Théo, 2024. Study of Agroecological Practices for Quality Viticultural Production at Château Latour. Agronomic Engineer Thesis, Viticulture-Oenology option, L'Institut Agro Montpellier. 36 p.]

REMERCIEMENTS

Ce rapport terminal est le fruit d'un travail qui a débuté en 2021, et qui n'aurait jamais été possible sans la confiance d'Hélène Genin, directrice générale de la propriété, qui m'a accueilli à bras ouvert au sein du Château Latour dès mon premier jour d'alternance, et m'a permis d'apprendre au sein d'un excellent outil de travail. Il n'aurait pas été aussi précis dans ses résultats sans l'accompagnement précieux d'Aloïs Houeto, responsable Recherche & Développement du groupe Artémis Domaines. Il a été initié grâce aux questionnements ambitieux de Julien Arnaud, directeur technique du domaine Bouchard Père & Fils.

Cette alternance n'aurait pas été si savoureuse sans la compagnie de mes collègues stagiaires et alternants : Lya, Maxime, Martin, Philomène, Jérôme, Anthony, Maria, Marina, Margaux, Flavie. J'ai une pensée particulière pour ces beaux moments partagés à leurs côtés.

J'aimerais remercier tout particulièrement les équipes de la propriété, au chai, à la vigne, aux jardins, au bureau, pour leur aide précieuse et les compétences qu'ils m'ont transmis à travers cet apprentissage de 3 années. Leur accueil et leur bienveillance tout au long de cette alternance, qui m'a vu apprendre le vin, la viticulture et la précision du détail pendant ma formation d'ingénieur à l'institut agro Montpellier. Grâce à eux, j'ai pu effectuer un apprentissage à 21 ans dans un des châteaux les plus renommés mondialement, ce qui a été un honneur et restera une véritable fierté.

Devant l'intensité de travail qu'il a fallu réaliser, le rythme soutenu et la motivation qu'il fallait avoir et garder, j'aimerais remercier ma famille, mes amis, mes proches, qui m'ont donné les moyens de réaliser ce que je souhaitais faire. Je pense également à l'équipe pédagogique de l'école, ainsi que mon tuteur Raphaël Metral, qui m'ont accompagné tout au long de ce riche apprentissage.

Je finirais par remercier l'ensemble des personnes que j'ai pu croiser jusqu'ici, à bonnes ou mauvaises intentions, qui m'ont motivées par leur gentillesse ou leur méchanceté, à aller toujours plus loin et voir plus grand.

« Chez nous, les hommes devraient naître plus heureux et plus joyeux qu'ailleurs, car je crois que le bonheur vient aux hommes qui naissent là où l'on trouve le bon vin. »

Léonard De Vinci

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION : Le Château Latour et ses objectifs de transition agroécologiques	2
1.1. Château Latour	2
1.2. Problématiques rencontrées par la propriété	3
II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
2.1. Changement climatique, impact en viticulture et solutions théoriques	4
2.2. L'agroécologie pour l'évolution de la viticulture	5
2.2.1. L'agroforesterie en viticulture	5
2.2.2. Les couverts et leurs services écosystémiques	7
2.3. Diversité faunistique du vignoble	9
2.3.1. Insectes ravageurs	9
2.3.2. Insectes auxiliaires	10
2.3.3. Insectes pollinisateurs	10
2.3.4. Micro-organismes du sol	11
2.4. Problématique : L'agroécologie face aux nouveaux défis	12
III. MATÉRIELS et MÉTHODES	13
III.1. Agroforesterie	13
3.1.1. Dispositif expérimental	13
3.1.2. Croissance de rameaux	13
3.1.3. Statut azoté : N-tester et azote assimilable.....	14
3.1.4. Différence microclimatique	14
3.1.5. Populations d'insectes	15
3.1.6. Estimation de rendement	15
3.1.7. Suivi maturité	16
3.1.8. Micro-vinifications.....	16
3.1.9. Analyse sensorielle	16
III.2. Couverts végétaux en viticulture	17
3.2.1. Dispositif expérimental	17
3.2.2. Méthode MERCI.....	18
3.2.3. Analyses de microfaune.....	18
III.3. Traitement statistique des indicateurs mesurés	19
IV. RÉSULTATS	19

IV.1. Millésimes d'études	19
IV.2. Agroforesterie	20
IV.3. Couverture des sols	24
V. DISCUSSION : SYNTHÈSE ET BILAN DES RÉSULTATS.....	26
V.1. Agroforesterie	26
V.2. Couverture des sols	28
VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	29
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	31

SIGLES ET ACRONYMES

IH : Indice Héliothermique de Huglin
IW : Indice de Winkler
IS : Indice de Shannon
IPT : Indice de Polyphénols Totaux
ENM : Enherbement Naturel Maîtrisé
SBS : Score de Santé Biologique des Sols
BA : Bactéries actives
CA : Champignons Actifs
MOA : Micro-organismes Actifs
MOT : Micro-organismes Totaux

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Carte du vignoble de Bordeaux (CIVB, 2017)
- Figure 2 : Vins du Château Latour (Théo Derenoncourt, 2021)
- Figure 3 : Diagramme ombrothermique de l'AOC Pauillac sur la période 1991-2020 (MétéoFrance, 2023)
- Figure 4 : Cartes parcellaires de l'Enclos et des parcelles de la propriété du Château Latour (Géographie et Terroir, 2022)
- Figure 5 : Photographie de dégâts et d'espèce d'*Empoasca vitis*, *Scaphoideus titanus*, *Lobesia botrana* (Ephytia)
- Figure 6 : Schéma des liens fonctionnels entre les espèces cultivées en agroécologie appliquée à la viticulture (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 7 : Photographies aériennes des parcelles d'essai (Géoportail, 2024)
- Figure 8 : (A) Schéma de la dynamique d'absorption de l'azote par la vigne à partir de l'ouvrage de Löhnertz, 1988 et (B) Photographie d'un appareil de mesure Ntester (CIVC, 2009)
- Figure 9 : Représentation schématique du dispositif de capture d'insecte de la parcelle Petit Sablonnet (Théo Derenoncourt, 2021)
- Figure 10 : Photographie d'une capture d'insecte de la parcelle Petit Sablonnet (Théo Derenoncourt, 2021)
- Figure 11 : Schéma d'un comptage parcellaire pour réaliser une estimation rendement (Théo Derenoncourt, 2023)
- Figure 12 : Barrique inox utilisée pour les micro-vinifications (Emilie Michel, 2023)
- Figure 13 : Photographie aérienne de l'Enclos et focus sur les parcelles étudiées pour les couverts (Géoportail, 2024)
- Figure 14 : Diagramme ombrothermique du millésime 2022 en AOC Pauillac, en comparaison avec des données climatiques moyennes de la période 1991-2020 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 15 : Diagramme ombrothermique du millésime 2023 en AOC Pauillac, en comparaison avec des données climatiques moyennes de la période 1991-2020 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 16 : Histogramme de la totalité des insectes capturés sur les deux campagnes d'études de Petit Sablonnet (2022 et 2023) (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 17 : Histogramme des indices de Shannon-Weaver présentés pour les millésimes 2022 (A) et 2023 (B) (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 18 : Cinétique de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet en fonction des dates de mesures du millésime 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 19 : Cinétique de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet en fonction des dates de mesures du millésime 2022 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 20 : Projection graphique des écarts entre modalités des indices de Winkler (IW) calculés à partir des données météorologiques (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 21 : Histogramme de la quantité de jours supérieurs à 30°C lors du millésime 2023 pour les deux modalités (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 22 : Histogramme de la quantité de jours supérieurs à 35°C lors du millésime 2023 pour les deux modalités (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 23 : Histogramme des valeurs mesurées au N-tester à 3 stades phénologiques (A) et de l'azote assimilable à 3 dates de prélèvements (B) de la parcelle Petit Sablonnet en 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 24 : Courbes d'évolution du poids de 100 baies de raisins (A) et des sucres fermentescibles (B) de la parcelle Petit Sablonnet en 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 25 : Courbes de la cinétique d'extraction des tanins de la parcelle Petit Sablonnet lors des micro-vinifications 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 26 : Analyse en composante principale du logiciel Rstudio des performances des juges de la dégustation d'essai (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 27 : Analyse en composante principale (Rstudio) des qualificatifs de notation des micro-vinifications du projet agroforesterie 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)
- Figure 28 : Représentation graphique des notations par critères des micro-vinifications 2023 entre les deux modalités présentées (Source : Château Latour)

Figure 29 : Densité moyenne (A) et Hauteur moyenne (B) du couvert végétal des parcelles semées avec le mélange M2 en 2024, estimés par mesure in situ (Théo Derenoncourt, 2024)

Figure 30 : Comparaison de la quantité de biomasse (A) et d'azote (B) produits par les couverts du Château Latour en 2023 et en 2024 (Théo Derenoncourt, 2024)

Figure 31 : Comparaison des densités moyennes de luzerne endémique dans le couvert végétal des parcelles étudiées en 2023 (A) et en 2024 (B) dans l'Enclos (Théo Derenoncourt, 2024)

Figure 32 : Histogramme des quantités totales et actives des micro-organismes (MO) dénombrés dans les parcelles auditées selon 2 millésimes d'étude et classées selon les valeurs moyennes d'indications (remplie par des bandes diagonale, fournies par les interprétations d'analyses) (source : SRDV)

Figure 33 : Représentation schématique de la position des nouvelles modalités d'essai sur la parcelle Prairie (Théo Derenoncourt, 2024)

Figure 34 : Carte des sols du parcellaire de l'Enclos et position des modalités d'essai sur la parcelle Petit Sablonnet (Source : J.M Viaud, Château Latour)

Figure 35 : Représentation schématique d'une parcelle modèle d'expérimentation en agroécologie, d'après les données et les résultats collectés pour ce mémoire (Théo Derenoncourt, 2024)

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des effets des différentes modalités de diversification végétale sur les différentes catégories de bioagresseurs, issu d'une publication de Tibi et al., 2022

Tableau 2 : Inventaire des espèces d'insectes de type ravageurs pour la viticulture, selon Boudon-Pardieu *et al.*, 2000

Tableau 3 : Interprétation des données du N-Tester en viticulture au stade véraison, adapté selon un article de Verdenal et al., 2023

Tableau 4 : Présentation et classement des insectes rencontrés lors du diagnostic (Théo Derenoncourt, 2024)

Tableau 5 : Présentation des résultats d'analyses de sol des parcelles étudiées dans l'audit (Château Latour, 2020)

Tableau 6 : Tableau comparatif des caractéristiques des 2022 et 2023 en AOC Pauillac (Château Latour, 2023)

Tableau 7 : Quantités d'espèces capturées par modalité lors des millésimes d'étude (Théo Derenoncourt, 2024)

Tableau 8 : Résultats du test de classement réalisé par le panel de dégustateurs en 2023 (Théo Derenoncourt, 2024)

Tableau 9 : Évolution des parcelles étudiées (en %) entre le millésime 2023 et 2024 (Théo Derenoncourt, 2024)

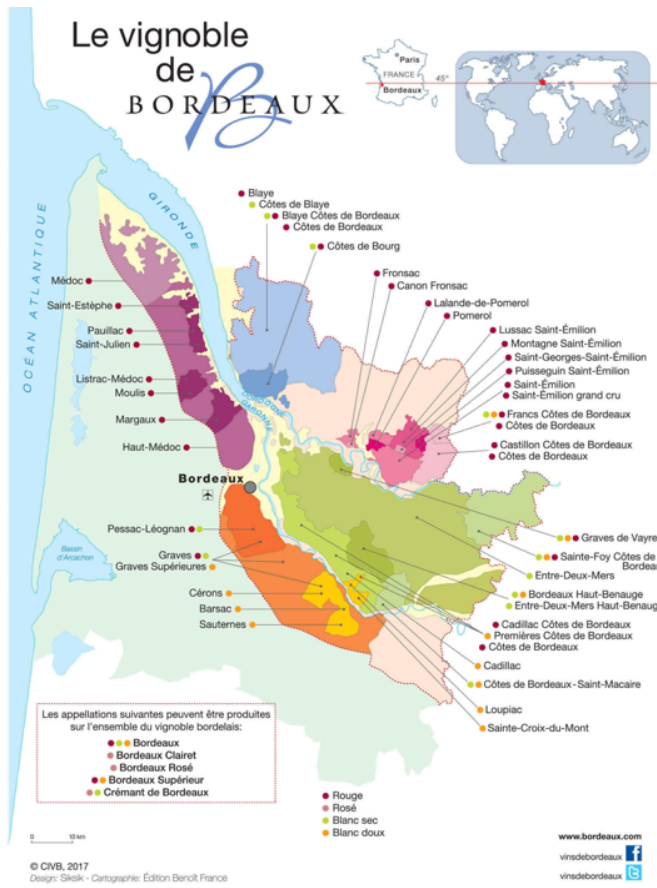


Figure 1 : Carte du vignoble de Bordeaux (CIVB, 2017)



Figure 2 : Vins de la propriété viticole (2021)

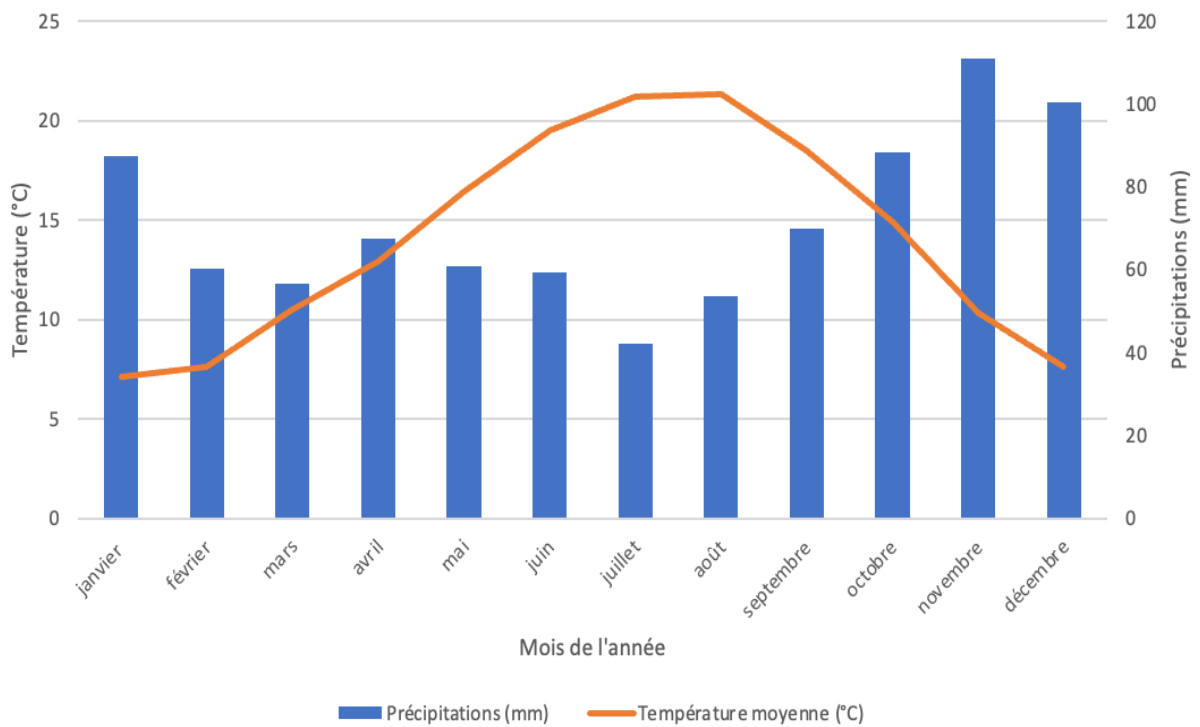


Figure 3 : Diagramme ombrothermique de l'AOC Pauillac sur la période 1991-2020 (MétéoFrance, 2023)

I. INTRODUCTION : LE CHATEAU LATOUR ET SES OBJECTIFS DE TRANSITION AGROECOLOGIQUES

1.1. Château Latour

Située à Pauillac, dans le nord médoc (Gironde), cette propriété emblématique du Bordelais est un premier Grand Cru Classé depuis 1855. Rachetée en 1993 par François Pinault, la propriété fait désormais partie du groupe Artémis Domaines.

La propriété s'étend aujourd'hui sur 96.5 hectares de terres en AOC Pauillac, située à 50 km de Bordeaux, entouré par des appellations voisines prestigieuses, comme Margaux et Saint Julien au Sud, ou encore Saint Estèphe au nord (*Figure 1*). Une multitude de type de sols s'étendent sur le domaine, composée de Brunisols argileux, Arénosols, Rédoxisols sablo-marneux, Planosols sableux alluvionnaires, des Calcisols et des Calcosols. Les cépages cultivés sont typiques de la région, on retrouve sur le domaine viticole des vieilles vignes de Cabernet Sauvignon, Merlot et Petit Verdot. Le domaine viticole produit actuellement 3 vins sur la propriété : Le Grand Vin de Château Latour, Les Forts de Latour et le pauillac de Château Latour (*Figure 2*). Les 3 vins sont séparés selon la qualité des sols, le découpage historique, l'âge des vignes ainsi que la dégustation. Face aux problématiques de manque et de baisse de diversité floristique, faunistique et de faible écosystème, le vignoble a dû évoluer. Depuis 2018, l'ensemble du vignoble est mené en agriculture biologique, 60 hectares sont conduits en biodynamie depuis 2008. Depuis 2016, des projets d'agroécologie et d'agroforesterie ont vu le jour.

Le climat de la région bordelaise est océanique, l'appellation Pauillac est caractérisée par des précipitations moyennes de 857 mm et une température annuelle moyenne de 14,18 °C (1991 – 2020). La distribution de la pluviométrie moyenne et des températures par mois est projetée sur la *Figure 3*. Le maximum des précipitations en saison végétative est distribué au printemps, ce qui fait de Bordeaux une région viticole où les attaques de mildiou sont récurrentes et avec parfois de forte sévérité. Les températures maximales sont incidentes en juillet/août, ce qui implique parfois pour la région de traverser des périodes de sécheresse assez marquée. Face aux manifestations de plus en plus marquées du réchauffement climatique, plusieurs projets de Recherche et Développement sont mis en place pour atténuer ses effets.

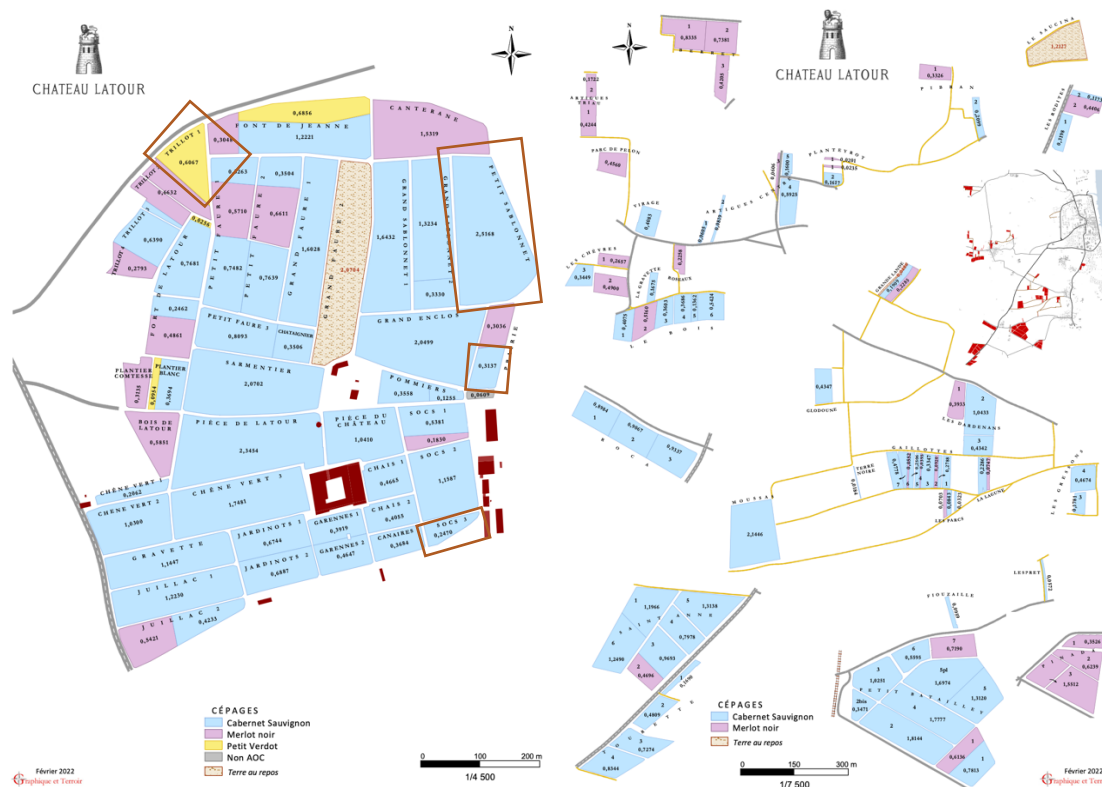


Figure 4 : Cartes du parcellaire de l'Enclos et des parcelles extérieures de la propriété = parcelle d'agroforesterie

Tableau 1 : Synthèse des effets des différentes modalités de diversification végétale sur les différentes catégories de bioagresseurs, issu d'une publication de Tibi et al., 2022

Modalités de diversification ↓	Adventices	Insectes aériens	Insectes telluriques	Maladies vectorielles	Pathogènes aériens	Pathogènes telluriques	Nématodes	Autres bioagresseurs
Mélanges variétaux	* Effet attendu positif	**	?	*	*** Amplitude très variable	*	?	?
Cultures associées	***	*** Effet fort	*	?	*** Effet fort	*	?	?
Agroforesterie	** Effet assez fort	*** Amplitude variable	?	?	** Effet plus faible que pour les insectes	?	*	striga : * gastéropodes : * Effet lié à l'absence de travail du sol
↗ diversité rotations	*** Effet fort lié au travail du sol	* Effet à l'échelle du paysage	* Effet potentiellement fort	?	* Efficace lorsque l'inoculum est local	* Effet potentiellement fort	** Effet potentiellement très fort	?
↘ part d'une culture dans le paysage	?	* Effet attendu positif	?	* Effet attendu positif	?	?	?	rats taupiers : *
↗ diversité de l'assolement	0*	* Effet attendu positif	?	* Effet attendu positif	?	?	?	?
↘ taille des parcelles	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	?	* Effet attendu positif	* Effet attendu peu clair	* Effet attendu peu clair	* Effet attendu peu clair	?
↗ distance d'isolement entre cultures	* Effet attendu variable	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	?
↗ diversité des ESN* dans le paysage	* Effet attendu positif	** Effet faible	?	* Effet attendu positif	* Effet attendu positif	?	?	Acariens : * Effet attendu positif

NB : La non-additivité des effets synthésés dans ce tableau interdit toute lecture transversale entre lignes mais aussi entre colonnes. Cette règle est d'autant plus fondamentale que l'analyse des effets multiples de chaque modalité de diversification sur des cortèges de bioagresseurs, ainsi que des effets combinés de plusieurs modalités de diversification constitue un champ de recherche à développer.

* ESN : éléments semi-naturels

1.2. Problématiques rencontrées par la propriété

Le changement climatique est un des plus gros défis d'avenir de la viticulture mondiale, et les leviers agroécologiques, par leur capacité à pouvoir rafraichir le milieu, à capter du CO₂ par la combinaison des cultures ainsi que la diversification des espèces, et à émettre moins de dioxyde de carbone, peuvent être une des solutions d'expérimentation (Aigrain *et al.*, 2019). La viticulture doit également lutter contre la perte de diversité des parcelles, la diminution de la fertilité des sols, les maladies cryptogamiques et les ravageurs.

Le Château Latour possède plusieurs îlots de parcelles (*Figure 4*) réparties dans Pauillac et aux alentours, dont certaines avec des sols très filtrants, retenant peu l'eau. Cette faible retenue d'eau combinée à l'augmentation de la température conduit à une contrainte hydrique de plus en plus forte sur plusieurs parcelles.

Beaucoup de parcelles de la propriété sont peu végétalisées, certaines ont été renforcées avec des haies. Pour pallier ce manque de diversification, l'ensemble de la propriété est enherbé, avec des parcelles semées et des parcelles en entretien d'enherbement naturel. Pour sélectionner les espèces à planter, la propriété viticole a démarré des essais de semis permanents. Le but principal est d'éviter les sols nus, limiter l'érosion, limiter la dégradation de la structure et alimenter en matières nutritives (organiques et minérales). Des espèces ont été choisies selon des critères, afin de limiter au maximum les impacts sur la culture de la vigne.

Cultiver en monoculture est une méthode qui peut s'avérer très risquée. Les agents pathogènes (bioagresseurs) les plus rencontrés en viticulture, ceux du Mildiou et de l'Oïdium sont classés comme des agents à fort potentiel évolutif (Delmotte *et al.*, 2021). Ils représentent un risque constant lors de la saison végétative. Selon une synthèse bibliographique réalisée par l'INRAE (Tibi *et al.*, 2022), si chaque catégorie de bioagresseur est confrontée à plusieurs espèces végétales dans un même milieu (diversification), leur présence peut être significativement régulée par le milieu. Cette synthèse présente les différentes modalités de diversification (*Tableau 1*) et leurs effets sur les différents bioagresseurs.

Dans ces parcelles où peu d'espèces sont représentées, on remarque que les effets des périodes de sécheresse sont encore plus marqués. Certains plants mal alimentés sont sujets à la baisse de production, au dépérissement et à la mortalité.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Changement climatique, impact en viticulture et solutions théoriques

Depuis plusieurs années, la viticulture mondiale connaît un tournant important, à travers plusieurs diagnostics des effets alarmants du réchauffement climatique sur la culture de raisins. Les augmentations de la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère (ppm) sont reconnues par les stations météorologiques, et corrélée avec une augmentation nette de la température (Maron *et al.*, 2022). Avec des températures plus élevées, et des précipitations égales, la demande évaporative (ETP) connaît une augmentation (Lebon and Atauri, 2014). La ressource hydrique de la vigne n'y est plus adaptée, les raisins de cuve étant limités à une frange climatique assez délicate (Ollat and Touzard, 2014). Les effets constatés sont une augmentation des situations de stress, ainsi qu'une diminution de la fertilité (Mériaux *et al.*, 1981). L'allocation des nutriments de la vigne aux différents organes est également perturbée. Ce changement pourrait avoir des conséquences sur l'état sanitaire du vignoble (Goutouly, 2009). Le fruit récolté est de plus en plus sucré (avec un TAVP plus important), de moins en moins acide (augmentation du pH et consommation de l'acide malique en réponse aux stress) et avec une composition bien différente que les raisins que nous connaissons actuellement (Neethling, 2016).

Cette problématique hydrique a pour effets, lorsqu'elle est trop sévère de réduire la photosynthèse, de favoriser un arrêt de croissance prématurer, de stopper l'augmentation de la taille des baies et abouti à une forte synthèse des composés phénoliques (Van Leeuwen and Vivin, 2008). Certains épisodes de sécheresse peuvent conduire à des défoliations, des coulures, des blocages de véraison, et même à une mortalité de plusieurs cepes sur certains îlots (Simonneau *et al.*, 2014). Les jeunes vignes mais aussi des vieilles vignes faibles seront contraintes, avec peu de ressources carbonées et des diamètres de bois minuscules.

Pour pouvoir augmenter leur résistance à la sécheresse, il faudrait réfléchir sur plusieurs axes pour réussir à augmenter leur nutrition en éléments minéraux, à favoriser la photosynthèse afin d'accumuler des sucres pour les réserves et renforcer sa ténacité, et à mieux retenir l'humidité dans les parcelles pour atténuer les montées en température du milieu.

2.2. L'agroécologie pour l'évolution de la viticulture

En rassemblant plusieurs méthodes de production agricole respectueuses de l'environnement, grâce à la vision systémique d'un écosystème, qui repose sur la capacité à prendre en compte tous les agents et les situations composants un écosystème pour mieux les analyser. Les plusieurs éléments ainsi que leurs interactions au sein d'un système agricole composent l'Agroécologie. Ce mode de production, assez exemplaire, se détaille par un ensemble de concept et de pratiques dans lequel les connaissances de l'écologie scientifique sont utilisées pour la production agricole (Calame et Darrot, 2016). Il se veut inspirant pour le futur de l'agriculture et pluri bénéfiques, apportant des solutions concrètes à nos problématiques actuelles.

Cette approche vise à repenser notre mode de production, à travers des audits et des diagnostics, en évitant la monoculture et les intrants, pour favoriser les différents acteurs du monde vivant et leurs interactions. Ces interactions ramènent des effets bénéfiques au système, comme par exemple la recrudescence des vers de terre (Meynard, 2017). Plusieurs recherches ont montré des effets positifs sur les sols, les plantes, mais aussi sur les fruits produits par les cultures, ici, le raisin (Meissner *et al.*, 2019). En agissant sur les sols, l'agroécologie améliore la production. Dans le contexte viticole actuel, la microbiologie des sols est aujourd'hui considérée comme l'un des facteurs clés influant sur l'état sanitaire de la vigne et la qualité des raisins (Quiquerez *et al.*, 2022).

2.2.1. L'agroforesterie en viticulture

2.2.1.1. Intérêts écologiques

Stockage de carbone, microclimat frais et ombrage

Les arbres sont des espèces possédant la capacité de stocker du carbone dans leur biomasse ligneuse et dans les matières organiques du sol (Chevallier *et al.*, 2015), un facteur important pour sa fertilité et un rôle majeur dans le cycle du carbone terrestre, ce stockage durable permettrait donc d'atténuer les effets du réchauffement climatique. L'agroforesterie permettrait de diminuer l'impact de la sécheresse en produisant un ombrage porté sur les cultures (Zomboudré *et al.*, 2005) limitant les effets d'échaudage sur les baies.

Effet barrière contre les gelées

L'agroforesterie peut également être implanté sous forme de haies, champêtres ou fruitières. Selon leur caractéristique (Hauteur, nature, perméabilité), les arbres peuvent permettre un effet barrière contre les gelées. Leur positionnement doit être à quelques mètres du rang de vigne, elle doit être perméable aux écoulements laminaires (Zappelini *et al.*, 2022), et peut limiter jusqu'à 1°C les effets des gelées. Cet effet n'est donc pas applicable dans toutes les situations de viticulture. En situation advective, la haie influence la convection alors qu'en situation radiative, l'émission du rayonnement infrarouge par les haies limite les gelées (Quénol H., 2002).

Enrichissement structurel du sol

Les arbres, implantés dans un système, possèdent de fortes capacités sur l'état du sol. En effet, ils permettent de diminuer voir d'éviter l'érosion, améliorer la structure du sol (aération par les racines et diminution de la compaction) ainsi que la portance (Bansept, 2013).

Effets sur la diversité des insectes

La mise en place de système agroforestier peut également jouer un rôle sur les populations d'insectes. Certaines espèces peuvent être des hôtes d'acariens phytophages, et permettre de moindres attaques sur la vigne, comme l'espèce Cormier (Kreiter *et al.*, 2011). Pour estimer les effets des arbres, un indice de diversité, de type Shannon-Weaver, est un outil intéressant (Ortiz-Burgos, 2016, Shannon et Weaver, 1963). Les arbres peuvent également servir d'hôtes à auxiliaires (Phelpin *et al.*, 2023), et abriter des oiseaux et des chauves-souris, consommateurs de ravageurs de type vers de grappe (Macary *et al.*, 2020). Dans un contexte de transition écologique, la demande impose une moindre pulvérisation d'intrants. Les systèmes agroforestiers sont un moyen de diversifier les espèces d'insectes, et permettraient un meilleur équilibre entre les insectes auxiliaires et ravageurs, en abritant des ressources pour leurs ennemis naturels (Sarhou and Smits, 2006). Selon un état des lieux des exploitations en agroécologie, coupler une parcelle en agroforesterie avec de la confusion sexuelle permettrait potentiellement d'éviter des traitements contre certains ravageurs, et d'obtenir des IFT plus bas qu'en conventionnel (Macary and Le Foll, 2023).

2.2.1.2. Limites et interrogations

Une étude menée sur l'agroforesterie statue que l'effet sur le microclimat ainsi que la biomasse aérienne favorise la diversité des populations, mais dans certains cas la survie des ravageurs comme les pucerons (Masquin, 2020). Après des études menées dans plusieurs régions viticoles (Bordeaux, Côtes de Gascogne et Cahors), l'agroforesterie viticole aurait un faible impact sur la croissance de la vigne, et donc un effet peu concurrentiel (Bourgade *et al.*, 2018). Mais il apparaît que les arbres Pin pignon et Cormier, à une distance inférieure à 5 mètres des ceps de vignes, peuvent diminuer la récolte de 9 à 31 % (Trambouze and Goma-Fortin, 2018). Il faut donc être attentif sur la distance de plantation, et le choix de l'essence sélectionnée.

2.2.2. Les couverts et leurs services écosystémiques

2.2.2.1. État des lieux des pratiques des couverts végétaux en viticulture

La viticulture mondiale connaît depuis plusieurs années une grande transition environnementale et agroécologique. Une étude menée sur la qualité microbiologiques des sols viticoles met en avant les dégradations physiques et biologiques des modes de conduite sur les sols (Zappellini *et al.*, 2022). Une étude menée sur l'agro biodiversité statue sur les préoccupations culturelles des viticulteurs, prônant un itinéraire technique plus durable, pour rattraper les erreurs du passé (Doncieux *et al.*, 2022). En cultivant au milieu des rangs des couverts naturels sous forme d'enherbement naturel maîtrisé (ENM) ou des semis sélectionnés (graminées, légumineuses, brassicacées, ...), certains paramètres du sol peuvent être grandement améliorés. Son pH, ses enzymes, ses communautés de bactéries et de champignons, où encore sa capacité à minéraliser de l'azote qui augmente dû à l'activité biologique (Giacinto *et al.*, 2020). Les résidus de la dégradation de ses couverts peuvent également apporter une nutrition non négligeable à la vigne selon le type et la période de destruction (Verdenal *et al.*, 2021) selon le type et la période de destruction du couvert. Les raisins à la récolte peuvent ainsi être mieux fournis en éléments importants pour la vinification (azote assimilable, degré Brix, ...) (Parker *et al.*, 2014). Plusieurs tests ont été réalisés à l'aide de semis sélectionnés, avec des espèces comme des trèfles, afin de mettre en avant les effets sur l'enrichissement de la matière organique et l'aération du sol (Abad *et al.*, 2020). Les tests réalisés avec l'enherbement permanent mettent en

avant une dégradation plus rapide des pesticides, le maintien de la structure du sol et une amélioration de la portance (Benoit, 2010).

Les sols nus cultivés sont sujets à érosion et tassement à travers l'utilisation d'engins agricoles, le changement climatique implique des températures plus élevées et une perte d'humidité, qui sur un sol nu, dégrade fortement la faune pédologique à travers un assèchement et des brûlures de surface (Chantelot, 2003).

Théoriquement, les semis de légumineuses et de graminées permettraient de stocker du carbone dans le sol et d'améliorer la circulation de l'eau (Schultz, 2022). Mais également d'augmenter le taux de carbone organique et d'azote du sol, améliorer l'infiltration de l'eau et la stabilité des agrégats, augmenter la diversité faunistique du vignoble (Abad *et al.*, 2021). Cet itinéraire technique, à long terme, pourrait théoriquement former de l'humus à l'aide de la décomposition des couverts, améliorer la transformation de la matière fraîche en matière organique et minérale en stimulant l'activité microbiologique, favoriser des habitats fonctionnels de la faune et limiter les tassements en améliorant la structure (aération en surface grâce aux systèmes racinaires des semis).

2.2.2.2. Espèces d'intérêts pour les essais du Château Latour

Certains semis possèdent des propriétés allélopathiques, un phénomène biologique où un organisme produit des substances biochimiques nuisant à la germination, la croissance, la survie et la reproduction d'autres espèces. Cette caractéristique d'origine naturelle est de plus en plus recherchée pour une agriculture durable, l'utilisation sans discernement des pesticides conventionnels de synthèse ayant eu un impact écologique et sanitaire néfaste (contamination de l'environnement et des écosystèmes, perte de diversité...). A côté de molécules susceptibles d'avoir des actions insecticides ou fongicides, les recherches sur l'allélopathie ont souligné les activités des composés végétaux dans les mécanismes antigerminatifs des plantes (Fontar and Thomas, 1987; Eveno and Chabanne, 2001; Weston and Duke, 2003). Elles ont ouvert de nouveaux horizons en matière de stimulation des défenses des plantes ou de nouveaux procédés chimiques et biologiques excrétés par les racines ou lors de l'enfouissement de la plante dans le sol. Ces avancées ont conduit à des réflexions sur leur réglementation et leur homologation qui s'inscrivent dans des perspectives renouvelées (Regnault-Roger *et al.*, 2008).

L'allélopathie a plusieurs effets, antis germinatifs mais pas seulement. Certaines plantes de services « nématocides » (sainfoin, seigle ou du radis fourrager) permettent de limiter la transmission de viroses en sécrétant des composés répulsifs, inhibiteurs ou biocides pour les nématodes du sol (Cayrol, Djian-Caporalino and Panchaud-Mattei, 1992). Dans une parcelle infestée par la maladie du court-noué, une maladie virale conduisant à un dépérissement de la vigne, leur implantation pendant la période d'interculture avant la replantation de la vigne permet de diminuer la période de repos du sol ce qui est économiquement plus supportable pour les vigneron. Ces plantes vont agir en diminuant les populations de nématodes *Xiphinema index* dans le sol, vecteurs du virus (GFLV) impliqué dans la transmission du court-noué (Dewasme Laveau *et al.*, 2020).

Les composés allélopathiques sont captés spécifiquement par d'autres organismes végétaux (Rizvi *et al.*, 1992) tandis que les composés assainissant auront des effets sur d'autres types d'organismes (micro-organismes, nématodes).

Les espèces sélectionnées pour les essais se composent de trèfles souterrains semés à 20 Kg/ha, et de trèfle incarnat à 15 Kg/ha. Le trèfle souterrain est une plante annuelle de la famille des *Fabacées* également appelées légumineuses. Sa particularité est d'enterrer ses graines en fin de cycle, ce qui lui permet de se régénérer chaque année (Masson *et al.*, 1996). Son cycle végétatif est qualifié de relativement long (77 à 163 jours). Le trèfle incarnat, plante annuelle appartenant également aux fabacées, est intéressant pour sa production de biomasse à maturité tardive, sa levée est intéressante en conditions fraîches et humides (den Hollander *et al.*, 2007).

2.3. Diversité faunistique du vignoble

Selon plusieurs études citées dans le paragraphe agroforesterie, les arbres auraient la capacité d'attirer des insectes auxiliaires au vignoble, consommateurs d'insectes ravageurs. Il est important de présenter les différents types d'insectes rencontrés.

2.3.1. Insectes ravageurs

Certains insectes ont des incidences néfastes sur la vigne, ou sur les arbres. Ils sont classés dans la catégorie « ravageur », et doivent être évités au vignoble. Les espèces présentées dans le *Tableau 2* proviennent de la synthèse bibliographiques

Tableau 2 : Inventaire des espèces d'insectes de type ravageurs pour la viticulture (Boudon-Pardieu et al., 2000)

Nom	Nom Latin	Dégâts	Conséquences	Organes touchés
Cicadelle verte	<i>Empoasca vitis</i>	Nécrose de tissus foliaires en périphérie du limbe	Diminution de la photosynthèse, du taux de sucres et retard de maturation des baies	Feuilles âgées
Cicadelle de la flavescence dorée	<i>Scaphoideus titanus</i>	Transmission du virus de la flavescence dorée	Diminution de la capacité d'interception du rayonnement puis mort du cep	Feuilles et rameaux
Cochylis	<i>Eupoecilia ambiguella</i>	Perforation et morsures des fleurs et des baies pour pondre leurs œufs	Installation de la pourriture <i>Botrytis cinerea</i> et dégradation des fruits qui ne sont plus récoltables	Fleurs et baies de raisin
Eudémis	<i>Lobesia botrana</i>			
Phylloxera	<i>Phylloxera vastatrix</i>	Morsures du plant de vigne occasionnant une formation de galles, propagation de sa salive toxique dans la plante	Mort du cep de vigne	Feuilles et racines
Acariens	<i>Tetranychus urticae</i>	Dégradation du limbe de la feuille en créant des ponctuations jaunes et rougeâtres	Diminution de la photosynthèse	Feuilles (face supérieure)
	<i>Eotetranychus carpini</i>			
	<i>Panonychus ulmi</i>			
Altise	<i>Haltica lythri</i>	Dégradation de la feuille en grignotant le parenchyme du limbe	Diminution de la capacité d'interception du rayonnement	Feuilles et racines
Thrips	<i>Thysanoptera</i>	Dégradations brunâtres de la feuille par piqûre du limbe, destruction des pédoncules de l'inflorescence	Diminution de la capacité d'interception du rayonnement, coulure, flétrissement des fleurs, décoloration des baies	Feuilles, fleurs, baies
Drosophile	<i>Drosophila suzukii</i>	Perforation du fruit au stade larvaire	Dégradation de la baie après morsure par des levures et des bactéries responsables de la pourriture acide, perte de récolte	Baies
Eulia	<i>Argyrotaenia ljungiana</i>	Perforation du fruit et attaque de la feuille au stade larvaire	Chute des fruits, diminution de la photosynthèse, installation de <i>Botrytis cinerea</i>	Feuilles et baies
Lécanine	<i>Parthenolecanium corni</i>	Transmission du virus de l'enroulement	Diminution de la capacité d'interception du rayonnement puis mort du cep	Sarment, feuilles
Phytopte de l'erinose	<i>Eriophyes vitis</i>	Dégradation de la feuille par ponte et formation de galles	Diminution de la capacité d'interception du rayonnement et propagation de la maladie de l'erinose	Feuilles



Figure 5 : Photographie de dégâts et d'espèce d'*Empoasca vitis*, *Scaphoideus titanus*, *Lobesia botrana* (*Ephytia*)

de Boudon-Pardieu *et al.*, (2000). Des photographies de certaines espèces et des dégâts sont présentés en *Figure 5*.

2.3.2. Insectes auxiliaires

Les insectes auxiliaires sont réputés pour leur consommation d'insectes prédateurs. En effet, certaines espèces peuvent s'avérer être un véritable atout pour le vignoble afin de diminuer les doses de traitement (Kreiter S., 2008).

La chrysope (*Chrysoperla carnea*) est l'espèce la plus reconnue et étudiée par la science pour ses consommations de pucerons, d'acariens, de cochenilles et d'œufs des vers de grappes. On la retrouve au vignoble d'avril à septembre.

Le syrphe porte-plume (*Sphaerophoria crypta*), retrouvé au vignoble de fin mars à début octobre, se nourrit essentiellement de pucerons. Un autre syrphe *Eupeodes latifasciatus* se nourrit de pucerons et de cochenilles. Il en est de même pour la coccinelle (*Coccinella septempunctata*) qui peut également consommer des thrips, des cochenilles et des acariens. Le diptère *Dismachus trigonus* consomme d'autres insectes en plein vol, notamment les vers de grappe.

Les hyménoptères (*Pteromalidae*, *Ophion obscuratus*, *Isodontia mexicana*) parasitent les œufs des vers de grappe, consomment les chenilles mangeuses de bourgeons, les pucerons,

Les gendarmes (*Pyrrhocoris apterus*) se nourrissent de pucerons et de cochenilles.

Les dermoptères (*Forficula auricularia*) consomment des pucerons et des œufs de ravageurs.

Les staphylins et certains carabes (*Rhagonyche fulva*, *Pseudoophonus rufipes*, *Poecilus cupreus*, *Nebria brevicolis*, *Laemostenus terricola*, *Harpalus affinis*, *Brachimus explodens*, *Brachimus sclopeta*, *Calathus fuscipes*, *Cantharis fusca*, *Carabus auratus*) s'alimentent d'œufs de limaces, de pucerons, de chenilles, d'escargots.

Les araignées (*Theridiidae*, *Mangora acalypha*, *Philodromus spp*, *Phalangium opilio*, *Oxyopes lineatus*, *Lycosidae*, *Araneus diadematus*) consomment des pucerons, des limaces, de larves des vers de grappe, et les œufs de certains prédateurs.

2.3.3. Insectes pollinisateurs

Une troisième classe d'insecte peut être répertoriée en viticulture, ce sont les insectes dit pollinisateurs. Ils sont attirés par le couvert végétal, les haies et les arbres en fleurs, et consomment du pollen, du nectar, des feuilles, des tiges, des sucres et certaines matières végétales. Ils sont indicateurs d'un bon état de biodiversité du milieu. Parmi les espèces recensées, il est possible de rencontrer des insectes de l'ordre des Diptères (*Arge ochropus*, *Andrena morio*, *Bombus pratorum*, *Ectophasia crassipennis*, *Lucilia caesar*, *Simulium*, *Hermetia illusens*, *Culicidae*, *Tipula paludosa*), des Coléoptères (*Cteniopus sulphureus*, *Melolontha melolontha*, *Harpalus luteicornis*, *Oulema sp*, *Oedemera nobilis*, *Psilothrix viridicoerulea*, *Trimarcha tenebricosa*), des Orthoptères (*Caelifera*), des Hétéroptères (*Lygus pratensis*), des Néoptères (*Mecoptera*).

2.3.4. Micro-organismes du sol

La diversité bactérienne microbiologique des sols est un paramètre important à prendre en compte dans un audit de diversité faunistique. On distingue les bactéries, les champignons et les protistes. Les bactéries sont regroupées sous forme de taxons, et exercent des fonctions importantes sur la composition et la structure du sol en permettant la décomposition des résidus végétaux de litière (Hättenschwiler *et al.*, 2011), et la minéralisation du carbone et de l'azote (Baumann *et al.*, 2012). Les bactéries assurent aussi des fonctions de nutrition de la plante cultivée (Balvanera *et al.*, 2006). Elles permettent donc d'assurer un fonctionnement optimal des services écosystémiques du milieu (Maron *et al.*, 2018).

Certaines espèces de champignons (Gloméromycète, mycorhize) peuvent être impliquées dans des symbioses avec les racines de la vigne (Thomas and Wipf, 2016). Ils permettent un meilleur accès aux éléments nutritifs du sol, des réactions de défense face à un agent pathogène ainsi qu'une meilleure résistance face aux stress biotiques (Drain *et al.*, 2016). Il est donc intéressant d'étudier leur présence dans les sols viticoles pour permettre de renforcer la vigne dans son milieu.

Les protistes sont des microorganismes eucaryotes, multi ou unicellulaires, autres qu'un animal, une plante ou un champignon. Ces organismes peuvent être autotrophes, hétérotrophes ou encore mixotrophes. Les protistes jouent un rôle crucial dans l'écosystème terrestre, mènent des interactions complexes avec les polluants des sols (mécanismes d'absorption, transformation et de prédation), ils permettent aux

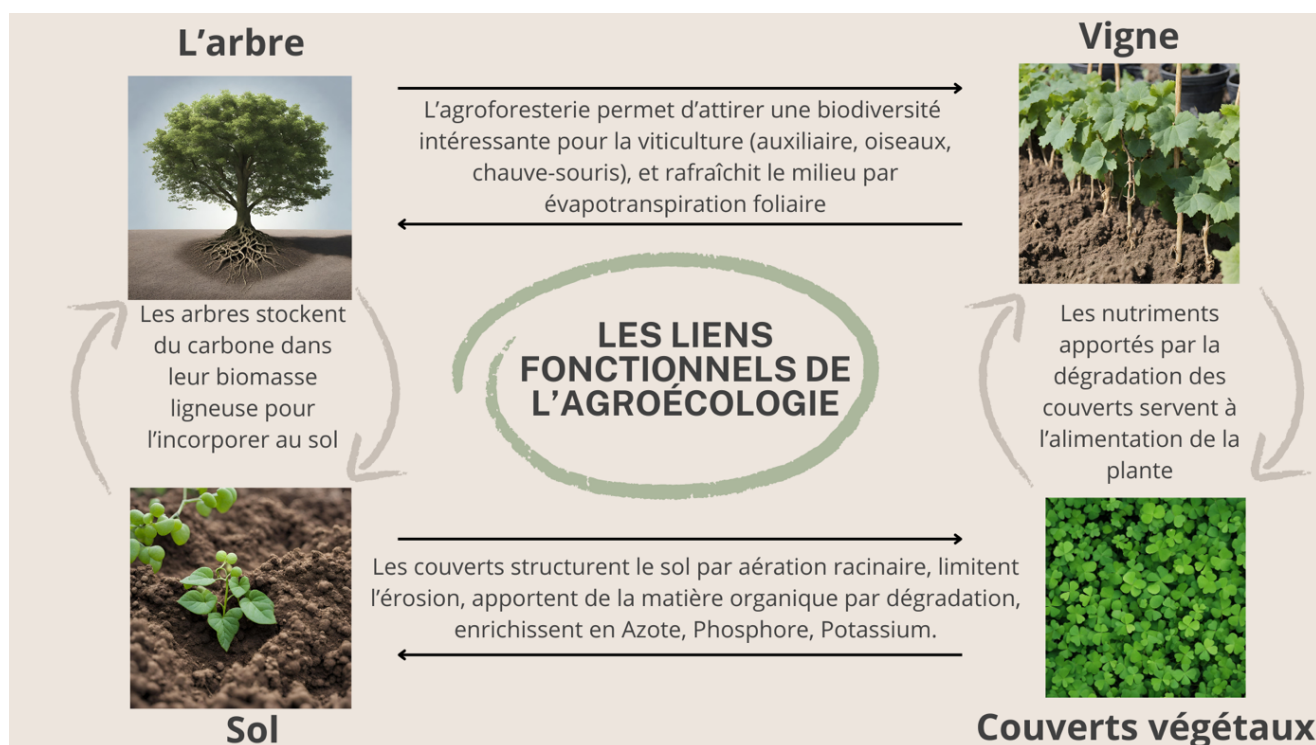


Figure 6 : Schéma des liens fonctionnels entre les espèces cultivées dans un système agroécologique (Théo Derenoncourt, 2024)

microorganismes du sol de s'adapter aux conditions environnementales (Wu *et al.*, 2022).

2.4. Problématique : L'agroécologie face aux nouveaux défis

Comme vu précédemment, les couverts végétaux en agroécologie peuvent alimenter le sol en matière lors de leur décomposition (intervention spécifique des micro-organismes du sol). Ces matières peuvent ensuite être immobilisées par la solution du sol, et vont alimenter la plante lorsqu'elle la prélèvera par ses racines. Mais l'agroforesterie a des résultats différents selon les références bibliographiques publiées. Certaines certifient que l'arbre n'exerce pas de concurrence sur la croissance de rameaux et l'alimentation de la vigne, mais d'autres concluent que la culture est impactée, ainsi que la récolte diminuée avec ce mode de production. Il est donc essentiel de s'intéresser à l'alimentation azotée ainsi qu'à la croissance de rameaux de la vigne, et également de prendre en compte ses rendements.

En exerçant des effets sur plusieurs paramètres du milieu (*Figure 6*), l'agroécologie serait théoriquement capable d'enrichir un système de production viticoles par un développement des effets bénéfiques, sur le sol et ses organismes, le microclimat, la nutrition des plants et la diversité. Le Château Latour, face à des problèmes de baisse de diversité et de services écosystémiques, a cherché des pistes d'évolution débouchant sur cette problématique : **Comment les pratiques agroécologiques bénéficient à la viticulture, et quels sont leurs impacts sur le milieu et la plante cultivée ?**

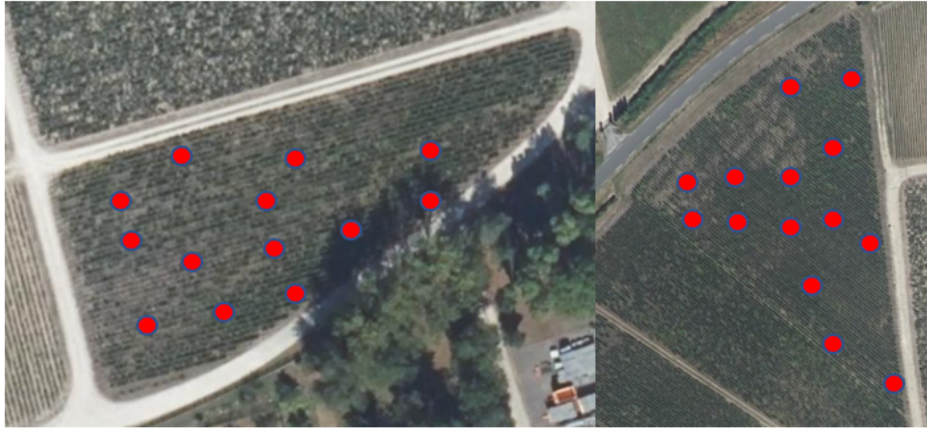
En décomposant cette question en plusieurs sous-parties, nous avons cherché à atteindre les objectifs suivants :

Améliorer la nutrition des plants par les réserves du sol grâce aux espèces végétales, pour augmenter la résistance de la vigne aux stress biotiques (empêcher la mortalité, les défoliations, la coulure et diminuer les infections d'agents pathogènes)

Augmenter la diversité des parcelles par l'incorporation d'espèces végétales

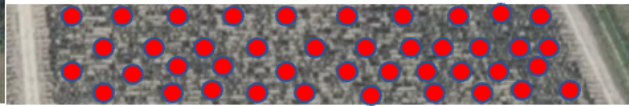
Intégrer des espèces végétales limitant la concurrence azotée avec la culture principale

Associer des espèces n'ayant pas d'effets significatifs sur la production de raisin et la qualité des vins produits



Socs 3

Trillot 1



Petit Sablonnet



Prairie CS

Figure 7 : Photographies aériennes des parcelles d'essai,  = rangs d'agroforesterie,  = rangs témoin,  = arbre

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. Agroforesterie

3.1.1. Dispositif expérimental

Sur chaque parcelle, il a été déterminé des placettes « témoin » et des placettes « agroforesterie », à au moins 3 répétitions de chaque modalité par parcelle (*Figure 7*) et avec un écartement suffisant entre chaque placette. Les arbres mis en place dans les dispositifs d'agroforesterie sont des fruitiers (pommiers, poiriers, cormiers, cognassiers) et des champêtres (ormes, érables), à une densité de 35 arbres par hectare en disposition isolée. Les arbres des parcelles Trillots 1, Socs 3 et Prairie CS ont été plantés en 2023. Ils ont été plantés tous les 7 rangs, afin de ne pas gêner au passage du pulvérisateur (6 rangs face par face et 1 demi-rang). Entre ces rangs ont été déterminés des placettes témoin, écartées des arbres. La parcelle Petit Sablonnet a été complantée sur 5 rangs, en 2016, d'érables champêtres à une densité de 76 arbres sur 5 rangs, soit 1520 arbres par hectare. 50 rangs plus loin de ceux complantés, la modalité de mesure Témoin a été réalisée sur 5 rangs également. Dû à la présence d'une haie en bas de parcelle, certaines mesures (climatiques et populations d'insectes) ont été réalisées en découpant les modalités en 2 : partie haute et partie basse, pour quantifier les effets de la haie. La densité très élevée d'arbres présents sur les rangs a l'avantage d'être plus sensible à exprimer des effets de l'agroforesterie en viticulture. Fin 2023, pour suivre le plan de restructuration établi, la partie sud de Petit Sablonnet, où les arbres étaient plantés, a été arrachée.

3.1.2. Croissance de rameaux

Selon la bibliographie, les arbres implantés dans les parcelles peuvent avoir un effet sur la croissance des vignes alentours. Pour vérifier cette théorie, nous avons mis en place des mesures d'élongation de rameaux, sur les deux modalités, témoin et agroforesterie. Les valeurs de croissance des différentes modalités sont étudiées pour comparer les écarts et les impacts, et sont reliées aux données climatiques pour corrélérer les pics et les arrêts de croissance, et chercher à comprendre à partir de quelle température ou stress hydrique l'arbre devient il néfaste pour cultiver la vigne. Chaque semaine pendant 2 mois, le premier rameau dans le courant de sève est mesuré sur

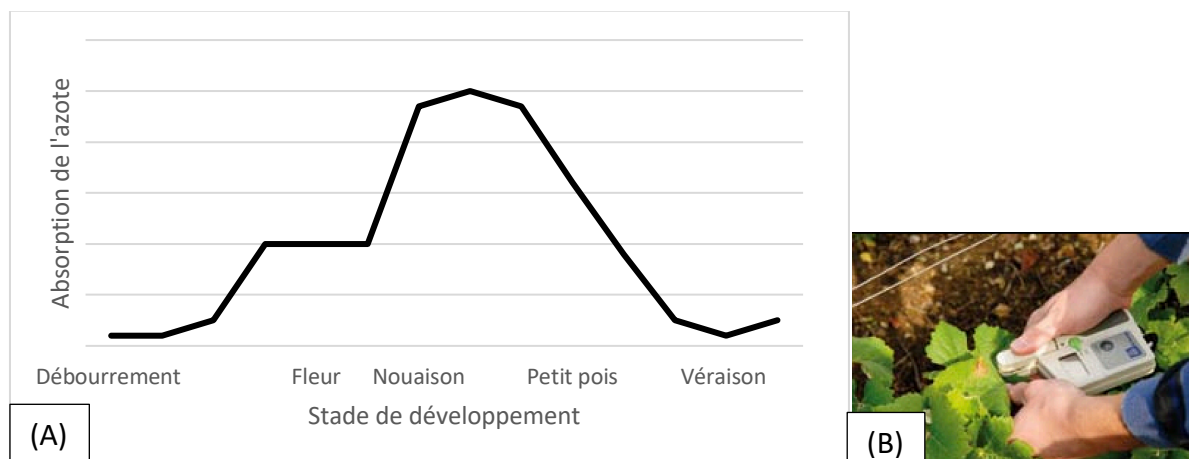


Figure 8 : (A) Schéma de la dynamique d'absorption de l'azote par la vigne en fonction des stades phénologiques, à partir de l'ouvrage de Löhnertz, 1988 et (B) Photographie d'un appareil de mesure Ntester (CIVC, 2009)

Tableau 3 : Interprétation des données de mesure du N-Tester en viticulture au stade véraison, adapté selon un article de Verdenal et al., 2023

<i>Indication</i>	<i>Valeur</i>
Très faible	<450
Faible	450 à 500
Moyenne	500 à 550
Forte	550 à 600
Excessive	>600

les 5 ceps de chaque placette des 2 modalités (10 rangs au total, 5 par modalité). 25 mesures par modalité, soit 50 mesures réalisées par semaine.

3.1.3. Statut azoté : N-tester et azote assimilable

Le N-Tester est un outil de mesure permettant d'effectuer un diagnostic de l'état azoté d'une culture à un stade phénologique donné. Il réalise une mesure d'une intensité colorante d'une longueur d'onde donnée, qui représente le niveau de chlorophylle dans une feuille donnée. La teneur en chlorophylle est corrélée au statut azoté de la plante (Houlès *et al.*, 2006), elle apparaît sur l'écran LCD de l'appareil après pincement de 30 feuilles. Il est important de réaliser ces mesures sur des feuilles adultes, situées en position médiane bien développée et non malade ou déchirée par les passages d'engins. Le stade phénologique de la plante lors de la mesure a une importance capitale, car la vigne absorbe de l'azote à intensité différente (*Figure 8*) lors de la saison (Goëbau, 2017).

Les bornes pour l'interprétation des résultats sont présentées en *Tableau 3*, issu d'une publication sur le sujet (Verdenal *et al.*, 2023).

En 2023, des mesures ont été réalisées aux stades phénologiques petit pois, fermeture de grappe et véraison (5, 17 et 31 juillet). Sur chaque parcelle, 2 répétitions par placette ont été réalisées.

Pour diagnostiquer l'état azoté d'une autre manière, il est possible de mesurer le taux d'azote assimilable présent dans le moût de raisin, par utilisation d'un analyseur séquentiel à fonctionnement enzymatique. Selon les quantités d'azote des raisins, le potentiel aromatique du vin en est différent (Helwi, 2015). Le type de sol peut également jouer un rôle sur le statut azoté de la culture (Van Leeuwen and Friant, 2011).

3.1.4. Différence microclimatique

Pour étudier si les arbres confèrent une différence microclimatique au milieu, il a été positionné des sondes climatiques « TINY TAG », qui sont des data-logger et enregistrent des données climatiques (température et humidité relative) au fil de l'année, sur la modalité témoin et la modalité agroforesterie. Les indices agro-climatiques s'avèrent être une méthode intéressante de traitement des résultats. Pour notre courte période d'étude, le terme d'indice météorologique est plus approprié, le

Zone étudiée :

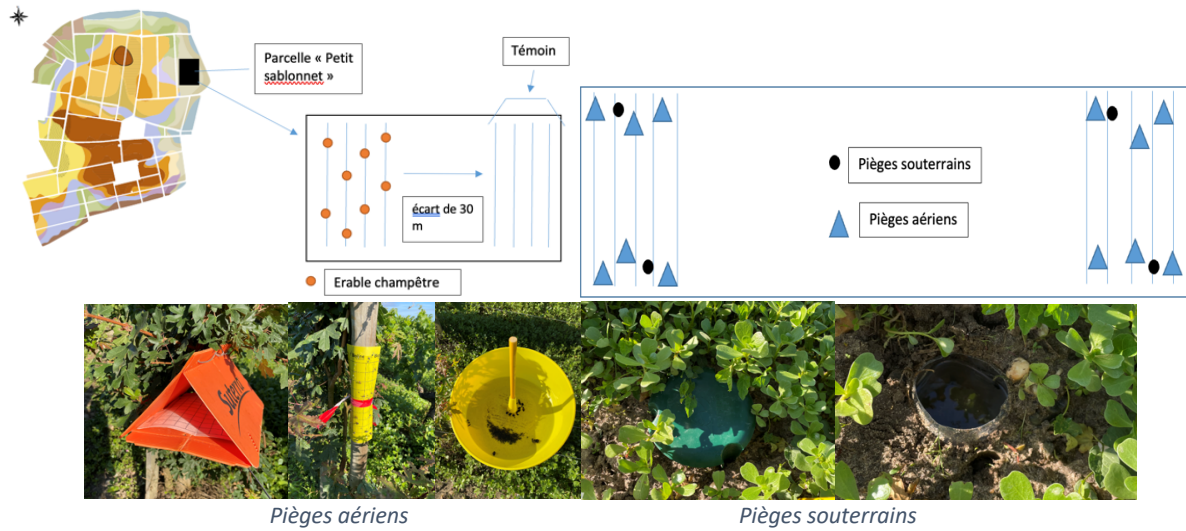


Figure 9 : Représentation schématique du dispositif de capture d'insecte de la parcelle Petit Sablonnet et photographie des piègeages



Figure 10 : Photographie d'une capture d'insecte de la modalité Agroforesterie sur la parcelle Petit Sablonnet

climat concerne une plus large période d'étude. Nous parlerons donc d'indice microclimatique. Afin d'interpréter ces résultats, un indice de Winkler (IW) a été calculé. Cet indice permet de calculer la somme des températures supérieure à la température effective pour la croissance physiologique de la vigne, de 10 °C (Winkler *et al.*, 1974). La période de mesure idéale se situe d'avril à octobre, mais nos data-loggers n'ont pu être installés qu'en juin. Un indice de Huglin (IH) aurait également été intéressant, mais il est principalement utilisé pour classer des vignobles, en prenant en compte le coefficient de latitude (Huglin, 1978). Un indice de Winkler paraît plus pertinent pour une étude de petite zone. De plus, les données nécessaires au calcul de l'IH n'ont pas toutes pu être traitées par nos soins.

3.1.5. Populations d'insectes

La parcelle Petit Sablonnet est la parcelle d'agroforesterie la plus ancienne. C'est sur cette parcelle qu'il a été réalisé un diagnostic de la population faunistique entre des rangs classiques (5 rangs témoins) et 5 rangs en agroforesterie (*Figure 9*). En 2022 et en 2023, des pièges souterrains et aériens ont été positionnés à la fin des mois avril, mai, juin, juillet et ont été récoltés 5 jours après.

Une fois les insectes collectés, ils sont triés par famille, photographiés (*Figure 10*) puis identifiés. Les espèces reconnues sont ensuite classées en 4 groupes : Pollinisateurs (insectes importants aux écosystèmes), Ravageurs (insectes ayant des effets néfastes sur la vigne ou les arbres), Auxiliaires (insectes consommateurs de ravageurs) ou Neutres (aucun effet constaté sur l'environnement de la parcelle). Les principaux insectes récoltés ont été identifiés puis classés en groupe distinct (*Tableau 4*).

3.1.6. Estimation de rendement

L'impact d'un nouveau système de culture sur la fertilité de la plante principale est un facteur important à prendre en compte lors d'un diagnostic agronomique, car des systèmes de culture différents peuvent potentiellement avoir des résultats significativement différents (Merot *et al.*, 2022). Pour estimer une potentielle différence de rendement, qui pourrait être expliquée par la présence d'arbres, et leurs effets sur l'accumulation de ressources nécessaires à la fertilité de la plante, il a été réalisé en

Tableau 4 : Présentation et classement des insectes rencontrés lors du diagnostic menés sur Petit Sablonnet (compilation des placettes Agroforesterie et Témoin)

<i>Nom</i>	<i>Classement</i>
Cicadelle verte	Ravageur
Cochylis	Ravageur
Eudémis	Ravageur
Taupin	Ravageur
Phylloxera	Ravageur
Acarie	Ravageur
Altise	Ravageur
Thrips	Ravageur
Chrysope	Auxiliaire
Syrphe	Auxiliaire
Guêpe parasitoïde	Auxiliaire
Gendarme	Auxiliaire
Forficules	Auxiliaire
Staphylins	Auxiliaire
Carabes	Auxiliaire
Araignées	Auxiliaire
Arge ochropus	Pollinisateur
Ectophasia crassipennis	Pollinisateur
Lucilia cesar	Pollinisateur
Oulema sp	Pollinisateur
Oedemera nobilis	Pollinisateur
Lygus pratensis	Pollinisateur
Mecoptera	Pollinisateur

Socs 3 / Théo D / 23 juillet 2022

15 – 24

7 / 2 / 3 / J (1) / 5 / X / M (2) / 4 / 2 / 5

Figure 11 : Exemple d'un comptage de grappes d'un parcellaire pour réaliser une estimation de rendement

"Données supprimées : Non conforme RGPD"

Figure 12 : Barrique inox utilisée pour les micro-vinifications lors de la vendange 2023

2023 des estimations de rendements au sein des deux modalités (témoin et agroforesterie) pour vérifier si des différences étaient notables.

Le principe consiste à compter le nombre de grappes (*Figure 11*) sur les ceps de chaque placette de la parcelle à estimer, en prenant en compte la taille moyenne de la grappe de la parcelle (par exemple, 1 grappe plus grosse que la taille moyenne est comptée comme 1,5 grappes).

3.1.7. Suivi maturité

Dès la deuxième partie du mois d'août, les suivis de maturité des raisins commencent à la propriété. Deux cents baies sont récoltées de manière homogène sur chacune des modalités (IFV), puis stockées dans des boîtes de congélation équipées de papier absorbant afin d'éviter l'humidité qui peut diluer l'échantillon. A l'arrivée au laboratoire interne de la propriété, les baies sont scannées au DYOSTEM pour suivre l'évolution de leur volume, puis pesées pour obtenir la masse de 100 baies.

Les baies récoltées sont pressées, le jus filtré, puis quelques millilitres sont utilisés au réfractomètre pour déterminer le TAVP de l'échantillon, le pH (à l'aide d'un pH-mètre), son acidité totale (par dosage à l'aide de BBT et de soude), puis son azote assimilable à l'aide de la méthode enzymatique. L'ensemble de ces analyses permet de suivre de manière précise l'évolution de la maturité et des composants du raisin.

3.1.8. Micro-vinifications

Des micro-vinifications de Petit Sablonnet ont été réalisées pour le témoin et la modalité agroforesterie dans des barriques en inox de 0,5 hL. L'intérêt de ce matériel est d'être totalement neutre (pas d'apport de goûts externes de style boisé). En 2023, l'expérimentation a été réitérée, en récoltant le 20 septembre les deux modalités qui ont été vinifiées (*Figure 12*).

3.1.9. Analyse sensorielle

Lors de la dégustation des essais d'agroforesterie, il a été réuni un groupe de sujets entraînés à la dégustation, composés de collaborateurs du domaine (équipe technique et stagiaires). C'est un panel de sujet entraîné. 9 personnes au total ont pu déguster l'essai.



Figure 13 : Photographie de l'Enclos et focus sur les parcelles étudiées pour les couverts.
 = parcelle de l'audit

Tableau 5 : Présentation des résultats d'analyses de sol des parcelles étudiées dans l'audit

Date	Parcelle	Matière Organique (%)	Azote (g/kg)	C/N	Appréciation du laboratoire
23/11/2020	Socs 3	1,96	5,39	10,3	MO et C/N correcte, azote faible (objectif 8)
03/05/2022	Sarmentier	2,9	1,77	12,7	MO et C/N bons, azote très faible
28/11/2022	Pommiers Bas	1,03	6,91	8,4	MO et C/N faible, azote à améliorer (objectif 8)
18/10/2022	Prairie	3,4	1,86	10,7	MO élevée, C/N correct, azote très faible

Une épreuve discriminante a d'abord été mise en place pour chercher d'éventuelles différences entre les modalités. Nous avons sélectionné la dégustation triangulaire (norme ISO 4120, 1993). Nous avons ensuite fait réaliser au jury des épreuves descriptives en comparaison par paire, codée. La première est une épreuve de profil sensoriel, la seconde un test de classement par préférence. Le nombre de sujet étant inférieur à 12, il faut traiter ces résultats de manière mesurée.

III.2. Couverts végétaux en viticulture

3.2.1. Dispositif expérimental

Sur plusieurs parcelles semées ou entretenues en enherbement naturel permanent depuis plusieurs années, nous nous sommes intéressés aux effets de l'enherbement sur l'alimentation du sol viticole, en nutriments (N, P, K) mais aussi en populations biologiques. Selon la bibliographie, les couverts ont des effets sur ces propriétés spécifiques du sol. Nous avons donc souhaité étudier à travers un audit de sol de la propriété si ces effets sont fonctionnels au sein du milieu de nos parcelles, et quel type d'itinéraire technique est le plus adapté à favoriser le fonctionnement de nos sols. L'intérêt principal est d'y voir les différents effets sur le court et le long terme d'une parcelle conduite en ENM ou en semis sélectionnés. Pour ce faire, nous avons sélectionné deux parcelles ayant le même type de sol mais pas le même itinéraire technique (1 semée et 1 en ENM), puis deux autres parcelles différentes sur leur pédologie mais aussi sur leur itinéraire (1 semée et 1 en ENM). Les parcelles étudiées (*Figure 13*) présentent donc une diversité d'environnement et de conduite, afin d'avoir des individus statistiques randomisés et différents, et pouvoir comparer les résultats selon plusieurs paramètres.

Les précédentes analyses de sol des différentes parcelles étudiées nous permettent d'établir une situation de départ. Le *Tableau 5* récapitule les données acquises par la propriété et la coloration des cases met en avant les éléments à améliorer. Chaque parcelle possède sa faiblesse, le test des couverts permettra, à long terme, d'estimer si la biomasse végétale formée permet de répondre à cette problématique. Socs 3 a été analysée en 2020, et n'est pas comparable aux autres.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux effets courts termes de l'enherbement, entre un semis ou un ENM, quel type d'itinéraire technique permet une meilleure alimentation du sol en éléments de nutrition (N, P, K, S, Biomasse aérienne, Magnésium, Carbone stable et évolution de la matière organique) ?

Dans un second temps, à plus long terme, quel type de couverture favorise l'évolution des communautés biologiques (bactéries, champignons, protistes, micro-organismes totaux) du sol viticole ?

3.2.2. Méthode MERCI

La méthode MERCI (Méthode d'Estimation de Restitution par les Cultures Intermédiaires) est un protocole d'échantillonnage, de pesée et de reconnaissance des espèces d'un couvert végétal, développée par la chambre d'agriculture de la Nouvelle-Aquitaine en 2010. Cette mesure simple et rapide, réalisée in situ au champ, permet d'étudier et de démontrer l'intérêt agronomique de cultures de couverture dites « multi-services », sur le recyclage et la mise à disposition des éléments minéraux. Le couplage des références de terrains, permettant d'estimer les teneurs en éléments nutritifs (N, P, K, S et Mg) de la majorité des espèces de culture, ainsi que des références obtenues par simulation avec le modèle de culture STICS (INRAE) pour définir, après destruction, la quantité d'azote disponible pour la culture suivante dans différents contextes pédoclimatiques.

La technique fonctionne en 2 étapes, la première consiste à réaliser un prélèvement représentatif du couvert de la parcelle, la seconde à saisir les informations dans l'application internet pour obtenir les résultats. Pour estimer au mieux les restitutions à la culture suivante, la mesure doit être réalisée peu avant la destruction du couvert.

3.2.3. Analyses de microfaune

L'analyse microbiologique est une analyse strictement quantitative reposant sur le principe de la cytométrie en flux, une technique scientifique permettant de caractériser individuellement les particules en suspension dans un liquide, grâce au repérage des molécules à grande vitesse à travers le faisceau d'un laser, et cette lumière issue par diffusion ou fluorescence permet de classer et compter la population étudiée. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire SRDV. Le rapport indique la distinction des populations actives, mortes ou en dormance. Cet indicateur de fonctionnement du sol cultivé permet de connaître sa dynamique. L'intérêt pour cet audit agroécologique est de pouvoir quantifier la microfaune du sol, et de la relier à la

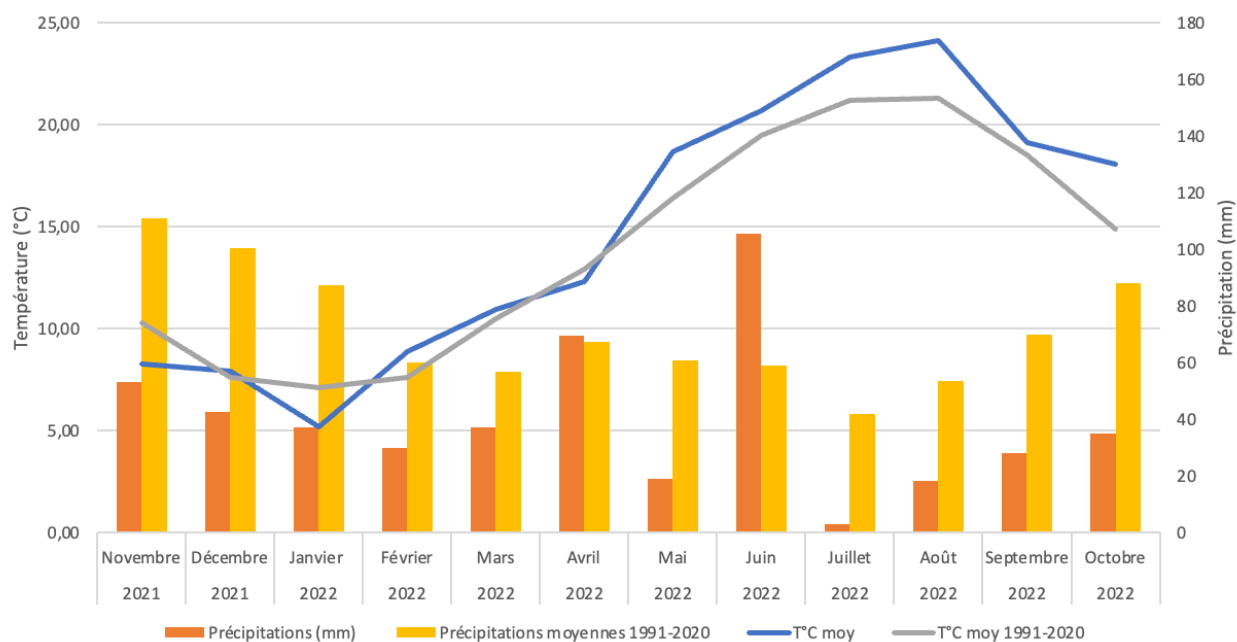


Figure 14 : Diagramme ombrothermique du millésime 2022 en AOC Pauillac en comparaison avec des données climatiques moyennes de la période 1991-2020 (Source : Château Latour)

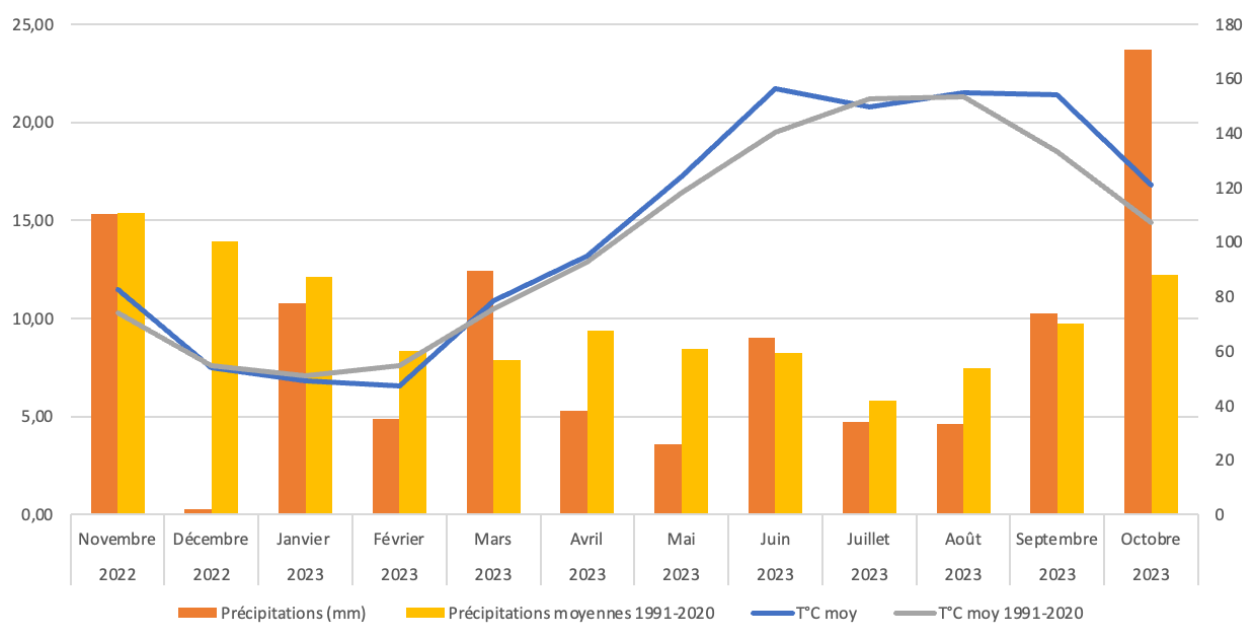


Figure 15 : Diagramme ombrothermique du millésime 2023 en AOC Pauillac en comparaison avec des données climatiques moyennes de la période 1991-2020 (Source : Château Latour)

Tableau 6 : Tableau comparatif des caractéristiques des 2022 et 2023 en AOC Pauillac

Variables	2022	2023
Précipitations totales (mm)	495,4	1022,2
Température minimale (°C)	-3,7	-3,1
Température maximale (°C)	39,8	39,1
Sècheresse	Forte	Moyenne
Fréquence de contamination	Faible	Elevée
Mortalité des ceps	Elevée	Faible
Qualité de la vendange	Elevée	Classique
Récolte Merlot (hl/ha)	43,6	55
Récolte Cabernet-Sauvignon (hl/ha)	35,7	48

dégradation de nos couverts ainsi que nos pratiques. Des indicateurs de santé biologique des sols (SBS) ont été calculés par le laboratoire au moment des analyses.

III.3. Traitement statistique des indicateurs mesurés

Concernant les populations d'insectes, les années 2022 et 2023 ont été analysées pour vérifier l'effet des arbres sur l'attraction des auxiliaires et des ravageurs. Des analyses en composantes principales (ACP) et des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées pour comparer les données quantitatives et évaluer les effets des arbres et des haies sur les populations d'insectes. Il a été testé l'hypothèse de l'effet de l'agroforesterie sur les populations auxiliaires et ravageurs. Il a ensuite été calculé un indice de Shannon-Weaver pour estimer la diversité. Plus cet indice est élevé, et plus le nombre d'espèces attirées est important. Il varie régulièrement entre 0 et 5. Il permet d'étudier la diversité d'un milieu à l'aide de son nombre d'espèces. Une Anova multivariée a été effectuée sur les données de croissance des rameaux. Les données météorologiques et les rendements ont été comparés entre les modalités agroforesterie et témoin. Les effets sur la nutrition azotée et la qualité du vin ont été étudiés à l'aide d'analyses de variance et de tests binomiaux pour vérifier l'impact de l'agroforesterie. Pour les données des couverts végétaux, une comparaison des parcelles étudiées sera réalisée concernant le carbone incorporé par hectare ainsi que l'évolution de la matière organique. Il sera également comparé les quantités de micro-organismes présents dans les parcelles.

Les données récoltées sur des parties de l'essai ne comportant pas de répétitions dans l'espace n'ont pas pu être analysées statistiquement. Leurs résultats seront présentés sous forme d'indice, de tableau ou de graphique, pour être interprétés.

IV. RÉSULTATS

IV.1. Millésimes d'études

Le millésime 2022 a été marqué par des périodes de sécheresse intense dès le printemps. Avec des précipitations plus faibles sur 10 mois, et des températures plus élevées sur 9 mois que les données climatiques moyennes (*Figure 14*). Le mois de juin est marqué par une pluviométrie importante donnant lieu à des contaminations primaires de mildiou. La sécheresse qui suit empêchera la maladie de se développer. Lors de ce millésime, les jeunes ceps et les complants ont connu une forte mortalité, des causes des conditions climatiques extrêmes.

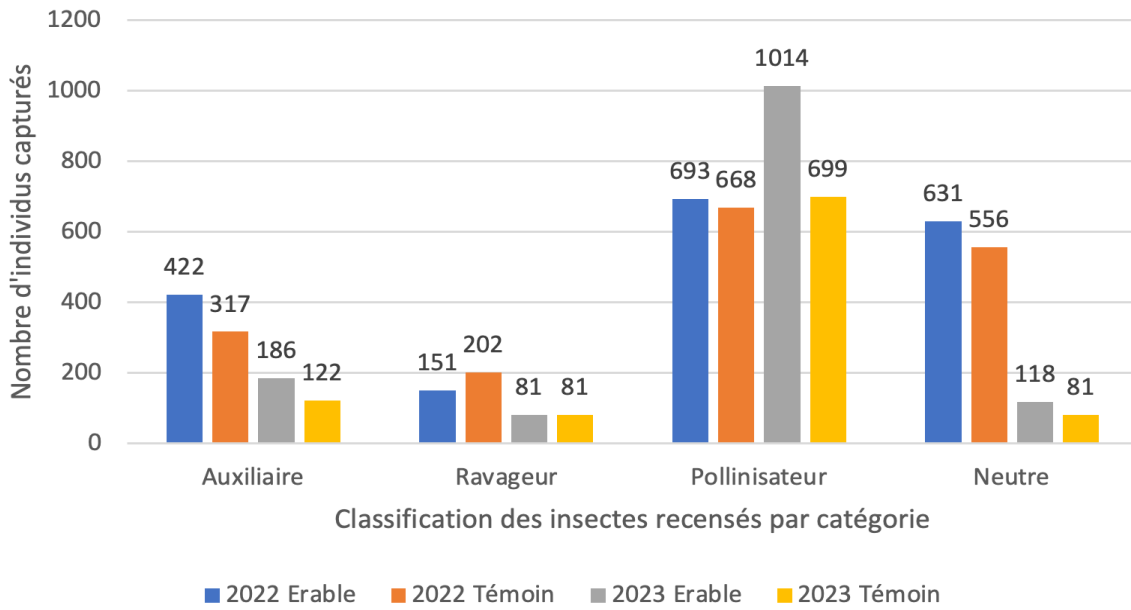


Figure 16 : Histogramme de la totalité des insectes capturés sur les deux campagnes d'études de Petit Sablonnet (2022 et 2023)

Tableau 7 : Quantités d'espèces capturées par modalité lors des millésimes d'étude

Modalité	Témoin	AF
2022	59	52
2023	35	40

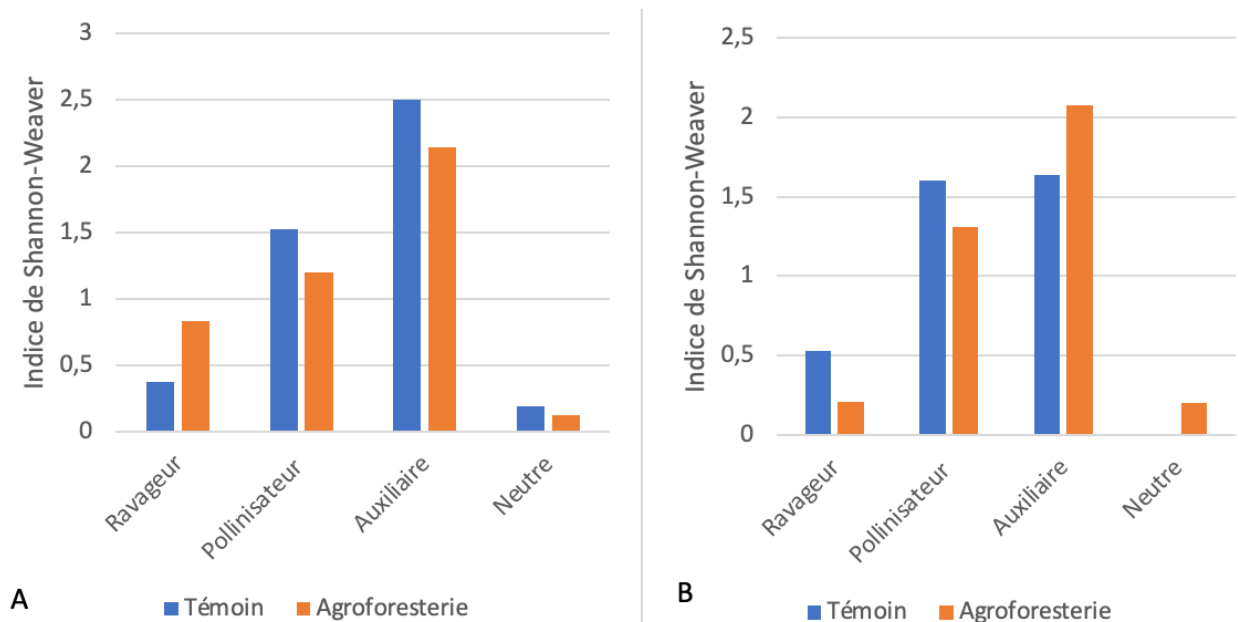


Figure 17 : Histogramme des indices de Shannon-Weaver présentés pour les millésimes 2022 (A) et 2023 (B)

2023 a été un millésime marqué par des précipitations importantes (527 mm de plus que 2022). Il a donc été plus propice aux maladies cryptogamiques. De fortes attaques de mildiou ont frappé le bordelais en fin juin début juillet. La *Figure 15* met en avant les précipitations continues tout au long de la saison, très importantes en fin d'année. Les températures moyennes sont bien moins élevées qu'en 2022 et plus proche des moyennes climatiques 1991-2020.

En comparant leur hétérogénéité, les valeurs des variables des 2 millésimes d'essai (*Tableau 6*) mettent en lumière les différences de deux années qui se suivent mais ne se ressemblent pas. Au niveau des précipitations, 2023 est une année bien plus fournie, avec des températures parfois plus douces qu'en 2022. Les qualités de vendanges diffèrent aussi bien que le rendement des cépages.

IV.2. Agroforesterie

Effets sur la diversité d'insectes

Il apparaît sur l'histogramme des quantités d'insectes capturés sur la parcelle Petit Sablonnet (*Figure 16*) que la modalité agroforesterie a attirée plus d'auxiliaires et de pollinisateurs que le témoin. Elle n'a pas attiré plus de ravageurs que le témoin sur les deux années de mesure. Le *Tableau 7* représente les différentes espèces récoltées lors des années de l'essai. Les résultats sont différents en fonction du millésime et ne dégagent pas de tendance d'attrait. Les indices de Shannon-Weaver (IS) calculés pour les millésimes 2022 et 2023 sont présentés en *Figure 17*. La diversité des classes d'insectes est plus importante en 2022 pour le témoin, hormis pour les ravageurs. En 2023, la diversité d'auxiliaires est plus importante pour l'agroforesterie, qui attire plus d'insectes bénéfiques à la viticulture, de manière plus diversifiée que le témoin. Les résultats complets des calculs de l'IS sont disponibles en *Annexe 1 p.2*. L'analyse de variance réalisée sur les IS (*Annexe 1 p.6*) atteste qu'il n'y a pas de différence significative entre les années (p-value = 0,73) et les modalités (p-value = 0,94) sur la diversité des espèces d'insectes.

D'après le test statistique sur la quantité totale d'auxiliaires récoltés sur les deux millésimes (*Annexe 1 p.13*), le facteur année est significatif sur les différentes captures (p-value = 0,006), mais les érables n'ont pas d'effet significatif sur l'attrait d'auxiliaires (p-value = 0,14), on conserve H0 au seuil d'erreur de 5%. D'après le test statistique (*Annexe 1 p.16*), le facteur année est classé significatif (p-value = 0,013) sur les différentes captures de ravageurs mais les érables n'ont pas d'effet significatif sur la

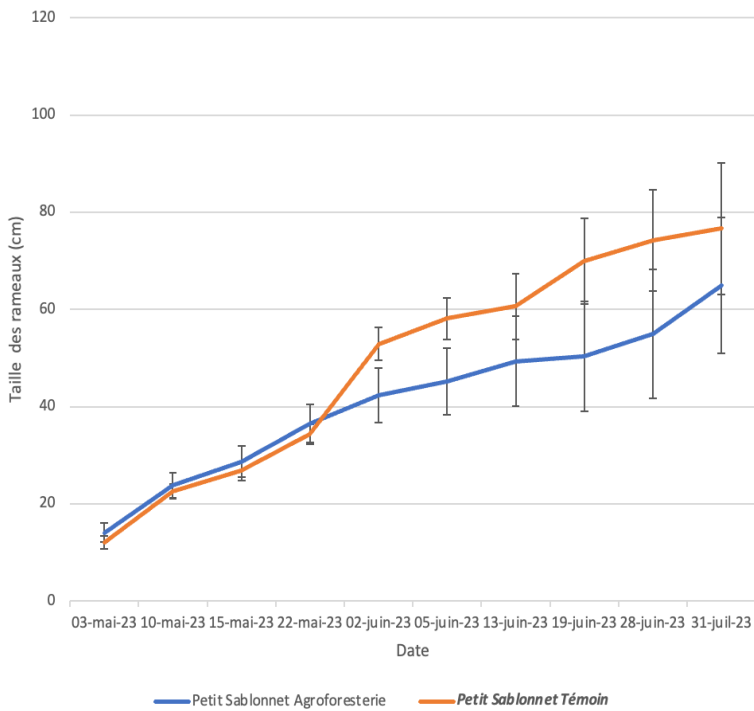


Figure 18 : Cinétique de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet en fonction des dates de mesures du millésime 2023. Barres d'erreur calculées selon un écart type de Pearson.

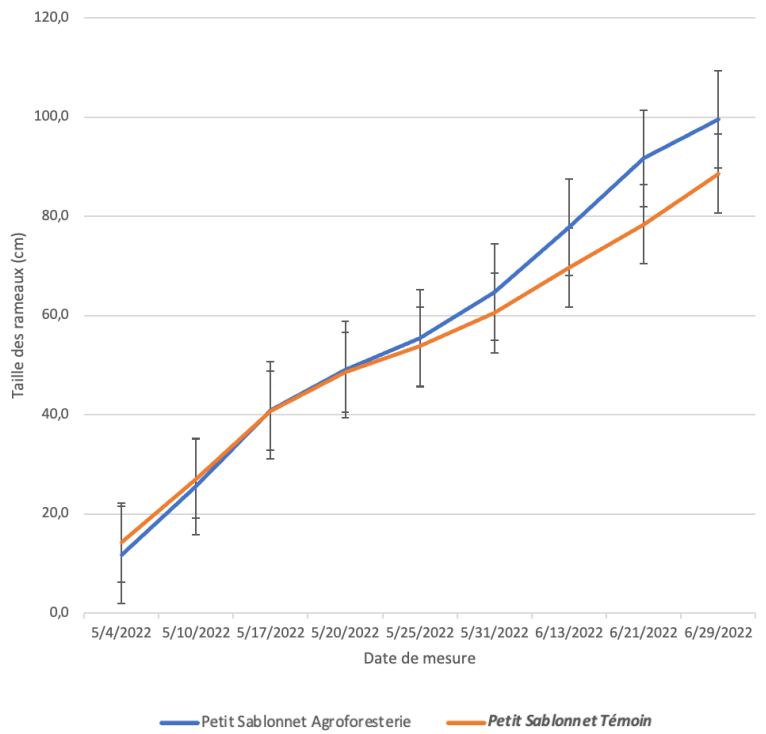


Figure 19: Cinétique de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet, en fonction des dates de mesures du millésime 2022. Barres d'erreur calculées selon un écart type de Pearson.

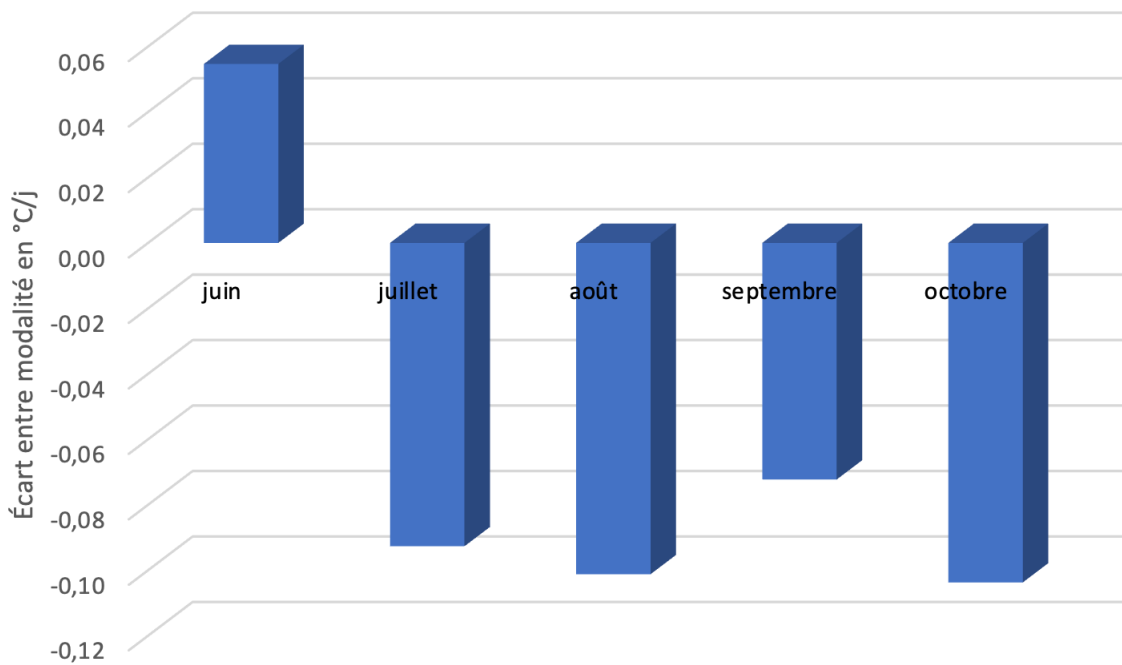


Figure 20 : Projection graphique des écarts entre modalités des indices de Winkler (IW) calculés à partir des données météorologiques

présence d'insectes nuisibles (pvalue = 0,36). Le total des ravageurs identifiés s'élève à 353 en 2022 contre 162 en 2023. Selon les boxplot disponibles en *Annexe I p.18-19-20*, la haie aurait un rôle à jouer sur les captures. La modalité située en bas de la parcelle attire plus de pollinisateurs (1618) et d'auxiliaires (591) que le Témoin (1456 et 456), soit une augmentation de 11 et 30 %. L'effet millésime est aussi à prendre en compte sur les captures d'individus, 2022 étant un millésime chaud et sec alors que 2023 était un millésime pluvieux.

Les érables champêtres ont néanmoins un effet significatif sur les auxiliaires (*Annexe I p.39*) en millésime 2022 (p-value = 0,006). 739 auxiliaires ont été attirés contre 309 en 2023. Le détail des captures par mois selon le millésime est disponible en *Annexe II p.61*.

Effets sur la croissance de rameaux

Les courbes des moyennes de croissance sont présentées en *Figure 18* ainsi qu'en *Figure 19* sur 2 millésimes d'étude de la parcelle Petit Sablonnet. Les autres courbes de croissances sont présentées en *Annexe III p.63*. La hauteur maximale de feuillage des mesures réalisées est plus importante pour le témoin, de 11,6 cm en 2023. Mais elle est moins élevée de 11 cm en 2022, ces résultats sont contradictoires. Or mis pour la parcelle Trillot 1, les pentes de croissance 2023 (*Annexe IV p.66*) des modalités témoin sont plus élevées pour l'ensemble des parcelles. Le résultat de l'anova de la pente de croissance en fonction de la parcelle et de la modalité (*Annexe IV p.68*) ne montre pas d'effets significatif de l'arbre, bien que sa p-value soit faible (0,13). Concernant la hauteur moyenne de feuillage (*Annexe IV p.68*), la modalité n'a également pas d'effet marquant (p-value = 0,35). Étant situé sur des parcelles différentes en termes de sol, d'âge des vignes et même de cépage (pour Trillot 1), la parcelle exerce toujours un rôle significativement différent sur les valeurs de croissance. Selon le test statistique sur les données de la hauteur maximale de feuillage en 2023 (*Annexe IV p.68*), la modalité n'exprime pas de différence significative sur la croissance des rameaux (p-value = 0,89).

L'arbre exerce donc, dans certains cas, une concurrence légère et non significative statistiquement pour la vigne, et dans un autre cas aucune contrainte.

Effets sur le micro-climat

Les résultats des écarts d'indices de Winkler (IW) calculés entre le témoin et l'agroforesterie (*Figure 20*) mettent en avant que le témoin n'a connu des températures

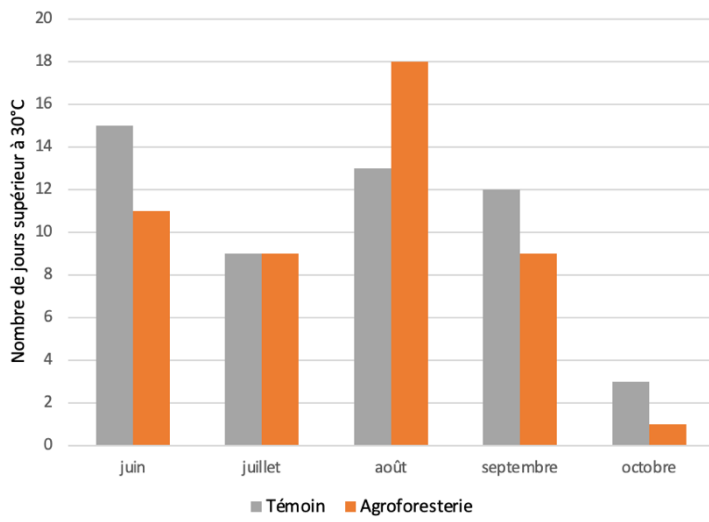


Figure 21 : Histogramme de la quantité de jours supérieurs à 30°C lors du millésime 2023 pour les deux modalités

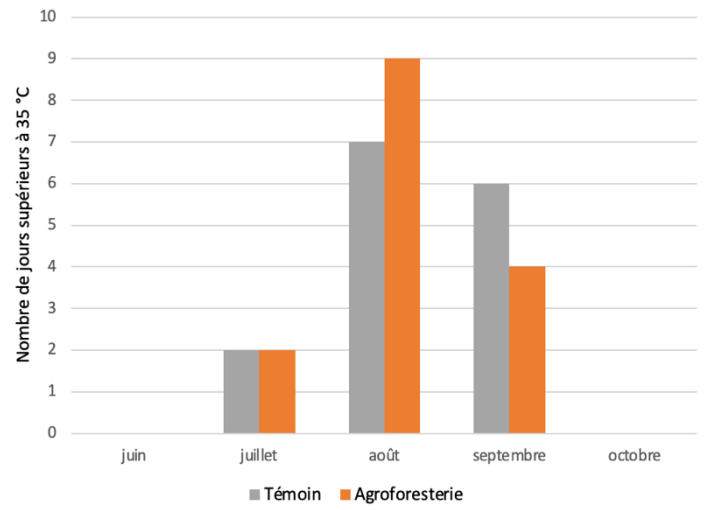


Figure 22 : Histogramme de la quantité de jours supérieurs à 35°C lors du millésime 2023 pour les deux modalités

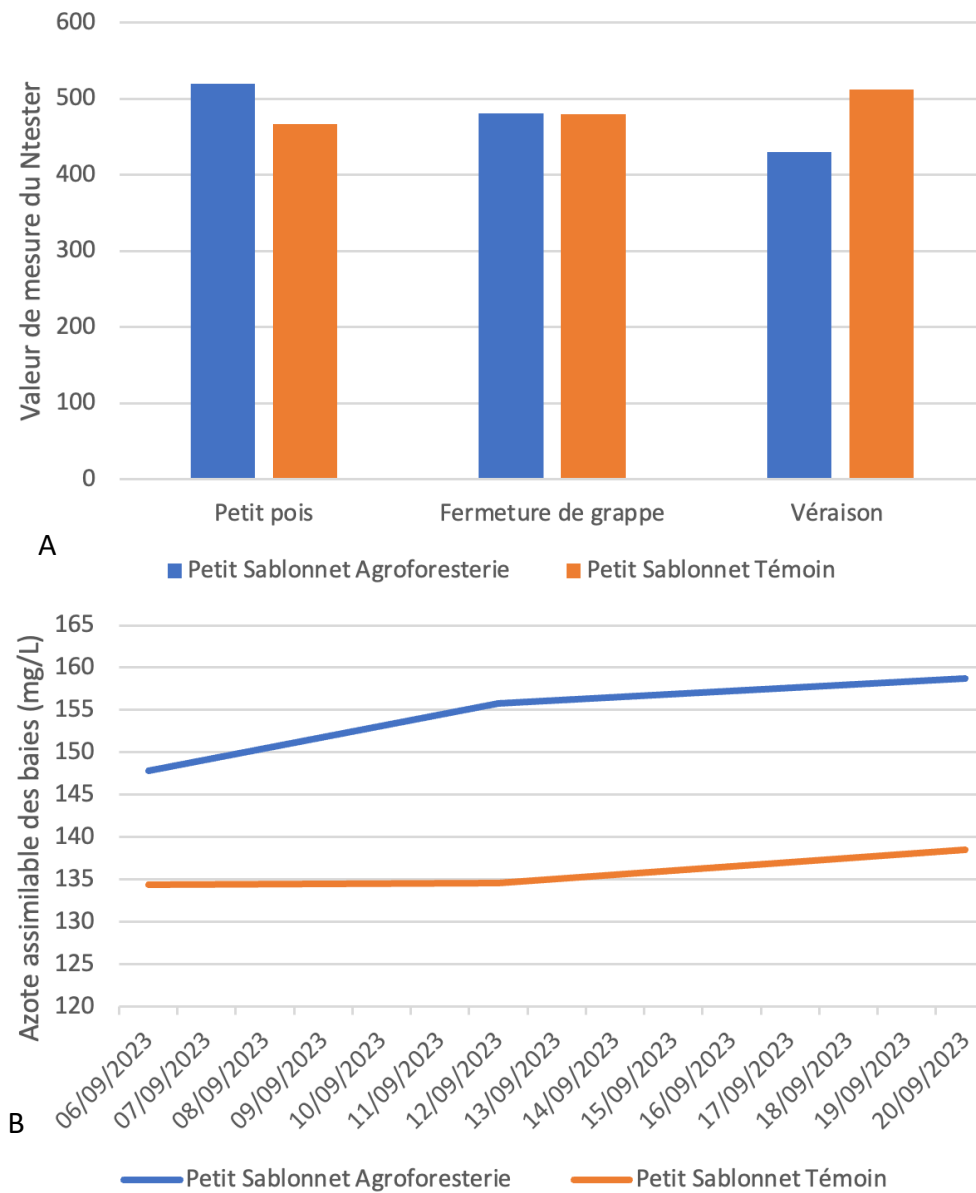


Figure 23 : Histogramme des valeurs mesurées au N-tester à 3 stades phénologiques (A) et de l'azote assimilable à 3 dates de prélèvements (B) de la parcelle Petit Sablonnet en 2023

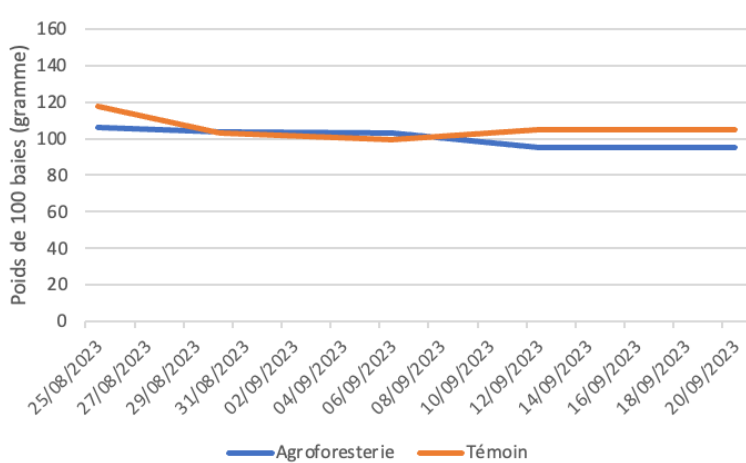
plus élevées qu'au mois de juin, tandis que l'agroforesterie a connu un milieu légèrement plus chaud sur les autres mois. Le témoin a pourtant connu une quantité de jours supérieurs à 30°C (*Figure 21*) plus élevé que l'agroforesterie aux mois de juin, septembre et octobre. La quantité de jours supérieurs à 35°C (*Figure 22*) est similaire pour les deux modalités sur la saison. Les humidités moyennes des deux modalités sont identiques à la virgule près. Elles sont présentées en *Annexe V p.79*, avec les données des indices calculés.

Effets sur le rendement

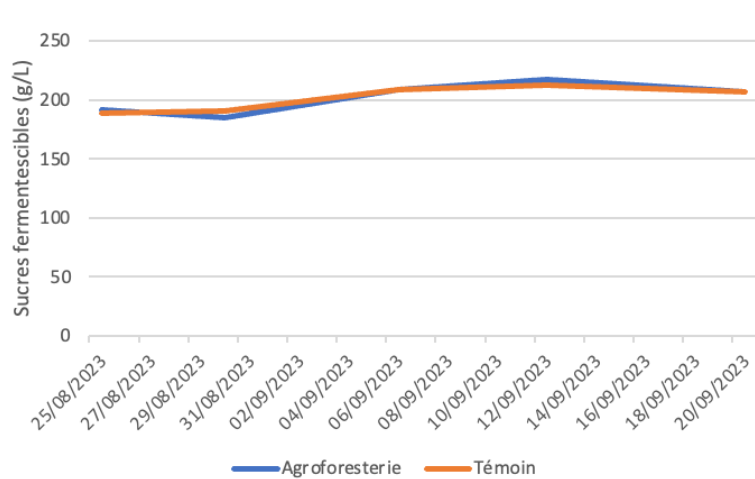
Selon les résultats de l'analyse statistique (*Annexe VI p.86*), l'effet constaté des arbres sur le rendement des modalités agroforesterie est trop faible pour être significatif sur le critère nombre moyen de grappes ($p\text{-value}=0,39$). On conserve H_0 sur la base de ce modèle statistique, la concurrence exercée par les arbres n'est pas significativement impactante pour la viticulture. Lors de l'entrée de la vendange en 2023, le même poids moyen de cagette (9,33 kg) a été mesuré sur les deux modalités, après pesée de 45 cagettes.

Effets sur le statut azoté

Les données de mesure du N-tester réalisées en saison sur la parcelle Petit Sablonnet (*Figure 23 A*) expriment une valeur assez basse à véraison pour l'agroforesterie, l'optimum moyen se situant à 500/550 (*Tableau 3*). Il a été mesuré une valeur plus importante sur le témoin. Le test statistique mené sur les mesures des 4 parcelles (*Annexe VII. p.92*) statue sur une différence significative entre les modalités en début de saison ($p\text{-value} = 0,04$), mettant en avant un effet de l'agroforesterie sur la culture. Les données de mesures de toute les parcelles sont plus élevées pour la modalité agroforesterie en début de saison. Ce résultat peut s'expliquer par la différence moyenne de 37 unités entre les modalités. Néanmoins, les différences entre modalités ne sont pas significatives sur la teneur moyenne en azote au cours de la saison ($p\text{-value} = 0,40$). Concernant l'azote assimilable (*Figure 23 B*), la modalité agroforesterie surpasse le témoin à 3 reprises, avec des valeurs plus importantes de 20 mg/L au long de la maturation. Ces résultats sont contradictoires avec une faible valeur de N-tester à véraison. Les graphiques des autres parcelles sont disponibles en *Annexe VII p.93*, avec des résultats différents selon les modalités.



A



B

Figure 24 : Courbes d'évolution du poids de 100 baies de raisins (A) et des sucres fermentescibles (B) de la parcelle Petit Sablonnet en 2023

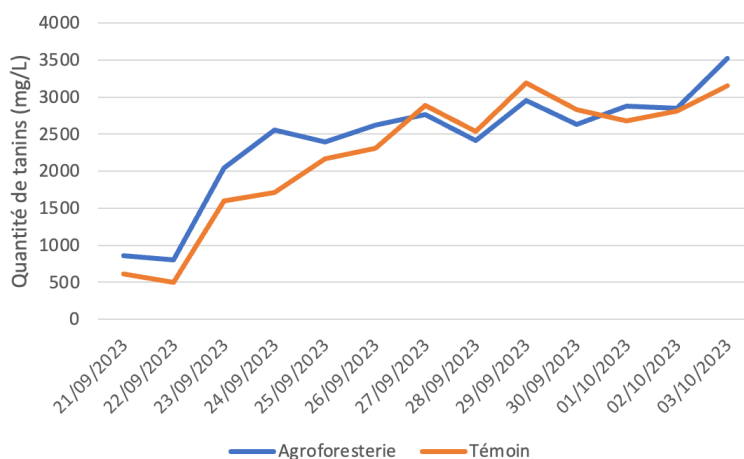


Figure 25 : Courbes de la cinétique d'extraction des tanins de la parcelle Petit Sablonnet lors des micro-vinifications 2023

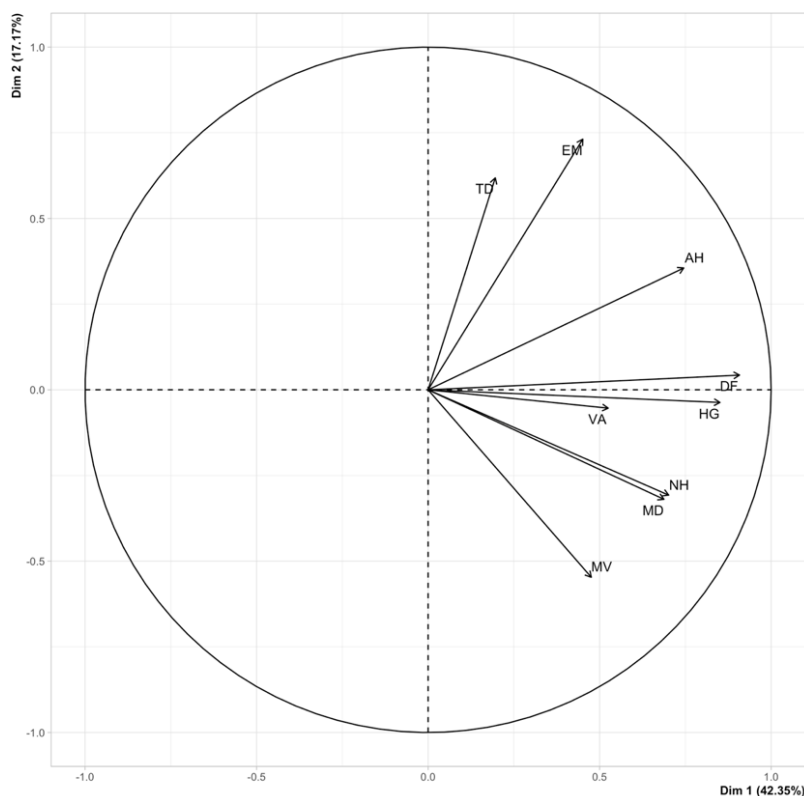


Figure 26 : Analyse en composante principale du logiciel Rstudio des performances des juges de la dégustation d'essai

Effets sur la maturité

Les données analytiques des suivis maturités de la saison 2023 de la parcelle Petit Sablonnet sont présentées en (*Figure 24*). Le poids de 100 baies de la modalité témoin est plus élevée de 9 grammes que l'agroforesterie. La courbe de chargement en sucres est très similaire entre le témoin et l'agroforesterie. Les différences sont très faibles entre la modalité témoin et l'agroforesterie. Les graphiques des autres parcelles sont disponibles en *Annexe VIII p.97*, les données sont très similaires entre les modalités pour les autres parcelles du dispositif. En 2022, le poids de 100 baies de la modalité agroforesterie était bien inférieur au témoin (20 grammes de différence) pour la parcelle Petit Sablonnet.

Effets sur le vin

En 2022, à la suite d'un fort développement de levures *Brettanomyces bruxellensis*, la modalité agroforesterie n'a pas pu être statistiquement comparable au témoin, elle a systématiquement été écartée par le jury à cause d'importants arômes de phénols. La différence entre les modalités ne venait pas du mode de conduite mais d'un défaut survenu lors de la vinification.

Les cinétiques d'extraction des tanins sont présentés en *Figure 25*. La modalité agroforesterie est supérieure à la modalité témoin de 375 mg/L, ce qui peut s'expliquer par son poids de 100 baies qui était plus faible, mais comportait des raisins plus concentrés en éléments. En *Annexe IX p.101* sont présentées les données de fin de fermentation alcoolique, ainsi que les courbes d'extraction de l'IPT et des anthocyanes. L'agroforesterie possède des valeurs plus élevées sur tous les indicateurs.

Selon la projection des résultats (*Figure 26*), les juges sont projetés sur le même axe. Aucun d'entre eux n'est anti-corrélé aux notes du jury, ils sont bien consensuels sur la dégustation.

Sur cette projection graphique des résultats de la dégustation (*Figure 27*), nous pouvons déceler trois groupes. L'amertume des vins dégustés dépend des descripteurs qualificatifs d'une faible maturité : les tanins verts, le végétal, les fruits frais et le floral. Les variables tanins secs, fruits mûrs, fruits cuits, quantité de tanin et acidité composent le descripteurs intensité. Ces qualificatifs sont corrélés fortement à la note globale qui est attribuée aux boissons. Enfin, l'équilibre, le tanin dur, la qualité du tanin, la longueur, le volume et l'équilibre sont les principaux facteurs de la note complexité. La modalité agroforesterie a été notée comme un vin plus intense et

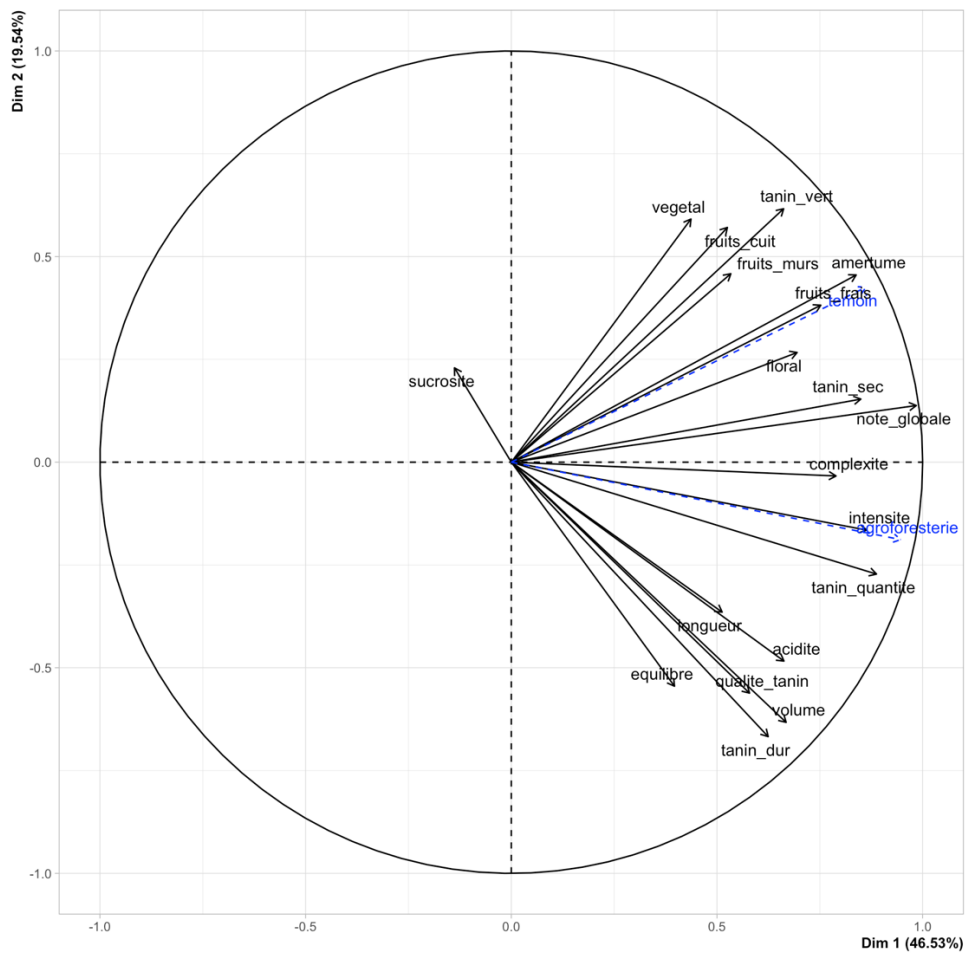


Figure 27 : Analyse en composante principale (Rstudio) des qualificatifs de notation des micro-vinifications du projet agroforesterie 2023

Tableau 8 : Résultats du test de classement réalisé par le panel de dégustateurs en 2023

Essai	Modalité	HG	DF	VA	EM	AH	NH	TD	MV	MD	Somme des rangs	Somme des rangs 2
Essai AF PS	Témoin (369)	2	2	1	1	2	1	1	2	2	14	196
	Érable (731)	1	1	2	2	1	2	2	1	1	13	169

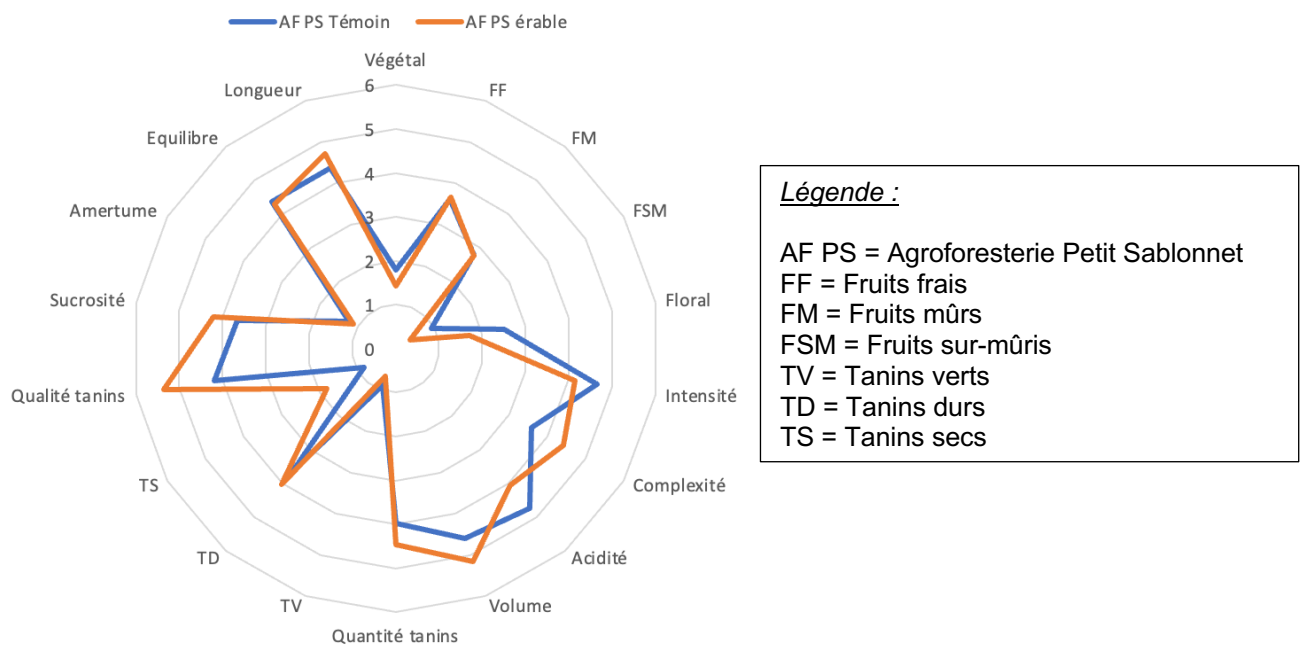


Figure 28 : Représentation graphique des notations par critères des micro-vinifications 2023 entre les deux modalités présentées (Source : Château Latour)

complexe, avec une quantité de tanin plus élevée, un résultat cohérent avec les données analytiques. Le témoin possède un profil plus amer, sur les fruits frais et plus floral. Selon ces résultats, l'agroforesterie permettrait de faire un vin légèrement moins végétal que le témoin, avec plus de tanin et de complexité, certainement dû à un poids de récolte plus faible, mais avec des raisins plus concentrés et plus mûrs.

Test Triangulaire

D'après le résultat du test binomial réalisé à partir du test triangulaire, les vins n'ont pas été perçus comme statistiquement différents (3 réponses juste sur 9 dégustateurs).

Test de classement

Le test descriptif réalisé met en avant que la modalité Agroforesterie a été légèrement préférée au témoin par le jury (*Tableau 8*).

Épreuve de profil sensoriel

Lors de la notation par critère des deux vins (*Figure 28*), il a été remarqué par le jury que la modalité agroforesterie exprime de légères différences par rapport au témoin : un peu plus de longueur et de sucrosité, de complexité et de volume, plus de tanin (notamment des tanins durs) et un peu moins d'acidité. On peut supposer que les arbres ont un léger effet sur la consommation d'acide malique (même tendance que pour les relevés maturité) et permettent de faire ressortir de la longueur en finale ainsi que du volume en bouche.

IV.3. Couverture des sols

Méthode MERCI

Avant les comparaisons des effets des couverts, des relevés de densité et de hauteur de semis à destruction sont réalisés dans les parcelles semées, pour estimer la réussite de l'implantation. Les données sont présentées en *Figure 29*. Les données des densités et hauteur de luzerne endémique sont présentées en *Annexe X p.102*.

Lors des millésimes 2023 et 2024, il a été comparé la quantité de biomasse produite ainsi que d'éléments nutritifs (*Figure 30*) des 4 parcelles de l'audit des sols. Ce qui nous permet de visualiser à court termes, l'apport du couvert végétal sur nos parcelles. Il en ressort que la quantité de nutriments est plus élevée en 2024 pour Les parcelles menées en semis sélectionnés, Sarmentier (1,2 T/ha d'augmentation) et Pommiers (0,4 T/ha de biomasse en plus). Ces parcelles semées connaissent également une quantité importante d'azote ajoutée par les couverts, entre 30 et 40

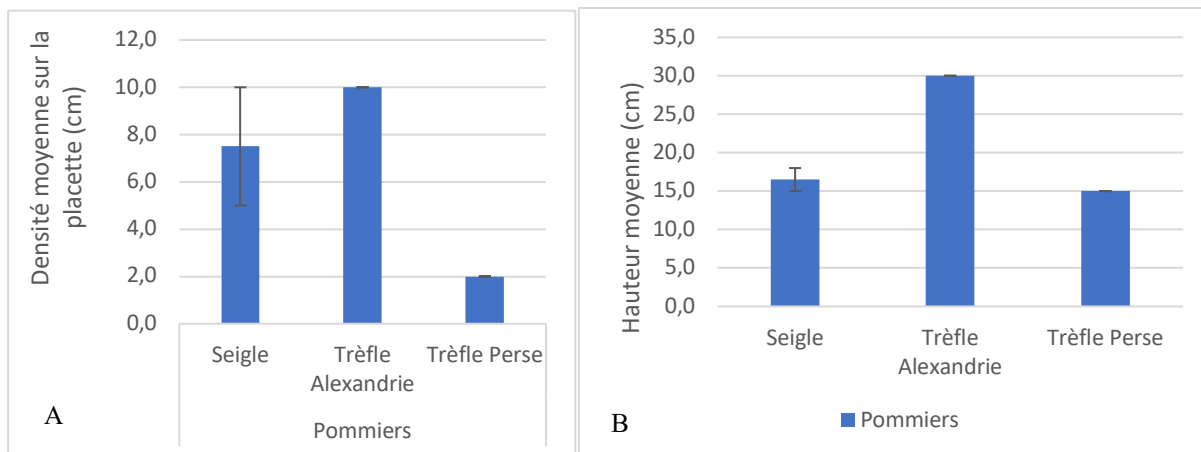


Figure 29 : Densité moyenne (A) et Hauteur moyenne (B) du couvert végétal des parcelles semées avec le mélange M2 en 2024, estimés par mesure in situ

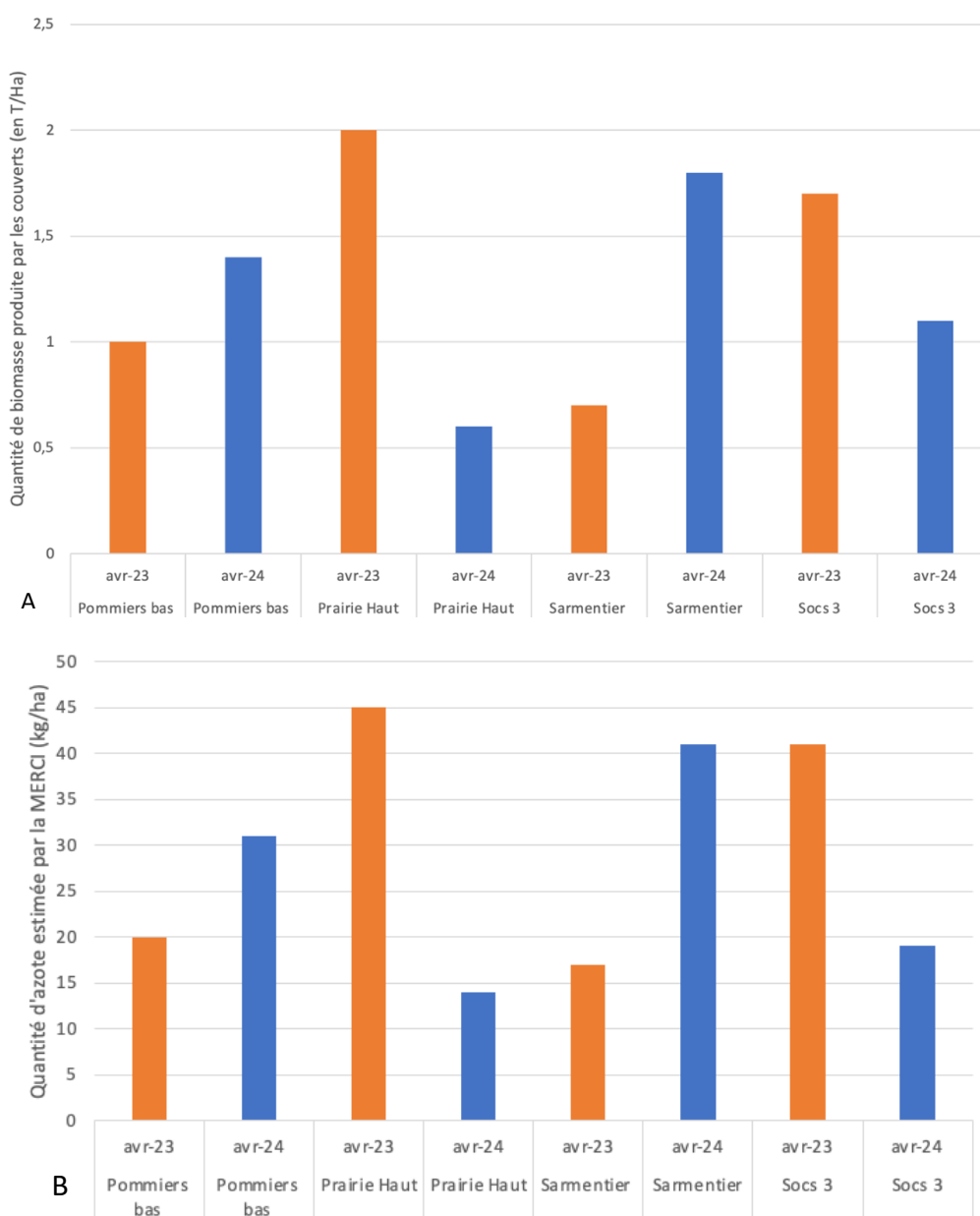


Figure 30 : Comparaison de la quantité de biomasse (A) et d'azote (B) produits par les couverts du Château Latour en 2023 et en 2024

kg/ha, pour le millésime 2024. Pour les parcelles conduites en ENM (Socs 3 et Prairie CS), les effets fertilisants étaient plus importants en 2023. La parcelle Socs 3 connaît une diminution de 0,5 T/ha de biomasse en 2024. Cette différence s'explique par une quantité de luzerne, une légumineuse endémique très présente dans l'Enclos, plus importante lors de la première année d'analyse (*Figure 31*) pour les parcelles Prairie CS et Socs 3. Les quantités d'azote incorporées sont plus faibles que pour les parcelles semées, elles se situent entre 10 et 20 kg/ha en 2024. Ces résultats confirment que les couverts apportent un enrichissement en azote et en biomasse sèche aux sols des parcelles. Les quantités totales d'éléments nutritifs incorporés à la parcelle par les couverts sont disponibles en *Annexe X p.103-105*.

Analyses de microfaune

Sur la *Figure 32* est projeté les quantités de micro-organismes actifs des parcelles étudiées. Pommiers bas est la parcelle qui présente la meilleure évolution entre les deux millésimes, mais de manière globale, les quantités d'individus ont toutes augmentées pour les 4 parcelles de l'Audit entre 2023 et 2024. Une parcelle en ENM ainsi qu'une parcelle semée constituent les meilleures évolutions et quantités. Ces résultats sont assez difficiles pour comparer les différents modes de conduite, il n'y a pas de tendance de l'influence d'un itinéraire cultural sur l'évolution des micro-organismes. Les parcelles Pommiers et Sarmentier, toutes deux conduites en semis sélectionnés se classent dans les meilleurs scores de Santé Biologique des sols (*Tableau 9*), contrairement aux parcelles menées en ENM qui possèdent des SBS faible. Concernant les ratios de Champignons et de Bactéries, seule la parcelle Sarmentier (semée) connaît une évolution exponentielle, expliquée par son importante augmentation de Champignons actifs en 2024. Socs 3 (ENM) connaît une diminution des bactéries actives (BA) de 22 %, également de 29 % pour les champignons actifs (CA). Cette évolution conduit à une diminution des Micro-organismes actifs (MoA). Cette diminution pourrait théoriquement nuire à l'activité biologique du sol de la parcelle, les micro-organismes du sol jouant un rôle sur la dégradation de la matière, la nutrition des plants et la dépollution des sols. Elle pourrait s'expliquer par les importants passages d'engins viticoles dans les parcelles pour les traitements, couplées aux conditions météorologiques pluvieuses. Il est supposable que les espèces retrouvées dans les parcelles en ENM ayant un effet décompactant moins important. La totalité des parcelles étudiées a connu une évolution de la quantité de champignons totaux en 2024 (*Annexe X p.106*), mais les parcelles conduites en ENM

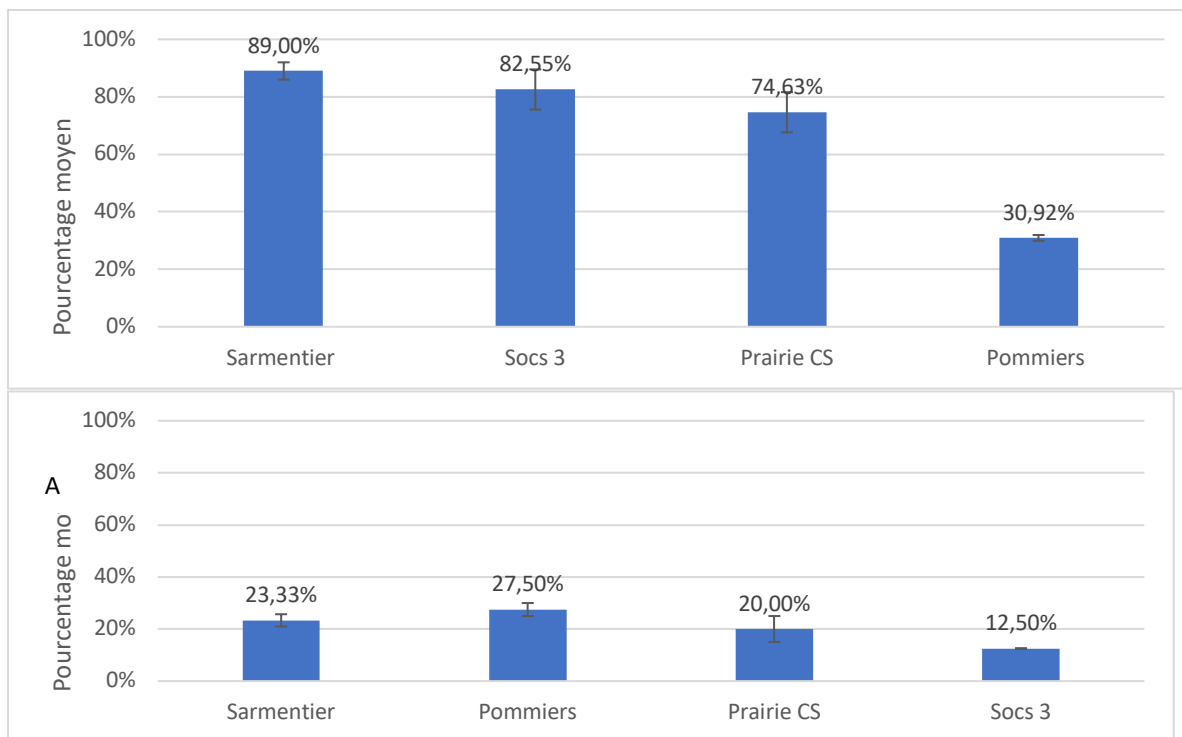


Figure 31 : Comparaison des densités moyennes de luzerne endémique dans le couvert végétal des parcelles étudiées en 2023 (A) et en 2024 (B) dans l'Enclos

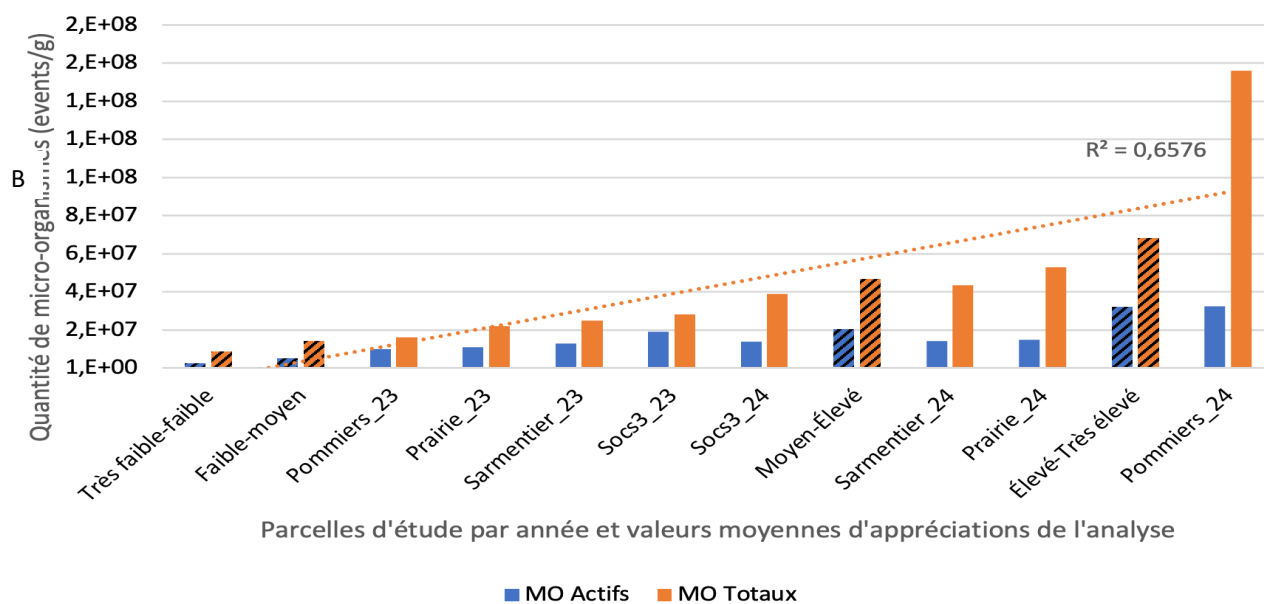


Figure 32 : Histogramme des quantités totales et actives des micro-organismes (MO) dénombrés dans les parcelles étudiées selon 2 millésimes d'étude et classées selon les valeurs moyennes d'indications (remplie par des bandes diagonales, fournies par les interprétations d'analyses) (source : SRDV)

Tableau 9 : Évolution des parcelles étudiées (en %) entre le millésime 2023 et 2024

Parcelle	Itinéraire technique	Bactéries_actives	Bactéries_totales	Champignons_Actifs	Champignons_Totaux	MicroOrganismes_Actifs	MicroOrganismes_totaux	Ratio_C/B	Score SBS (Santé Biologique du Sol)
Socs 3	ENM	-22%	71%	-29%	74%	-26%	72%	-4,50%	37
Prairie Haut	ENM	74%	41%	-48%	44%	73%	43%	0%	42
Sarmentier	Semis	85%	57%	62%	33%	89%	57%	156%	57
Pommiers Bas	Semis	27%	10%	41%	36%	29%	11%	-373%	93

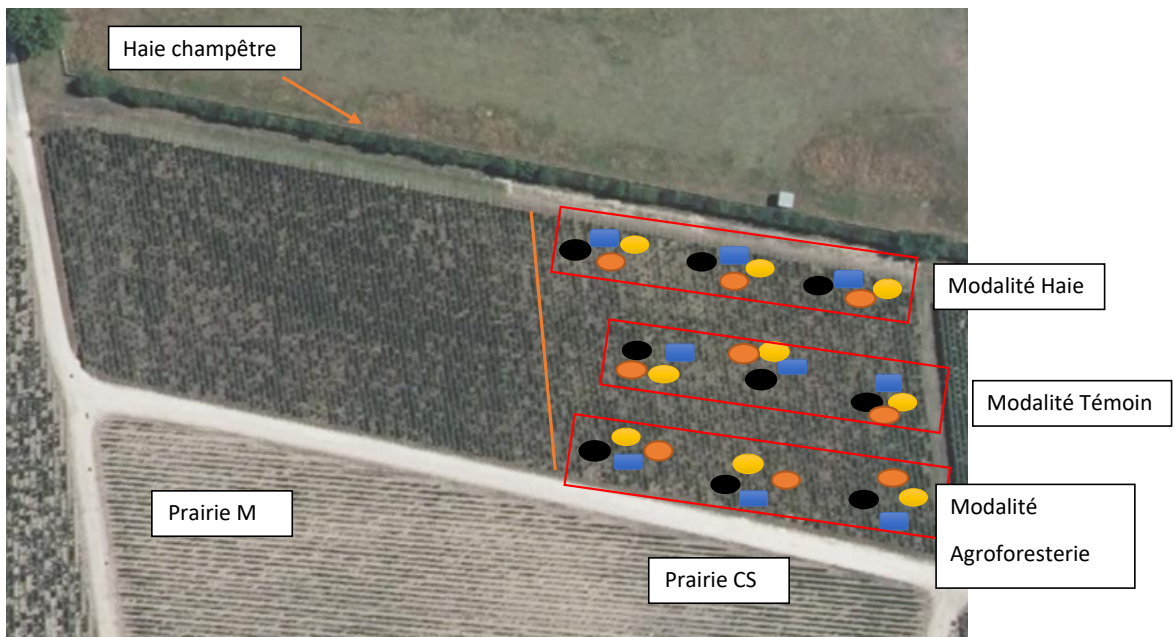
connaissent également une diminution de leur forme active et une augmentation de leur formes latentes et mortes. Les parcelles semées connaissent une évolution constante.

V. DISCUSSION : SYNTHÈSE ET BILAN DES RÉSULTATS

V.1. Agroforesterie

Les indices de Shannon ont montré que même si l'agroforesterie attire plus de pollinisateurs et d'auxiliaires que le témoin, les espèces sont moins diversifiées. Avec un résultat non significatif, il n'y a pas d'effet d'une modalité sur la diversité des espèces, ce qui est contraire à la bibliographie (Sarhou and Smits, 2006). Les résultats statistiques statuent qu'en millésime sec (2022) l'érable et la haie ont un effet significatif sur la capacité d'attrait des auxiliaires et de pollinisateurs, venant confirmer ce que nous avons étudié dans la bibliographie (Macary *et al.*, 2020). En millésime pluvieux (2023), les conditions météorologiques lors des piégeages sont impactantes sur nos résultats, notamment quand cette période pluvieuse intervient pendant la pose des pièges. Cette étude nous permet de répondre de manière mesurée à la question de l'intérêt des arbres sur la diversité faunistique, favorablement dans certains millésimes. La principale limite de cette partie était la répétition dans l'espace, 1 seul piège de chaque type était positionné dans les placettes haut et bas des modalités, il faut en tenir compte dans les résultats. Dans la nouvelle expérimentation sur la parcelle Prairie CS (*Figure 33*), il a été inclus des répétitions dans l'espace en plus de celles dans le temps (3 types de pièges par modalité), ainsi qu'une modalité « haie ». Cet essai, localisé dans une autre parcelle, permettra d'étudier plus profondément les effets de l'agroforesterie au bout de plusieurs années.

Les résultats des comparaisons de croissance de rameaux correspondent à la bibliographie (Bourgade *et al.*, 2018), une agroforesterie raisonnée techniquement, comportant une sélection rigoureuse des espèces utilisées, n'est que peu impactante sur la plante principale. A la question de la contrainte sur la croissance, nous pouvons répondre qu'elle dépend du milieu et qu'elle n'est pas significative quand l'arbre est jeune. La limite principale est que nous ne mesurons qu'un rameau par cep, 2 rameaux serait une mesure plus précise. En perspective, il faut continuer de suivre les croissances de rameaux pendant plusieurs années, le long de l'évolution de l'arbre,



● Piège sec triangulé
 ● Piège sec plaque jaune
 ● Piège liquide aérien
 ■ Piège Barber souterrain

Figure 33 : Représentation schématique de la position des nouvelles modalités d'essai sur la parcelle Prairie

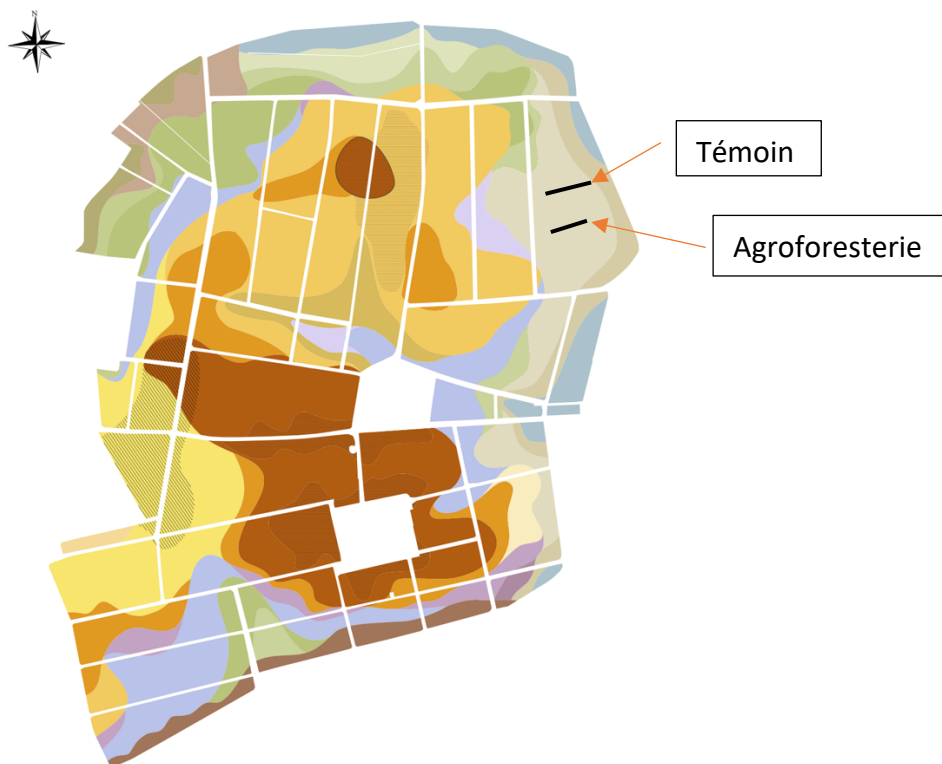


Figure 34 : Carte des sols du parcellaire de l'Enclos et position des modalités d'essai sur la parcelle Petit Sablonnet (source : J.M Viaud, Château Latour)

pour statuer sur ces effets. Il serait également intéressant de comparer des indicateurs de vigueur, comme le poids des bois de taille entre les deux modalités.

Les relevés météorologiques délivrent un résultat intéressant mais contradictoire. La principale explication serait que la modalité agroforesterie a connu une amplitude thermique plus importante que la modalité témoin, avec des températures plus élevées lors des journées supérieures à 30 et 35°C. Il est supposable que l'itinéraire technique joue un rôle important dans ce résultat. Les arbres sont rabattus à hauteur des vignes par rognage, et l'ombrage porté par les espèces n'est pas suffisant pour exercer un effet microclimatique. Seule une année a été étudiée, et le peu de répétitions des tiny-tags rend une interprétation statistique impossible. Ce qui en fait les principales limites de cette étude. Il est encore trop tôt pour répondre à la question de l'effet sur le climat, il faut prendre en compte que les arbres sont encore jeunes et continuer l'essai. Nous pourrions également insérer des répétitions dans l'espace (2 à 3 TinyTags par modalité).

La fertilité des vignes n'a pas été significativement impactée, au contraire d'une étude bibliographique (Trambouze and Goma-Fortin, 2018). Les arbres étant encore jeunes, il faut en perspective continuer de différencier les modalités lors de l'estimation de récolte pour juger d'un éventuel impact sur le rendement.

Concernant l'alimentation azotée, la différence des valeurs du N-tester n'est significative qu'en début de saison, puis non significative au fil du millésime. Les teneurs plus élevées du N-tester en début de saison et d'azote assimilable de la modalité agroforesterie peuvent s'expliquer par la différence du mode de conduite, c'est la seule parcelle où les arbres sont rognés au même niveau que la vigne. Le type de sol est totalement similaire entre les deux modalités (*Figure 34*). Ayant une biomasse aérienne plus importante que la culture principale (les arbres produisent plus de feuilles et de bois), lors des rognages, cette biomasse tombe au sol, et se dégrade en hiver pour se minéraliser. Il est supposable que cette quantité de biomasse plus importante profite au sol de la modalité agroforesterie, et augmente sa teneur en azote. Les valeurs chutent à véraison des suites du besoin en azote des vignes et des arbres pour la maturation de leurs fruits, ces besoins seraient plus importants que pour la modalité témoin, qui ne comporte que des raisins. Pour vérifier cette hypothèse, réaliser des mesures de biomasse sèche (surface foliaire et rameau) entre la vigne et l'arbre, puis des analyses de sol selon les modalités serait une piste intéressante. La vigne aurait donc, théoriquement, accès à une plus grande disponibilité d'azote lors

de la maturation. Ceci reste une hypothèse, vérifiable mais non attestée. Le poids de 100 baies de la modalité agroforesterie, plus bas que le témoin sur les deux millésimes, peut aussi expliquer cette différence, par concentration de la quantité d'azote lors de la perte en eau contenue dans la baie (Romieu C., 2021). Les parcelles récentes n'expriment pas les mêmes résultats par la différence d'âge des arbres. Les résultats très contradictoires entre eux ne permettent pas de tirer de conclusion directe, mais plutôt d'émettre des suppositions et des perspectives. La principale limite de cet essai est sa répétition. Il serait intéressant de les poursuivre sur plusieurs millésimes, en y intégrant des analyses pétiolaires.

Au niveau de la récolte, l'agroforesterie peut exercer une influence, dans certains cas, sur le poids des baies et le taux d'azote assimilable. Les résultats sont antagonistes entre les différentes parcelles, et dépendent de plusieurs facteurs (âge de l'arbre, mode de conduite, type de sol, cépage, contrainte hydrique). Il est difficile de tirer des conclusions strictes lors de cette partie de l'étude, prenant en compte les différentes limites du dispositif, les conclusions doivent être mesurées.

Concernant l'œnologie, pour le millésime 2023, il n'a pas été significativement déterminé que l'agroforesterie avait un effet notable sur le vin à la dégustation. Cependant, il est intéressant de souligner que des tendances de profil se distinguent entre les modalités. Ces résultats répondent à une donnée non trouvée dans la bibliographie, l'effet de l'agroforesterie sur le produit final. Seul un millésime a pu être dégusté, à une seule reprise. Il serait intéressant pour la propriété de continuer les micro-vinifications, et de faire déguster plusieurs fois les échantillons pour obtenir des répétitions.

Cette étude comporte des biais qu'il faut prendre en compte, une parcelle étudiée ne possède pas le même cépage (Petit Verdot sur Trillot 1), et une parcelle de Cabernet-Sauvignon (Petit Sablonnet) n'était pas conduite de la même façon que les 3 autres, avec une densité plus importante d'arbres à l'hectare ainsi qu'un rognage des individus, tandis que les autres se développent de manière indépendante.

V.2. Couverture des sols

Les méthodes MERCI réalisées mettent en valeur le potentiel d'enrichissement en nutriment pour le sol par le biais du couvert végétal, grâce à la formation de biomasse sèche et le piégeage d'azote atmosphérique. Les parcelles menées en ENM

surclassent même parfois les parcelles semées, grâce à la présence de luzerne endémique présente sur la propriété. Ces analyses confirment la synthèse bibliographique (Abad *et al.*, 2020) menée sur les propriétés bénéfiques des couverts végétaux. Ils permettent d'enrichir les sols en éléments nutritifs, jouant un rôle important sur la croissance de la vigne. Seules deux années ont été étudiées, ce qui peut être considéré comme une limite à des conclusions trop tranchées et hâtives de cet audit.

Concernant l'analyse de diversité des sols, les résultats les plus intéressants concernent les parcelles conduites en semis sélectionnés (Sarmentier et Pommiers), les parcelles conduites en enherbement naturel maîtrisé depuis plusieurs années connaissent des diminutions biologiques de leur forme actives et vivantes. Il est supposable que l'utilisation de cuivre répétée par un vignoble en bio, ainsi que les passages d'engins par une météorologie pluvieuse occasionnent une dégradation biologique et structurelle des sols. Ces résultats montrent l'importance d'un semis sélectionné pour leur propriétés décompactantes, permises par un système racinaire pivotant des espèces végétales, pour permettre aux organismes aérobies de vivre dans le sol. Les organismes anaérobies comme les bactéries peuvent également se montrer sensible aux tassements, mais surtout aux produits cuivrés. Les propriétés d'augmentation de vie biologique des parcelles des couverts végétaux lue dans la bibliographie sont donc partiellement confirmées, une parcelle en ENM a vu ses quantités microbiologiques diminuées. Il serait intéressant de continuer cet audit sur deux années de plus pour comparer sur plusieurs répétitions.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'agroforesterie permet, dans certains millésimes, d'attirer plus d'insectes bénéfiques à la viticulture sans impacter significativement la vigne au niveau de sa croissance et de son rendement. Une différence de nutrition azotée peut être constatée en début de saison, au stade petit pois. Le cépage Petit Verdot paraît moins sensible que le cépage Cabernet-Sauvignon, il serait probablement plus intéressant d'intégrer l'agroforesterie sur des parcelles plantées avec ce cépage. Les vins produits n'expriment pas de différence avec les vins témoins. Une majeure partie des résultats obtenus ont tendance à favoriser l'arbre, hormis le peu d'effet en millésime pluvieux ainsi que les résultats peu différents des effets microclimatiques. L'ensemble des résultats permettent de répondre positivement (de manière mesurée et en précisant



- Pommier
- Poirier
- Cognassier
- Érable champêtre

Figure 35 : Représentation schématique d'une parcelle modèle d'expérimentation en agroécologie, d'après les données et les résultats collectés pour ce mémoire

les limites) aux questions posées en problématique : Il est possible d'associer des espèces n'ayant pas d'effets significatifs sur la production de raisin et la qualité des vins produits ; d'augmenter la diversité des parcelles par l'incorporation d'espèces végétales ; d'intégrer des espèces végétales limitant la concurrence azotée avec la culture principale. La batterie de mesures réalisées sur les essais devrait être continuée sur au moins 2 autres années, pour intégrer plus de répétitions dans le temps et dans l'espace, ce qui représente aujourd'hui la principale limite.

La couverture des sols est une technique qui permet plusieurs effets bénéfiques scientifiquement prouvés, mais qui doit être adaptée (enherbement naturel maîtrisé ou semis sélectionné selon des problématiques précises) et menée au vignoble de manière équilibrée. Elle comporte le risque important de la compétition (Chantelot *et al.*, 2004). En enherbant totalement le vignoble (inter rang et inter cep), l'absorption de l'eau et des nutriments par les racines de la vigne est plus complexe en présence d'un couvert végétal. La vigueur de la plante connaît une diminution, certains impacts de baisse de fertilité peuvent être remarqués. Certaines parcelles, lors de la taille et de l'ébourgeonnage, affichaient des bois de faible diamètre et la charge en bourgeons a dû être diminuée (exemple de la parcelle « Prairie CS»). La couverture des sols doit donc être menée minutieusement, pour en limiter les contraintes. Il a été démontré que les parcelles menées en semis sélectionnées confèrent une meilleure évolution en nutriments ainsi qu'un effet enrichissement en microfaune plus important. La principale limite de cet audit est sa faible répétition, seulement deux années ont été étudiées. Les perspectives seraient de continuer les méthodes MERCI ainsi que les analyses de microfaune, en y incorporant une analyse après vendange (en octobre) pour avoir deux valeurs par année, et étudier les différences de biomasse, et d'activité de la biodiversité du sol. Nous pouvons répondre favorablement à la question posée dans la problématique, les couverts améliorent les réserves potentielles du sol grâce aux espèces végétales et leur apport en nutriment.

En perspective mêlant les deux sujets, il est proposé en *Figure 35* un schéma d'une parcelle agroécologique optimale selon les données récoltées, à raisonner dès la plantation. L'inter rang serait semé d'un mélange de 50 % de trèfle d'Alexandrie, 20 % de Féverole, 30 % de Seigle. L'intercep serait travaillé aux lames, pour éviter la concurrence. Les espèces d'arbres ont été sélectionnées par leur réussite au vignoble du Château Latour. Le cépage concerné est du Petit Verdot, le sol est argileux. La densité de plantation d'arbres a été étudiée pour conserver l'AOC Pauillac.

VII. BIBLIOGRAPHIE

Abad, J. *et al.* (2020) ‘Under-vine cover crops: impact on weed development, yield and grape composition : This article is published in cooperation with the XIIIth International Terroir Congress November 17-18 2020, Adelaide, Australia. Guest editors: Cassandra Collins and Roberta De Bei’, *OENO One*, 54(4), pp. 975–983. Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.4149>.

Abad, J. *et al.* (2021) ‘Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard’, *OENO One*, 55(1), pp. 295–312. Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3599>.

Aigrain, P. *et al.* (2019) ‘L’utilisation par la viticulture française d’un exercice de prospective pour l’élaboration d’une stratégie d’adaptation au changement climatique’, *BIO Web of Conferences*, 12, p. 03020. Available at: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191203020>.

Balvanera, P. *et al.* (2006) ‘Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services’, *Ecology Letters*, 9(10), pp. 1146–1156. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x>.

Bansept, A. (2013) ‘Eau et forêt. 1re partie : L’influence des arbres sur la quantité des eaux’, *Revue forestière française*, 65(2), pp. 145–162. Available at: <https://doi.org/10.4267/2042/51600>.

Baumann, K. *et al.* (2012) ‘Soil microbial diversity affects soil organic matter decomposition in a silty grassland soil’, *Biogeochemistry*, 114. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9800-6>.

Benoit, P. (2010) ‘Enherbement des sols : quels effets possibles sur le devenir environnemental des pesticides ?’, *Fourrages*, 202, pp. 95–102.

Boudon-Pardieu, E. *et al.* (2000) *Ravageurs de la vigne*. Féret.

Bourgade, E. *et al.* (2018) ‘Agroforesterie et Viticulture’, *Itinéraire technique* [Preprint], (28). Available at: hal.inrae.fr/hal-03209987/document.

Cayrol, J.C., Djian-Caporalino, C. and Panchaud-Mattei, E. (1992) ‘La lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites’, *COURRIER DE LA CELLULE ENVIRONNEMENT INRA*, 17(17), pp. 31–44.

Chantelot, E. (2003) ‘L’enherbement de la vigne’, *ITAB* [Preprint]. Available at: http://itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_viti/viti%20enherbement.pdf.

Chantelot, E., Celette, F. and Wery, J. (2004) ‘Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen’, pp. 171–184.

Chevallier, T. *et al.* (2015) ‘L’agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique ?’, *Forêt Entreprise*, (225), pp. 49–54.

Delmotte, F. *et al.* (2021) ‘Des vignes, des invasions et des résistances’, in. Available at: <https://hal.inrae.fr/hal-03206064> (Accessed: 18 January 2024).

Doncieux, A. *et al.* (2022) ‘Agrobiodiversity dynamics in a French wine-growing region’, *OENO One*, 56(4), pp. 183–199. Available at: <https://doi.org/10.20870/oenone.2022.56.4.5557>.

Drain, A. *et al.* (2016) ‘Impact de la mycorhization à arbuscule en viticulture : Cas du vignoble bordelais’. Available at: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/647471da2d3f560f80aa8518> (Accessed: 24 January 2024).

Eveno, M.-E. and Chabanne, A. (2001) ‘Les effets allélopathiques de l’avoine (*Avena sativa*) sur différentes mauvaises herbes et plantes cultivées’, *Dix-huitième conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 5-6-7- décembre 2001, Toulouse, France* [Preprint]. Available at: <https://agritrop.cirad.fr/488275/> (Accessed: 29 February 2024).

Fontar, X. and Thomas, L. (1987) *Etude des effets allélopathiques d’une couverture de Kikuyu (Pennisetum clandestinum) sur géranium, cultures vivrières et certaines plantes adventices*. thesis. ESA. Available at: <https://agritrop.cirad.fr/600832/> (Accessed: 29 February 2024).

Giacinto, S.D. *et al.* (2020) ‘Vineyard management system affects soil microbiological properties’, *OENO One*, 54(1), pp. 131–143. Available at: <https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.1.2578>.

Goëbau, N. (2017) ‘Assimilation et effets d’apports foliaires de phosphore et de calcium sur l’équilibre minéral de parcelles de vignes du Languedoc-Roussillon’.

Goutouly, J.-P. (2009) ‘Impacts du changement climatique sur la vigne et le raisin’, *Revue Française d’Oenologie*, (235), pp. 23–26.

Hättenschwiler, S., Fromin, N. and Barantal, S. (2011) ‘Functional diversity of terrestrial microbial decomposers and their substrates’, *Comptes Rendus Biologies*, 334(5–6), pp. 393–402. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2011.03.001>.

Helwi, P. (2015) *Effet du statut azoté de la vigne sur le potentiel aromatique de la baie de raisin et l’arôme du vin : Approches agronomique, analytique et transcriptomique*. phdthesis. Université de Bordeaux. Available at: <https://theses.hal.science/tel-01452511> (Accessed: 21 August 2023).

den Hollander, N.G., Bastiaans, L. and Kropff, M.J. (2007) 'Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: I. Characteristics of several clover species', *European Journal of Agronomy*, 26(2), pp. 92–103. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.011>.

Houlès, V. *et al.* (2006) 'Élaboration d'un indicateur de nutrition azotée du blé basé sur l'indice foliaire et la teneur en chlorophylle pour la préconisation de doses d'azote'. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Vianney-Houles/publication/342001349_Elaboration_d'un_indicateur_de_nutrition_azotee_du_ble_base_sur_l'indice_foliaire_et_la_teneur_en_chlorophylle_pour_la_preconisation_de_doses_d'azote/links/5ef4cb31299bf18816e51650/Elaboration-dun-indicateur-de-nutrition-azotee-du-ble-base-sur-lindice-foliaire-et-la-teneur-en-chlorophylle-pour-la-preconisation-de-doses-dazote.pdf.

Huglin, M.P. (1978) 'Nouveau mode d' evaluation des possibilites heliothermiques d' un milieu viticole [climatologie].', *Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France*, 64. Available at: <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735ac608fd68d546024e94> (Accessed: 10 June 2024).

Kreiter, S. (2008) 'LES ARTHROPODES AUXILIAIRES DES CULTURES'. Montpellier. Available at: <https://docplayer.fr/2992438-Les-arthropodes-auxiliaires-des-cultures.html> (Accessed: 24 January 2024).

Kreiter, S. *et al.* (2011) 'Contrôle des populations d'acariens dans les systèmes agroforestiers viticoles', *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault*, pp. 103–113.

Lebon, E. and Atauri, I.G. de C. (2014) 'Dans un contexte de changement climatique, quels sont les impacts de la sécheresse sur la vigne et sur le devenir des vignobles ? L'exemple du Languedoc', *Innovations Agronomiques*, 38, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.17180/pc6r-hy63>.

Macary, F., Guerendel, F. and Ugaglia, A.A. (2020) 'Quels apports de la littérature pour comprendre et construire la transition agroécologique en viticulture ?', *Cahiers Agricultures*, 29, p. 38. Available at: <https://doi.org/10.1051/cagri/2020035>.

Macary, F. and Le Foll, S. (2023) *Pesticides en viticulture: Usages, impacts et transition agroécologique*. QUAE. Available at: <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=TH-iEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=agroforesterie+viticole+et+traitement+insecticide&ots>

=Qwc4EjyhTJ&sig=bxQN-bA0-Ayoe2aSR_ihM-Vseuc#v=onepage&q&f=false.

Maron, P.-A. *et al.* (2018) 'High Microbial Diversity Promotes Soil Ecosystem Functioning', *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9), pp. e02738-17. Available at: <https://doi.org/10.1128/AEM.02738-17>.

Maron, V. *et al.* (2022) 'Comprendre l'origine du réchauffement climatique - Comment construire le lien entre émissions de CO₂ et température moyenne de la Terre?', in *12ème rencontres scientifiques de l'Association pour les Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies (ARDiST)*. Toulouse, France. Available at: <https://hal.science/hal-03881838> (Accessed: 3 March 2024).

MASQUIN, P. (2020) *Le pommier en agroforesterie : Dynamique des ravageurs et de leurs ennemis naturels*. Available at: <https://hal.inrae.fr/hal-03030308/document> (Accessed: 27 August 2023).

Masson, P. *et al.* (1996) *Caractéristiques des populations françaises de trèfle souterrain (Trifolium subterraneum L.)*. Acta Botanica Gallica.

Meissner, G. *et al.* (2019) 'Conversion to organic and biodynamic viticultural practices: impact on soil, grapevine development and grape quality', *OENO One*, 53(4). Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.4.2470>.

Mériaux, S. *et al.* (1981) 'Effets de la sécheresse sur la vigne (*Vitis vinifera* L.) II. - Etudes sur " Grenache "'', *Agronomie*, 1(5), pp. 375–382.

Meynard, J.-M. (2017) 'L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation', *OCL*, 24(3), p. D303. Available at: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017021>.

Neethling, E. (2016) *Adaptation de la viticulture au changement climatique : vers des stratégies à haute résolution*. phdthesis. Université Rennes 2. Available at: <https://theses.hal.science/tel-01674219> (Accessed: 28 August 2023).

Ollat, N. and Touzard, J.-M. (2014) 'Stress hydrique et adaptation au changement climatique pour la viticulture et l'oenologie : le projet LACCAGE', *Innovations Agronomiques*, (38), pp. 131–141.

Parker, A.K. *et al.* (2014) 'The influence of two methods of crop removal at different leaf areas on maturation of Sauvignon blanc (*Vitis vinifera* L.)', *OENO One*, 48(1), pp. 43–50. Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2014.48.1.1658>.

Phelipin, O., Macary, F. and Denaix, L. (2023) 'Projet ACTION : Analyse multicritère pour l'aide à la décision afin d'évaluer les performances de nouveaux systèmes agroforestiers en grandes cultures.', in *l'alimentation et l'environnement INRAE - Institut national de recherche pour l'agriculture (ed.) "DESSINER LES CHEMINS DE LA TRANSITION -*

INNOVATION OUVERTE ET IMPACT DE LA RECHERCHE SUR LES TERRITOIRES”.
École Chercheurs Partenaires du Programme national TETRAE (Transition en Territoire de
l’Agriculture, l’Alimentation et l’Environnement). Cap d’Agde (France), 15-18/10/2013,
France: INRAE - Institut national de recherche pour l’agriculture, l’alimentation et
l’environnement, p. <https://tetrae-ecp.colloque.inrae.fr/programme>. Available at:
<https://hal.science/hal-04289632> (Accessed: 12 June 2024).

Quénol, H. and Beltrando, G. (2006) ‘Impact des haies brise-vent sur le gel printanier
en arboriculture’, *Climatologie*, 3, pp. 9–24. Available at:
<https://doi.org/10.4267/climatologie.663>.

Quiquerez, A. *et al.* (2022) ‘Legacy of land-cover changes on soil microbiology in
Burgundy vineyards (Pernand-Vergelesses, France): This article is published in cooperation
with Terclim 2022 (XIVth International Terroir Congress and 2nd ClimWine Symposium), 3-
8 July 2022, Bordeaux, France.’, *OENO One*, 56(2), pp. 223–237. Available at:
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.5432>.

Sarthou, J.-P. and Smits, N. (2006) ‘Effets des systèmes agroforestiers sur l’écologie et
la gestion des populations d’insectes ravageurs’, in *Colloque du GEA*. Montpellier, France
(L’arbre isolé). Available at: <https://hal.inrae.fr/hal-02756036> (Accessed: 12 June 2024).

Schultz, H. (2022) ‘Soil, vine, climate change; the challenge of predicting soil carbon
changes and greenhouse gas emissions in vineyards and is the 4 per 1000 goal realistic? This
article is published in cooperation with Terclim 2022 (XIVth International Terroir Congress
and 2nd ClimWine Symposium), 3-8 July 2022, Bordeaux, France.’, *OENO One*, 56(2), pp.
251–263. Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.5447>.

Simonneau, T.T. *et al.* (2014) ‘Contrôle de l’état hydrique dans la plante et réponses
physiologiques de la vigne à la contrainte hydrique’, *Innovations Agronomiques*, 38, p. 13.

Thomas, E. and Wipf, D. (2016) ‘Mycorhizes en vigne : une symbiose invisible mais
essentielle’, *Viti. Les Enjeux*, p. 3 p.

Tibi, A. *et al.* (2022) *Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des
espaces agricoles. Synthèse de l’expertise scientifique collective*. report. INRAE. Available at:
<https://doi.org/10.17180/awsn-rf06>.

Trambouze, W. and Goma-Fortin, N. (2018) ‘Agroforesterie viticole : résultats de 11
ans d’étude sur la production et la vigueur des vignes’. Available at: https://www.vignevin-occitanie.com/wp-content/uploads/2018/10/2-agroforesterie-viticole-11-ans-etude_000.pdf.

Van Leeuwen, C. and Friant, P. (2011) ‘Les méthodes d’estimation de l’alimentation
azotée de la vigne et des raisins au vignoble : état de l’art’, in. *Colloque « L’azote : un élément*

clé en viticulture et en œnologie ». Available at: <https://hal.inrae.fr/hal-02806995> (Accessed: 21 August 2023).

Van Leeuwen, C. van and Vivin, P.P. (2008) ‘Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins’, *Innovations Agronomiques*, 2, p. 159. Available at: <https://doi.org/10.17180/te5h-c246>.

Verdenal, T. *et al.* (2021) ‘Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: a review’, *OENO One*, 55(1), pp. 1–43. Available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866>.

Verdenal, T. *et al.* (2023) ‘Nutrition azotée de la vigne : mesures et interprétations.’, *Recherche Agronomique Suisse*, pp. 167–171. Available at: <https://doi.org/10.34776/afs14-167>.

Wu, C. *et al.* (2022) ‘Interactions between soil protists and pollutants: An unsolved puzzle’, *Journal of Hazardous Materials*, 429, p. 128297. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128297>.

Zappelini, C. *et al.* (2022) ‘Impact des modes de production économes en pesticides de synthèse sur la qualité microbiologique des sols viticoles’, in *50e congrès du Groupe Français des Pesticides*. Namur, Belgium. Available at: <https://hal.inrae.fr/hal-03719569> (Accessed: 7 June 2024).

Zomboudré, G. *et al.* (2005) ‘Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso’, *BASE* [Preprint]. Available at: <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13880> (Accessed: 7 June 2024).

ANNEXE DU MEMOIRE DE FIN D'ETUDE : ÉTUDE DE LEVIERS AGROECOLOGIQUES POUR UNE PRODUCTION DE QUALITE EN VITICULTURE.

TABLE DES ANNEXES

<i>Annexe I : Étude statistique des différences de biodiversité des modalités de la parcelle Petit Sablonnet lors de deux millésimes (2022 et 2023)</i>	<i>2</i>
<i>Annexe II : Détail des captures d'insectes de la parcelle Petit Sablonnet par mois et par année</i>	<i>61</i>
<i>Annexe III : Analyse statistique des données de croissance de rameaux</i>	<i>63</i>
<i>Annexe IV : Étude des courbes de croissance moyennes des rameaux des modalités témoin et agroforesterie</i>	<i>63</i>
<i>Annexe V : Étude microclimatique des modalités de la parcelle Petit Sablonnet.....</i>	<i>79</i>
<i>Annexe VI : Test de l'impact de l'agroforesterie sur le rendement de la vigne</i>	<i>82</i>
<i>Annexe VII : Test de l'impact de l'agroforesterie sur la nutrition azotée de la vigne</i>	<i>88</i>
<i>Annexe VIII : Données analytiques des suivis maturités 2022-2023</i>	<i>97</i>
<i>Annexe IX : Données analytiques de fin de fermentation alcoolique des micro-vinifications 2023.....</i>	<i>101</i>
<i>Annexe X : Données d'étude des propriétés des couverts végétaux 2023 – 2024 ..</i>	<i>102</i>

ANNEXE I : ÉTUDE STATISTIQUE DES DIFFERENCES DE POPULATIONS D'INSECTES DES MODALITES DE LA PARCELLE PETIT SABLONNET LORS DE DEUX MILLESIMES (2022 ET 2023)

Durant les millésimes 2022 et 2023, je me suis intéressé aux populations d'insectes attirés dans la parcelle pour vérifier si les arbres ont un effet significatif sur l'attrait d'auxiliaires ou de ravageurs (effet hôte). Dans un premier temps, j'ai traité les données issues des calculs d'indice de Shannon-Weaver, puis les données globales (2022+2023) pour vérifier si les érables ont eu un effet sur deux campagnes.

Données brutes des indices de Shannon-Weaver :

			Indice de Shannon	Équitabilité	Richesse spécifique
2022	Témoïn	Ravageur	0,37	0,229	5
		Pollinisateur	1,53	0,489	23
		Auxiliaire	2,5	0,762	27
		Neutre	0,19	0,139	4
	Agroforesterie	Ravageur	0,83	0,516	5
		Pollinisateur	1,2	0,425	17
		Auxiliaire	2,14	0,664	25
		Neutre	0,12	0,087	4
2023	Témoïn	Ravageur	0,53	0,384	4
		Pollinisateur	1,6	0,605	14
		Auxiliaire	1,64	0,607	15
		Neutre	0	0	1
	Agroforesterie	Ravageur	0,206	0,297	2
		Pollinisateur	1,31	0,497	14
		Auxiliaire	2,08	0,673	22
		Neutre	0,201	0,29	2

Étude statistique des données :

```
> data <- statShannon
```

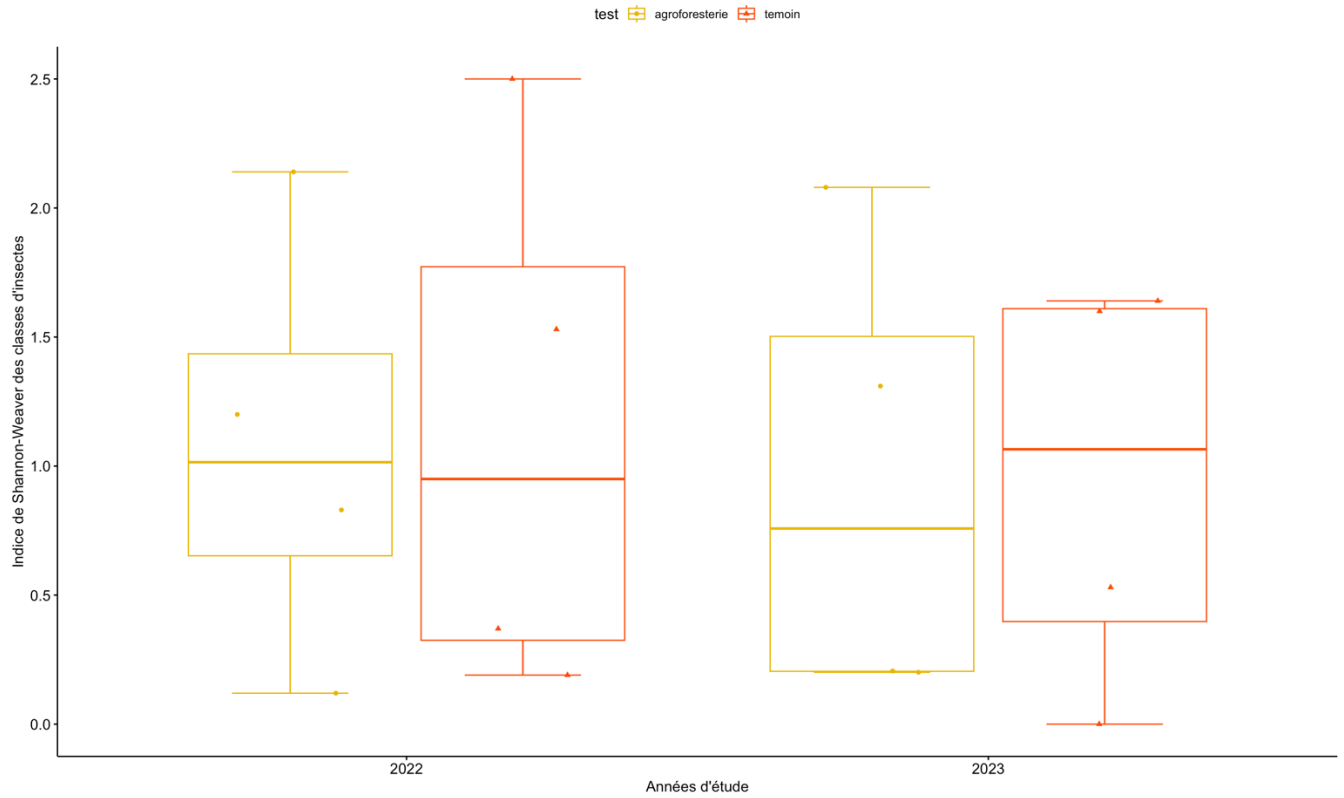
	year	test	class	shannon index	evennes	richness
1	2022	temoin	ravageur	0.370	0.229	5
2	2022	temoin	pollinisateur	1.530	0.489	23
3	2022	temoin	auxiliaire	2.500	0.762	27
4	2022	temoin	neutre	0.190	0.139	4
5	2022	agroforesterie	ravageur	0.830	0.516	5
6	2022	agroforesterie	pollinisateur	1.200	0.425	17
7	2022	agroforesterie	auxiliaire	2.140	0.664	25
8	2022	agroforesterie	neutre	0.120	0.087	4
9	2023	temoin	ravageur	0.530	0.384	4
10	2023	temoin	pollinisateur	1.600	0.605	14
11	2023	temoin	auxiliaire	1.640	0.607	15
12	2023	temoin	neutre	0.000	0.000	1
13	2023	agroforesterie	ravageur	0.206	0.297	2
14	2023	agroforesterie	pollinisateur	1.310	0.497	14
15	2023	agroforesterie	auxiliaire	2.080	0.673	22
16	2023	agroforesterie	neutre	0.201	0.290	2

> summary(data)

year	test	class	shannon index	evennes	richness
Min. :2022	Length:16	Length:16	Min. :0.0000	Min. :0.0000	Min. : 1.00
1st Qu.:2022	Class :character	Class :character	1st Qu.:0.2047	1st Qu.:0.2747	1st Qu.: 4.00
Median :2022	Mode :character	Mode :character	Median :1.0150	Median :0.4570	Median : 9.50
Mean :2022			Mean :1.0279	Mean :0.4165	Mean :11.50
3rd Qu.:2023			3rd Qu.:1.6100	3rd Qu.:0.6055	3rd Qu.:18.25
Max. :2023			Max. :2.5000	Max. :0.7620	Max. :27.00

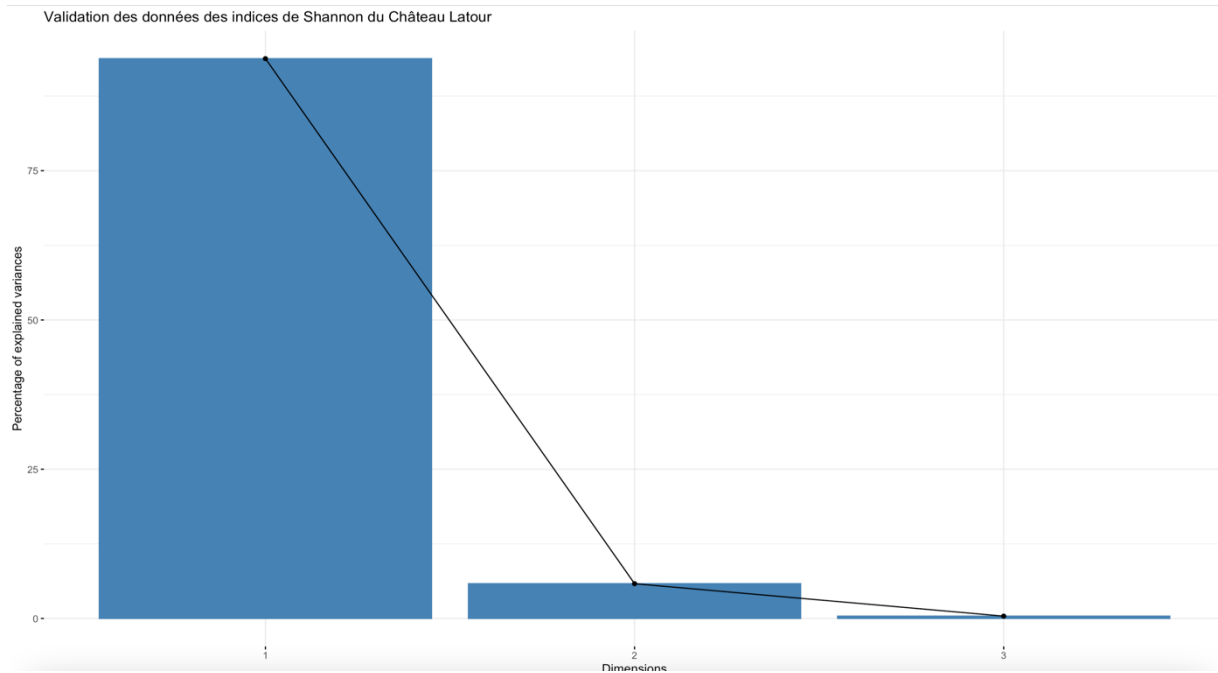
```
> ggboxplot(data, y = "shannon index", x = "year", color = "test", add = "jitter", shape =
"test", bxp.errorbar = TRUE, notch = FALSE ,palette =c("#E7B800", "#FC4E07"), title =
"Boxplot des données d'étude des populations d'insectes, Château Latour, projet
Agroforesterie 2022/2023", xlab = "Années d'étude", ylab = "Indice de Shannon-Weaver des
classes d'insectes")
```


Boxplot des données d'étude des populations d'insectes, Château Latour, projet Agroforesterie 2022/2023

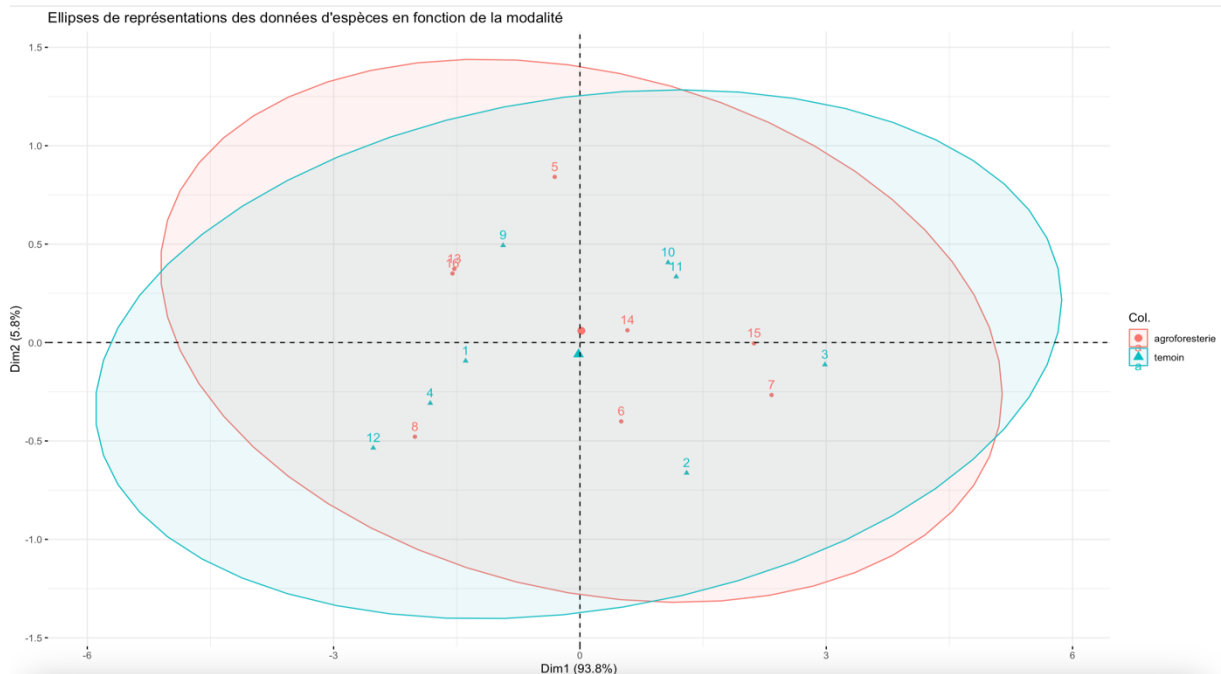


```
> data.acp <- data
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,3), graph = FALSE)
> acp$eig
      eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 2.81320777          93.7735922          93.77359
comp 2 0.17490736           5.8302453          99.60384
comp 3 0.01188488           0.3961625          100.00000
```

➔ Selon le test du coude, les deux premiers axes expliquent 99 % de la variance du modèle statistique.



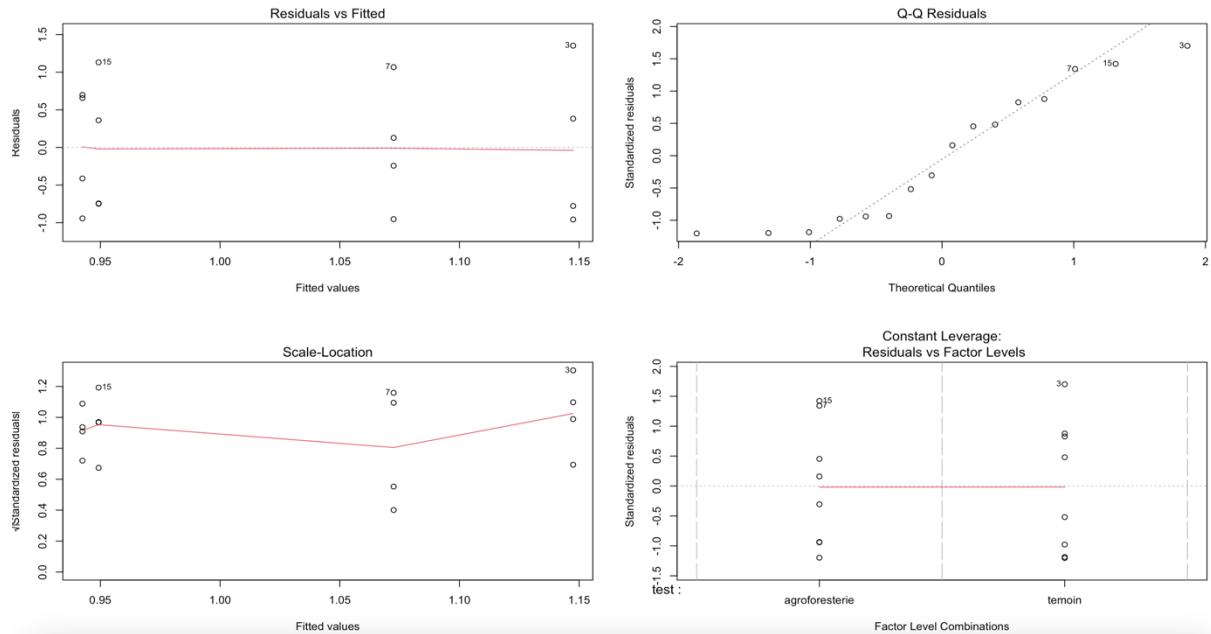
```
> #ellipses selon moda
> fviz_pca_ind(acp,
+   col.ind=data.acp$test,
+   addEllipses = TRUE, title = "Ellipses de représentations des données d'espèces en
fonction de la modalité")
```



➔ Les données sont assez hétérogènes, et dispersées parmi les deux modalités. Le témoin couvre un spectre d'individu un peu plus large.

> # Création du modèle

```
> mymodel1 <- aov(shannon ~ test*year,data = data)
> par(mfrow=c(2,2))
> # Visualisation des résidus du modèle
> plot(mymodel1)
```



Residuals vs fitted : la droite suit une tendance horizontale centrée, validant que les résidus suivent une loi centrée avec un écart-type égal à sigma.

Normal Q-Qplot : Pour valider la normalité du modèle, l'alignement graphique des fréquences cumulées doit se confondre avec la droite pour être proche d'une loi normale. Visuellement, la projection des points s'aligne en globalité avec la droite.

Scale-location : ce graphique permet de vérifier l'hypothèse d'une variance égale (homoscédasticité), une ligne horizontale est synonyme de variance constante. Ici, la courbe n'est que peu horizontale et droite. La variance est donc hétérogène.

Constant leverage : la distance de cook nous fait visualiser les points aberrants et les valeurs atypiques du modèle, toutes les distances doivent être du même ordre de grandeur pour valider que les valeurs sont homogènes, ici, certaines valeurs sont hétérogènes au niveau des distances.

```
> summary(mymodel1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
test    1  0.005  0.0047  0.006  0.942
year    1  0.108  0.1077  0.128  0.727
test:year 1  0.007  0.0067  0.008  0.931
Residuals 12 10.117  0.8431
```

➔ Après notre analyse de variance à 2 facteurs, les indices de Shannon-Weaver ne sont pas significativement différents selon les années et les modalités. On conserve H_0 , l'agroforesterie n'a pas d'effets notable sur la diversité des espèces attirées lors des deux millésimes d'étude.

Somme 2223

```
> library(readr)
> somme2223 <- read_delim("~/Desktop/Latour/Stat2223/somme2223.csv",
+   delim = ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
+   trim_ws = TRUE)
Rows: 8 Columns: 9
— Column specification
```

```
Delimiter: ";"
chr (4): type_arbre, a.arbre, position, a.arbre.pos
dbl (5): annee, auxiliaire, neutre, pollinisateur, ravageur
```

```
> View(somme2223)
```

```
library("tidyverse")
library("ggplot2")
library("FactoMineR")
library("factoextra")
library("car")
library("agricolae")
library("leaps")
library("multcomp")
library("emmeans")
library("ggpubr")
library("rstatix")
```

```
> data <- somme2223
```

```
> data$anneearbre <- as.factor(paste(data$annee, data$type_arbre))
```

```
> summary(data)
```

```
> summary(data)
  annee      type_arbre      a.arbre      position      a.arbre.pos      auxiliaire      neutre      pollinisateur
Min.   :2022 Length:8      Length:8      Length:8      Length:8      Min.   : 44.0 Min.   : 31.00 Min.   :287.0
1st Qu.:2022 Class :character Class :character Class :character Class :character 1st Qu.: 76.5 1st Qu.: 50.75 1st Qu.:307.2
Median :2022 Mode  :character Mode  :character Mode  :character Mode  :character Median :120.5 Median :160.00 Median :374.0
Mean   :2022                                     Mean   :130.9 Mean   :173.25 Mean   :384.2
3rd Qu.:2023                                     3rd Qu.:181.8 3rd Qu.:268.50 3rd Qu.:390.2
Max.   :2023                                     Max.   :243.0 Max.   :374.00 Max.   :647.0

  ravageur      anneeearbre
Min.   : 26.00 2022 erable:2
1st Qu.: 43.75 2022 temoin:2
Median : 62.00 2023 erable:2
Mean   : 64.38 2023 temoin:2
3rd Qu.: 82.00
Max.   :120.00
```

On créé une nouvelle variable avec deux attributs qualitatifs, le sol et l'année.

```
> data.acp <- data[,-c(3,5)]
```

```
> summary(data.acp)
```

On supprime ici les variables qualitatives « inutiles » aux tests

```
> data.acp <- data[,-c(3,5)]
```

```
> summary(data.acp)
```

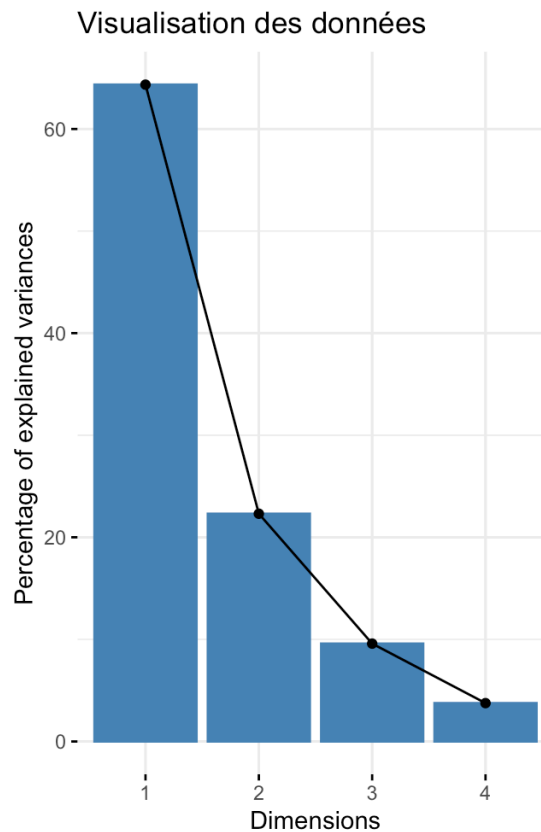
annee	type_arbre	position	auxiliaire	neutre	pollinisateur	ravageur	anneearbre
Min. :2022	Length:8	Length:8	Min. : 44.0	Min. : 31.00	Min. :287.0	Min. : 26.00	2022 erable:2
1st Qu.:2022	Class :character	Class :character	1st Qu.: 76.5	1st Qu.: 50.75	1st Qu.:307.2	1st Qu.: 43.75	2022 temoin:2
Median :2022	Mode :character	Mode :character	Median :120.5	Median :160.00	Median :374.0	Median : 62.00	2023 erable:2
Mean :2022			Mean :130.9	Mean :173.25	Mean :384.2	Mean : 64.38	2023 temoin:2
3rd Qu.:2023			3rd Qu.:181.8	3rd Qu.:268.50	3rd Qu.:390.2	3rd Qu.: 82.00	
Max. :2023			Max. :243.0	Max. :374.00	Max. :647.0	Max. :120.00	

```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,3,8), graph = FALSE)
```

```
> acp$eig
```

	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.5738390	64.345975	64.34598
comp 2	0.8924612	22.311530	86.65751
comp 3	0.3834258	9.585644	96.24315
comp 4	0.1502740	3.756850	100.00000

```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données")
```

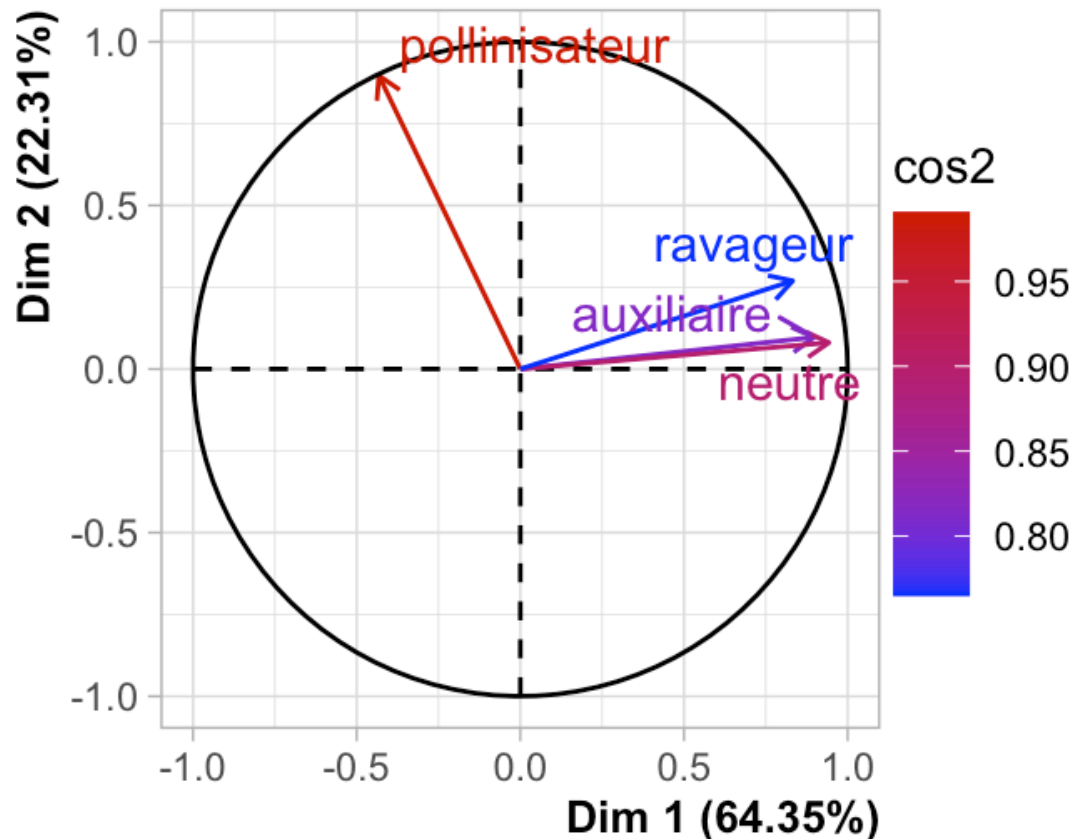


Nos deux premières dimensions expliquent 87 % de la variance du jeu de données, on conserve ces dimensions selon la méthode du coude.

CERCLE DES CORRÉLATIONS

```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP de l'ensemble des données représentées")
```

ACP de l'ensemble des données représentées



Grâce aux cercles des corrélations, on peut relier certaines variables par groupe :

Groupe 1 : Pollinisateur

Groupe 2 : Ravageur / Auxiliaire / Neutre

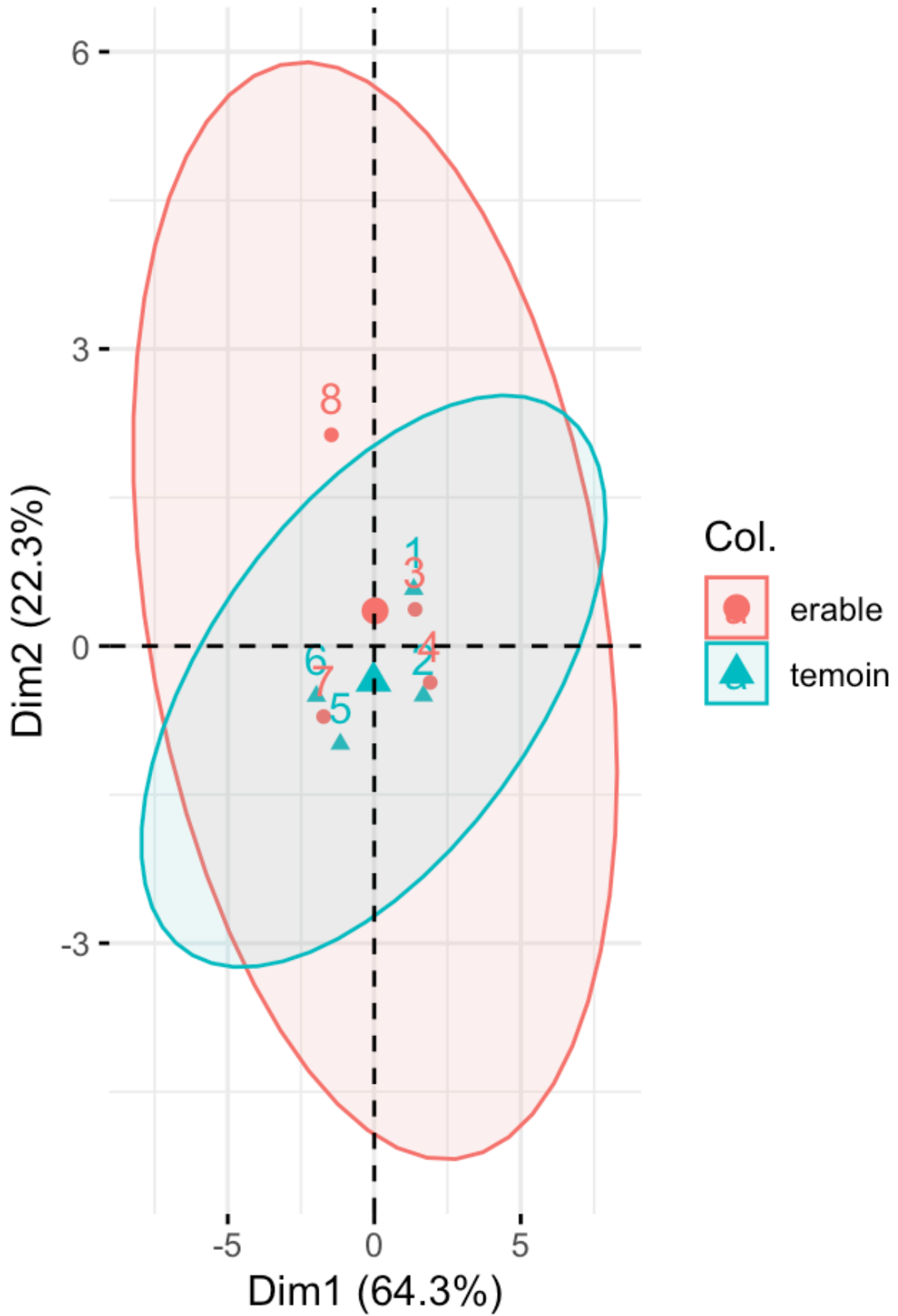
Ils ne sont pas corrélés négativement, mais une différence d'attrait existe entre les modalités.

ELLIPSES SELON LA MODALITÉ

```
> fviz_pca_ind(acp, col.ind = data.acp$type_arbre, addEllipses = TRUE)
```

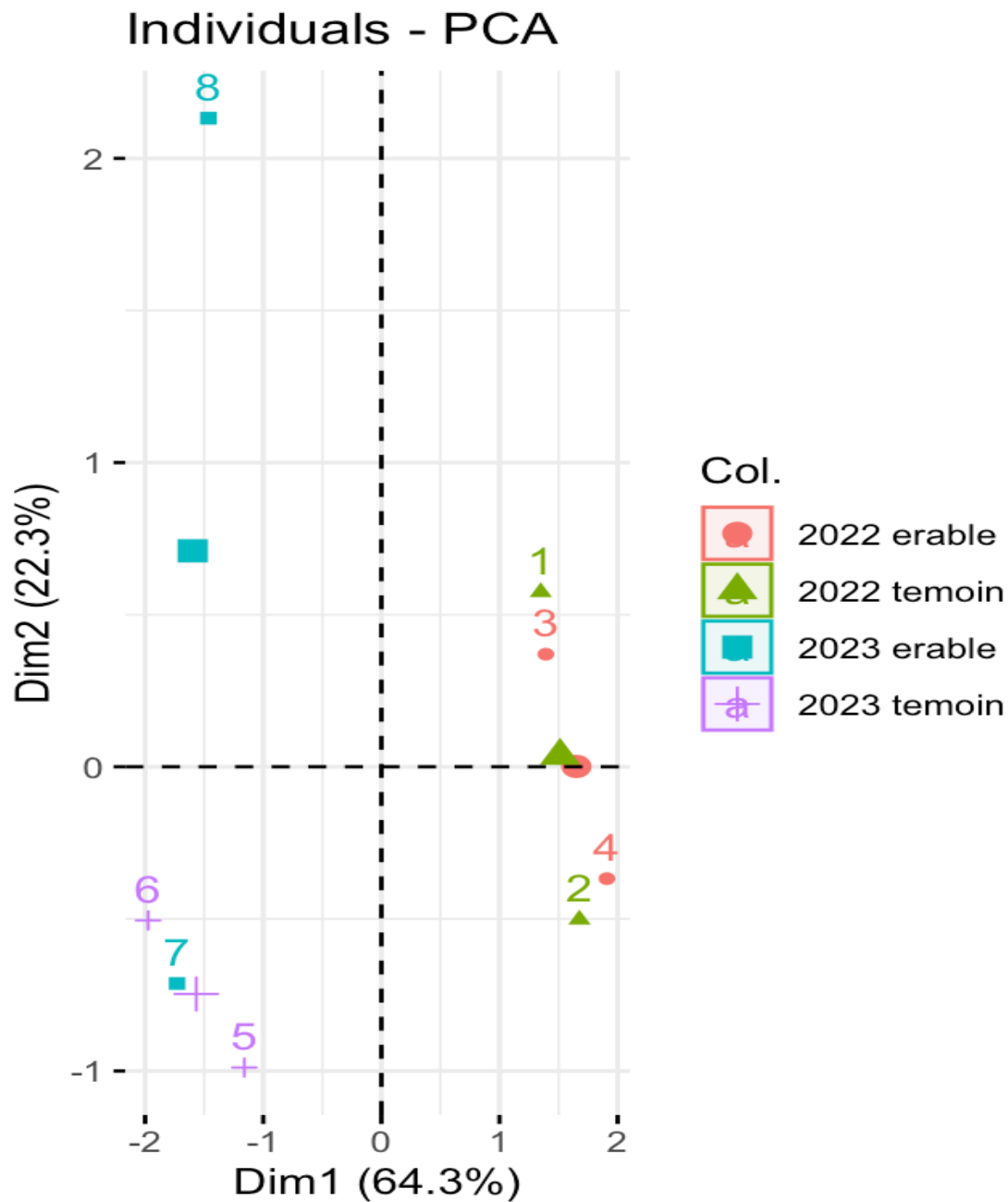
Les ellipses selon la modalité (témoin vs érable champêtre) se confondent, il n'y a pas de groupe distinct selon le type d'arbre, des tendances peuvent se distinguer, mais pas d'effet important.

Individuals - PCA



ELLIPSES SELON L'ANNÉE ET LA MODALITÉ

```
> fviz_pca_ind(acp, col.ind = data.acp$anneearbre, addEllipses = TRUE)
```



La répartition est très confondue, il n'y a pas de groupes distincts selon les millésimes et les modalités.

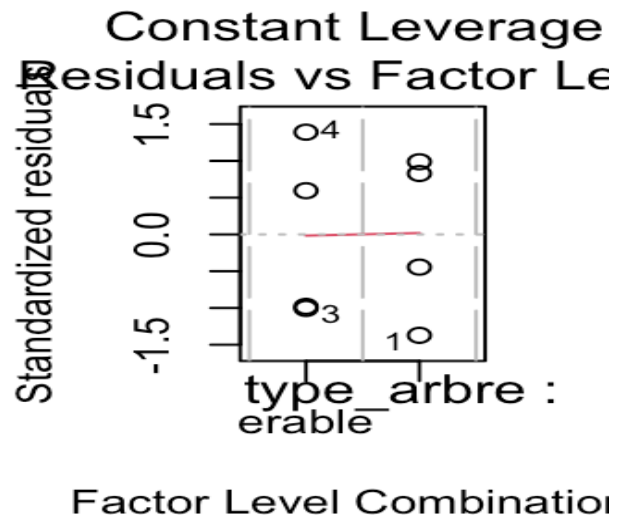
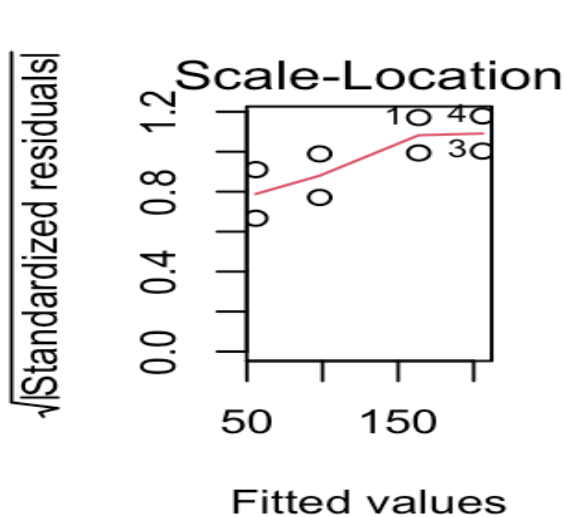
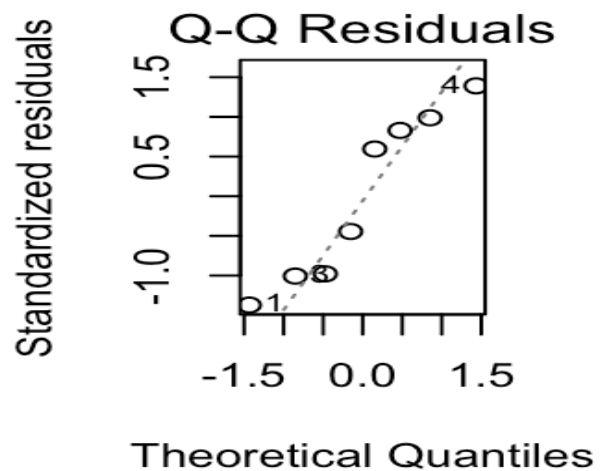
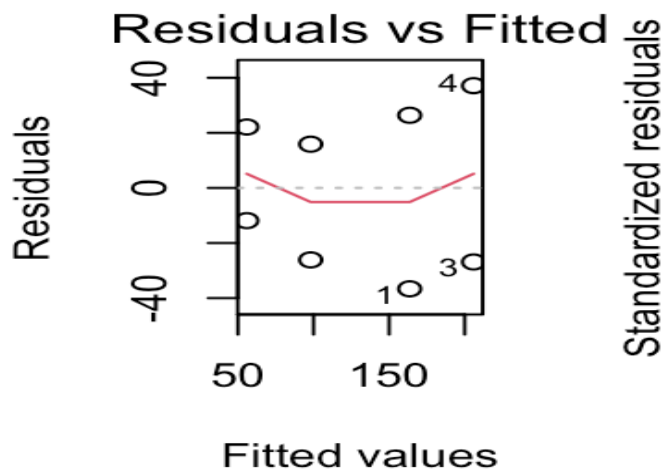
Choix du modèle statistique

D'après l'ACP, la modalité (*type.arbre*) et l'année sont des variables ayant un poids important et semblent structurer le jeu de données. Pour la suite de l'analyse statistique, une Analyse de variance (ANOVA) sera réalisé avec les facteurs *type.arbre* et *millésime* (année).

Le modèle utilisé correspond ainsi à une Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs avec présence d'une interaction. Nous posons maintenant l'hypothèse d'une interaction entre les facteurs et cette dernière sera validée (ou non) par la suite. Une interaction serait possible car les facteurs type.arbre et millésime (année) sont indépendants entre-eux.

Nous allons donc pouvoir tester si l'année et la modalité ont un effet particulier (bénéfique) sur la population d'insectes auxiliaires.

```
> mymodel1 <- aov(auxiliaire ~ annee + type_arbre, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel1)
```



Residuals vs fitted : la droite suit une tendance horizontale centrée, validant que les résidus suivent une loi centrée avec un écart-type égal à sigma.

Normal Q-Qplot : Pour valider la normalité du modèle, l'alignement graphique des fréquences cumulées doit se confondre avec la droite pour être proche d'une loi normale. Visuellement, la projection des points s'aligne en globalité avec la droite.

Scale-location : ce graphique permet de vérifier l'hypothèse d'une variance égale (homoscédasticité), une ligne horizontale est synonyme de variance constante. Ici, la courbe n'est n'est que peu horizontale et droite. La variance est donc hétérogène.

Constant leverage : la distance de cook nous fait visualiser les points aberrants et les valeurs atypiques du modèle, toutes les distances doivent être du même ordre de grandeur pour valider que les valeurs sont homogènes, ici, certaines valeurs sont hétérogènes au niveau des distances.

Il faudra rester mesuré sur les conclusions, le modèle est statistiquement analysable mais ne remplit pas toutes les conditions de manière parfaite.

Le modèle statistique est validé, mais les résidus manquent d'homogénéité.

HYPOTHÈSES DE L'ANNOVA

H0 : il n'y a pas d'effets significatif de l'agroforesterie sur les populations d'insectes auxiliaires, utiles dans la lutte contre les nuisibles

H1 : il y a un effet significatif de l'agroforesterie sur la présence d'auxiliaires

```
> mymodel1 <- aov(auxiliaire ~ annee + type_arbre, data = data.acp)
```

```
> summary(mymodel1)
```

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
annee      1 23220  23220  20.36 0.00633 **
type_arbre 1  3570   3570   3.13 0.13708
Residuals  5  5703   1141
```

```
---
```

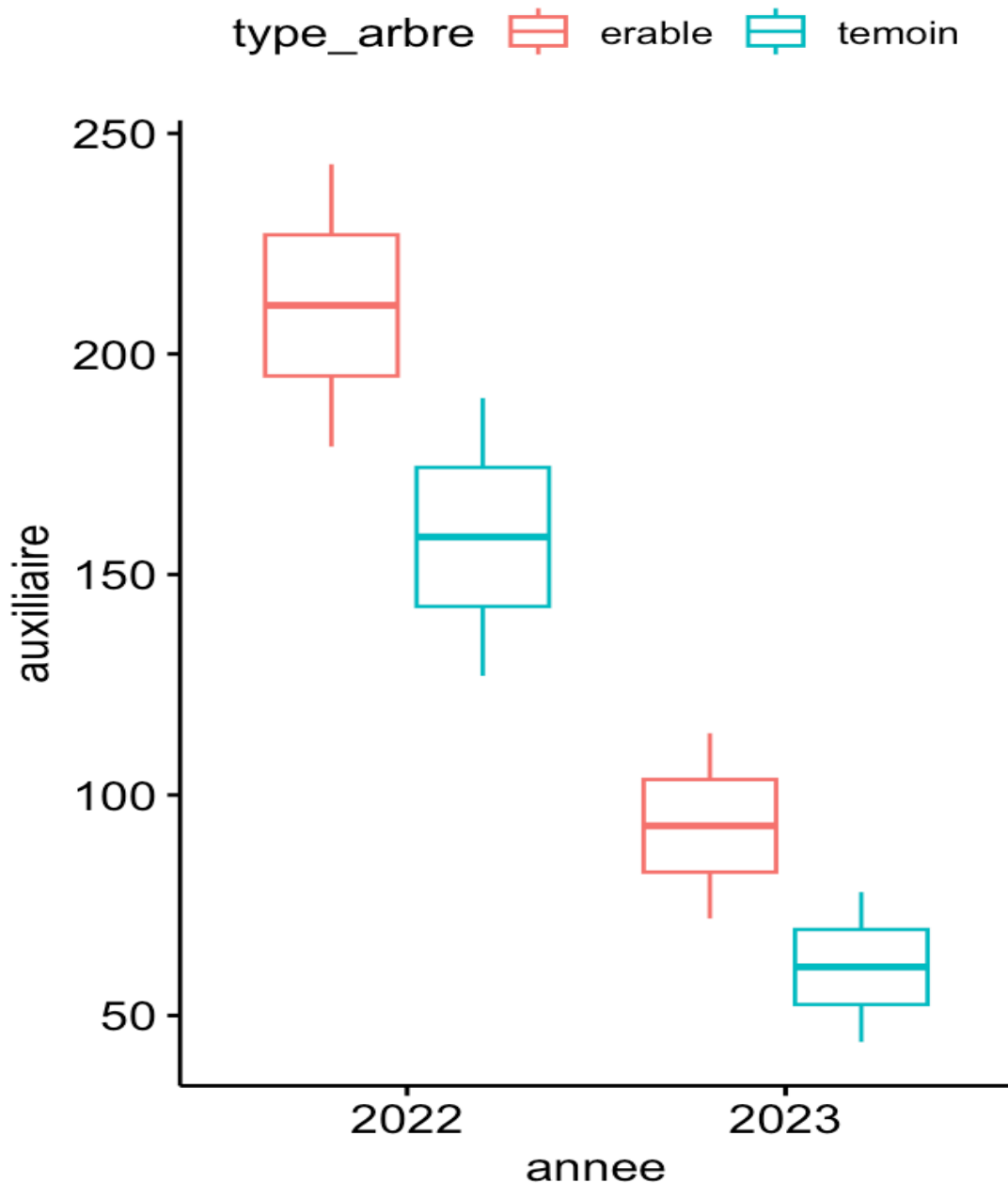
```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Le facteur année est significatif sur les différentes captures d'auxiliaires (Pvalue < 0,05), mais les érables n'ont pas d'effet significatif sur l'attrait d'auxiliaires (pvalue = 0,14), on conserve H0 au seuil de 5 % d'erreur et on rejette H1.

```
> bxp <- ggboxplot(data, y = "auxiliaire", x = "annee", color = "type_arbre")
```

```
> bxp
```

Pour vérifier par projection le rapport entre les auxiliaires, l'agroforesterie et les années, on réalise un boxplot qui exprime la quantité d'auxiliaires en fonction des années 2022 et 2023 ainsi que les modalités.

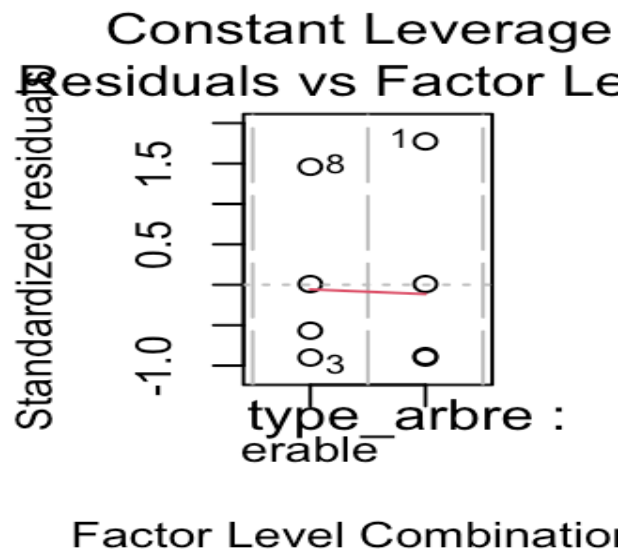
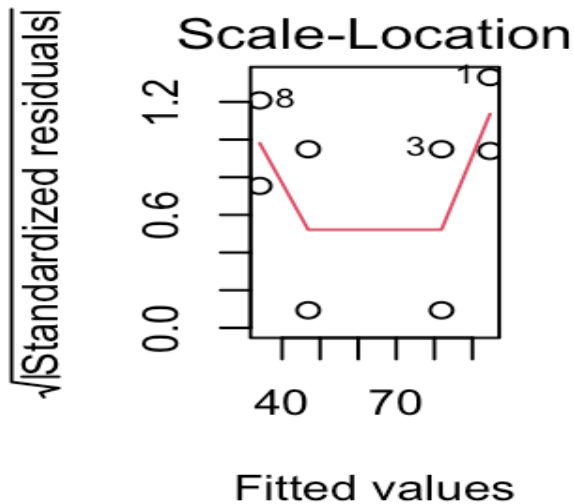
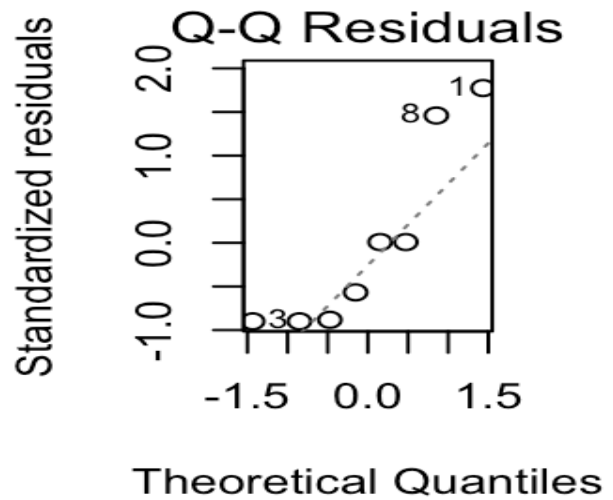
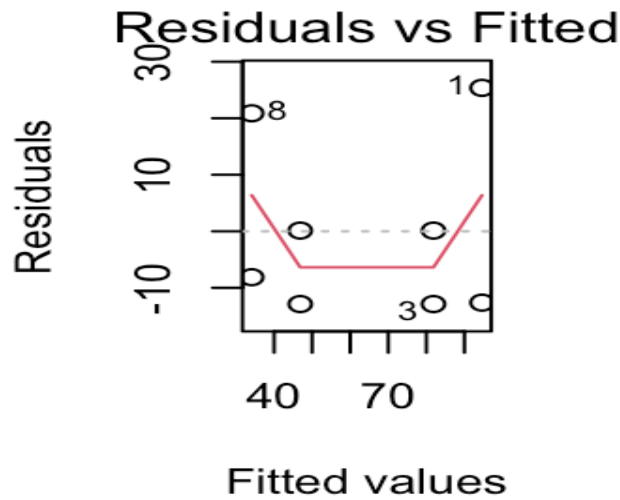


Conclusion :

L'effet année est trop marqué, car on capture beaucoup plus d'auxiliaires en 2022 qu'en 2023 (printemps sec versus printemps pluvieux), mais on remarque quand même une population d'auxiliaire plus élevée sur la modalité érable que sur la modalité témoin.

Nous allons donc pouvoir tester si l'année et la modalité ont un effet particulier (négatif) sur la population d'insectes ravageurs.

```
> mymodel2 <- aov(ravageur ~ année + type_arbre, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel2)
```



→ Mêmes conclusions que pour la partie auxiliaire

On teste :

H_0 : il n'y a pas d'effets significatif de l'agroforesterie sur les populations d'insectes ravageurs, utiles dans la lutte contre les nuisibles

H_1 : il y a un effet significatif de l'agroforesterie sur la présence de ravageurs

```
> mymodel2 <- aov(ravageur ~ annee + type_arbre, data = data.acp)
```

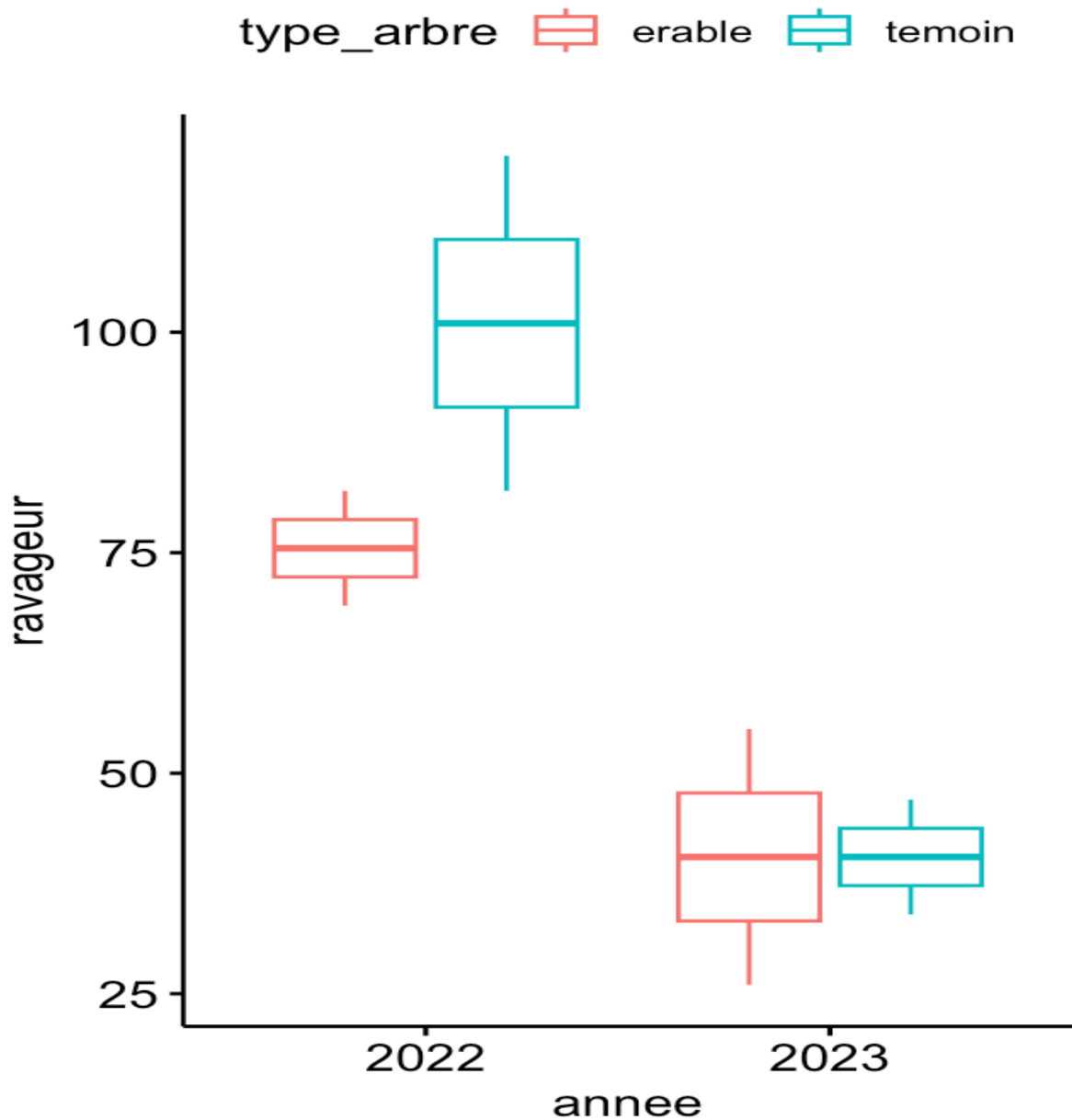
```
> summary(mymodel2)
```

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
annee 1 4560 4560 13.931 0.0135 *
type_arbre 1 325 325 0.993 0.3647
Residuals 5 1637 327
```

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

Le facteur année est significatif sur les différentes captures de ravageurs et les érables n'ont pas d'effet significatif sur la présence d'insectes nuisibles (pvalue = 0,36), on conserve H0 au seuil de 5 % d'erreur et on rejette H1.

```
> bxp2 <- ggboxplot(data, y = "ravageur", x = "annee", color = "type_arbre")
> bxp2
```



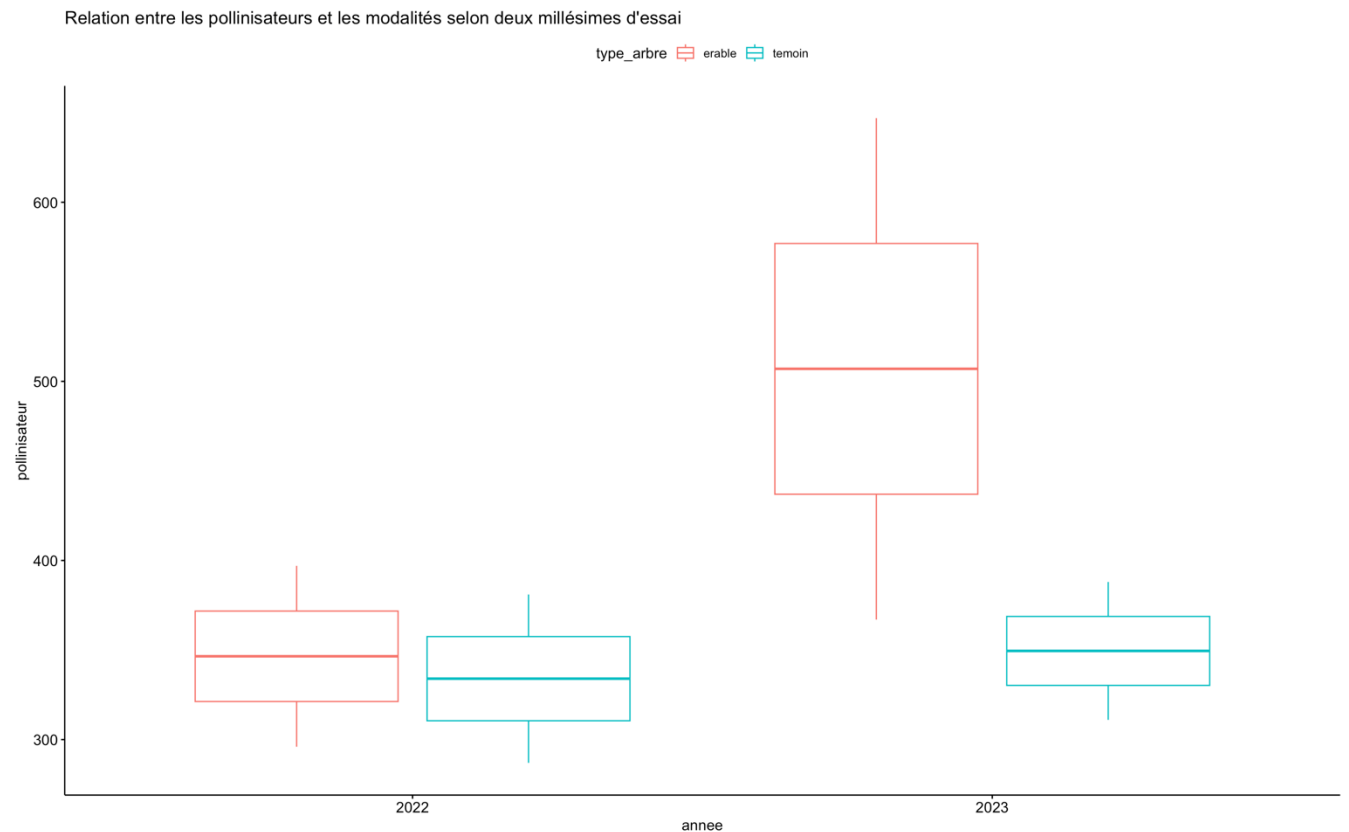
En 2022, avec des captures plus importantes, le témoin a surperformé l'érable en attirant beaucoup plus de ravageurs. En 2023, avec des captures en nombre moins importantes, il y a un équilibre entre les deux modalités.

Test des effets sur les pollinisateurs

```
> mymodel3 <- aov(pollinisateur ~ annee + type_arbre, data = data.acp)
> summary(mymodel3)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
annee	1	15488	15488	1.245	0.315
type_arbre	1	14450	14450	1.162	0.330
Residuals	5	62196	12439		

Le facteur année n'est pas significatif sur les différentes captures de pollinisateurs et les érables n'ont pas d'effet significatif sur la présence de ces insectes ($pvalue = 0,33$), on conserve H_0 au seuil de 5 % d'erreur et on rejette H_1 .



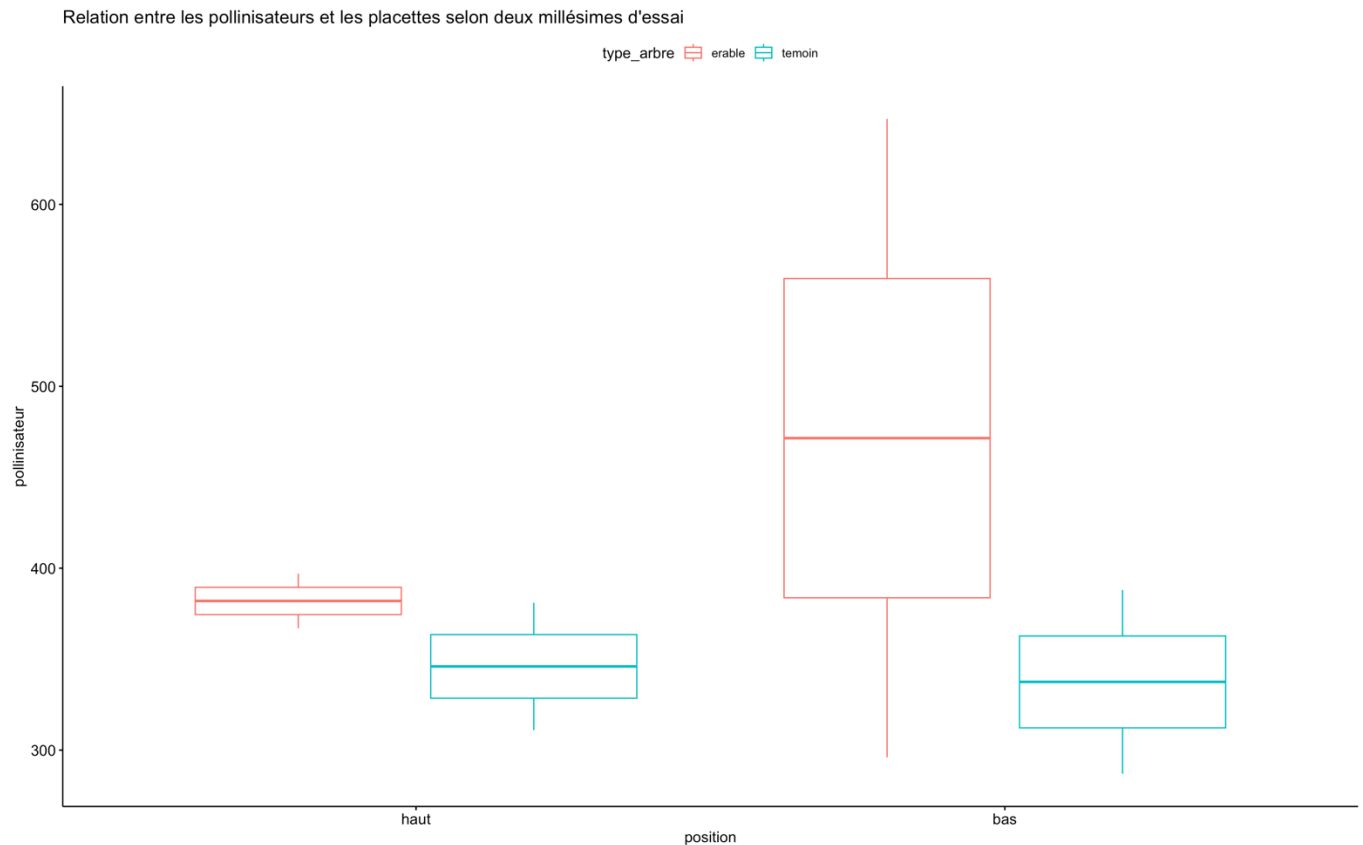
Relation entre la position des pièges et les captures :

Pollinisateurs :

```
> data$typepos <- as.factor(paste(data$type_arbre, data$position))
> mymodel4 <- aov(pollinisateur ~ typepos, data = data)
> summary(mymodel4)
```

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
typepos  3 22533  7511  0.432  0.742
Residuals 4 69601 17400
```

```
> bxp4 <- ggboxplot(data, y = "pollinisateur", x = "position", color = "type_arbre",
title = "Relation entre les pollinisateurs et les placettes selon deux millésimes d'essai")
> bxp4
```



Auxiliaires :

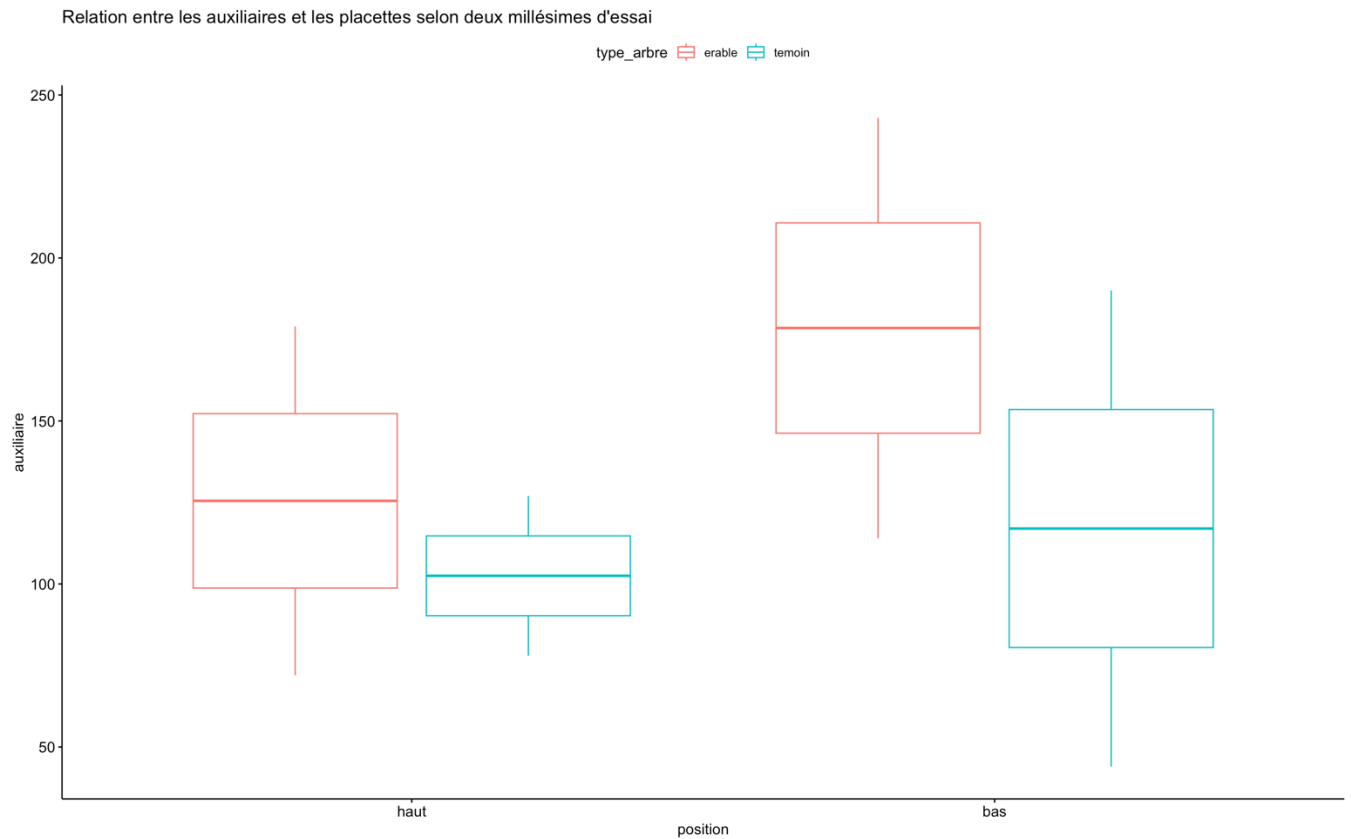
```
> mymodel5 <- aov(auxiliaire ~ typepos, data = data)
```

```
> summary(mymodel5)
```

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
typepos  3  6589  2196  0.339  0.799
Residuals 4 25904  6476
```

```
> bxp5 <- ggboxplot(data, y = "auxiliaire", x = "position", color = "type_arbre", title =
"Relation entre les auxiliaires et les placettes selon deux millésimes d'essai")
```

```
> bxp5
```



Ravageurs

```
> mymodel6 <- aov(ravageur ~ typepos, data = data)
```

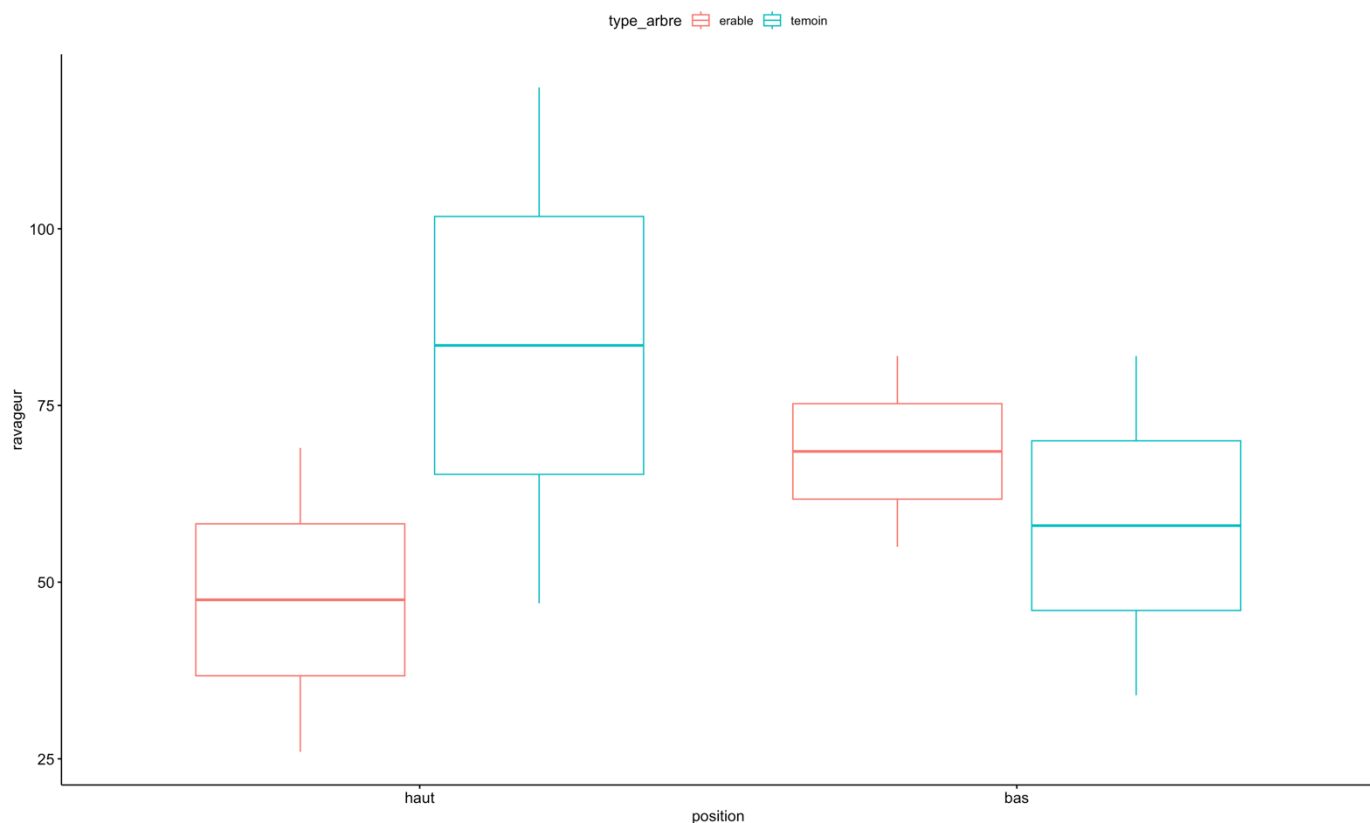
```
> summary(mymodel6)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
typepos	3	1416	472.1	0.37	0.78
Residuals	4	5105	1276.4		

```
> bxp6 <- ggboxplot(data, y = "ravageur", x = "position", color = "type_arbre", title =  
"Relation entre les ravageurs et les placettes selon deux millésimes d'essai")
```

```
> bxp6
```


Relation entre les ravageurs et les placettes selon deux millésimes d'essai



Statistiques 2022

Avril

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2022	avril	temoin	haut	40	4	211	92
2022	avril	temoin	bas	95	1	107	76
2022	avril	erable	haut	28	10	136	203
2022	avril	erable	bas	50	6	100	129

```
> data <- avril_22
> summary(data)
```

```

  year      month      modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre
Min. :2022 Length:4      Length:4      Length:4      Min. :28.00 Min. : 1.00 Min. :100.0 Min. : 76.0
1st Qu.:2022 Class :character Class :character Class :character 1st Qu.:37.00 1st Qu.: 3.25 1st Qu.:105.2 1st Qu.: 88.0
Median :2022 Mode :character Mode :character Mode :character Median :45.00 Median : 5.00 Median :121.5 Median :110.5
Mean :2022                                     Mean :53.25 Mean : 5.25 Mean :138.5 Mean :125.0
3rd Qu.:2022 3rd Qu.:61.25 3rd Qu.: 7.00 3rd Qu.:154.8 3rd Qu.:147.5
Max. :2022 Max. :95.00 Max. :10.00 Max. :211.0 Max. :203.0

```

```
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> summary(data)
```

```

moda_loca
erable bas :1

```

erable haut:1
 temoin bas :1
 temoin haut:1

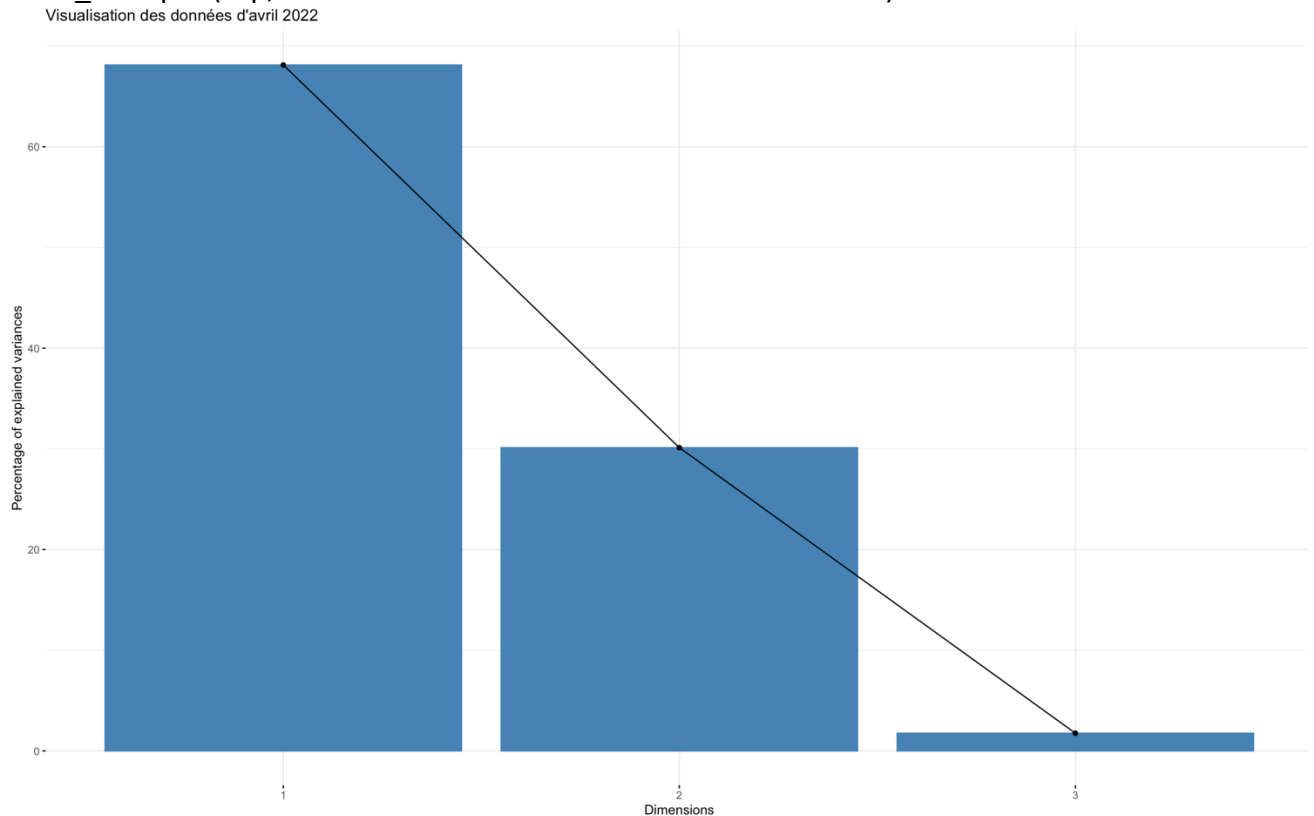
```
> data.acp <- data[,-c(1,2)]
> summary(data.acp)
```

modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre	moda_loca
Length:4	Length:4	Min. :28.00	Min. : 1.00	Min. :100.0	Min. : 76.0	erable bas :1
Class :character	Class :character	1st Qu.:37.00	1st Qu.: 3.25	1st Qu.:105.2	1st Qu.: 88.0	erable haut:1
Mode :character	Mode :character	Median :45.00	Median : 5.00	Median :121.5	Median :110.5	temoin bas :1
		Mean :53.25	Mean : 5.25	Mean :138.5	Mean :125.0	temoin haut:1
		3rd Qu.:61.25	3rd Qu.: 7.00	3rd Qu.:154.8	3rd Qu.:147.5	
		Max. :95.00	Max. :10.00	Max. :211.0	Max. :203.0	

```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
> acp$eig
```

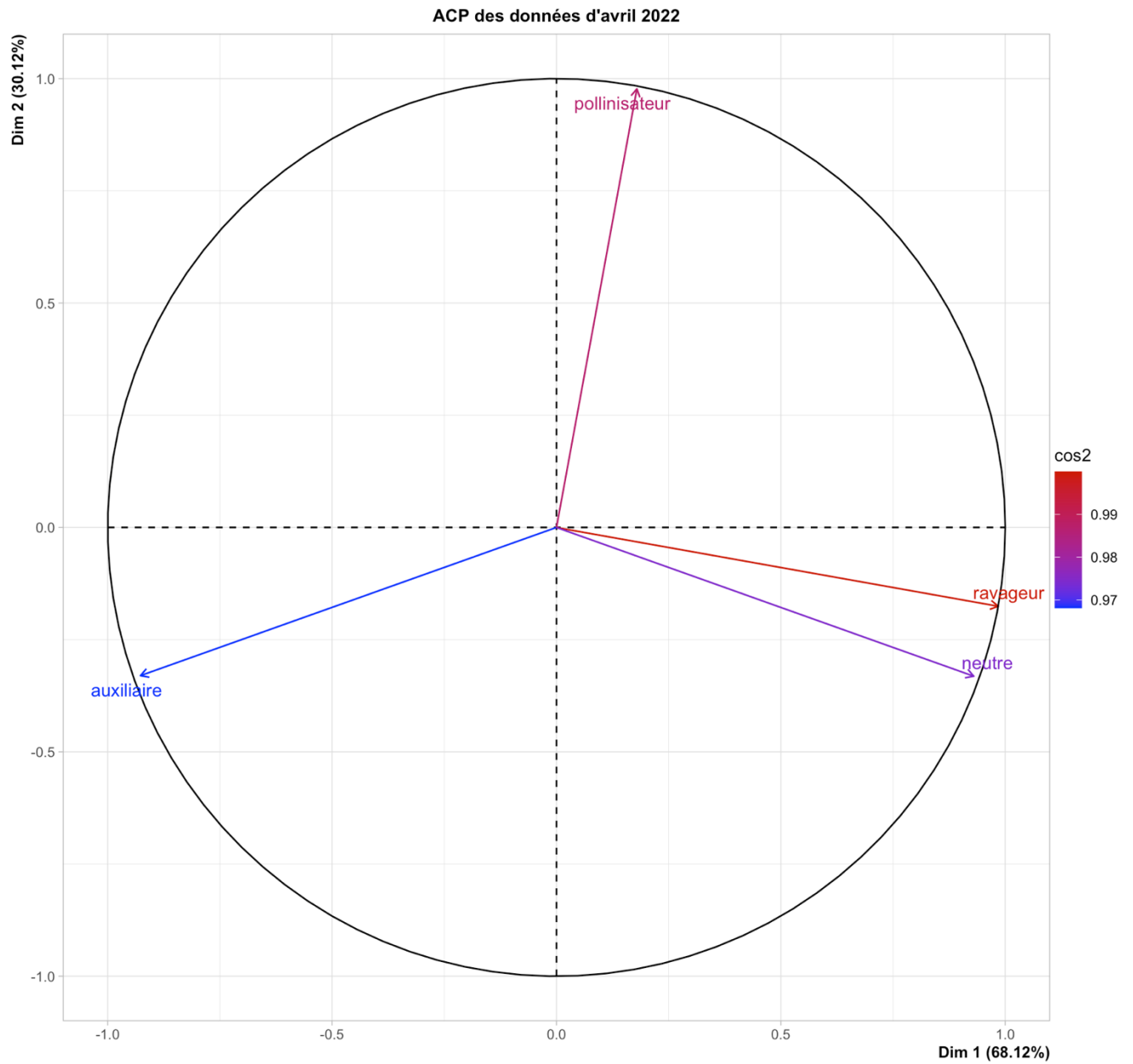
	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.72486609	68.121652	68.12165
comp 2	1.20468403	30.117101	98.23875
comp 3	0.07044988	1.761247	100.00000

```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données d'avril 2022")
```



Les deux premières dimensions expliquent 98 % de la variance du modèle

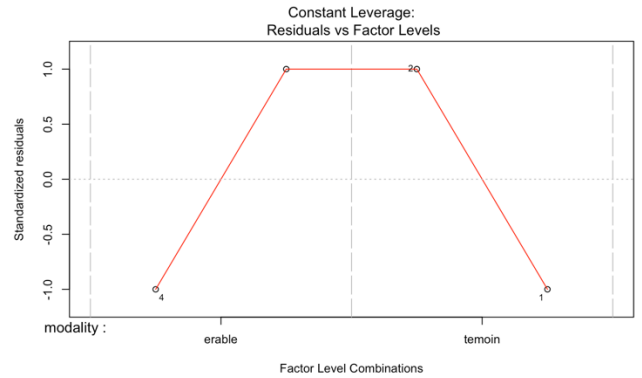
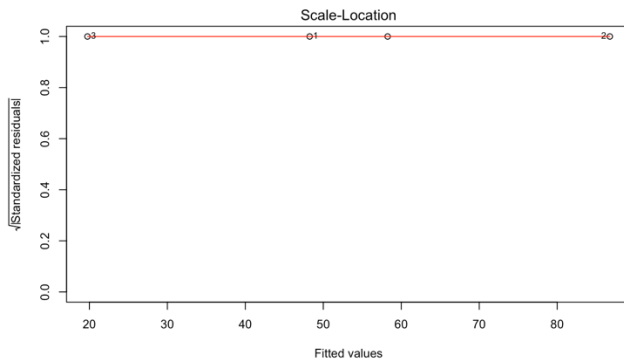
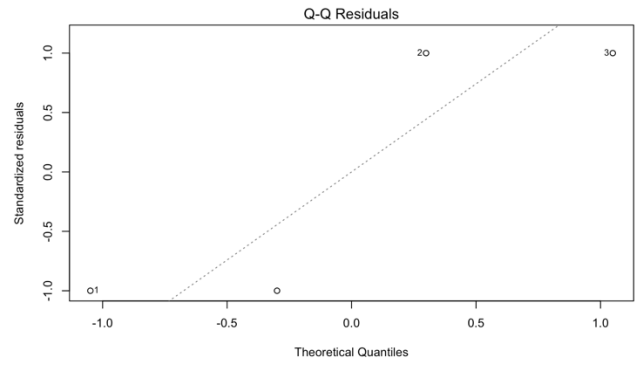
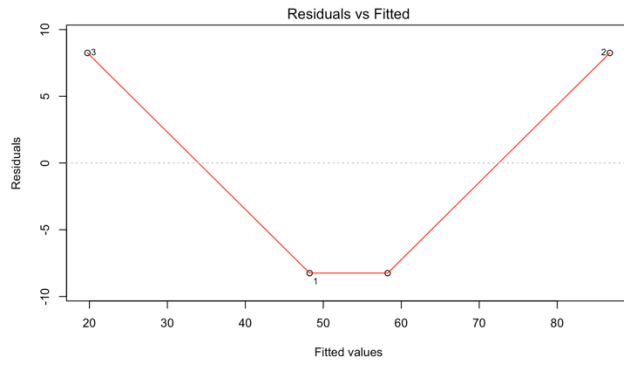
```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données d'avril 2022")
```



Auxiliaires

#Création du modèle

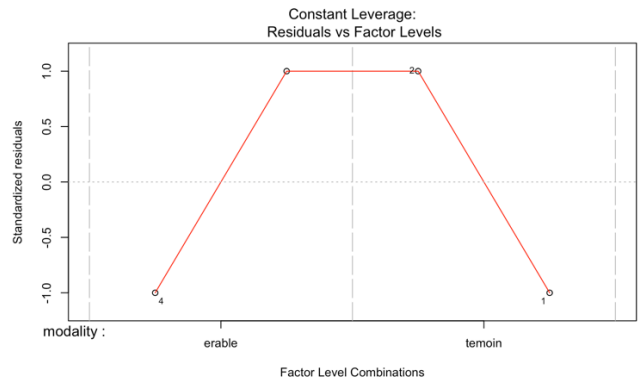
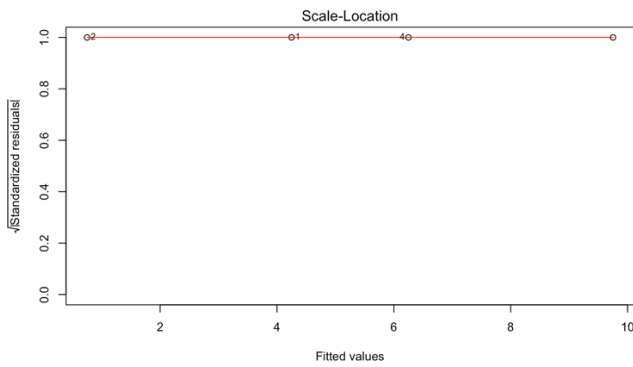
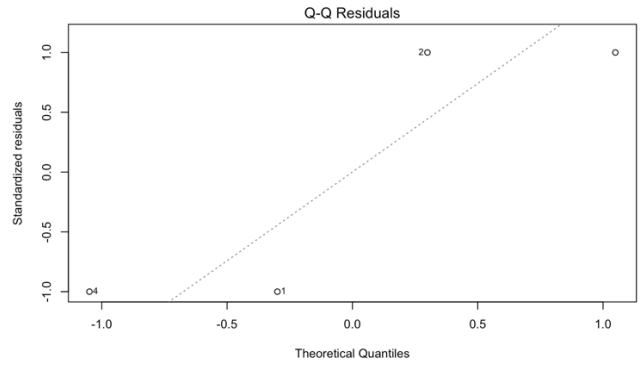
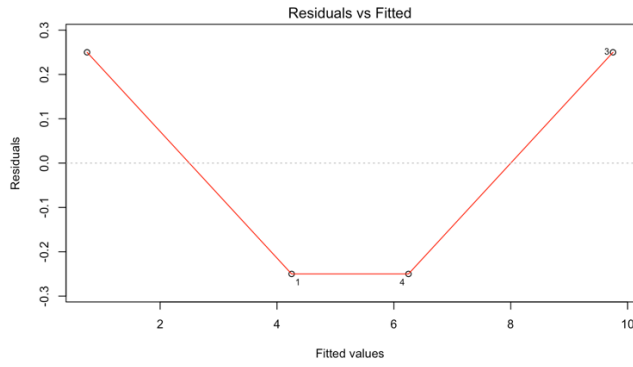
```
> mymodelA <- aov(auxiliaire ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodelA)
```



```
> mymodelA <- aov(auxiliaire ~ modality+location, data = data.acp)
> summary(mymodelA)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  812.3   812.3   2.983  0.334
location  1 1482.2  1482.2   5.444  0.258
Residuals 1  272.2   272.2
```

Ravageurs

```
> mymodel1 <- aov(ravageur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel1)
```



> summary(mymodel1)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	30.25	30.25	121	0.0577 .
location	1	12.25	12.25	49	0.0903 .
Residuals	1	0.25	0.25		

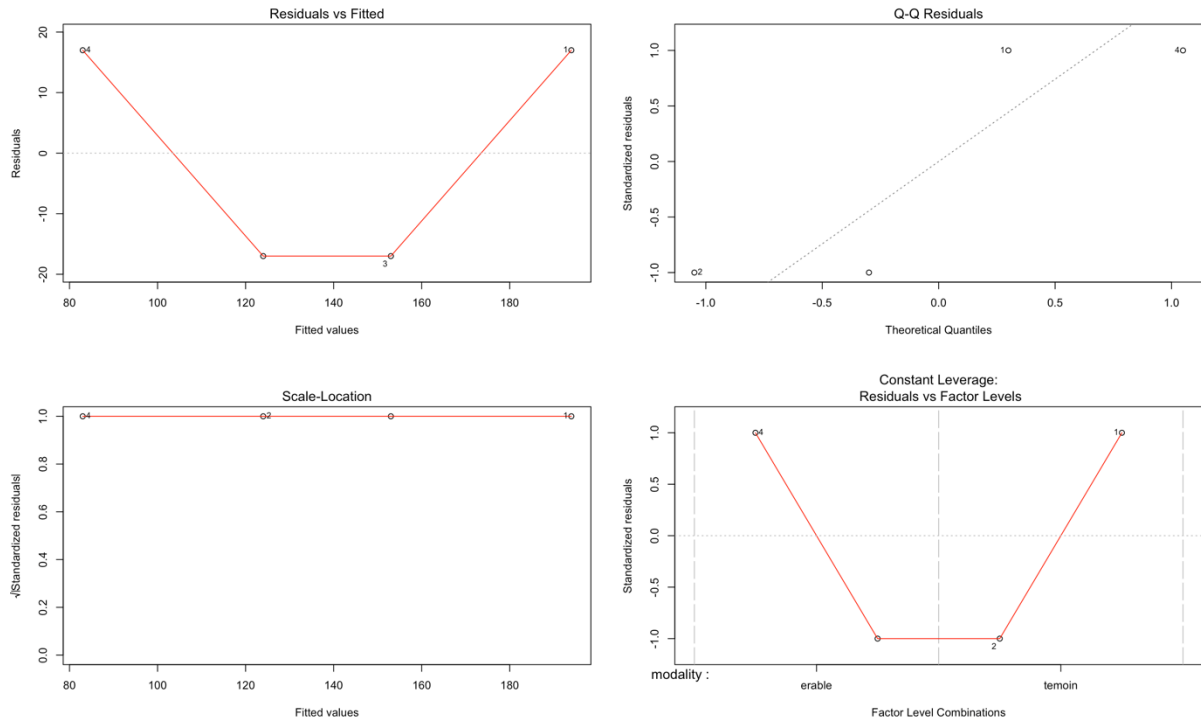
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Pollinisateurs

> mymodel2 <- aov(pollinisateur ~ modality+location, data = data.acp)

> par(mfrow=c(2,2))

> plot(mymodel2)



```
> summary(mymodel2)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality 1 1681  1681  1.454  0.441
location 1  4900  4900  4.239  0.288
Residuals 1  1156  1156
```

Mai

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2022	mai	temoin	haut	29	62	74	74
2022	mai	temoin	bas	41	26	69	51
2022	mai	erable	haut	40	32	140	111
2022	mai	erable	bas	46	29	93	38

```
> data2 <- mai_22
> data2$moda_loca <- as.factor(paste(data2$modality, data2$location))
> data2.acp <- data2[, -c(1,2)]
> summary(data2.acp)
```

```

modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min. :29.00      Min. :26.00      Min. : 69.00      Min. : 38.00      erable bas :1
Class :character      Class :character      1st Qu.:37.25      1st Qu.:28.25      1st Qu.: 72.75      1st Qu.: 47.75      erable haut:1
Mode :character      Mode :character      Median :40.50      Median :30.50      Median : 83.50      Median : 62.50      temoin bas :1
                                          Mean :39.00      Mean :37.25      Mean : 94.00      Mean : 68.50      temoin haut:1
                                          3rd Qu.:42.25      3rd Qu.:39.50      3rd Qu.:104.75      3rd Qu.: 83.25
                                          Max. :46.00      Max. :62.00      Max. :140.00      Max. :111.00
```

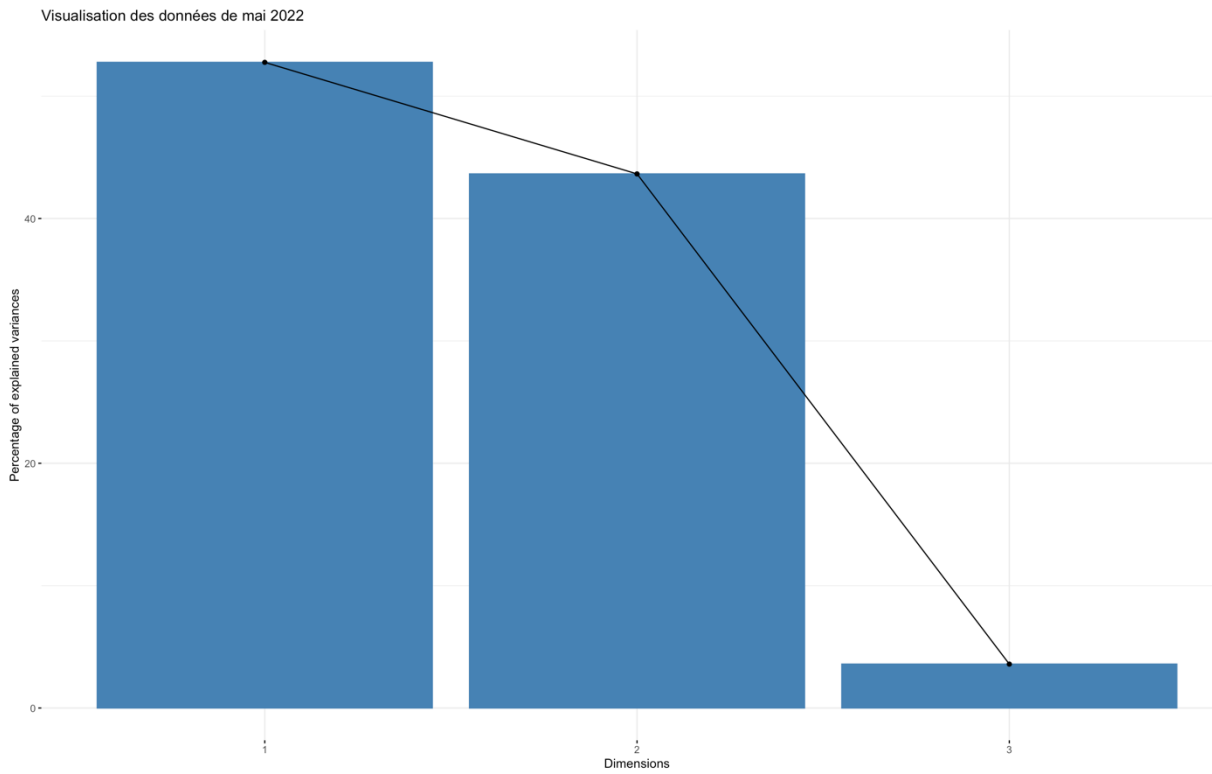
```
> acp2 <- PCA(data2.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
```

```
> acp2$eig
```

	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.1105598	52.763994	52.76399
comp 2	1.7458849	43.647121	96.41112
comp 3	0.1435554	3.588884	100.00000

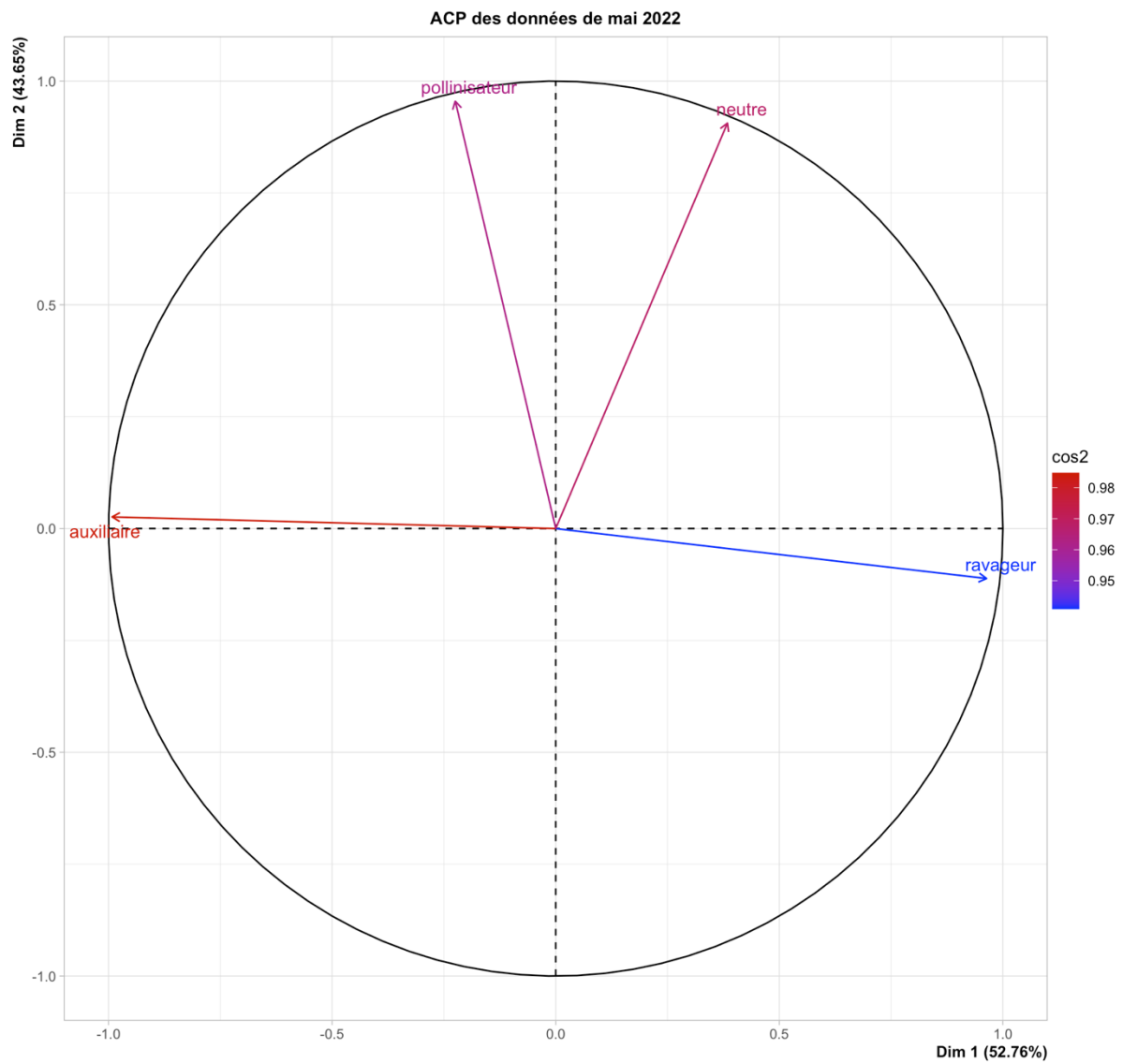
Les deux premières dimensions expliquent 96 % de la variance

```
> fviz_screplot(acp2, title = "Visualisation des données de mai 2022")
```



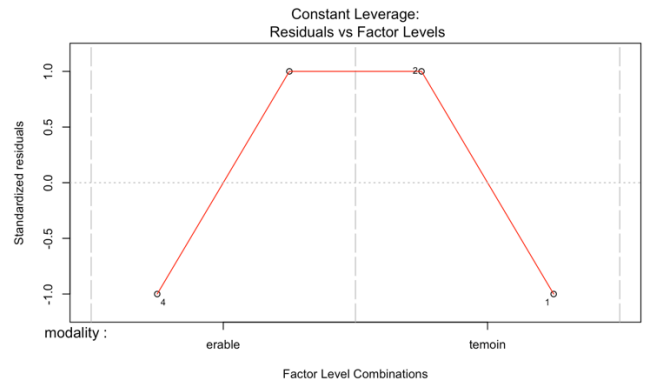
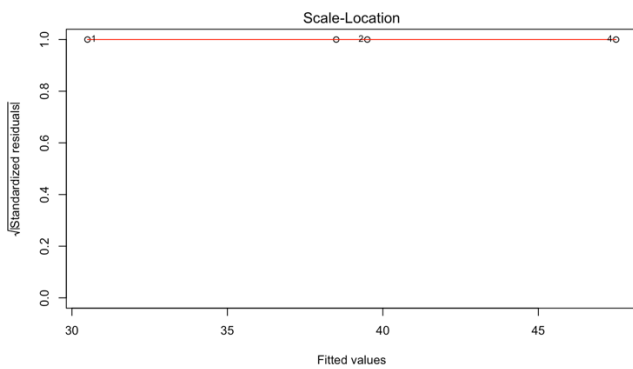
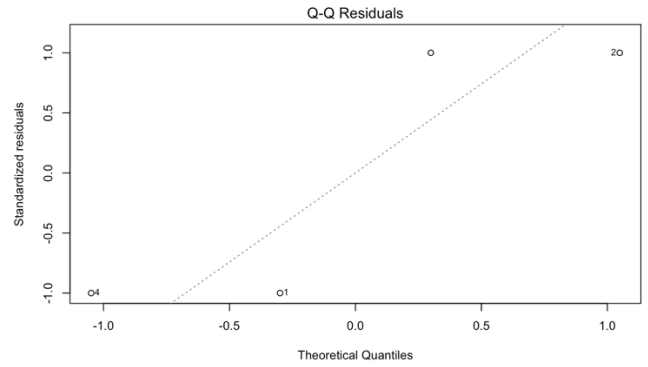
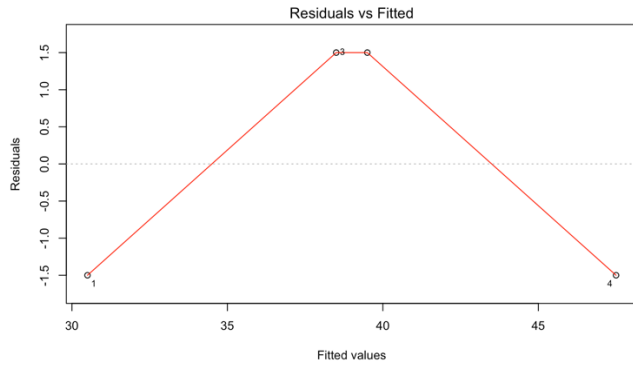
Cercle des corrélations

```
> plot(acp2, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de mai 2022")
```



Auxiliaires

```
> mymodelB <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data2.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodelB)
```

```
> mymodelB <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data2.acp)
```

```
> summary(mymodelB)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	64	64	7.111	0.228
location	1	81	81	9.000	0.205
Residuals	1	9	9		

Ravageurs

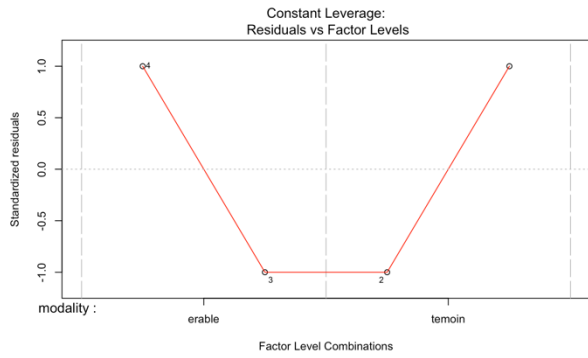
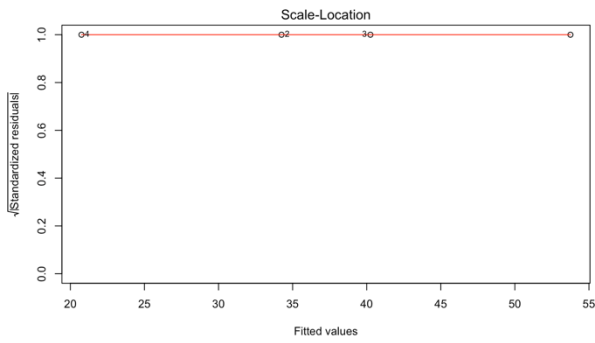
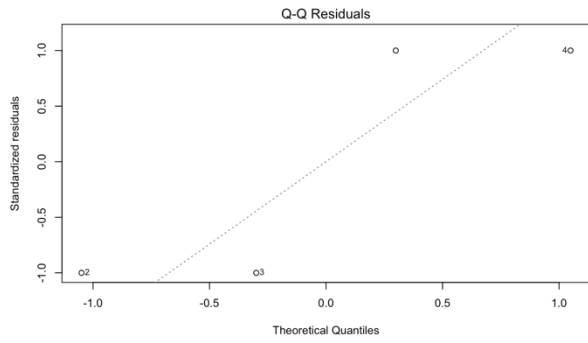
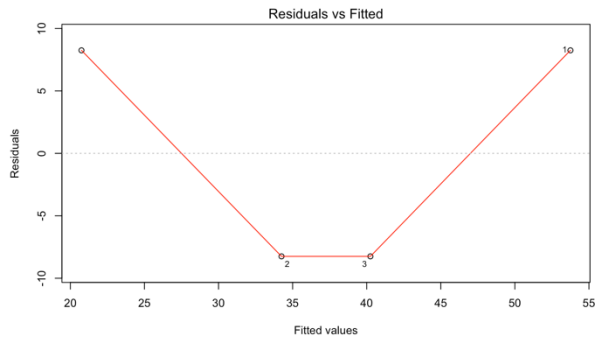
```
> mymodelC <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data2.acp)
```

```
> par(mfrow=c(2,2))
```

```
> plot(mymodelC)
```

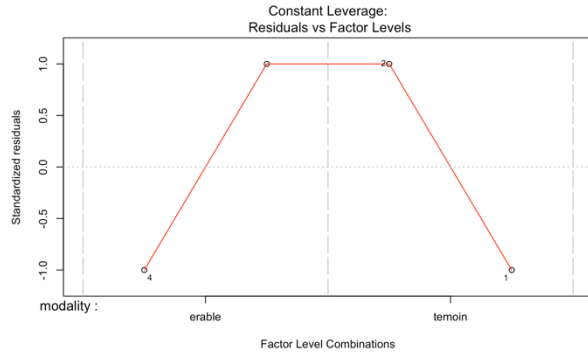
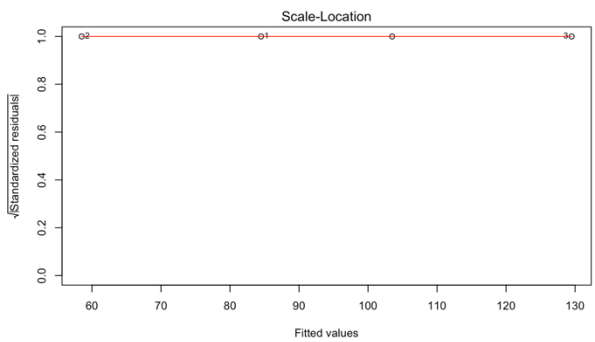
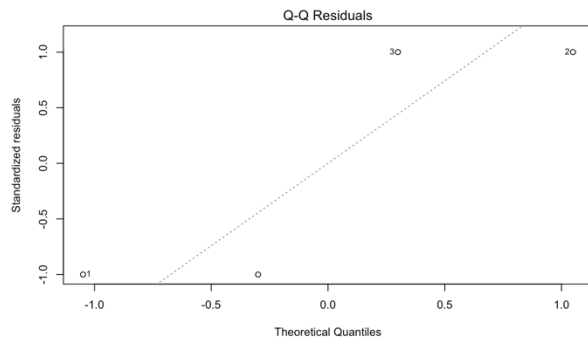
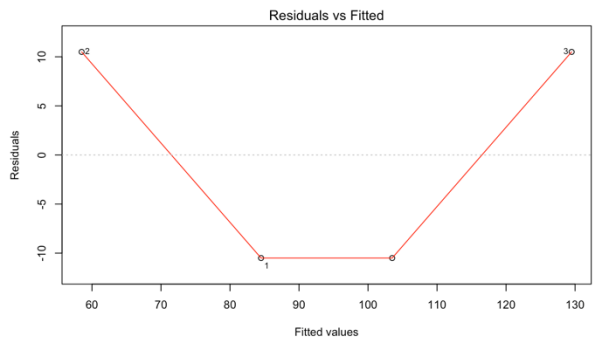
```
> summary(mymodelC)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	182.2	182.2	0.669	0.563
location	1	380.2	380.2	1.397	0.447
Residuals	1	272.2	272.2		



Pollinisateurs

```
> mymodelD <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data2.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodelD)
```



```
> summary(mymodelD)
```

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality 1 2025 2025 4.592 0.278
location 1 676 676 1.533 0.433
Residuals 1 441 441
```

Juin

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2022	juin	temoin	haut	49	59	73	41
2022	juin	temoin	bas	75	68	30	40
2022	juin	erable	haut	77	37	99	44
2022	juin	erable	bas	135	62	70	27

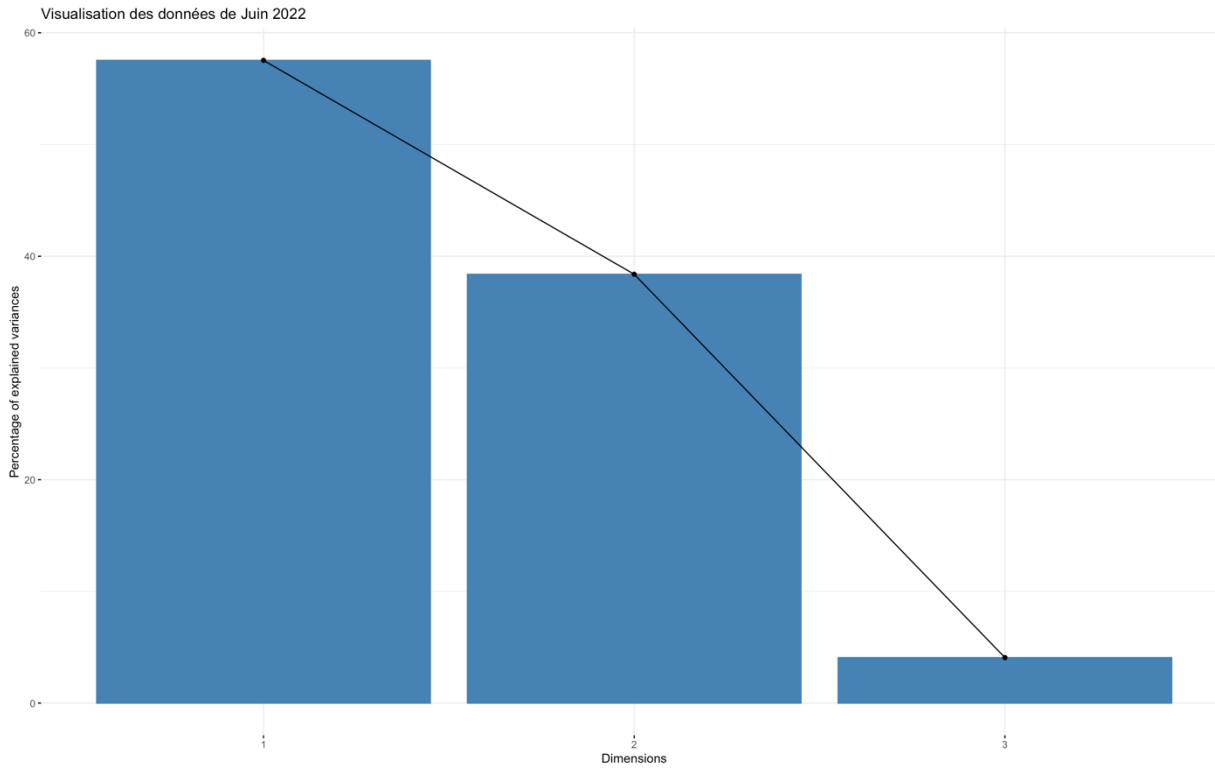
```
> data <- juin_22
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> data.acp <- data[, -c(1,2)]
> summary(data.acp)
```

```
modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min.   : 49.0      Min.   :37.0      Min.   :30.0      Min.   :27.00      erable bas :1
Class :character Class :character 1st Qu.: 68.5      1st Qu.:53.5      1st Qu.:60.0      1st Qu.:36.75      erable haut:1
Mode  :character Mode  :character Median : 76.0      Median :60.5      Median :71.5      Median :40.50      temoin bas :1
                                          Mean  : 84.0      Mean  :56.5      Mean  :68.0      Mean  :38.00      temoin haut:1
                                          3rd Qu.: 91.5      3rd Qu.:63.5      3rd Qu.:79.5      3rd Qu.:41.75
                                          Max.   :135.0      Max.   :68.0      Max.   :99.0      Max.   :44.00
```

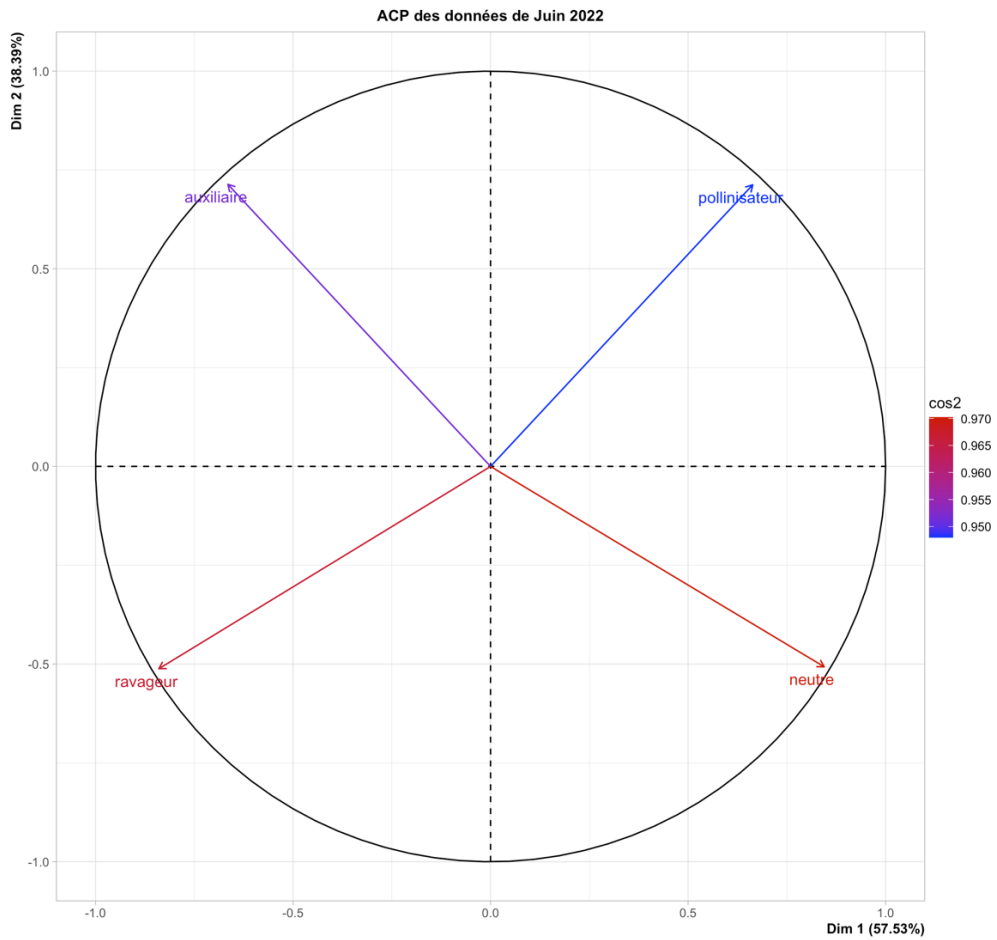
```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
```

```
> acp$eig
      eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 2.3013161      57.532902      57.53290
comp 2 1.5355133      38.387832      95.92073
comp 3 0.1631706       4.079266     100.00000
```

```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données de Juin 2022")
```

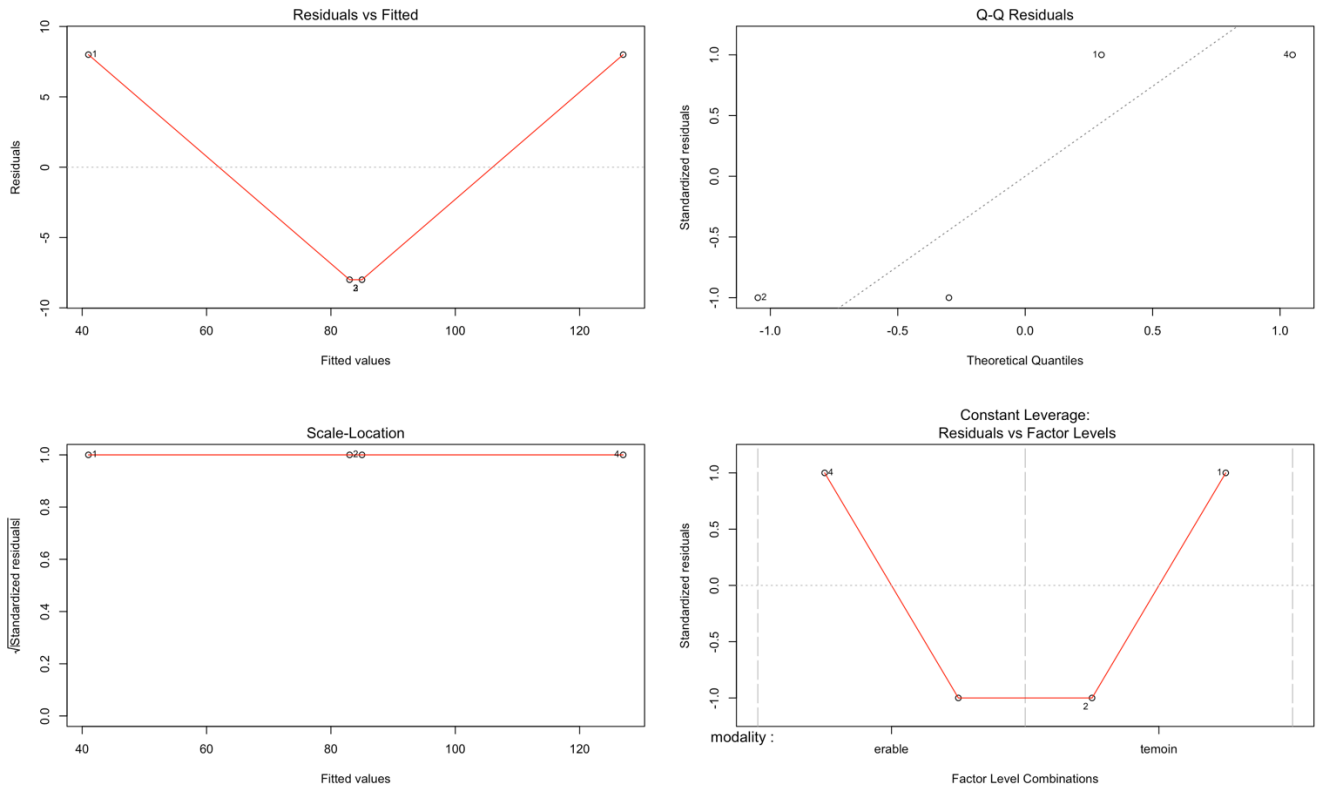


```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de Juin 2022")
```



Auxiliaires

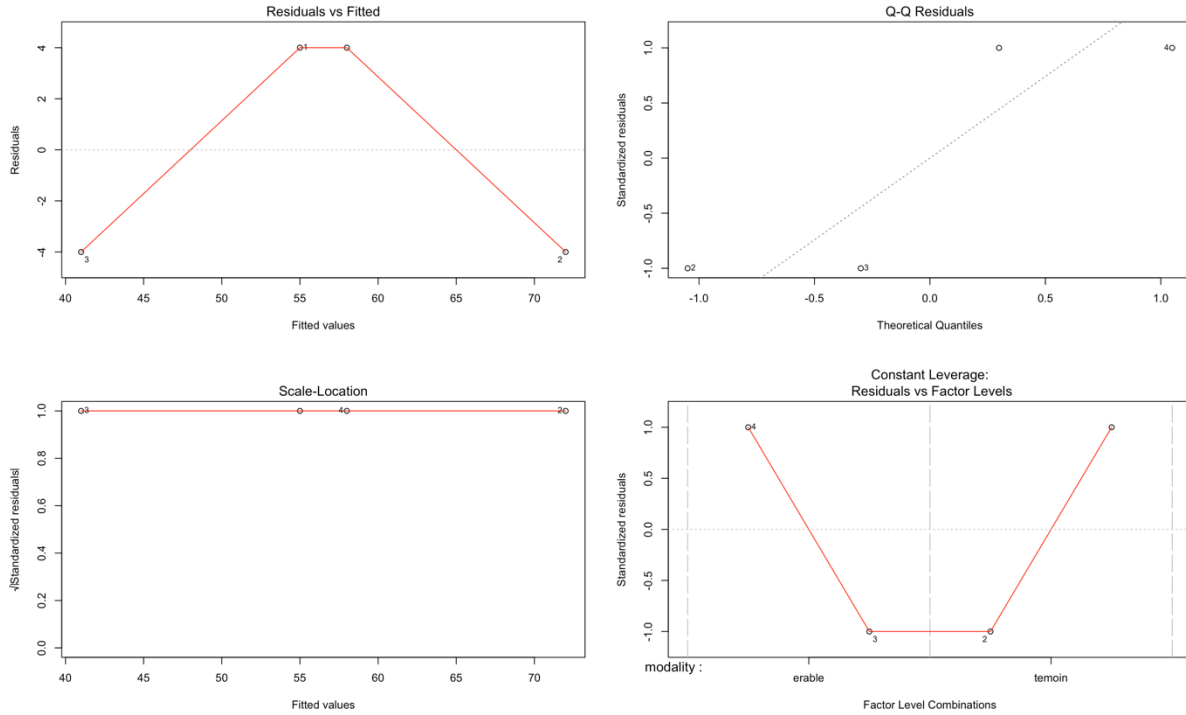
```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> summary(mymodel)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	1936	1936	7.563	0.222
location	1	1764	1764	6.891	0.232
Residuals	1	256	256		

Ravageurs



```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data.acp)
```

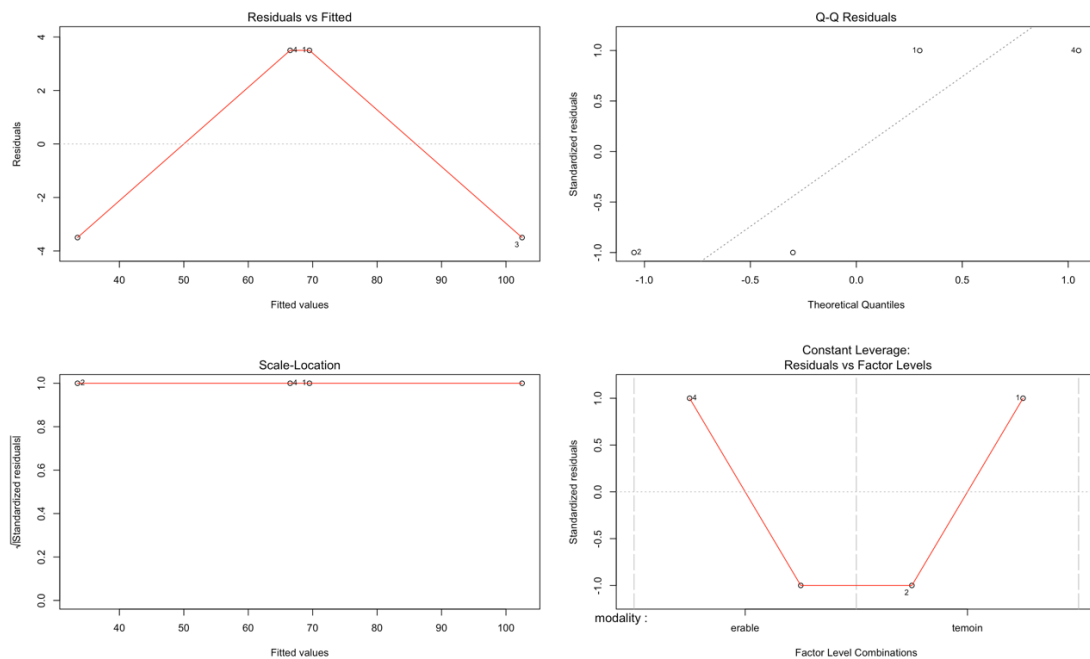
```
> par(mfrow=c(2,2))
```

```
> plot(mymodel)
```

```
> summary(mymodel)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	196	196	3.062	0.33
location	1	289	289	4.516	0.28
Residuals	1	64	64		

Pollinisateur



```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  1089   1089  22.22 0.133
location  1  1296   1296  26.45 0.122
Residuals 1    49     49
```

Juillet

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2022	juillet	temoin	haut	7	24	25	47
2022	juillet	temoin	bas	27	21	33	124
2022	juillet	erable	haut	35	7	14	23
2022	juillet	erable	bas	12	17	35	61

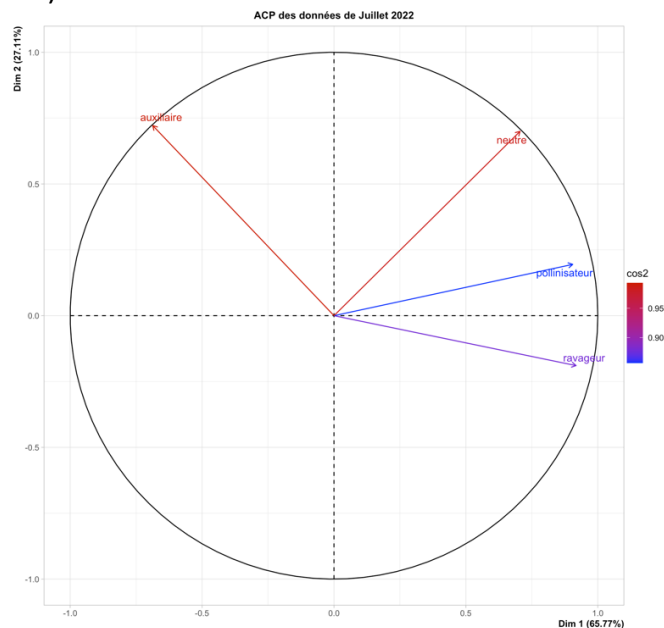
```
> data <- juillet_22
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> data.acp <- data[, -c(1,2)]
> summary(data.acp)
```

```

modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min. : 7.00      Min. : 7.00      Min. :14.00      Min. : 23.00      erable bas :1
Class :character      Class :character      1st Qu.:10.75      1st Qu.:14.50      1st Qu.:22.25      1st Qu.: 41.00      erable haut:1
Mode :character      Mode :character      Median :19.50      Median :19.00      Median :29.00      Median : 54.00      temoin bas :1
Mean :20.25      Mean :17.25      Mean :26.75      Mean : 63.75      Mean : 76.75      Max. :124.00      temoin haut:1
3rd Qu.:29.00      3rd Qu.:21.75      3rd Qu.:33.50
Max. :35.00      Max. :24.00      Max. :35.00

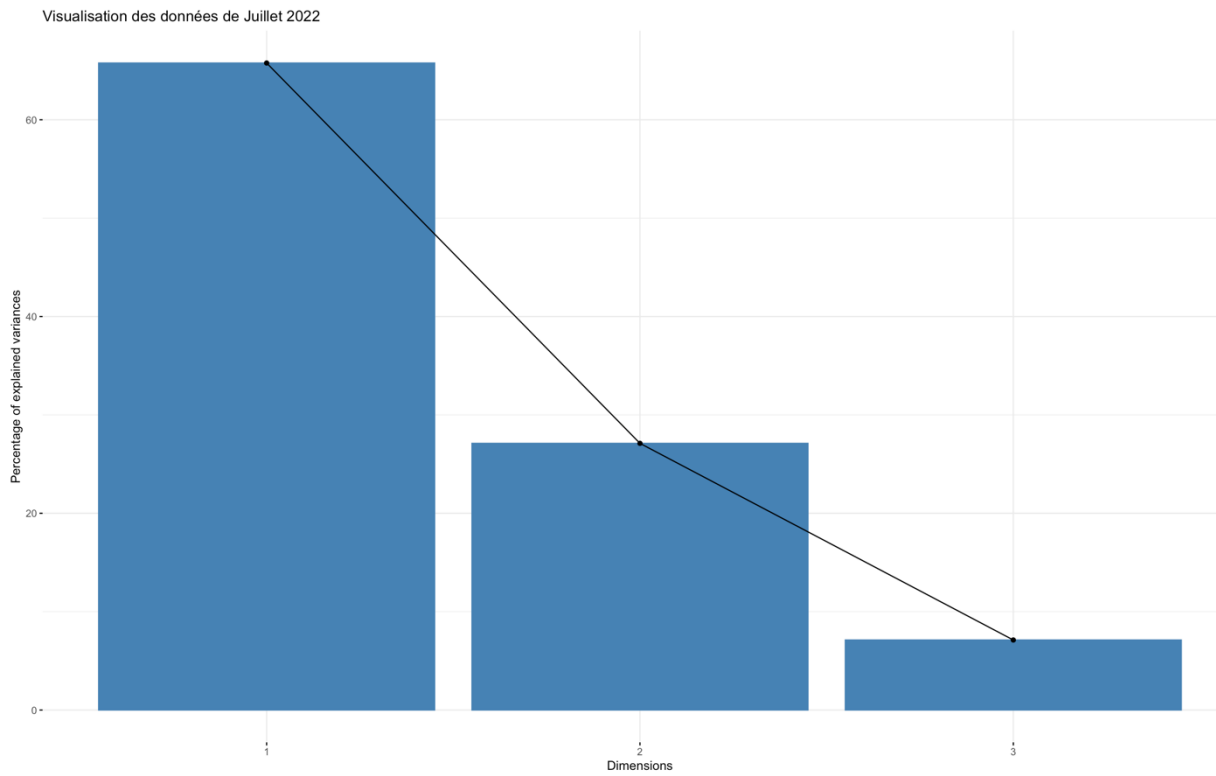
```

```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), quali.sup = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de Juillet 2022")
```

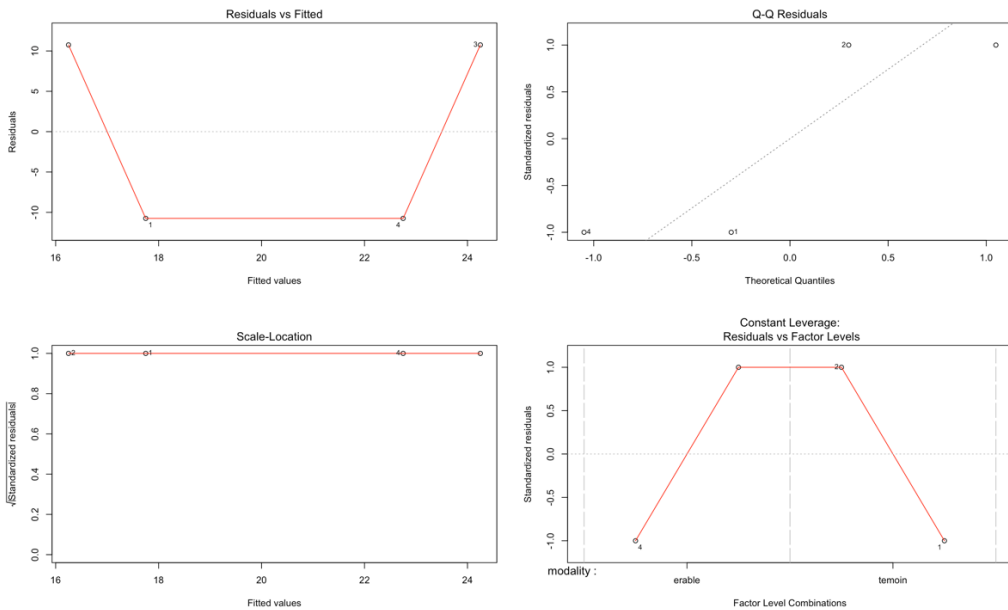


```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
> acp$eig
      eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 2.6308799      65.771997      65.77200
comp 2 1.0843832      27.109581      92.88158
comp 3 0.2847369       7.118422     100.00000
```

```
> fviz_screenplot(acp, title = "Visualisation des données de Juillet 2022")
```



Auxiliaires




```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  42.2   42.2  0.091  0.813
location  1   2.2    2.2  0.005  0.956
Residuals 1 462.3  462.3
```

Ravageurs

```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1 110.25  110.25  2.609  0.353
location  1  12.25   12.25  0.290  0.686
Residuals  1  42.25   42.25
```

Pollinisateurs

```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  20.25   20.25  0.479  0.614
location  1 210.25  210.25  4.976  0.268
Residuals  1  42.25   42.25
```

Somme 2022

```
> View(somme22)
> data <- somme22
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
```

year	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2022	temoin	haut	127	120	381	253
2022	temoin	bas	190	82	287	303
2022	erable	haut	179	69	397	374
2022	erable	bas	243	82	296	257

```
> data.acp <- data[,-c(1)]
> summary(data.acp)
```

modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre	moda_loca
Length:4	Length:4	Min. :127.0	Min. : 69.00	Min. :287.0	Min. :253.0	erable bas :1
Class :character	Class :character	1st Qu.:166.0	1st Qu.: 78.75	1st Qu.:293.8	1st Qu.:256.0	erable haut:1
Mode :character	Mode :character	Median :184.5	Median : 82.00	Median :338.5	Median :280.0	temoin bas :1
		Mean :184.8	Mean : 88.25	Mean :340.2	Mean :296.8	temoin haut:1
		3rd Qu.:203.2	3rd Qu.: 91.50	3rd Qu.:385.0	3rd Qu.:320.8	
		Max. :243.0	Max. :120.00	Max. :397.0	Max. :374.0	

```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
```

```
> acp$eig
```

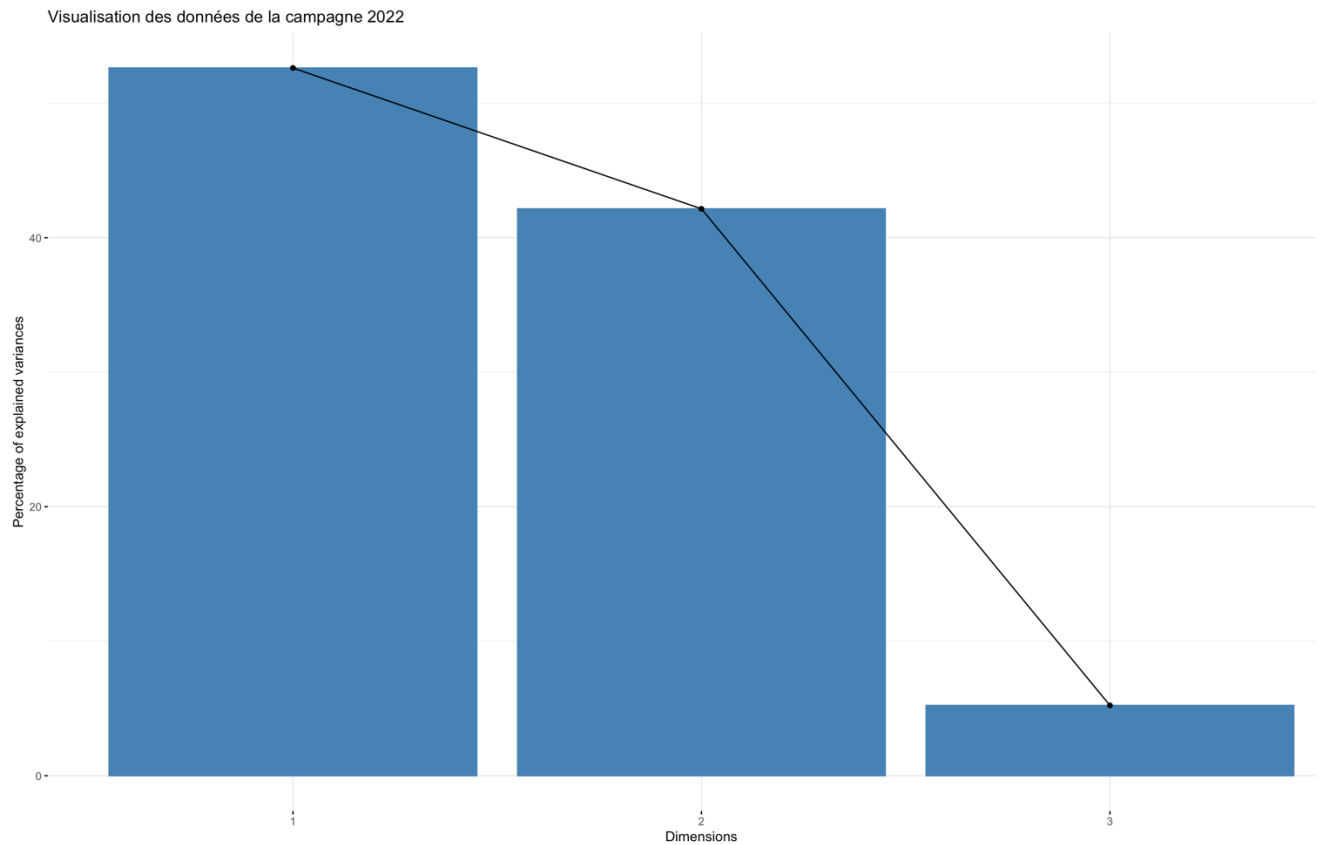
```
    eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
```

```
comp 1 2.1050181      52.625452          52.62545
```

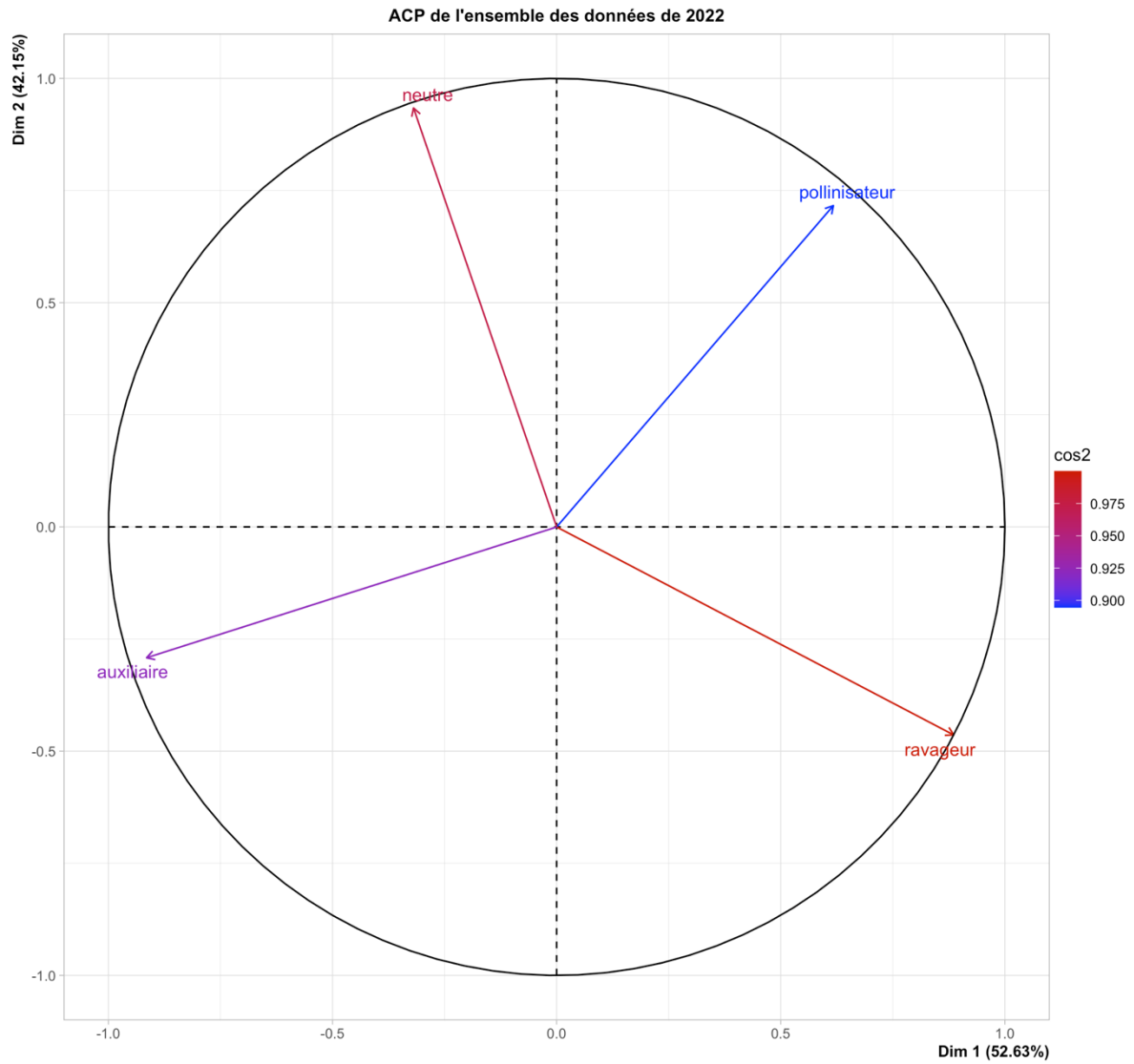
```
comp 2 1.6859708      42.149271          94.77472
```

```
comp 3 0.2090111       5.225277         100.00000
```

```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données de la campagne 2022")
```

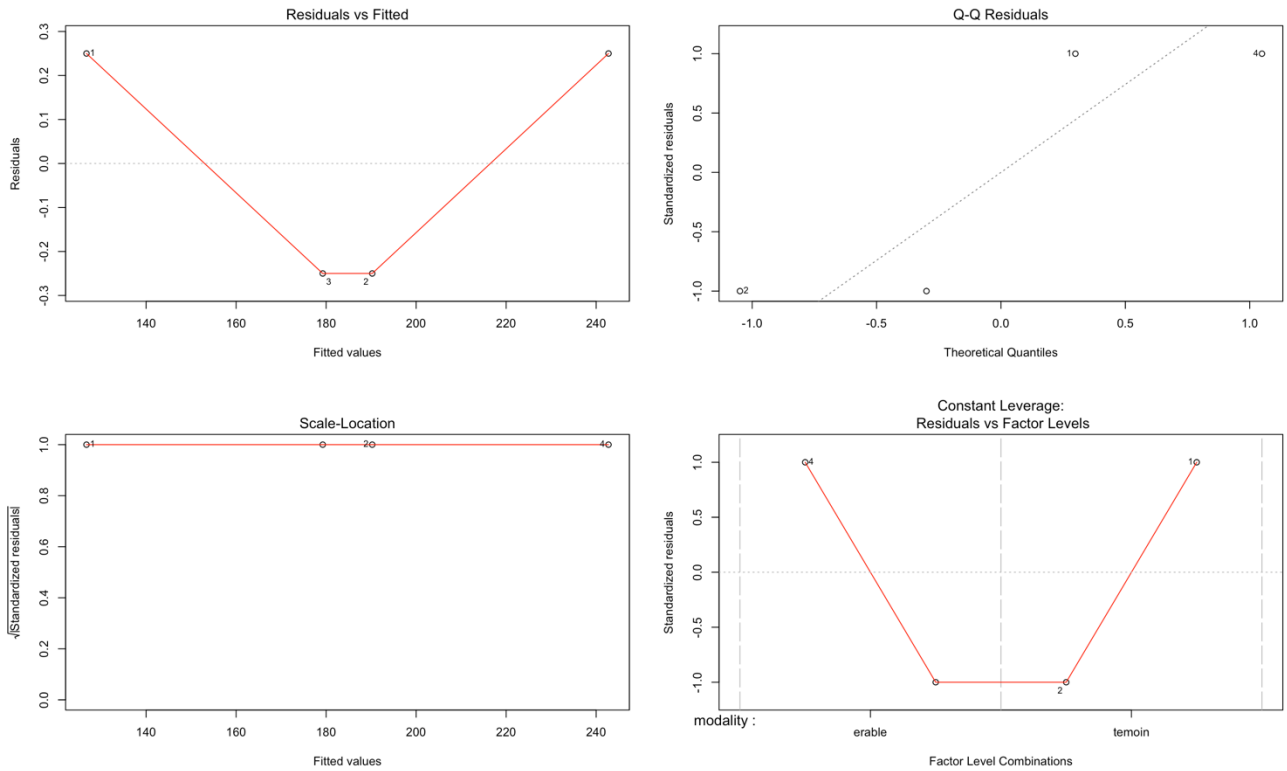


```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP de l'ensemble des données de 2022")
```



Auxiliaire

```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

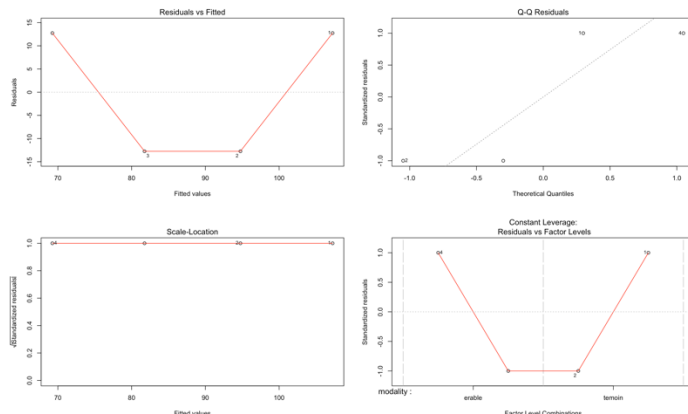


```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  2756   2756  11025 0.00606 **
location  1  4032   4032  16129 0.00501 **
Residuals 1    0     0
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Effet significatif des érables et de leur position sur les populations d'auxiliaires !

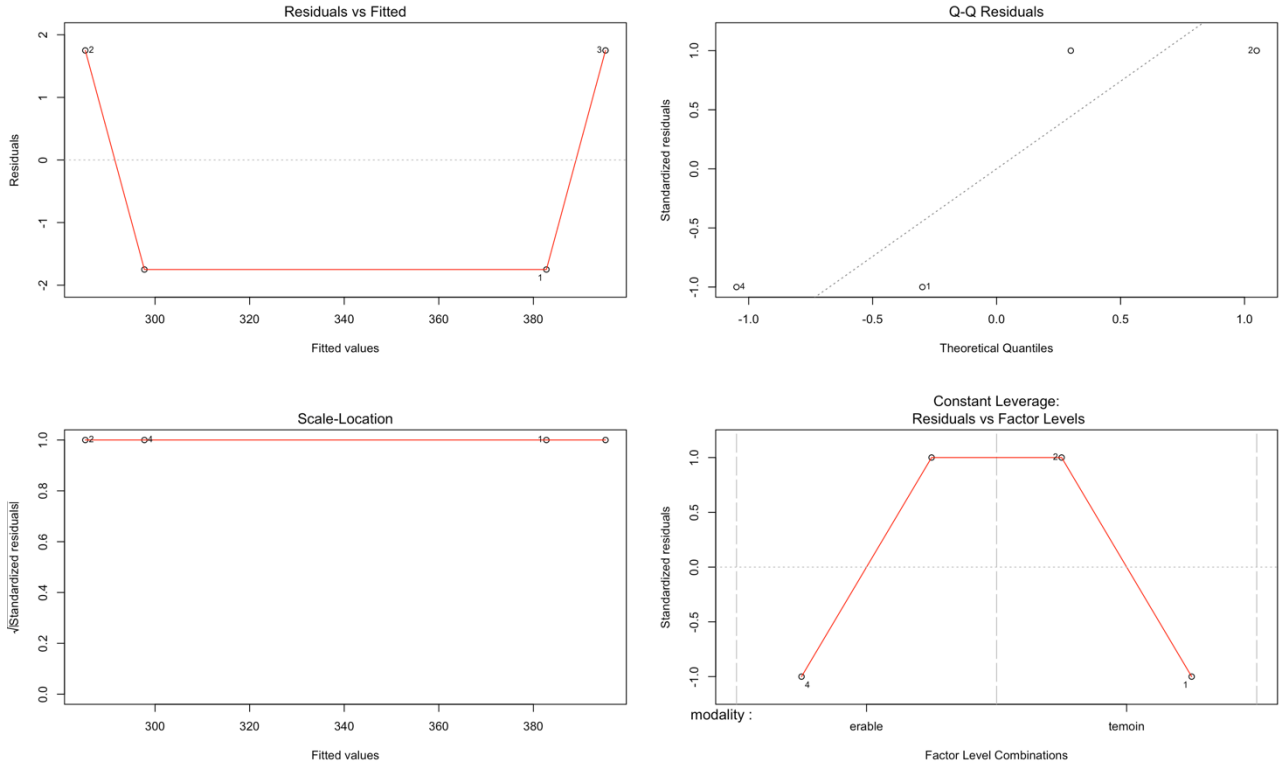
Ravageur

```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  650.2   650.2    1.00  0.50
location  1  156.2   156.2    0.24  0.71
Residuals 1  650.2   650.2
```

Pollinisateur



```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1   156    156  12.76 0.1738
location  1  9506   9506  776.02 0.0228 *
Residuals 1    12     12
```

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

Effets de la position des placettes sur la capture de pollinisateurs

Statistiques 2023

Avril

```
> View(avril_23)
```

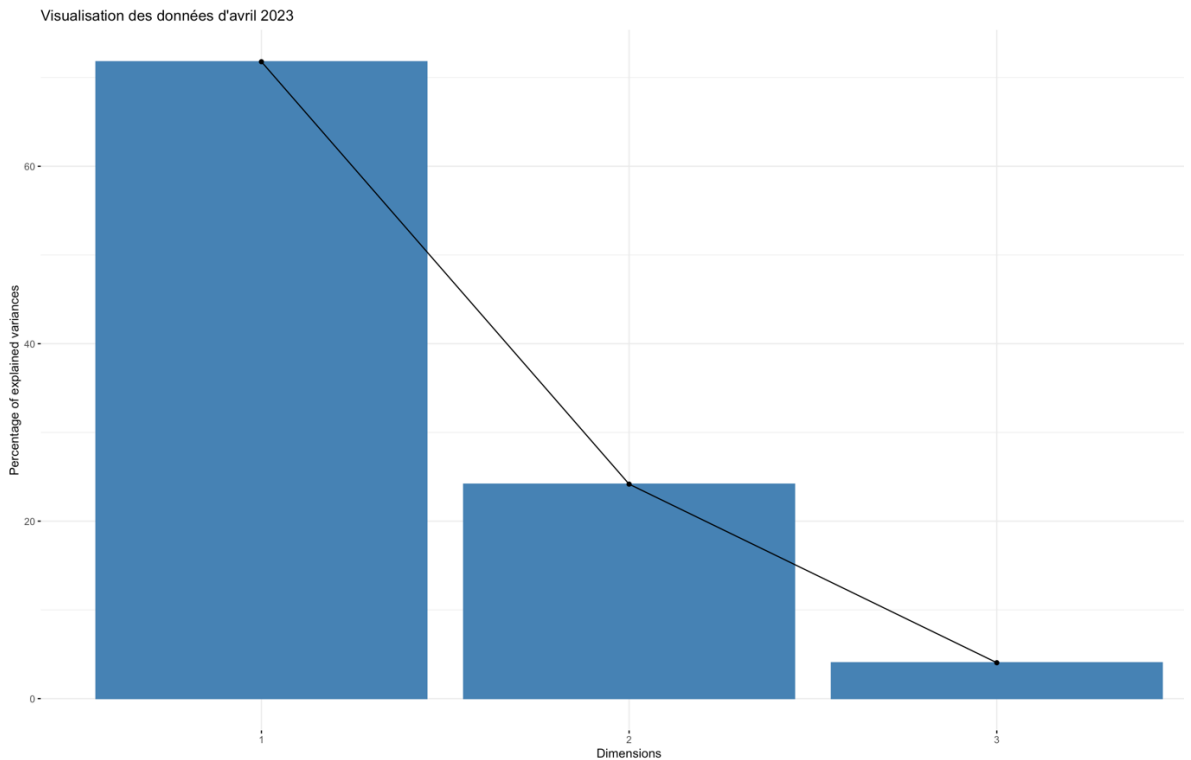
year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2023	avril	temoin	haut	18	0	44	12
2023	avril	temoin	bas	13	2	54	0
2023	avril	erable	haut	34	1	46	29
2023	avril	erable	bas	45	2	66	19

```
> data <- avril_23
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> data.acp <- data[, -c(1)]
> summary(data.acp)
  month          modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Length:4      Min. :13.00      Min. :0.00      Min. :44.0      Min. :0.0      erable bas :1
Class :character Class :character Class :character 1st Qu.:16.75      1st Qu.:0.75      1st Qu.:45.5      1st Qu.: 9.0      erable haut:1
Mode :character Mode :character Mode :character Median :26.00      Median :1.50      Median :50.0      Median :15.5      temoin bas :1
Mean :27.50      Mean :1.25      Mean :52.5      Mean :15.0      temoin haut:1
3rd Qu.:36.75      3rd Qu.:2.00      3rd Qu.:57.0      3rd Qu.:21.5
Max. :45.00      Max. :2.00      Max. :66.0      Max. :29.0
```

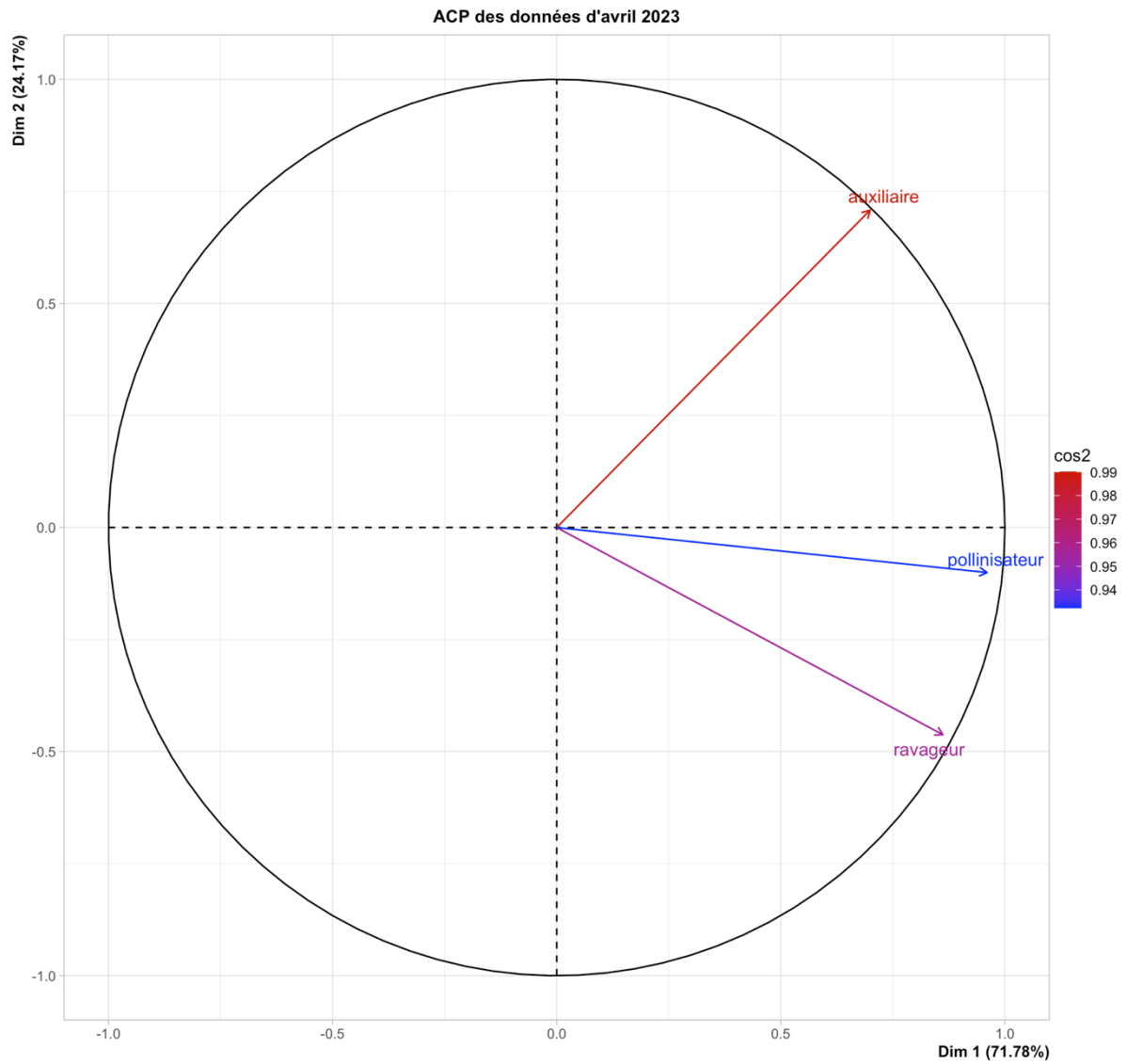
```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,3,7,8), graph = FALSE)
> acp$eig
  eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 2.1534777      71.782589      71.78259
comp 2 0.7251776      24.172587      95.95518
comp 3 0.1213447      4.044824      100.00000
```

Les deux premières dimensions expliquent 96 % de la variance du modèle

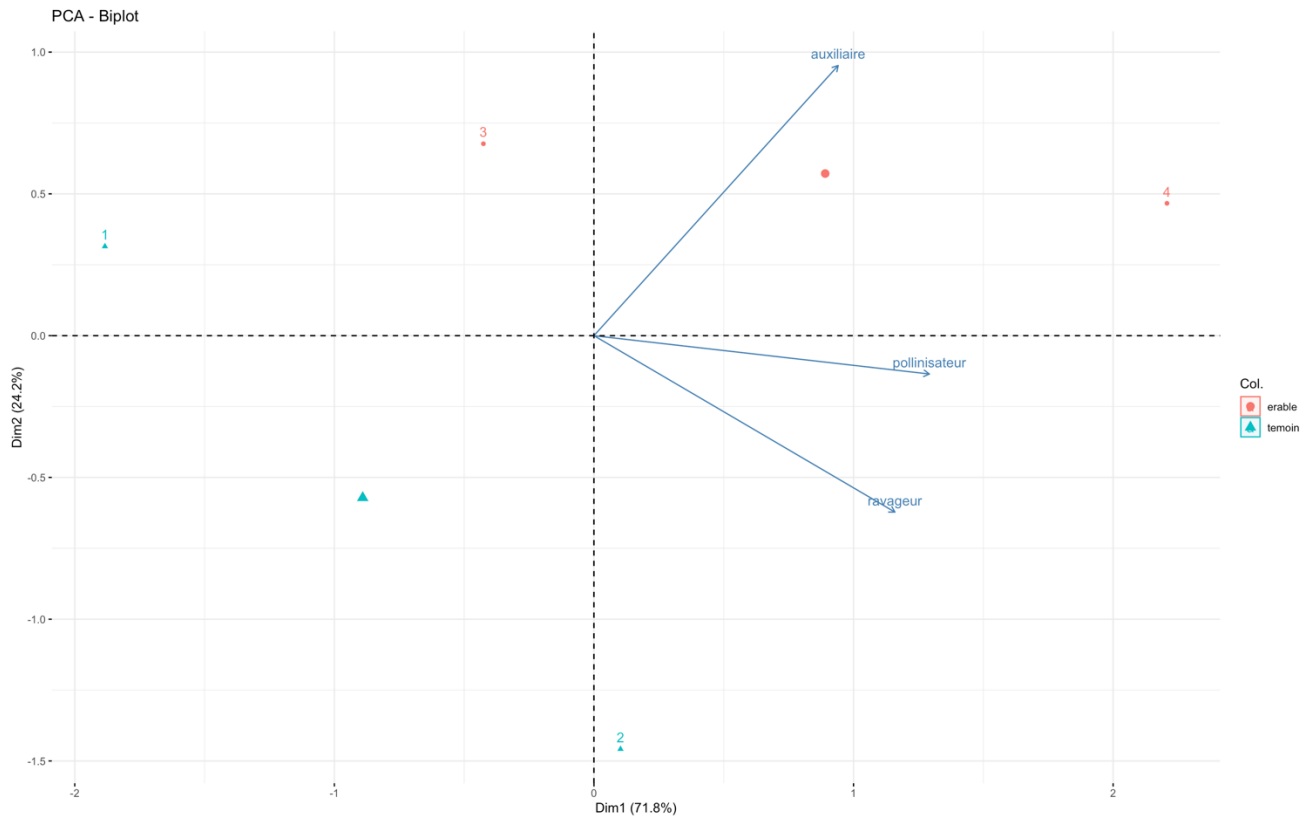
```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données d'avril 2023")
```



```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données d'avril 2023")
```

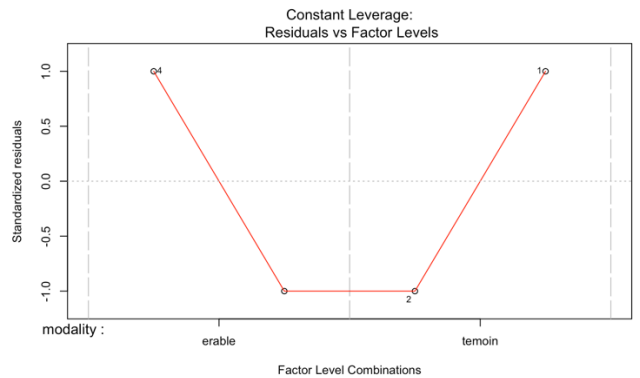
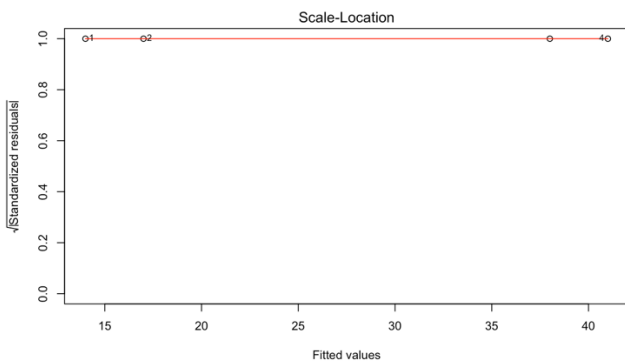
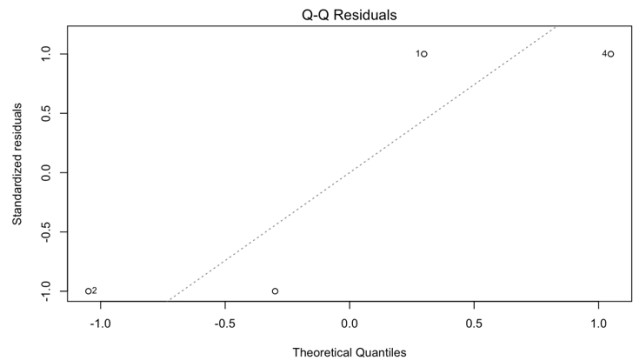
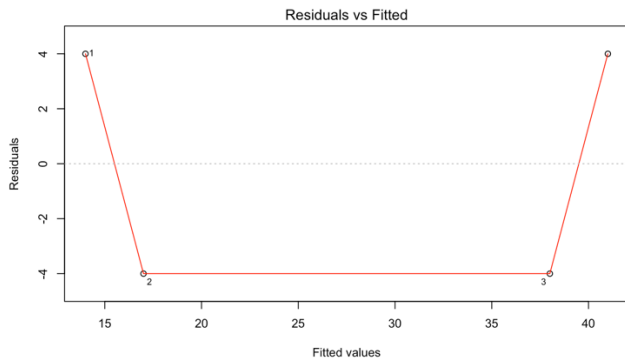


```
> fviz_pca(acp, col.ind = data.acp$modality, addEllipses = TRUE)
```



Auxiliaires

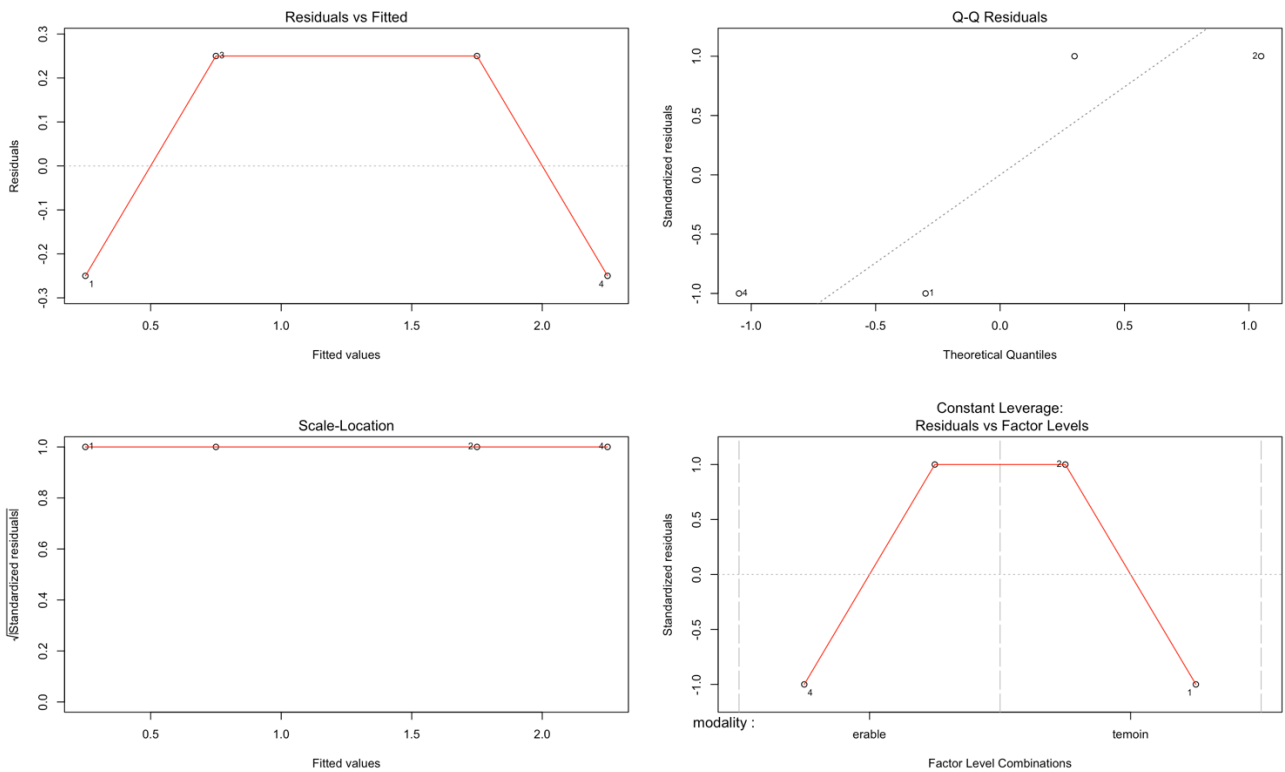
```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```




```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  576    576  9.000 0.205
location  1   9     9  0.141 0.772
Residuals 1   64     64
```

Ravageurs

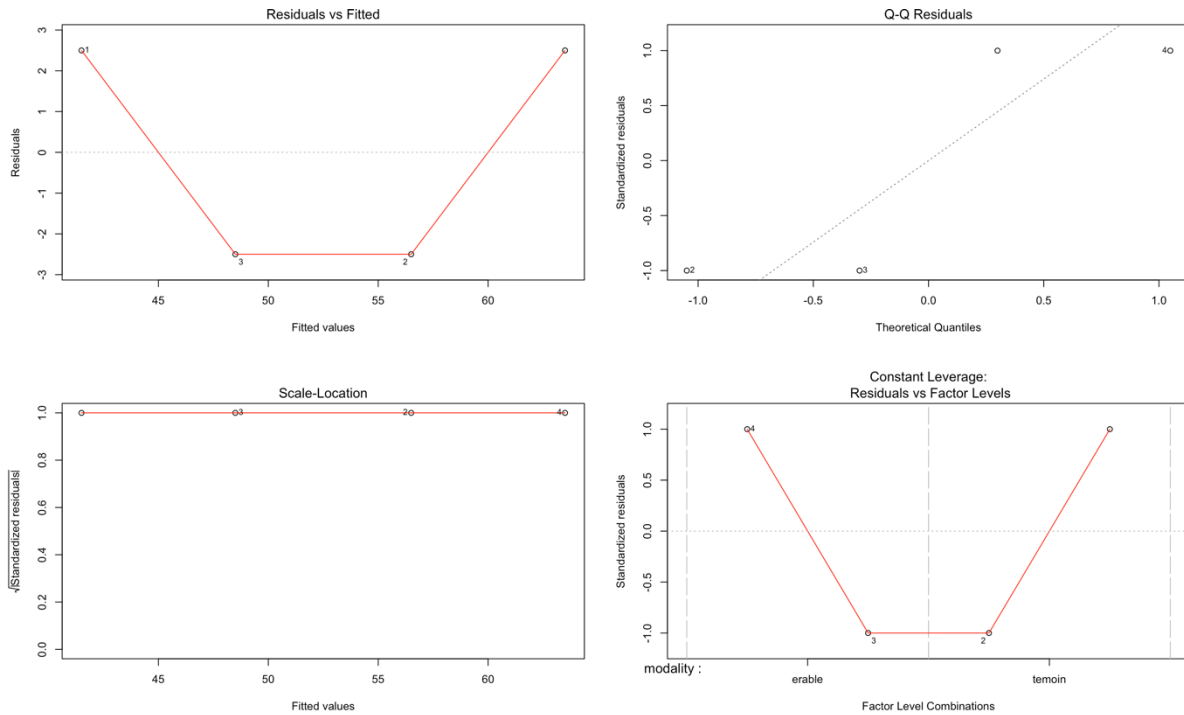
```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  0.25  0.25    1 0.500
location  1  2.25  2.25    9 0.205
Residuals 1  0.25  0.25
```

Pollinisateurs

```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  49    49    1.96  0.395
location  1 225   225    9.00  0.205
Residuals 1  25    25
```

Mai

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2023	mai	temoin	haut	12	7	47	37
2023	mai	temoin	bas	12	10	88	30
2023	mai	erable	haut	9	3	55	22
2023	mai	erable	bas	7	3	56	45

```
> data <- mai_23
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> data.acp <- data[, -c(1,2)]
> summary(data.acp)
```

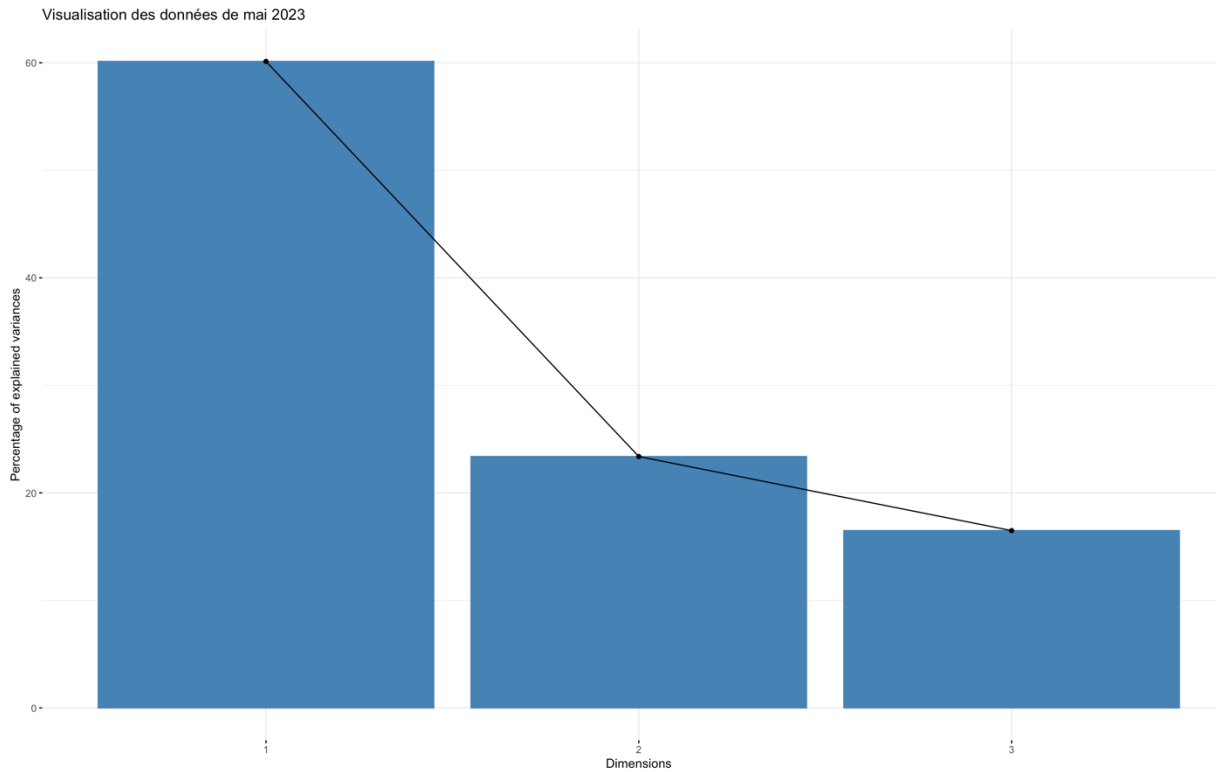
```

modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min.   : 7.0      Min.   : 3.00      Min.   :47.0      Min.   :22.0      erable bas :1
Class :character Class :character 1st Qu.: 8.5      1st Qu.: 3.00      1st Qu.:53.0      1st Qu.:28.0      erable haut:1
Mode  :character Mode  :character Median :10.5      Median : 5.00      Median :55.5      Median :33.5      temoin bas :1
                                          Mean  :10.0      Mean  : 5.75      Mean  :61.5      Mean  :33.5      temoin haut:1
                                          3rd Qu.:12.0      3rd Qu.: 7.75      3rd Qu.:64.0      3rd Qu.:39.0
                                          Max.  :12.0      Max.  :10.00      Max.  :88.0      Max.  :45.0
```

```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
> acp$eig
```

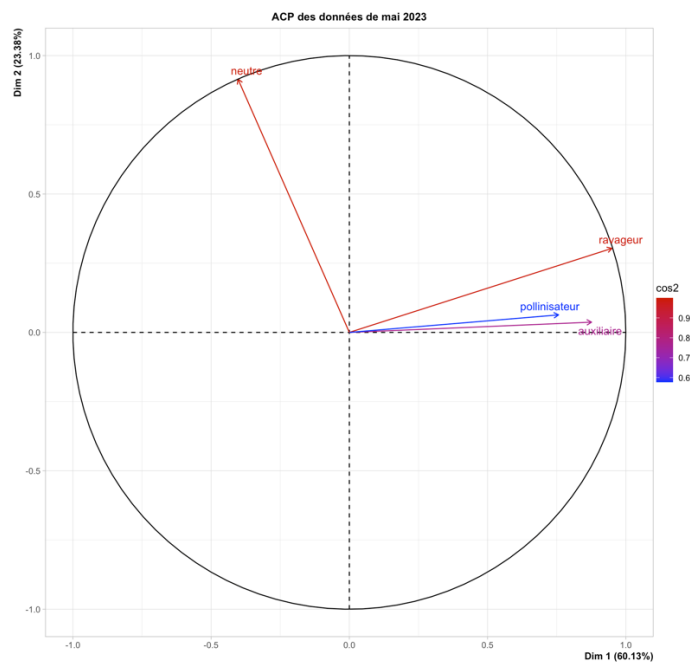
	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.4051124	60.12781	60.12781
comp 2	0.9352147	23.38037	83.50818
comp 3	0.6596729	16.49182	100.00000

> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données de mai 2023")

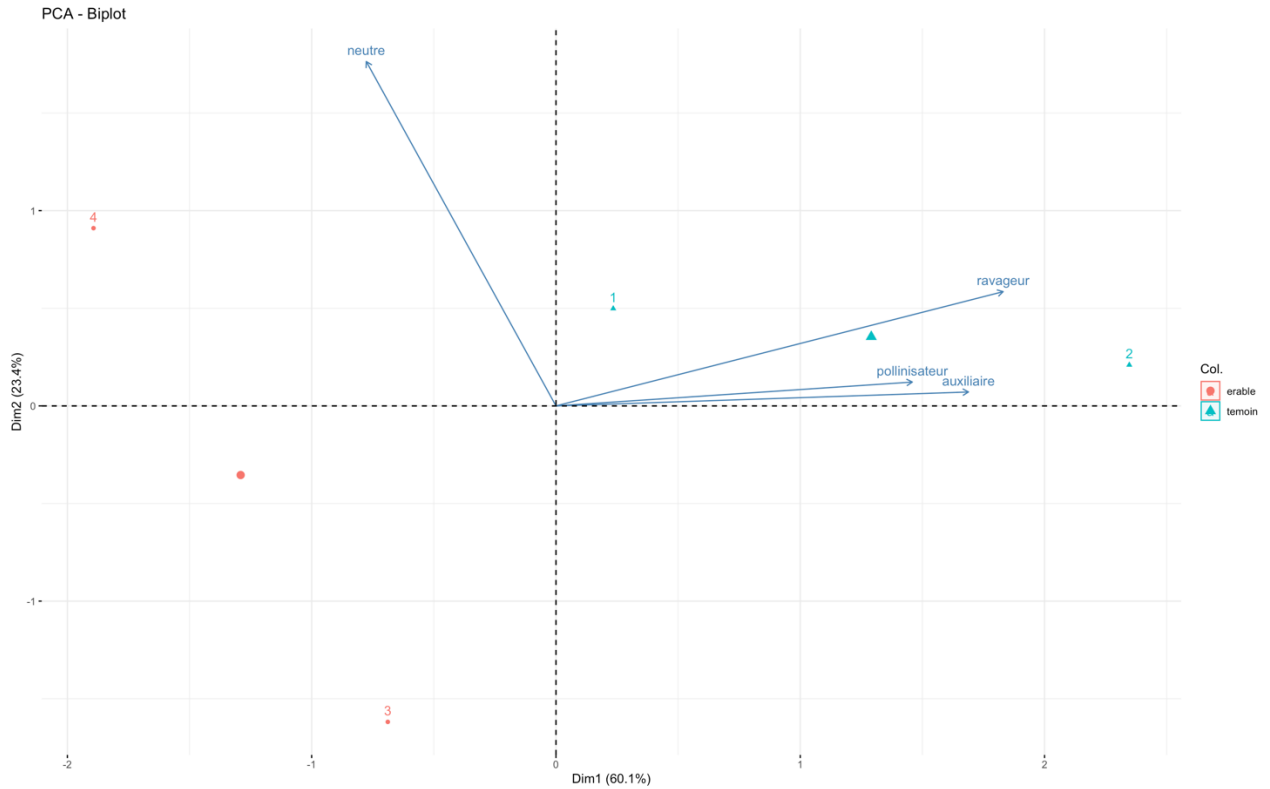


Les deux premiers axes expliquent 84 % de la variance

>plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de mai 2023")

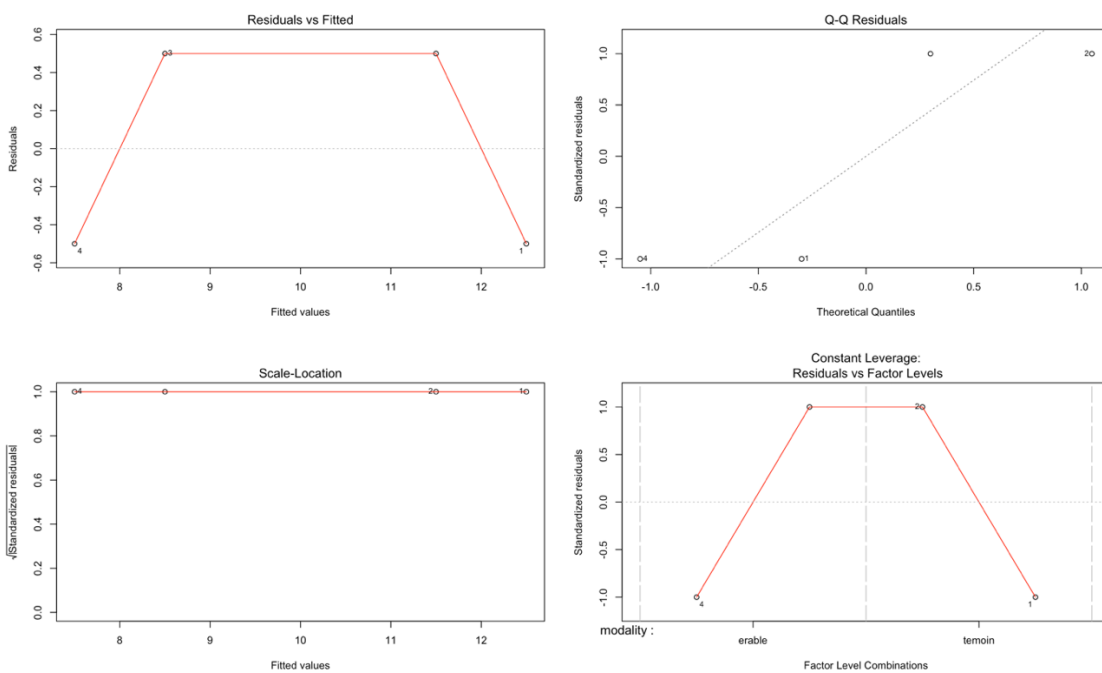


```
> fviz_pca(acp, col.ind = data.acp$modality, addEllipses = TRUE)
```



Auxiliaires

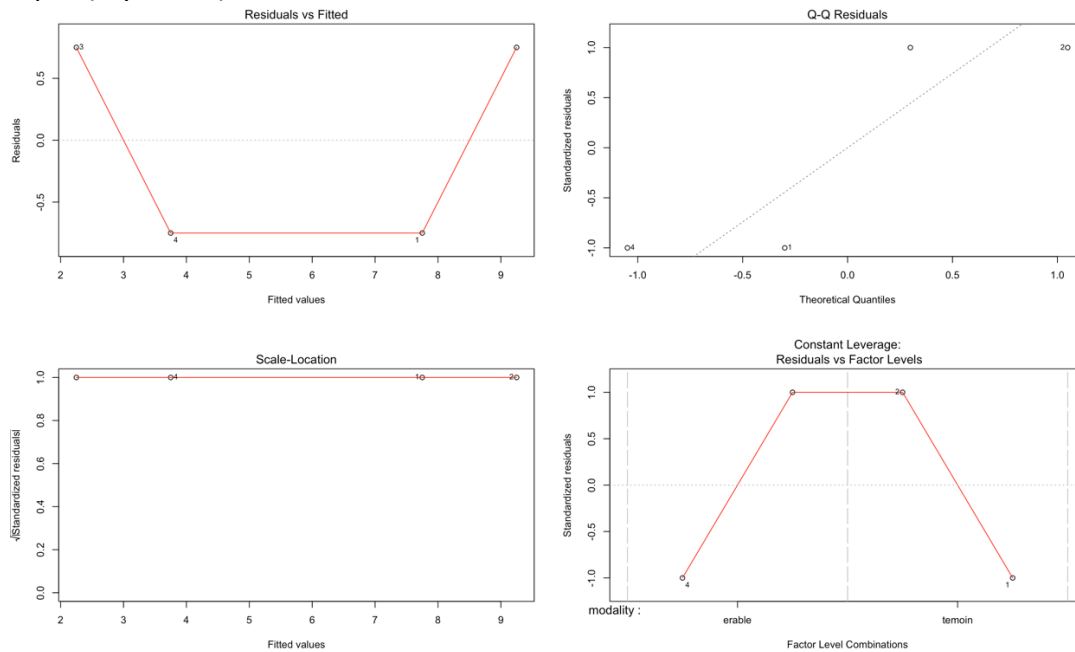
```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1   16    16    16  0.156
location  1    1     1     1  0.500
Residuals 1    1     1
```

Ravageurs

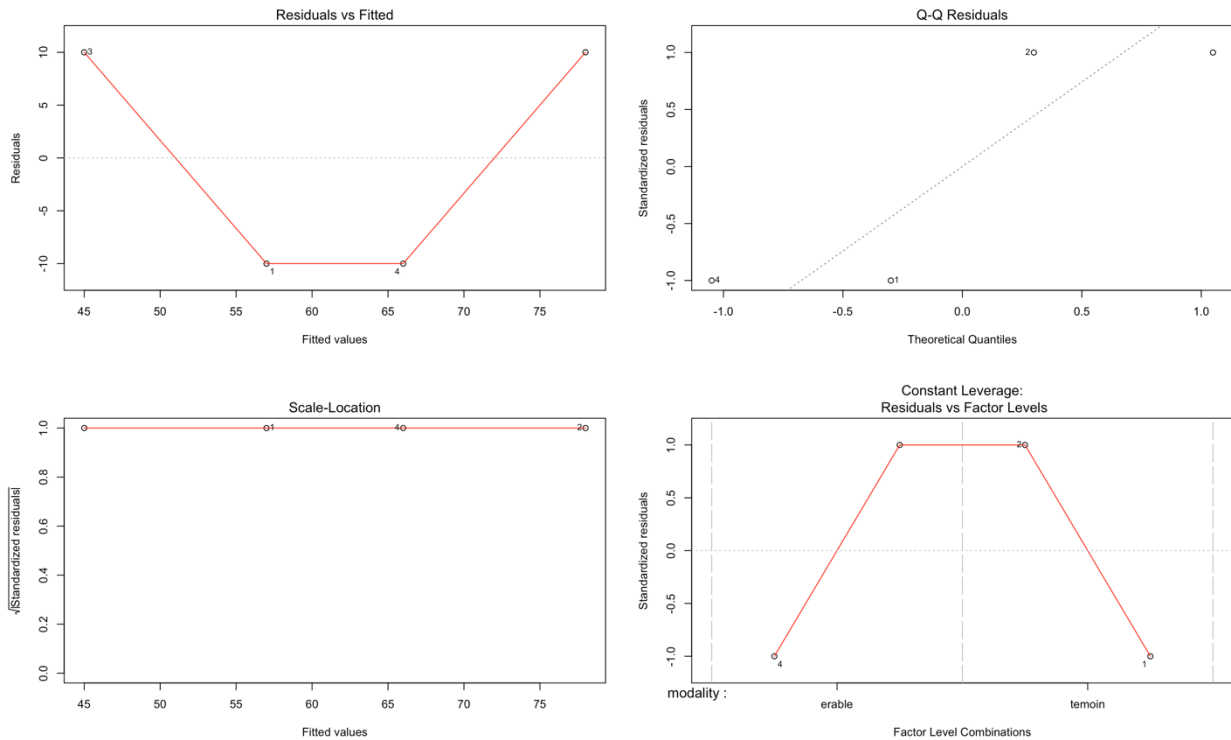
```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  30.25  30.25  13.44  0.17
location  1   2.25   2.25   1.00  0.50
Residuals 1   2.25   2.25
```

Pollinisateur

```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  144   144  0.360  0.656
location  1  441   441  1.102  0.484
Residuals 1  400   400
```

Juin

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2023	juin	temoin	haut	45	18	181	1
2023	juin	temoin	bas	16	7	190	1
2023	juin	erable	haut	27	2	206	0
2023	juin	erable	bas	52	6	470	3

```
> data <- juin_23
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> data.acp <- data[,-c(1,2)]
> summary(data.acp)
```

```

modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min. :16.00    Min. : 2.00    Min. :181.0      Min. :0.00
Class :character Class :character 1st Qu.:24.25  1st Qu.: 5.00  1st Qu.:187.8    1st Qu.:0.75
Mode :character Mode :character  Median :36.00  Median : 6.50  Median :198.0    Median :1.00
                                          Mean :35.00    Mean : 8.25    Mean :261.8      Mean :1.25
                                          3rd Qu.:46.75 3rd Qu.: 9.75 3rd Qu.:272.0    3rd Qu.:1.50
                                          Max. :52.00    Max. :18.00    Max. :470.0      Max. :3.00

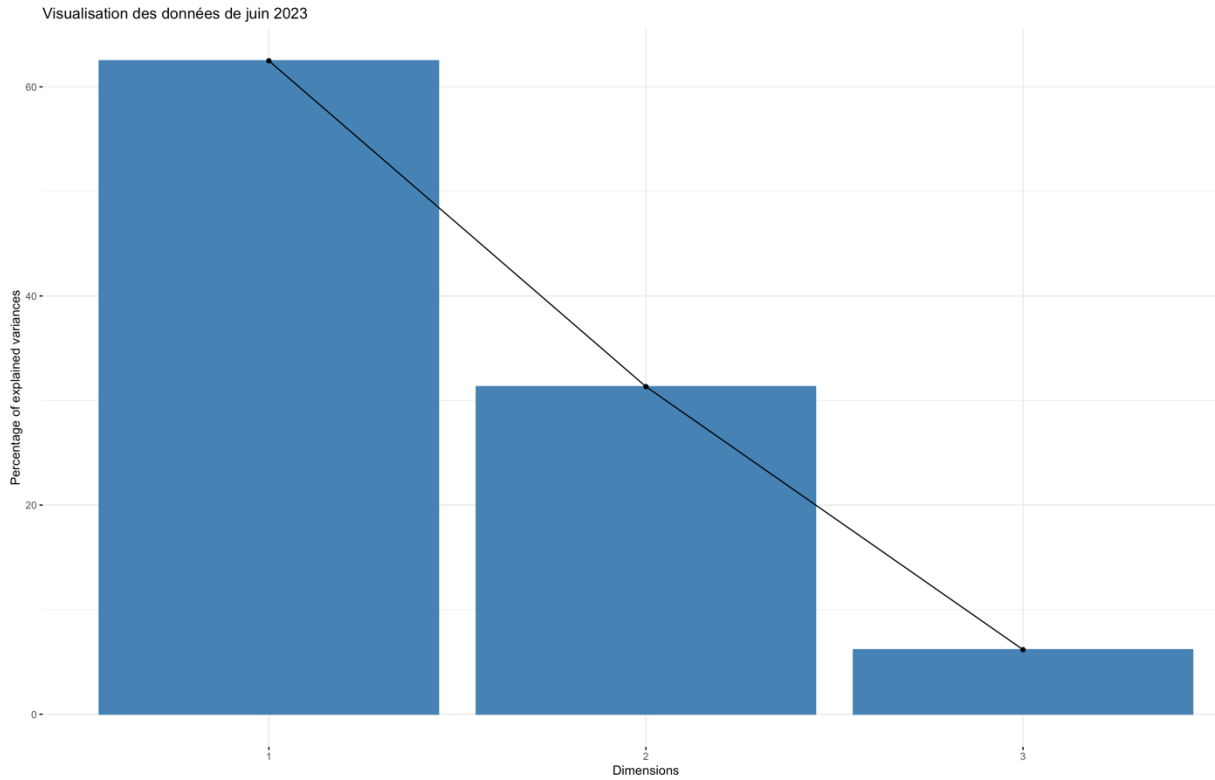
```

```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
> acp$eig
```

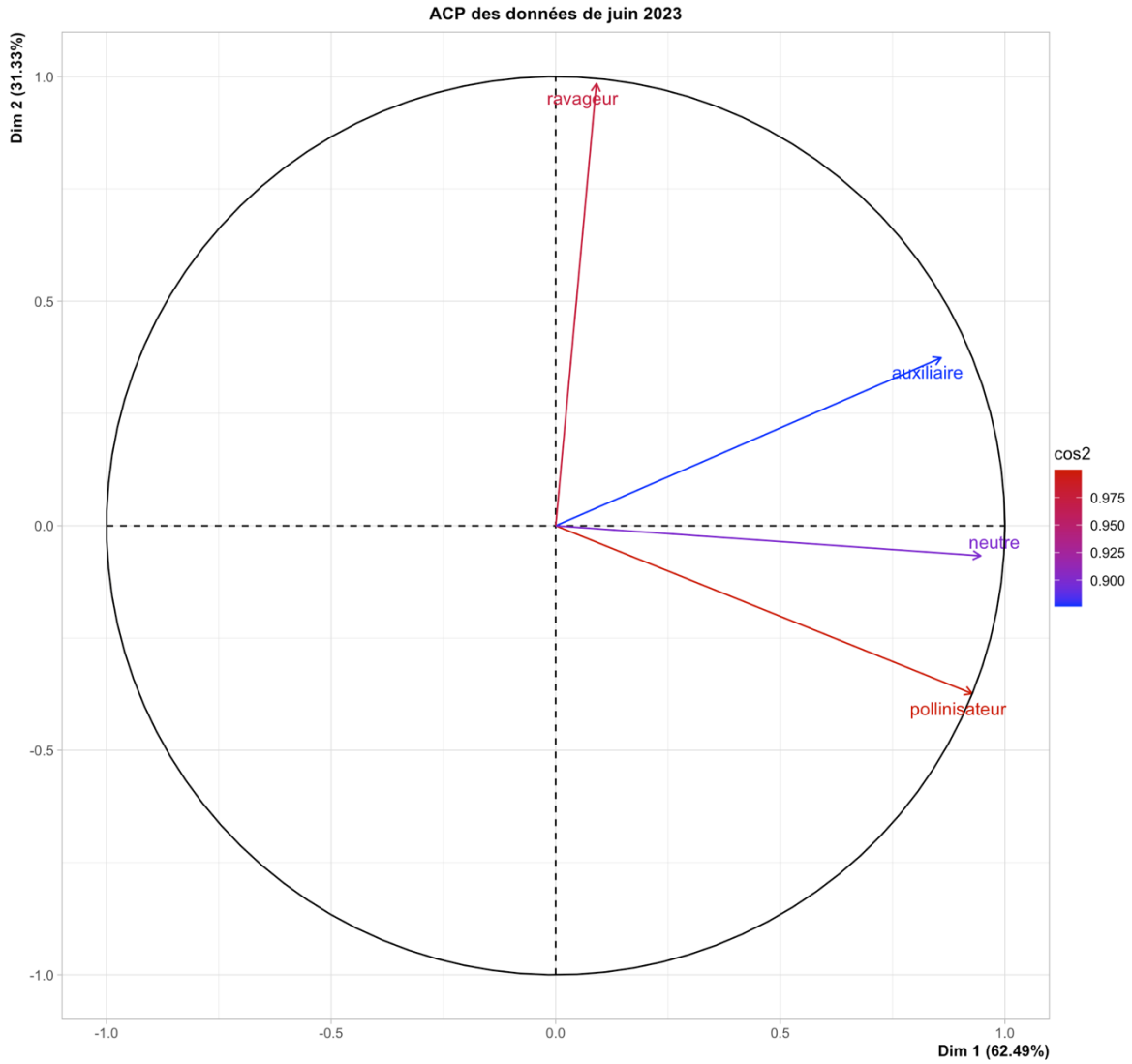
	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.4997951	62.494879	62.49488
comp 2	1.2532310	31.330776	93.82565
comp 3	0.2469738	6.174345	100.00000

Les deux premiers axes expliquent 94 % de la variance du modèle

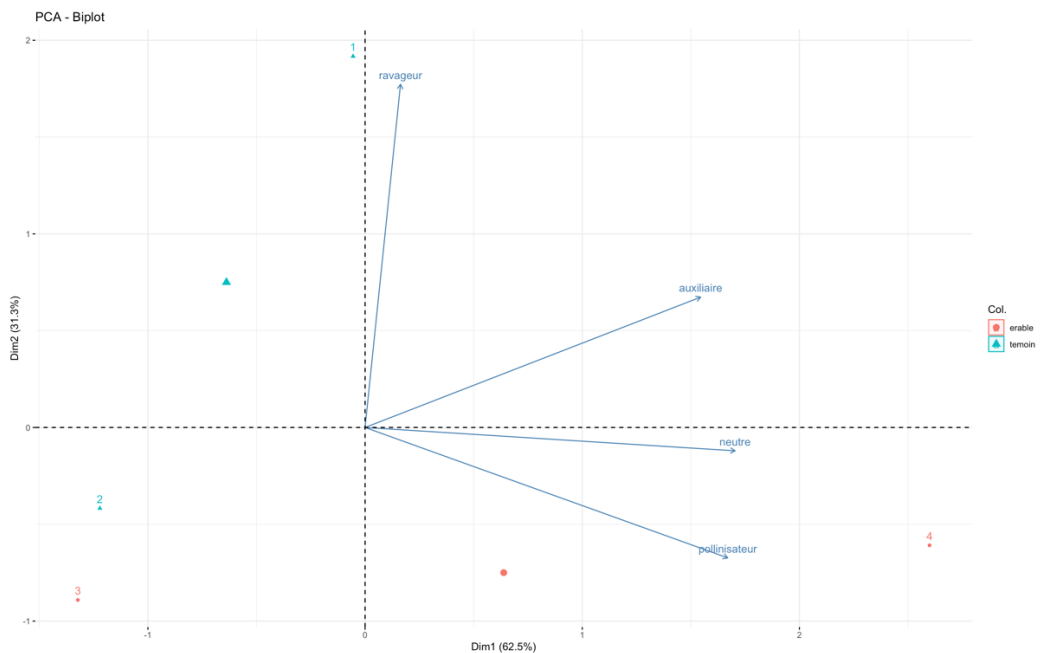
`fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données de juin 2023")`



`>plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de juin 2023")`

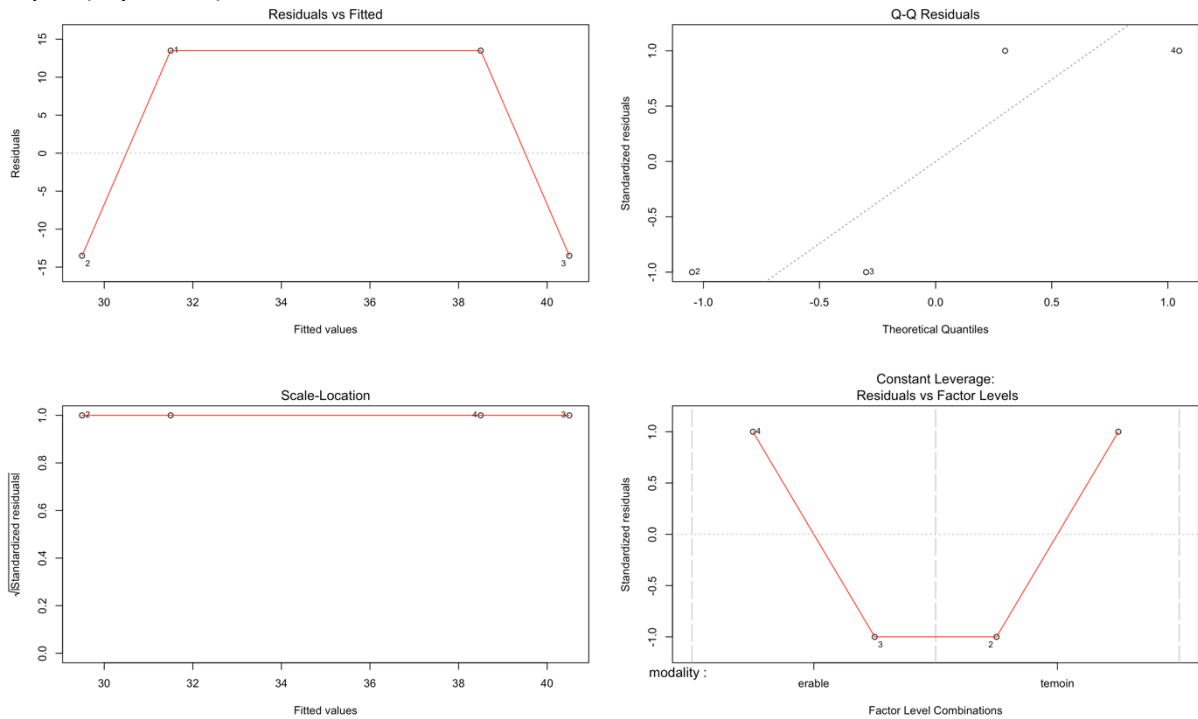


```
> fviz_pca(acp, col.ind = data.acp$modality, addEllipses = TRUE)
```



Auxiliaires

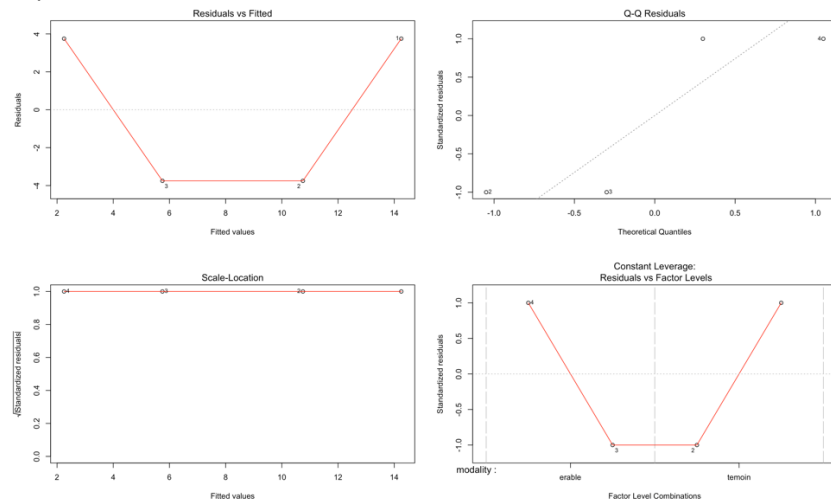
```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1   81    81.0  0.111  0.795
location  1    4     4.0  0.005  0.953
Residuals 1  729   729.0
```

Ravageurs

```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

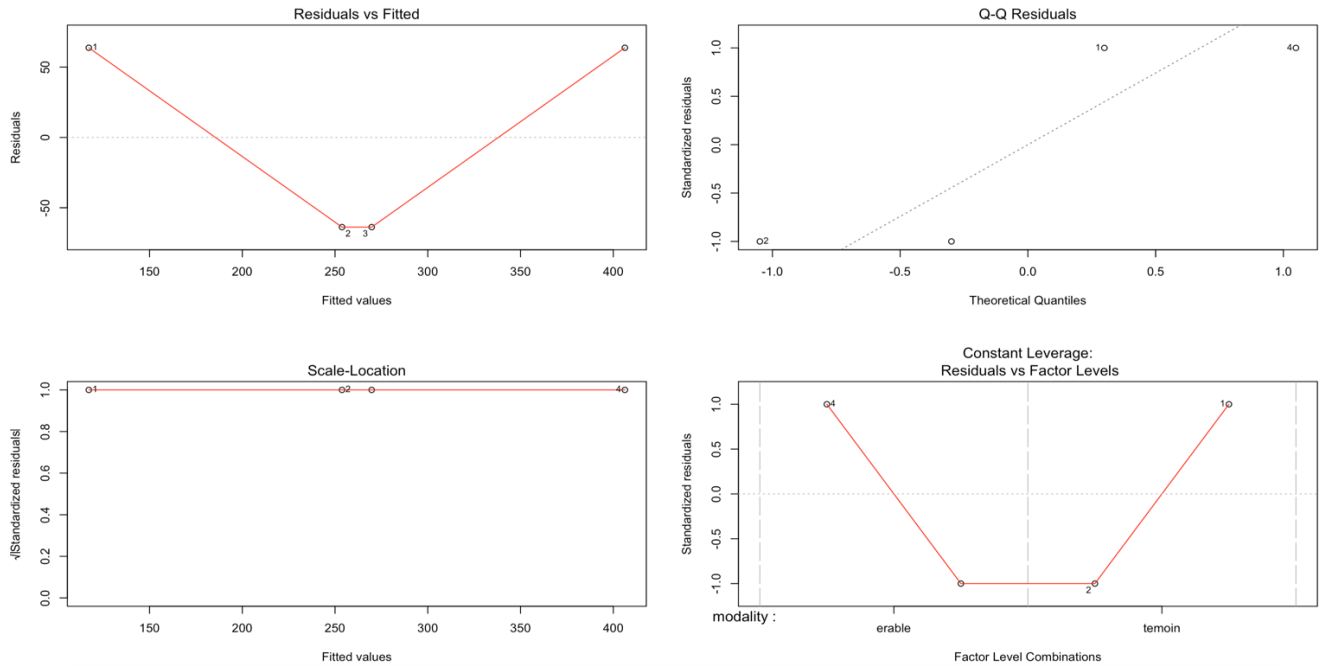


```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  72.25   72.25  1.284  0.460
location  1  12.25   12.25  0.218  0.722
Residuals 1  56.25   56.25
```

Pollinisateurs

```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality+location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1 23256  23256  1.431  0.443
location  1 18632  18632  1.146  0.478
Residuals  1 16256  16256
```



Juillet

```
> View(juillet_23)
```

year	month	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2023	juillet	temoin	haut	3	22	39	0
2023	juillet	temoin	bas	3	15	56	0
2023	juillet	erable	haut	2	20	60	0
2023	juillet	erable	bas	10	44	55	0

```
> data <- juillet_23
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
```

```

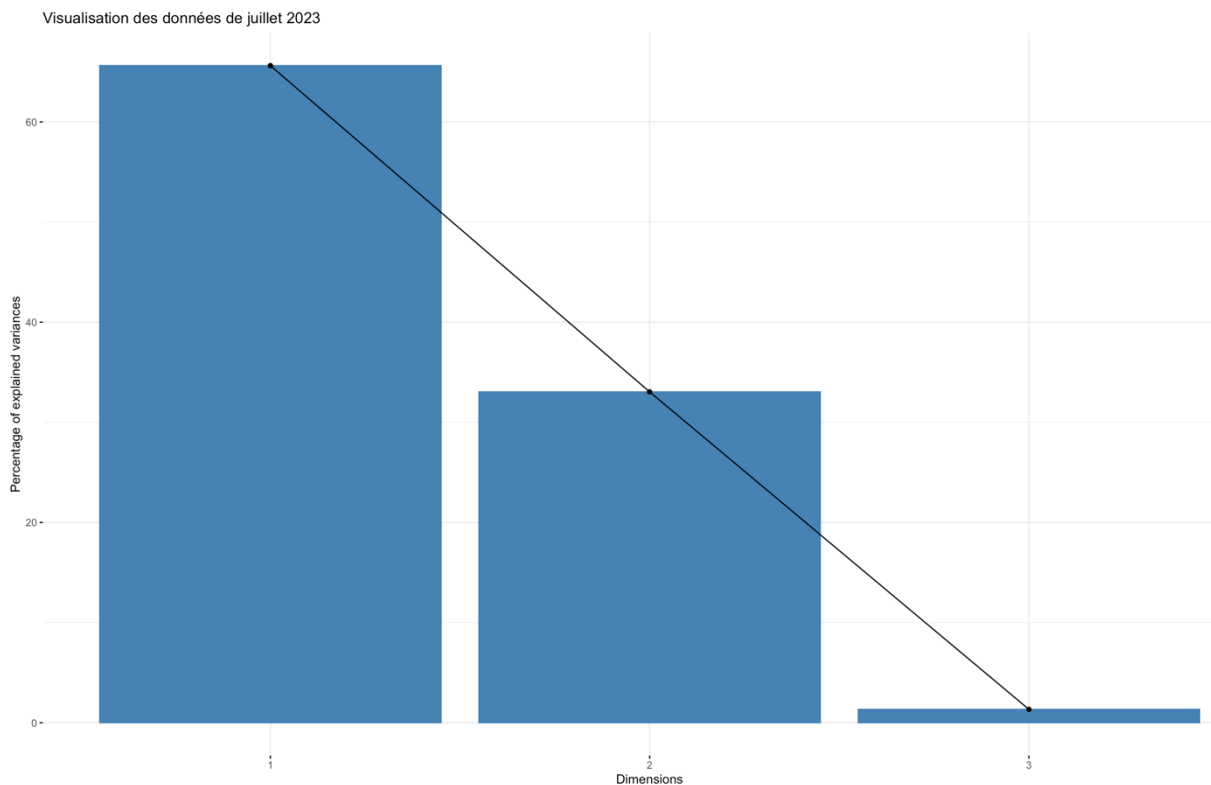
> data.acp <- data[,-c(1,2)]
> summary(data.acp)
  modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre      moda_loca
Length:4      Length:4      Min. : 2.00      Min. :15.00      Min. :39.0      Min. :0      erable bas :1
Class :character Class :character 1st Qu.: 2.75      1st Qu.:18.75      1st Qu.:51.0      1st Qu.:0      erable haut:1
Mode :character  Mode :character Median : 3.00      Median :21.00      Median :55.5      Median :0      temoin bas :1
                                          Mean : 4.50      Mean :25.25      Mean :52.5      Mean :0      temoin haut:1
                                          3rd Qu.: 4.75      3rd Qu.:27.50      3rd Qu.:57.0      3rd Qu.:0
                                          Max. :10.00      Max. :44.00      Max. :60.0      Max. :0

> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2,7), graph = FALSE)
> acp$eig
      eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 1.96865592      65.621864      65.62186
comp 2 0.99127061      33.042354      98.66422
comp 3 0.04007347       1.335782      100.00000
    
```

Les deux premiers axes expliquent 99 % de la variance du modèle

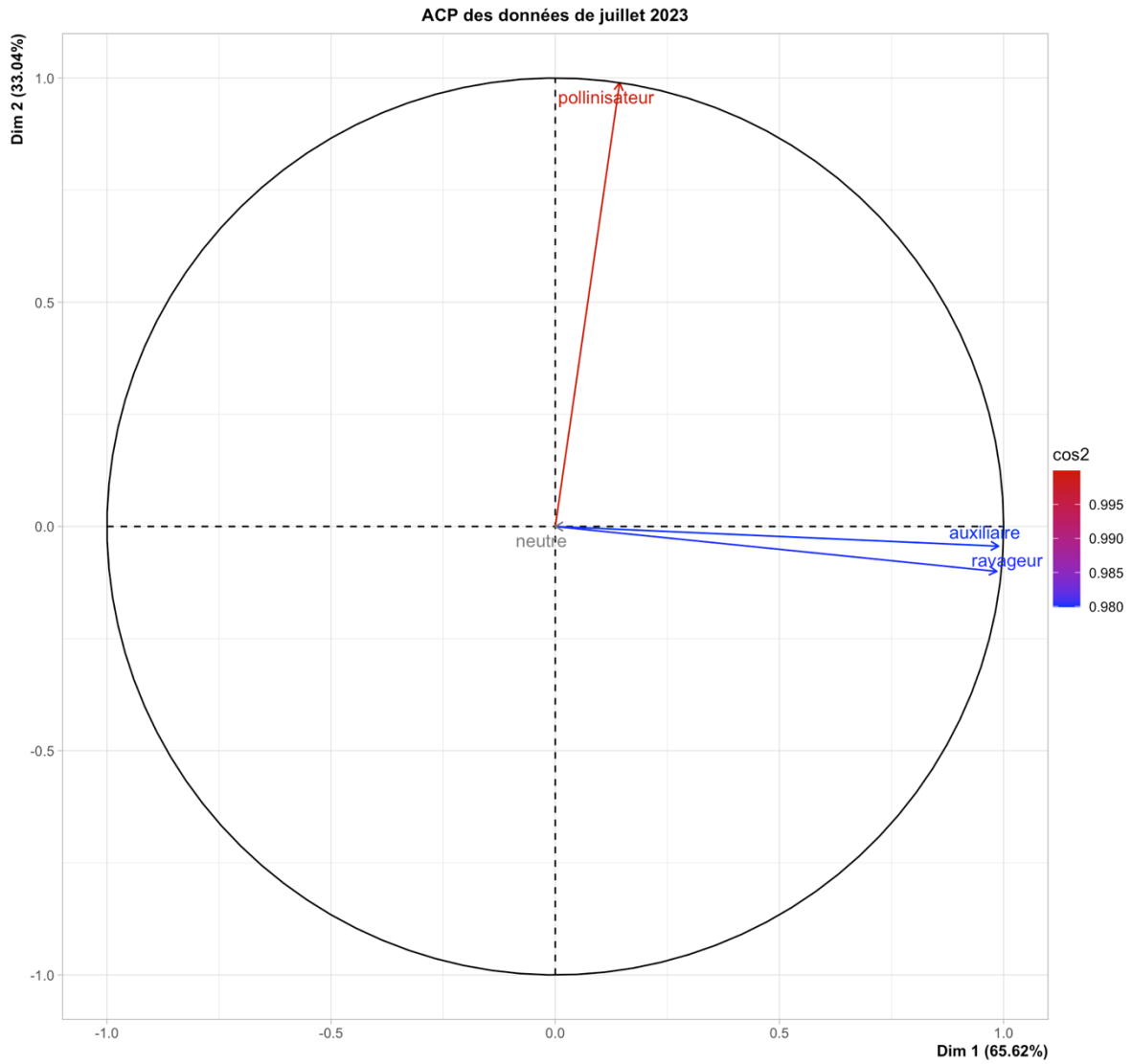
```

> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données de juillet 2023")
    
```



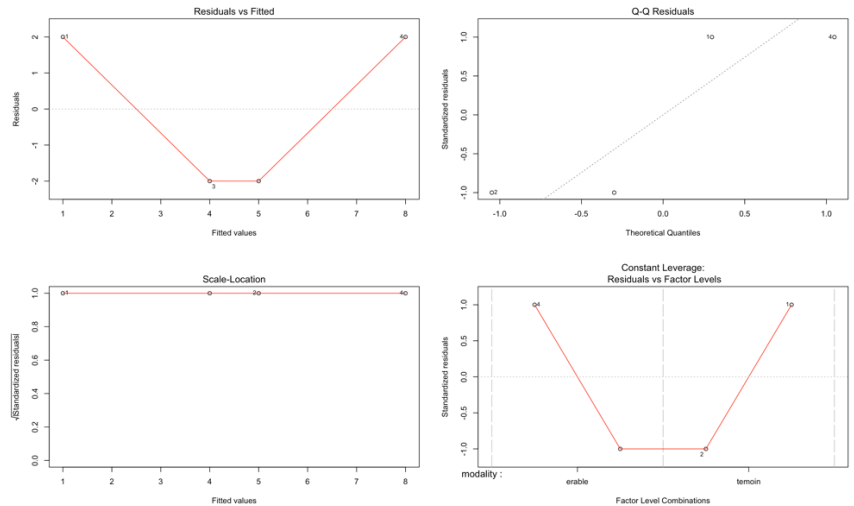
```

> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de juillet 2023")
    
```



Auxiliaires

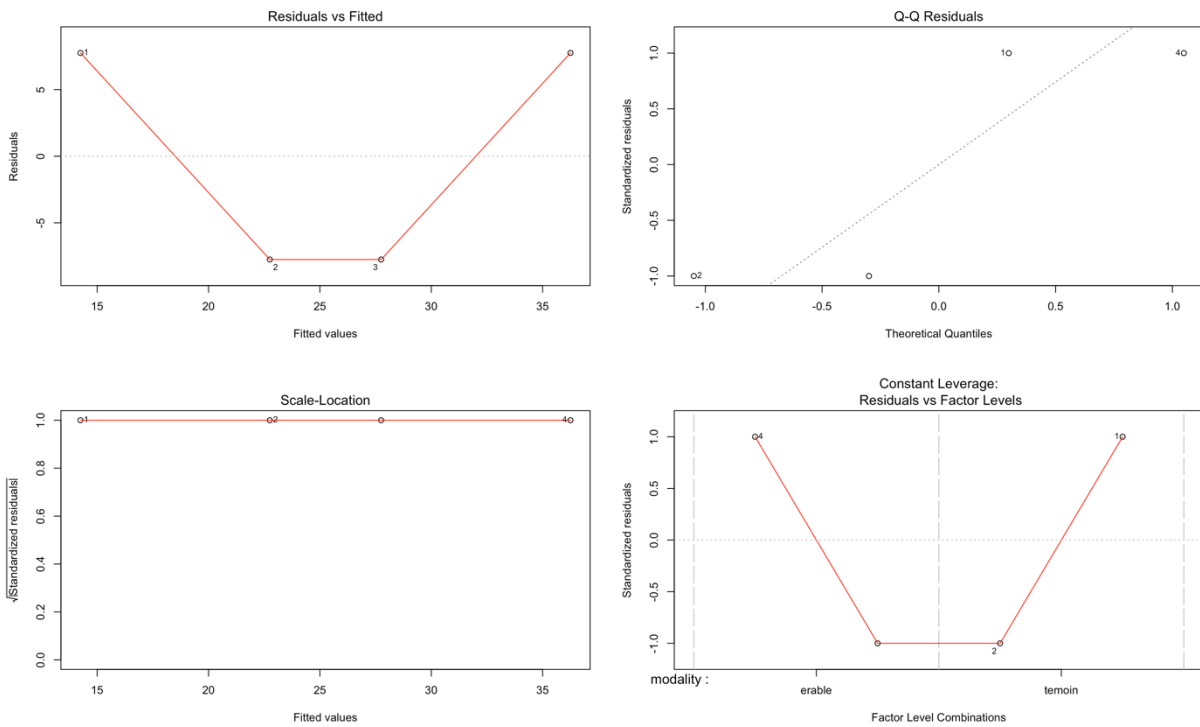
```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1    9    9  0.562  0.59
location  1   16   16  1.000  0.50
Residuals 1   16   16
```

Ravageurs

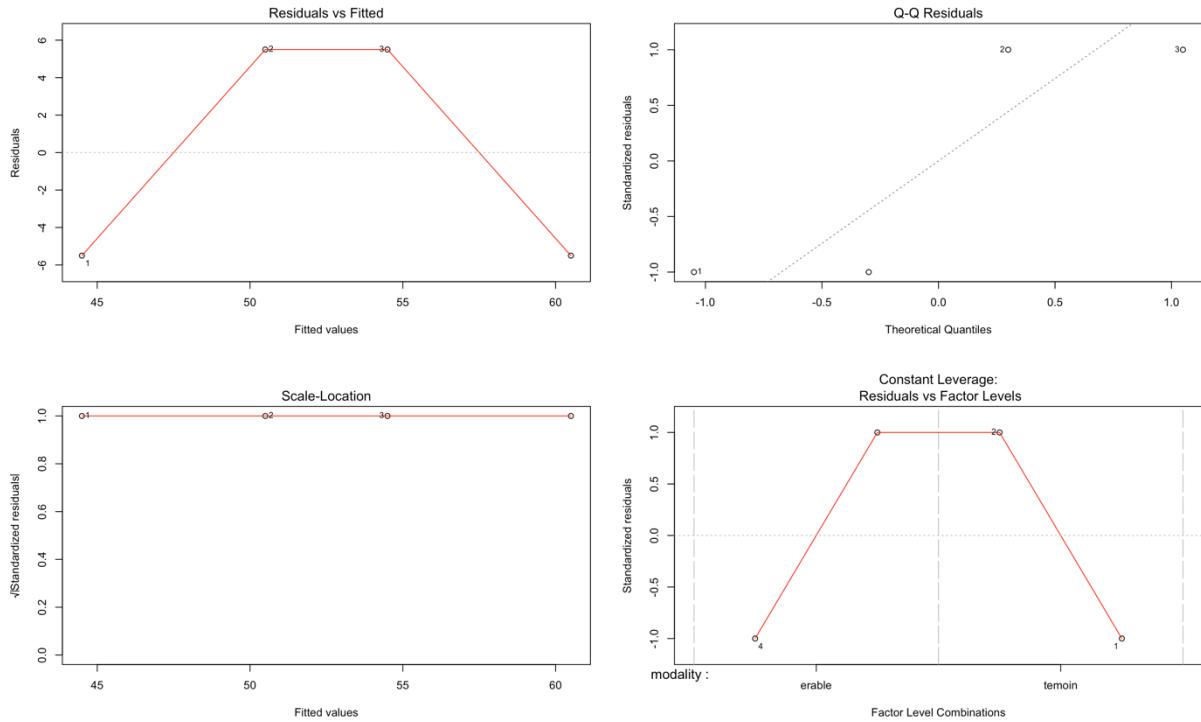
```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1 182.25 182.25  0.759  0.544
location  1  72.25  72.25  0.301  0.681
Residuals 1 240.25 240.25
```

Pollinisateur

```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1  100    100  0.826  0.530
location  1   36     36  0.298  0.682
Residuals 1  121    121
```

Total

```
> View(somme23)
```

year	modality	location	auxiliaire	ravageur	pollinisateur	neutre
2023	temoin	haut	78	47	311	50
2023	temoin	bas	44	34	388	31
2023	erable	haut	72	26	367	51
2023	erable	bas	114	55	647	67

```
> data <- somme23
> data.acp <- data[, -c(1)]
> data$moda_loca <- as.factor(paste(data$modality, data$location))
> summary(data.acp)
  modality      location      auxiliaire      ravageur      pollinisateur      neutre
Length:4      Length:4      Min.   : 44      Min.   :26.0      Min.   :311.0      Min.   :31.00
Class :character Class :character 1st Qu.: 65      1st Qu.:32.0      1st Qu.:353.0      1st Qu.:45.25
Mode  :character Mode  :character Median : 75      Median :40.5      Median :377.5      Median :50.50
                                Mean  : 77      Mean  :40.5      Mean  :428.2      Mean  :49.75
                                3rd Qu.: 87      3rd Qu.:49.0      3rd Qu.:452.8      3rd Qu.:55.00
                                Max.  :114      Max.  :55.0      Max.  :647.0      Max.  :67.00
```

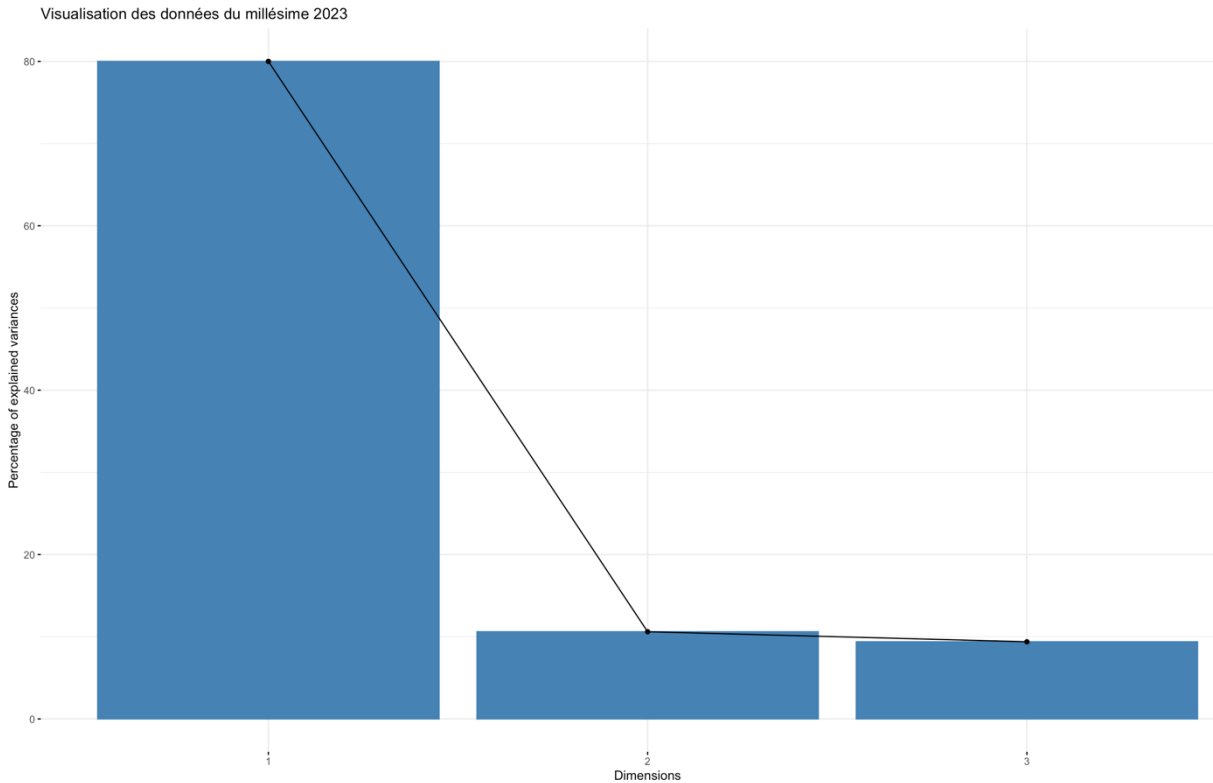
```
> acp <- PCA(data.acp, quali.sup = c(1,2), graph = FALSE)
```

```
> acp$eig
```

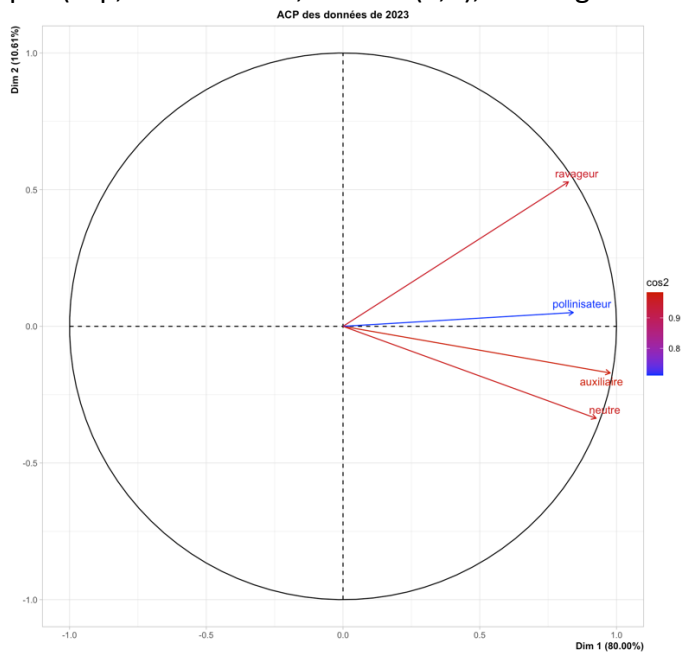
	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	3.1999791	79.999478	79.99948
comp 2	0.4244076	10.610190	90.60967
comp 3	0.3756133	9.390332	100.00000

Les deux premières dimensions expliquent 91 % de la variance du modèle

```
> fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données du millésime 2023")
```

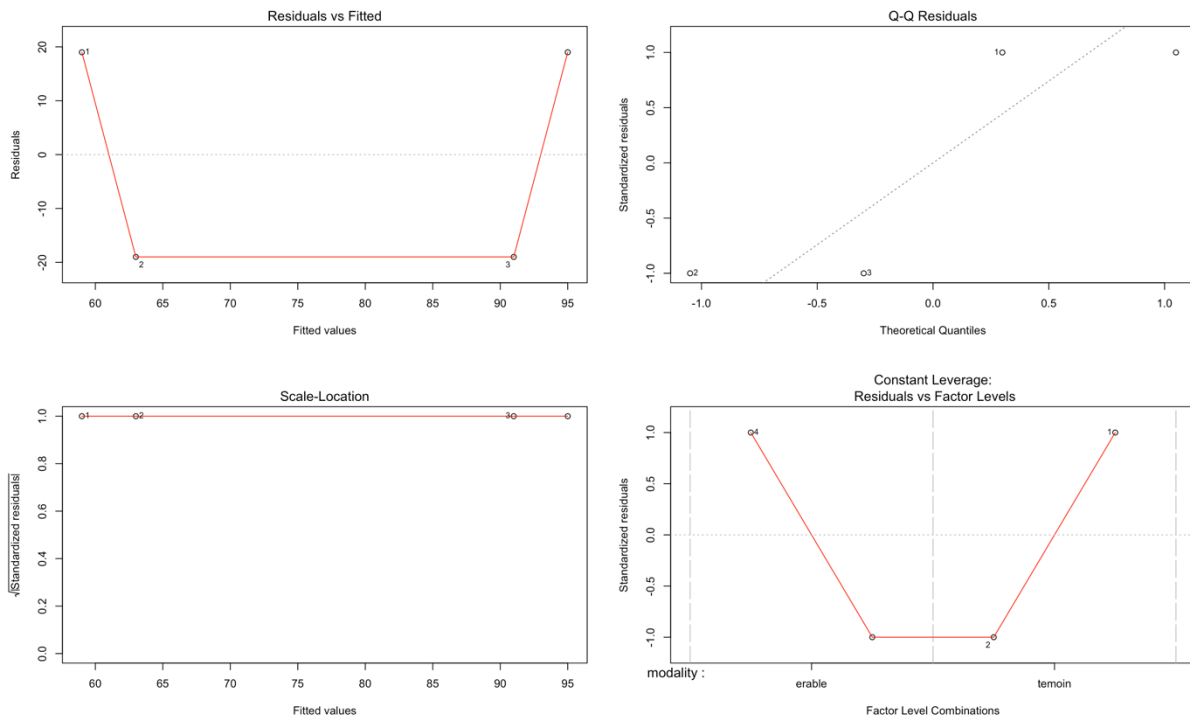


```
> plot(acp, choix = "var", axes = c(1,2), habillage = "cos2", title = "ACP des données de 2023")
```



Auxiliaires

```
> mymodel <- aov(auxiliaire ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```

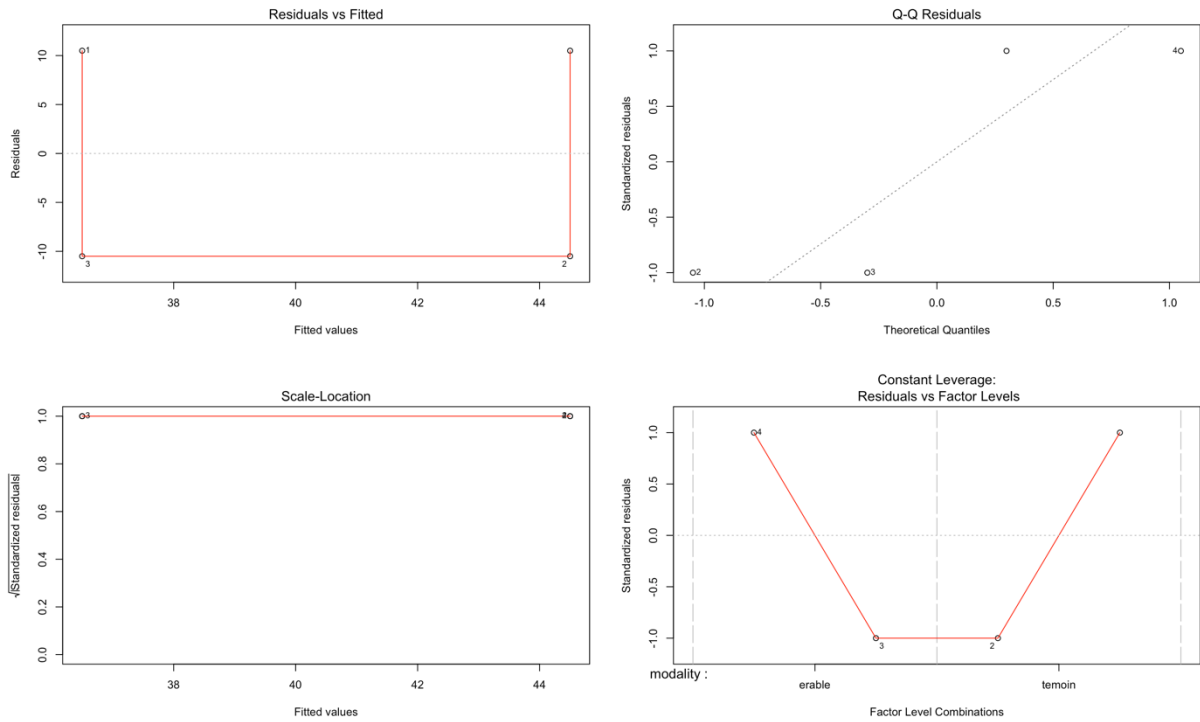


```
> summary(mymodel)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1 1024  1024  0.709  0.554
location  1   16   16  0.011  0.933
Residuals 1 1444  1444
```

Ravageurs

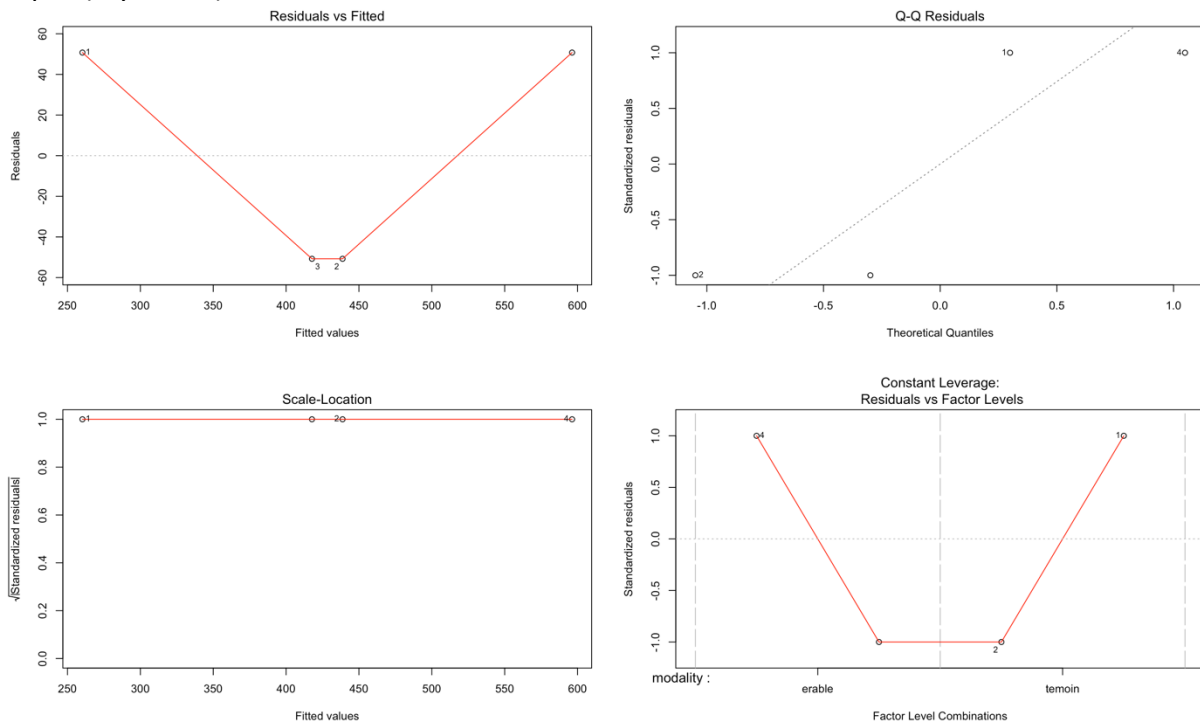
```
> mymodel <- aov(ravageur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
> summary(mymodel)
```

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
modality  1   0   0  0.000  1.000
location  1  64  64  0.145  0.768
Residuals 1 441  441
```

Pollinisateurs

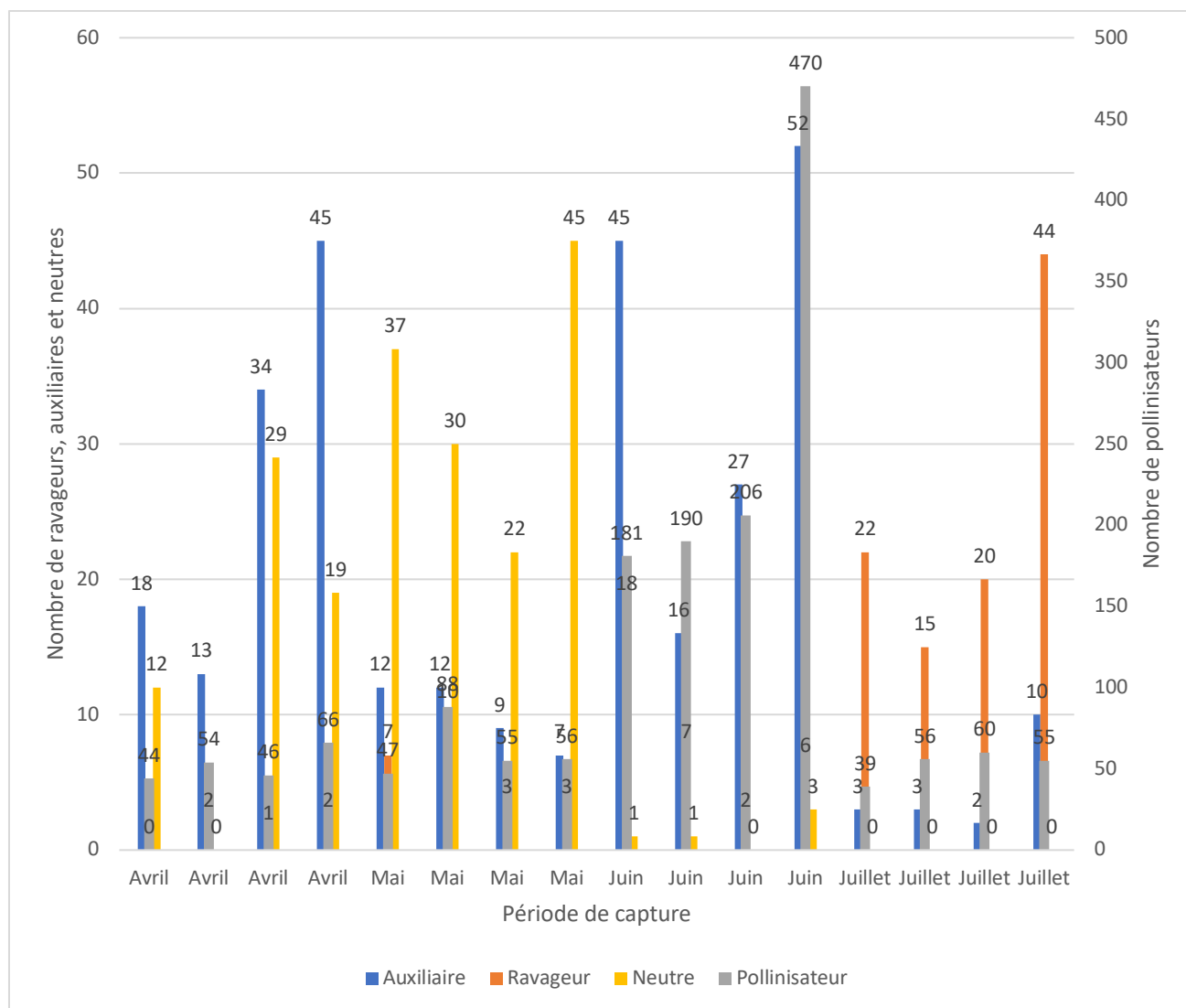
```
> mymodel <- aov(pollinisateur ~ modality + location, data = data.acp)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel)
```



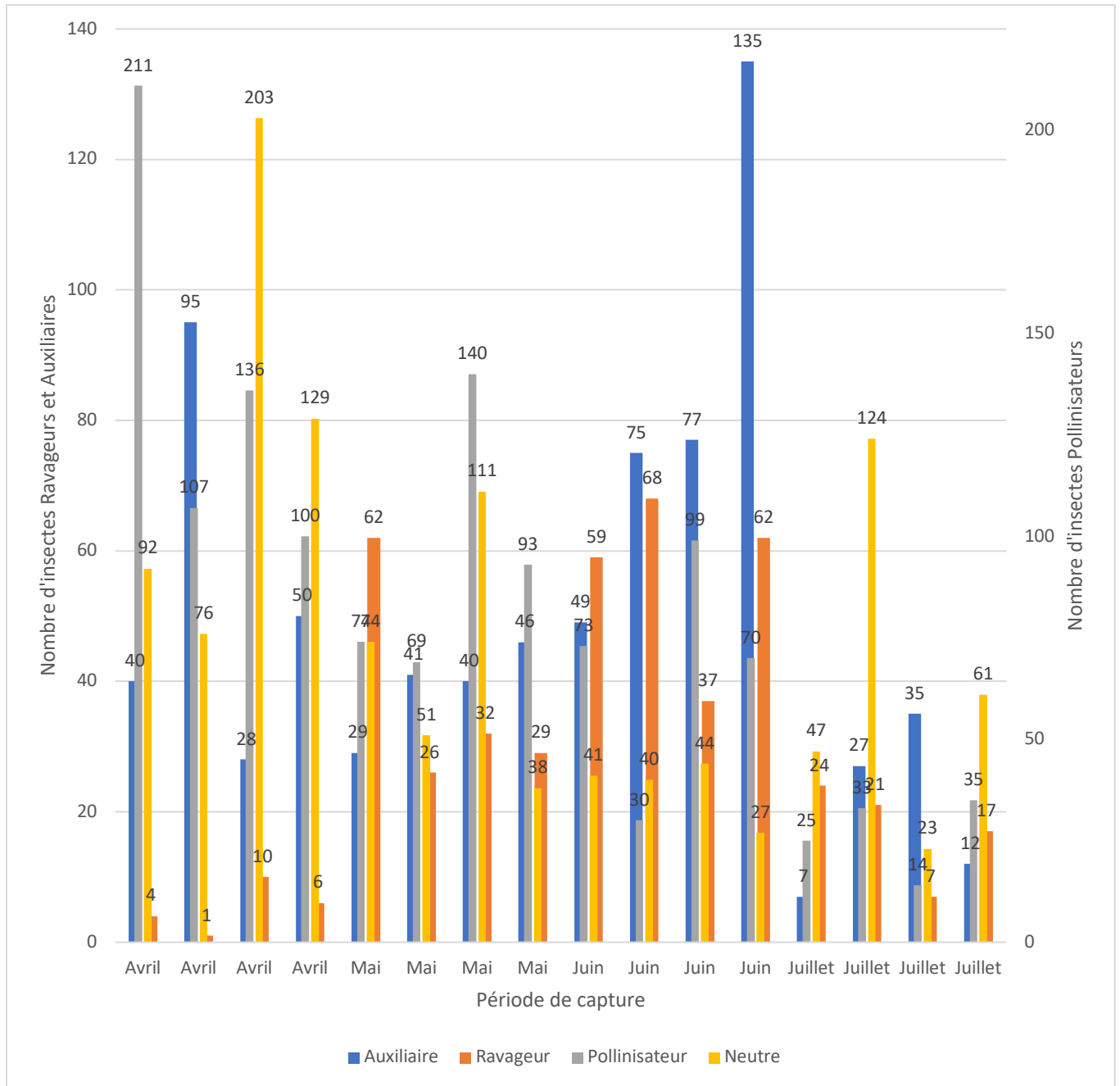
```
> summary(mymodel)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
modality	1	24806	24806	2.408	0.364
location	1	31862	31862	3.093	0.329
Residuals	1	10302	10302		

ANNEXE II : DETAIL DES CAPTURES D'INSECTES DE LA PARCELLE PETIT SABLONNET PAR MOIS ET PAR ANNEE

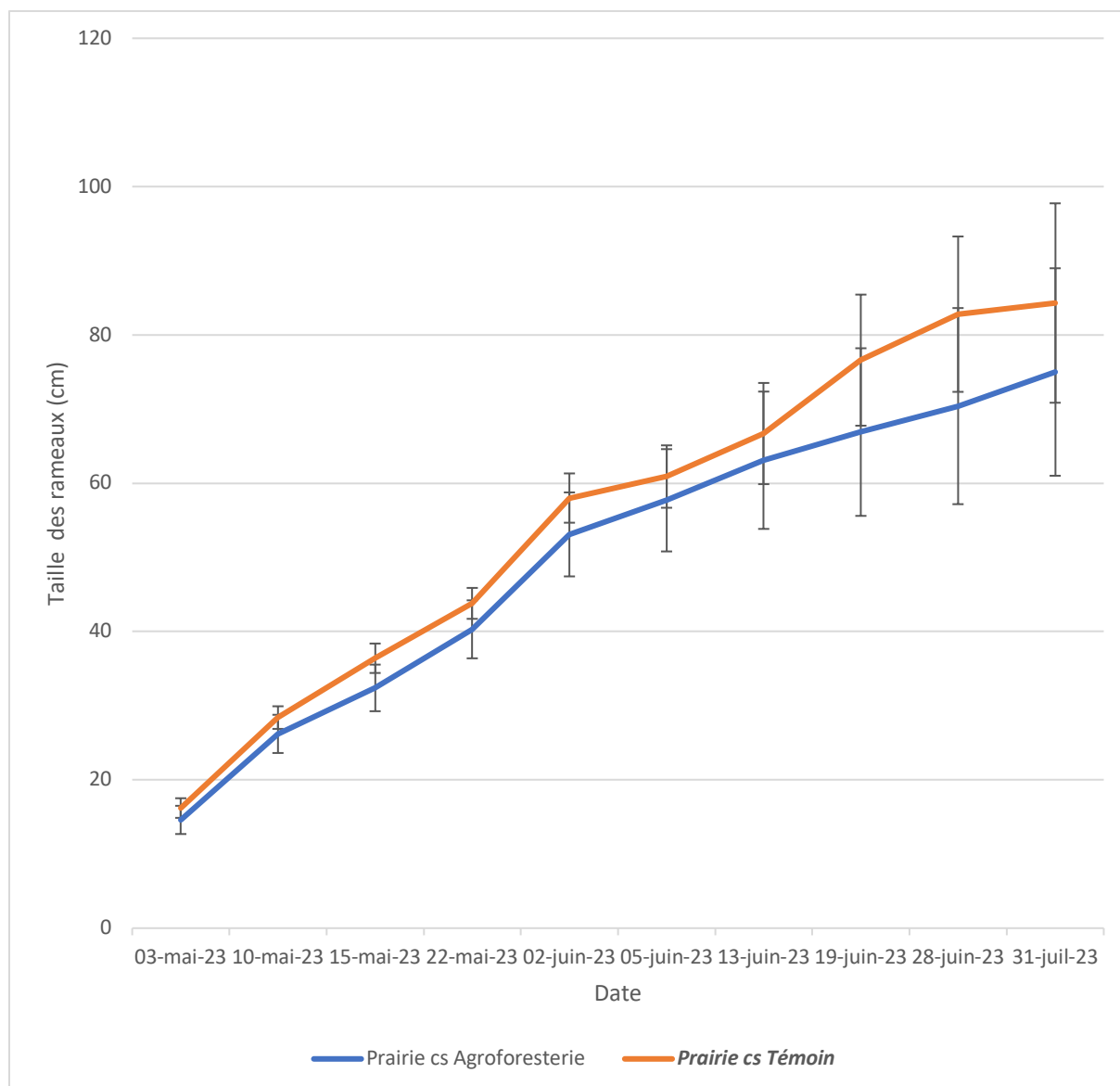


Histogramme des quantités d'insectes (à gauche : ravageurs, auxiliaires, neutres et à droite : pollinisateurs) des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet en fonction des dates de capture du millésime 2023

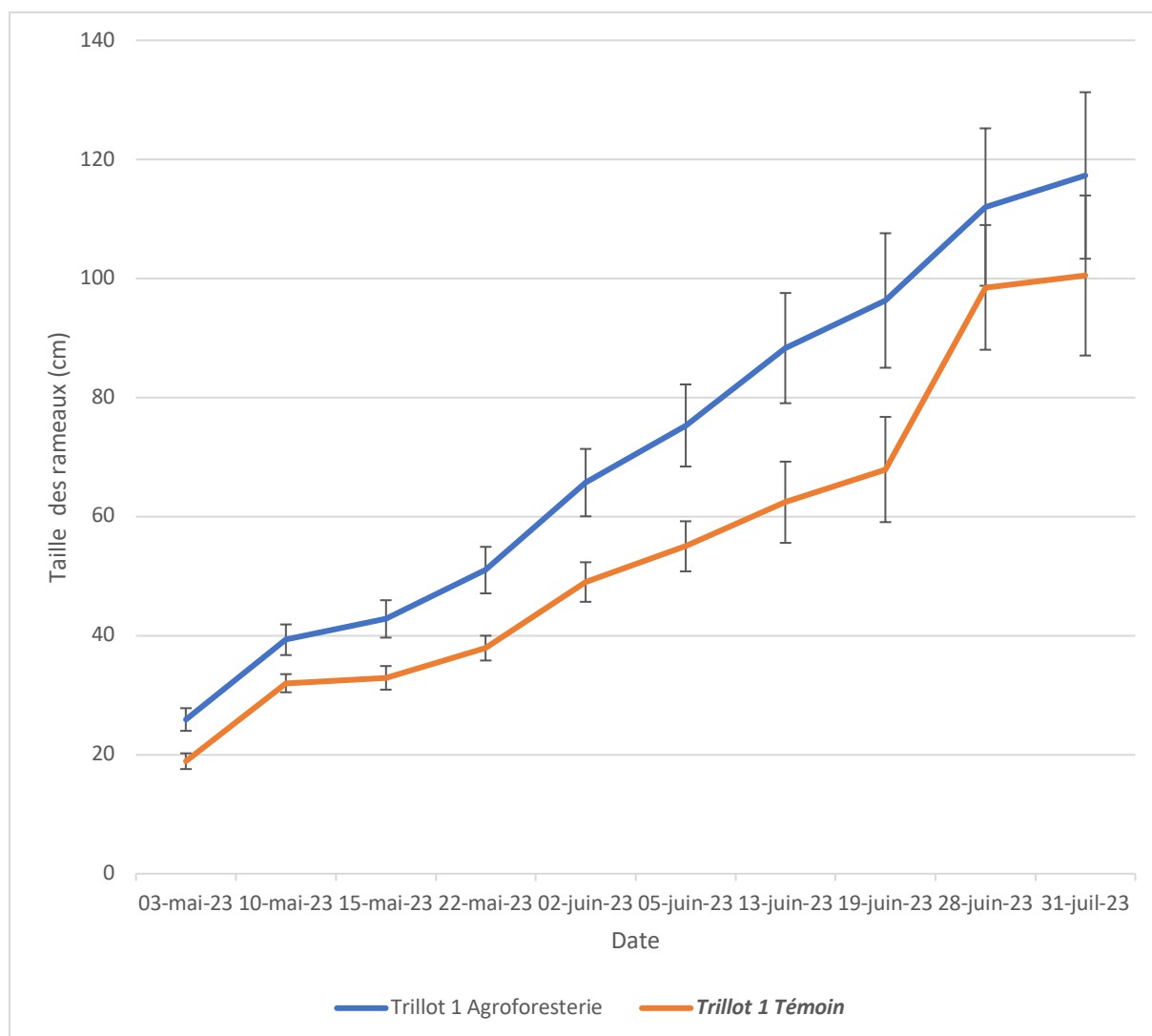


Histogramme des quantités d'insectes (à gauche : ravageurs, auxiliaires, neutres et à droite : pollinisateurs) des deux modalités de la parcelle Petit Sablonnet en fonction des dates de capture du millésime 2022

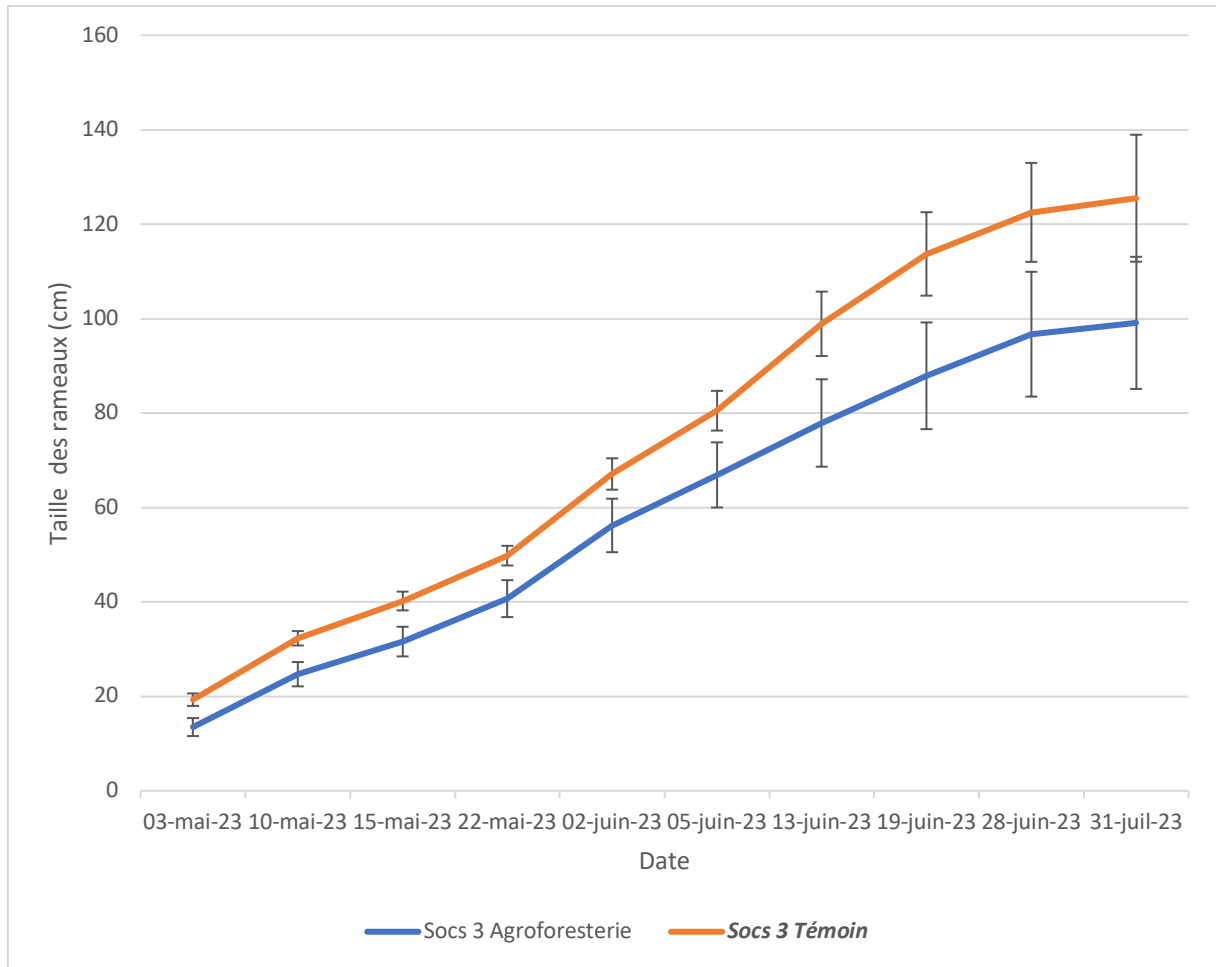
ANNEXE III : ÉTUDE DES COURBES DE CROISSANCE MOYENNES DES RAMEAUX DES MODALITES TEMOIN ET AGROFORESTERIE



Courbe des moyennes de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Prairie CS en fonction des dates de mesures du millésime 2023



Courbe des moyennes de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Trillot 1 en fonction des dates de mesures du millésime 2023

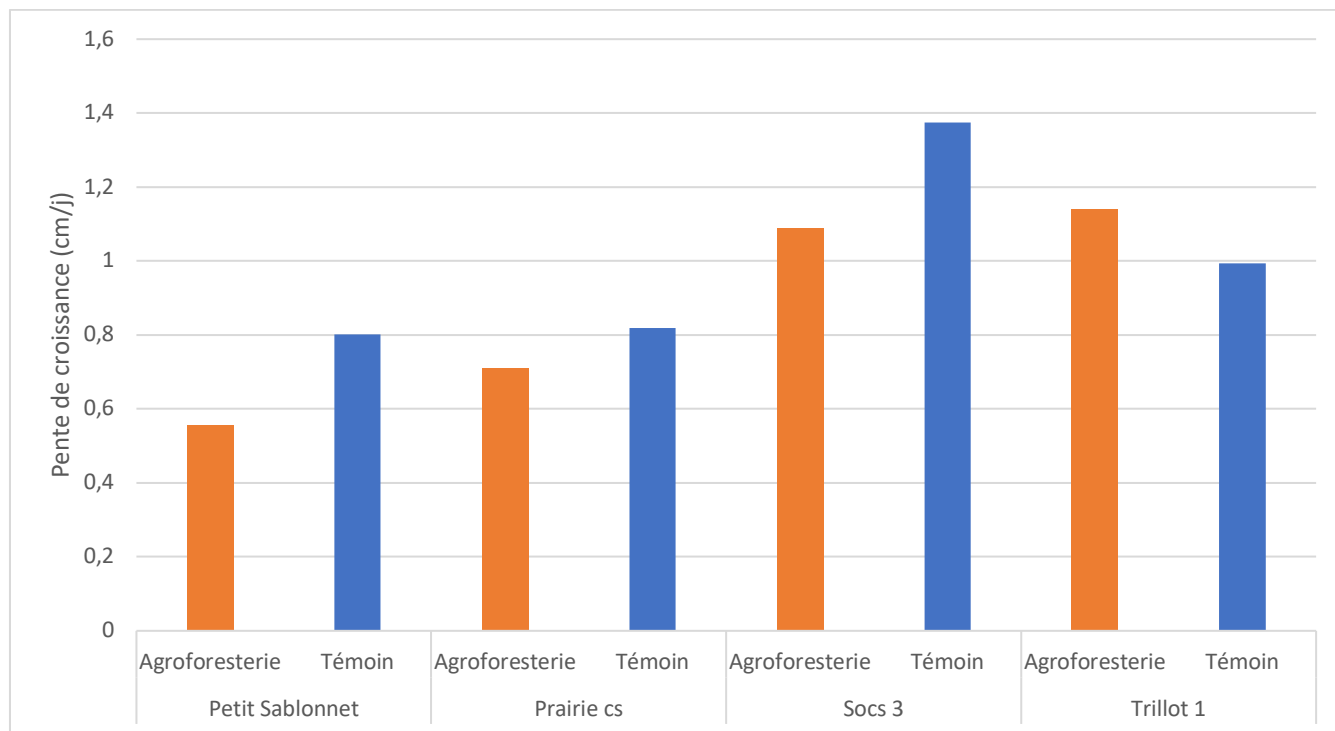


Courbe des moyennes de croissance des rameaux des deux modalités de la parcelle Socs 3 en fonction des dates de mesures du millésime 2023

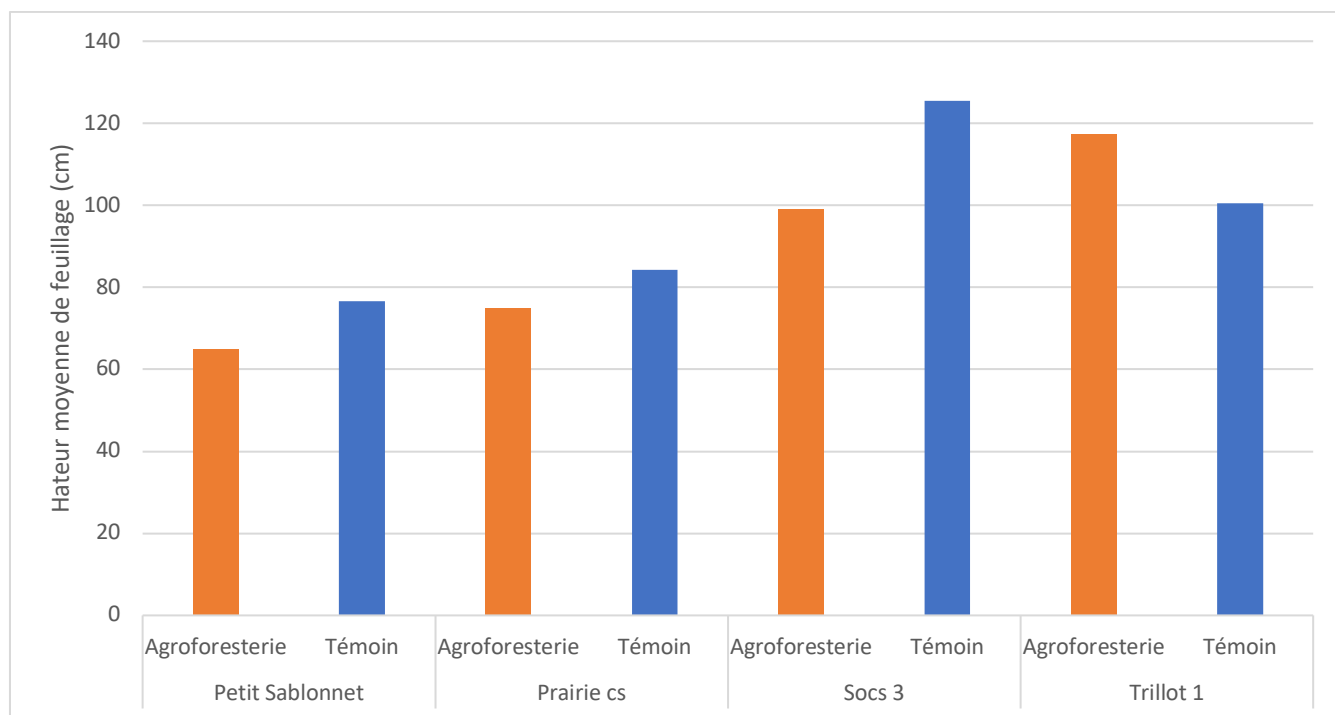
ANNEXE IV : ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES DE CROISSANCE DE RAMEAUX

2023 – Petit Sablonnet / Prairie CS / Trillot 1 / Socs 3

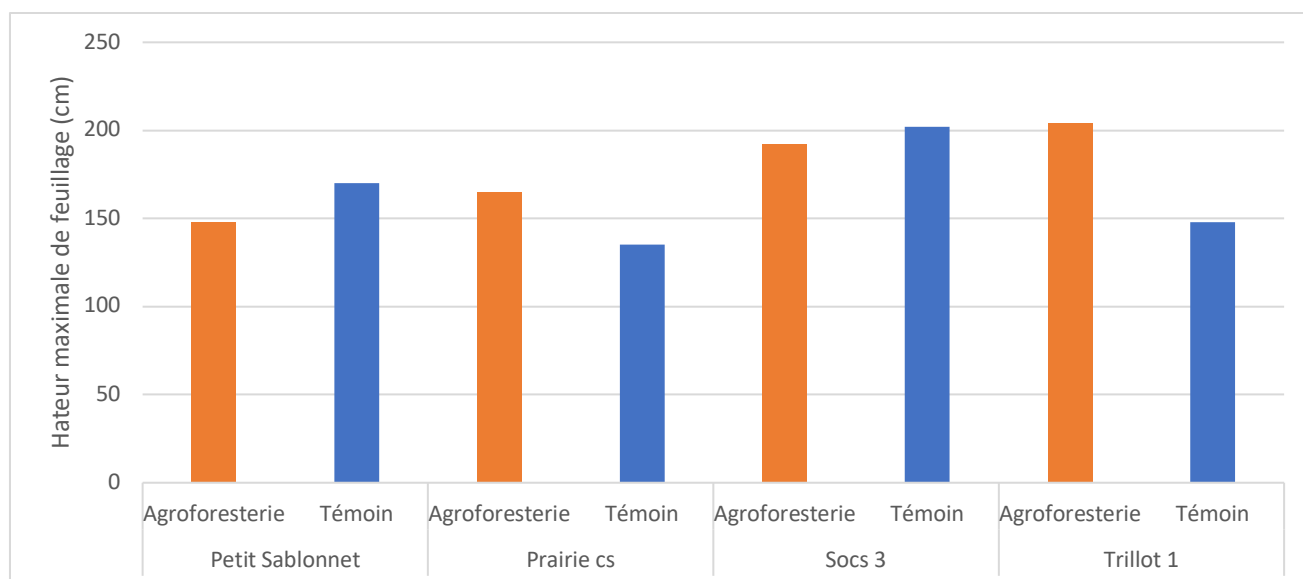
Projection graphique des données de croissance :



Histogramme des pentes de croissance du millésime 2023



Histogramme des hauteurs moyennes de croissance du millésime 2023



Histogramme des hauteurs maximales de feuillage lors du millésime 2023

Jeu de données :

```
> library(readr)
> dataAGroF23 <- read_delim("Desktop/Latour/AF 23/dataAGroF23.csv",
+   delim = ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
+   trim_ws = TRUE)
Rows: 9 Columns: 14
— Column specification
```

Delimiter: ";"
 chr (2): parcelle, moda
 dbl (12): 03-mai-23, 10-mai-23, 15-mai-23, 22-mai-23, 02-juin-23, 05-juin-23, 13-juin-23, 19-juin-23, 2...

```
> View(dataAGroF23)
```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	parcelle	placette	moda	03-mai-23	10-mai-23	15-mai-23	22-mai-23	02-juin-23	05-juin-23	13-juin-23	19-juin-23	28-juin-23	31-juil-23	pen	hfmo	hfmax
2	petit sablonr	r104	agrof	11,2	21,8	27,5	35,6	47,4	53,4	62,6	65,4	71,6	81,4	1,1	47,79	142
3	petit sablonr	r105	agrof	9,6	18,4	19,1	23,8	26	26	27,2	27,2	31	47,6	0,31	25,57	68
4	petit sablonr	r106	agrof	22,1	31,2	36,9	50,2	50,9	55	56	56,6	56,8	66,2	0,61	48,19	89
5	petit sablonr	r107	agrof	11,9	23,2	30,2	36,7	43,9	42,4	43,5	41,4	48,8	62,8	0,56	38,48	87
6	petit sablonr	r108	agrof	15,8	24,8	29,7	36	43,2	49,6	56,8	61,2	66,6	66,8	0,91	45,05	148
7	petit sablonr	r155	temoin	19,4	30,3	35,1	42,8	56,6	59,2	64,4	66,1	68,4	77,6	0,91	51,99	137
8	petit sablonr	r156	temoin	6,7	18	23,5	31,2	60,8	71,9	84,6	98,2	109	119,2	1,95	62,31	167
9	petit sablonr	r157	temoin	13,9	27,1	29,2	37,5	47	50,7	55,8	57	58,4	63,4	0,8	44	99
10	petit sablonr	r158	temoin	12,1	26,1	31,4	40,2	72,4	80,2	93,4	97	102,8	103	1,78	65,86	170
11	petit sablonr	r159	temoin	7,8	11,5	15	19,7	27,6	28,6	29,6	31,2	32,2	42,4	0,47	24,56	58
12	prairie cs	r20	agrof	14,3	26,7	32,4	43	61	65	73,2	80,8	84,8	86,4	1,32	56,76	165
13	prairie cs	r34	agrof	18,9	30,7	36,3	43,7	54,7	61,2	67	71,2	72,8	79,2	0,99	53,57	102
14	prairie cs	r62	agrof	10,5	21,2	28,5	34,1	43,7	46,9	49	48,6	53,6	59,4	0,74	39,55	73
15	prairie cs	r20	temoin	21	32,1	40,1	54,3	70,2	71,2	81,2	108,4	109	110,2	1,63	69,77	135
16	prairie cs	r34	temoin	12,6	27,8	33,4	35,1	44,7	51,2	54,2	56,8	72,8	73,6	0,93	46,22	114
17	prairie cs	r62	temoin	15	25,2	35,8	41,9	59	60,2	64,7	64,6	66,6	69	0,96	50,2	111
18	socs 3	r21	agrof	11,92	21,7	28,2	36,5	49,1	58,4	66,6	74,6	81,6	85,6	1,28	51,422	131
19	socs 3	r35	agrof	15,3	28,7	36,3	47	64,9	76,4	87,9	100,3	110	111	1,74	67,78	192
20	socs 3	r7	agrof	13,3	23,7	30,2	38,7	54,5	65,8	79,2	88,8	98,4	100,6	1,58	59,32	176
21	socs 3	r35	temoin	18,1	31,3	42	53	78,4	97,4	120,4	140,6	152	173,4	2,55	90,66	201
22	socs 3	r21	temoin	24,9	41,6	50,3	61,9	85,6	102,2	123,6	151,2	155,6	157,6	2,49	95,45	206
23	socs 3	r7	temoin	13,6	23	30,1	37,7	48,6	58,7	74,2	76,2	89,4	93,4	1,37	54,49	196
24	trillot 1	r18	agrof	25	35,6	39,2	45,6	54,2	61,8	71,6	77,8	108,8	110,2	1,31	62,98	201
25	trillot 1	r4	agrof	30,7	47,9	52,6	63,1	91	100,6	120,4	131,8	139,1	146,6	2,06	92,38	197
26	trillot 1	r46	agrof	21,9	34,4	36,6	44,3	71,9	63,4	73	79,2	88	95	1,19	60,77	204
27	trillot 1	r18	temoin	19,2	28,2	31,2	35,8	47,2	52,4	57,4	65,8	102,6	104,4	1,25	54,42	148
28	trillot 1	r4	temoin	20,5	39,7	36,2	41,1	47,1	48,9	55,8	58,6	98,4	101,2	1,01	54,75	126
29	trillot 1	r46	temoin	17	28,1	31,4	36,7	52,8	63,8	74	79,4	94,6	96	1,39	57,38	134


```
> data <- dataAGroF23
> attach(data)
```

Rôle de la parcelle et de la modalité sur la pente de croissance

```
> modele_lm <- lm(pente ~ moda + parcelle, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: pente

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
moda	1	0.5130	0.51300	2.4352	0.132293
parcelle	3	3.2412	1.08041	5.1287	0.007311 **
Residuals	23	4.8452	0.21066		

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

Rôle de la parcelle et de la modalité sur la Hauteur finale moyenne

```
> modele_lm <- lm(hfmoy ~ moda + parcelle, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: hfmoy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
moda	1	187.5	187.45	0.8986	0.35302
parcelle	3	2708.3	902.76	4.3274	0.01473 *
Residuals	23	4798.2	208.62		

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

Rôle de la parcelle et de la modalité sur la hauteur finale max

```
> modele_lm <- lm(hfmax ~ moda + parcelle, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: hfmax

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
moda	1	26	26.0	0.0197	0.889585
parcelle	3	24930	8310.2	6.2897	0.002828 **
Residuals	23	30388	1321.2		

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

Anova à 1 facteur par parcelle et modalité :



Petit Sablonnet 2023

Jeu de données :

	parcelle	placette	moda	03-mai-23	10-mai-23	15-mai-23	22-mai-23	02-juin-23	05-juin-23	13-juin-23	19-juin-23	28-juin-23	31-juil-23	pen	hfmoy	hfmax
1	petit sablonnet	r104	agrof	11.2	21.8	27.5	35.6	47.4	53.4	62.6	65.4	71.6	81.4	1.10	47.79	142
2	petit sablonnet	r105	agrof	9.6	18.4	19.1	23.8	26.0	26.0	27.0	27.2	31.0	47.6	0.31	25.57	68
3	petit sablonnet	r106	agrof	22.1	31.2	36.9	50.2	50.9	55.0	56.0	56.6	56.8	66.2	0.61	48.19	89
4	petit sablonnet	r107	agrof	11.9	23.2	30.2	36.7	43.9	42.4	43.5	41.4	48.8	62.8	0.56	38.48	87
5	petit sablonnet	r108	agrof	15.8	24.8	29.7	36.0	43.2	49.6	56.8	61.2	66.6	66.8	0.91	45.05	148
6	petit sablonnet	r155	temoin	19.4	30.3	35.1	42.8	56.6	59.2	64.4	66.1	68.4	77.6	0.91	51.99	137
7	petit sablonnet	r156	temoin	6.7	18.0	23.5	31.2	60.8	71.9	84.6	98.2	109.0	119.2	1.95	62.31	167
8	petit sablonnet	r157	temoin	13.9	27.1	29.2	37.5	47.0	50.7	55.8	57.0	58.4	63.4	0.80	44.00	99
9	petit sablonnet	r158	temoin	12.1	26.1	31.4	40.2	72.4	80.2	93.4	97.0	102.8	103.0	1.78	65.86	170
10	petit sablonnet	r159	temoin	7.8	11.5	15.0	19.7	27.6	28.6	29.6	31.2	32.2	42.4	0.47	24.56	58

```
> library(readr)
> PS23 <- read_delim("Desktop/Latour/AF 23/PS23.csv",
+   delim = ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
+   trim_ws = TRUE)
Rows: 10 Columns: 16
— Column specification
```

```
Delimiter: ";"
chr (3): parcelle, placette, moda
dbl (13): 03-mai-23, 10-mai-23, 15-mai-23, 22-mai-23, 02-juin-23, 05-juin-23, 13-juin-23, 19-juin-23, 28-juin-23, 31-juil-23...
```

 Use `spec()` to retrieve the full column specification for this data.
 Specify the column types or set `show_col_types = FALSE` to quiet this message.

```
> View(PS23)
> data <- PS23
> attach(data)
> modele_lm <- lm(pente ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: pente
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 0.58564 0.58564  2.2764 0.1698
Residuals  8 2.05816 0.25727
```

```
> modele_lm <- lm(hfmoy ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
```

```
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: hfmoy
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 190.44  190.44  1.0518 0.3351
Residuals 8 1448.54 181.07
```

```
> modele_lm <- lm(hfmax ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: hfmax
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1  940.9  940.9  0.5285 0.4879
Residuals 8 14241.6 1780.2
```

PCS :

Jeu de données :

parcelle	placette	moda	03-mai-23	10-mai-23	15-mai-23	22-mai-23	02-juin-23	05-juin-23	13-juin-23	19-juin-23	28-juin-23	31-juil-23	penne	hfmoy	hfmax
prairie cs	r20	agrof	14.3	26.7	32.4	43.0	61.0	65.0	73.2	80.8	84.8	86.4	1.32	56.76	165
prairie cs	r34	agrof	18.9	30.7	36.3	43.7	54.7	61.2	67.0	71.2	72.8	79.2	0.99	53.57	102
prairie cs	r62	agrof	10.5	21.2	28.5	34.1	43.7	46.9	49.0	48.6	53.6	59.4	0.74	39.55	73
prairie cs	r20	temoin	21.0	32.1	40.1	54.3	70.2	71.2	81.2	108.4	109.0	110.2	1.63	69.77	135
prairie cs	r34	temoin	12.6	27.8	33.4	35.1	44.7	51.2	54.2	56.8	72.8	73.6	0.93	46.22	114
prairie cs	r62	temoin	15.0	25.2	35.8	41.9	59.0	60.2	64.7	64.6	66.6	69.0	0.96	50.20	111

Pente / HFmax / HFmoy

```
data <- PCS23
> modele_lm <- lm(penne ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: penne
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 0.03682 0.036817 0.3052 0.6101
Residuals 4 0.48253 0.120633
```

```
> modele_lm <- lm(hfmoy ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: hfmoy

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1  44.34  44.336  0.3653 0.5782
Residuals 4 485.45 121.362
```

```
> modele_lm <- lm(hfmax ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: hfmax

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1   66.7   66.67  0.0559 0.8246
Residuals 4 4766.7 1191.67
```

Trillot 1 :

Jeu de données :

```
> View(trillot1)
```

parcelle	placette	moda	03-mai-23	10-mai-23	15-mai-23	22-mai-23	02-juin-23	05-juin-23	13-juin-23	19-juin-23	28-juin-23	31-juil-23	pen	hfmoy	hfmax
trillot 1	r18	agrof	25.0	35.6	39.2	45.6	54.2	61.8	71.6	77.8	108.8	110.2	1.31	62.98	201
trillot 1	r4	agrof	30.7	47.9	52.6	63.1	91.0	100.6	120.4	131.8	139.1	146.6	2.06	92.38	197
trillot 1	r46	agrof	21.9	34.4	36.6	44.3	71.9	63.4	73.0	79.2	88.0	95.0	1.19	60.77	204
trillot 1	r18	temoin	19.2	28.2	31.2	35.8	47.2	52.4	57.4	65.8	102.6	104.4	1.25	54.42	148
trillot 1	r4	temoin	20.5	39.7	36.2	41.1	47.1	48.9	55.8	58.6	98.4	101.2	1.01	54.75	126
trillot 1	r46	temoin	17.0	28.1	31.4	36.7	52.8	63.8	74.0	79.4	94.6	96.0	1.39	57.38	134

```
> data <- trillot1
```

```
> modele_lm <- lm(pente ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: pente

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1 0.13802 0.13802  1.0648 0.3604
Residuals 4 0.51847 0.12962
```

```
> modele_lm <- lm(hfmoy ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

Response: hfmoy

```
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1 409.70 409.70  2.6092 0.1815
Residuals 4 628.07 157.02
```

```
> modele_lm <- lm(hfmax ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: hfmax
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 6272.7  6272.7  92.02 0.00066
Residuals 4  272.7   68.2
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Socs 3 :

```
> View(Socs3)
```

parcelle	placette	moda	03-mai-23	10-mai-23	15-mai-23	22-mai-23	02-juin-23	05-juin-23	13-juin-23	19-juin-23	28-juin-23	31-juil-23	penite	hfmoy	hfmax
socs 3	r21	agrof	11.92	21.7	28.2	36.5	49.1	58.4	66.6	74.6	81.6	85.6	1.28	51.422	131
socs 3	r35	agrof	15.30	28.7	36.3	47.0	64.9	76.4	87.9	100.3	110.0	111.0	1.74	67.780	192
socs 3	r7	agrof	13.30	23.7	30.2	38.7	54.5	65.8	79.2	88.8	98.4	100.6	1.58	59.320	176
socs 3	r35	temoin	18.10	31.3	42.0	53.0	78.4	97.4	120.4	140.6	152.0	173.4	2.55	90.660	201
socs 3	r21	temoin	24.90	41.6	50.3	61.9	85.6	102.2	123.6	140.6	155.6	157.6	2.49	95.450	206
socs 3	r7	temoin	13.60	23.0	30.1	37.7	48.6	58.7	74.2	76.2	89.4	93.4	1.37	54.490	196

```
> data <- Socs3
> modele_lm <- lm(pente ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: pente
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 0.54602 0.54602  2.2005 0.2121
Residuals 4 0.99253 0.24813
```

```
> modele_lm <- lm(hfmoy ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: hfmoy
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda   1 642.28  642.28  2.2599 0.2072
Residuals 4 1136.82  284.21
```

```
> modele_lm <- lm(hfmax ~ moda, data = data)
> resultats_anova <- anova(modele_lm)
> print(resultats_anova)
```

Analysis of Variance Table

Response: hfmax

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
 moda 1 1802.7 1802.67 3.5163 **0.134**
 Residuals 4 2050.7 512.67

2022 – Petit Sablonnet

```
library("tidyverse")
library("ggplot2")
library("FactoMineR")
library("factoextra")
library("car")
library("agricolae")
library("leaps")
library("multcomp")
library("emmeans")
library("ggpubr")
library("rstatix")
```

```
> View(statcroiss22)
> data <- statcroiss22
> summary(data)
```

parcelle	placette	moda	04/05/2022	10/05/2022	17/05/2022	20/05/2022	25/05/2022	31/05/2022	13/06/2022	21/06/2022	29/06/2022	penet	hf max	hf moy
petit sablonnet	r155	temoin	6.86	22.00	37.50	49.29	56.64	73.64	78.14	87.64	104.50	1.61	190	57.36
petit sablonnet	r156	temoin	12.44	27.07	50.36	58.00	64.14	69.43	84.86	92.43	100.43	1.47	167	62.13
petit sablonnet	r157	temoin	16.69	31.00	43.43	46.00	51.71	52.14	57.14	64.86	73.29	0.84	107	48.47
petit sablonnet	r158	temoin	18.36	25.43	32.00	41.71	45.29	58.64	60.71	67.71	75.86	1.00	90	47.30
petit sablonnet	r159	temoin	16.86	30.00	43.00	49.14	51.71	53.14	62.57	79.43	81.43	1.06	115	51.92
petit sablonnet	r104	agrof	10.96	25.93	40.50	51.29	62.00	75.14	78.50	94.93	99.14	1.53	150	59.82
petit sablonnet	r105	agrof	9.86	24.96	37.07	41.86	52.14	62.57	76.50	84.86	92.29	1.44	120	53.50
petit sablonnet	r106	agrof	12.99	30.71	57.14	62.29	71.43	73.43	78.00	78.71	82.71	1.06	115	60.82
petit sablonnet	r107	agrof	12.07	23.00	40.14	52.14	57.86	65.43	80.57	97.43	111.71	1.70	140	60.04
petit sablonnet	r108	agrof	12.91	23.79	45.43	50.29	52.29	61.29	68.14	84.43	95.57	1.34	160	54.90

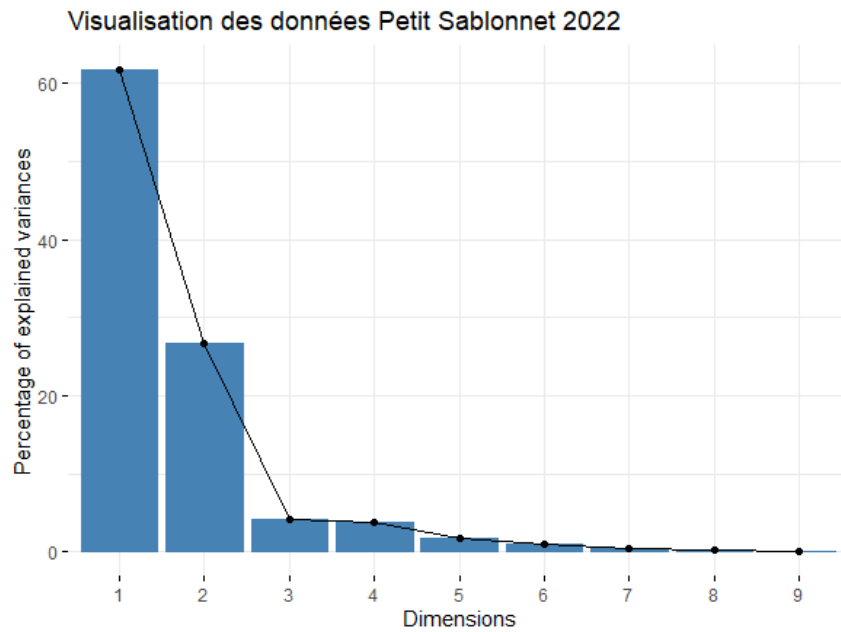
```
acp <- PCA(data.acp, quali.sup=c(1,2), graph=FALSE)
```

acp\$eig

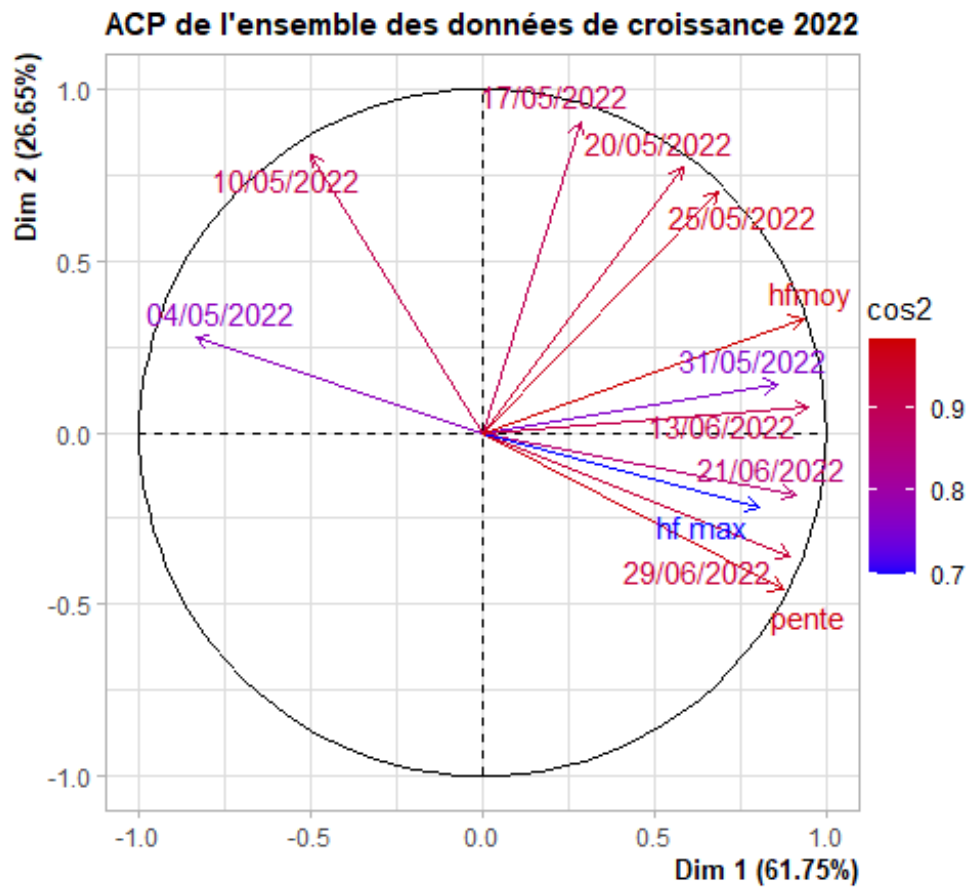
	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	7.409945956	61.74954964	61.74955
comp 2	3.198391971	26.65326642	88.40282
comp 3	0.506707697	4.22256414	92.62538
comp 4	0.454559813	3.78799844	96.41338
comp 5	0.207449888	1.72874907	98.14213
comp 6	0.128792746	1.07327288	99.21540
comp 7	0.050793309	0.42327758	99.63868
comp 8	0.034810867	0.29009056	99.92877
comp 9	0.008547753	0.07123128	100.00000

Les deux premières dimensions du modèle statistique expliquent 88 % de la variance

```
fviz_screplot(acp, title = "Visualisation des données Petit Sablonnet 2022")
```



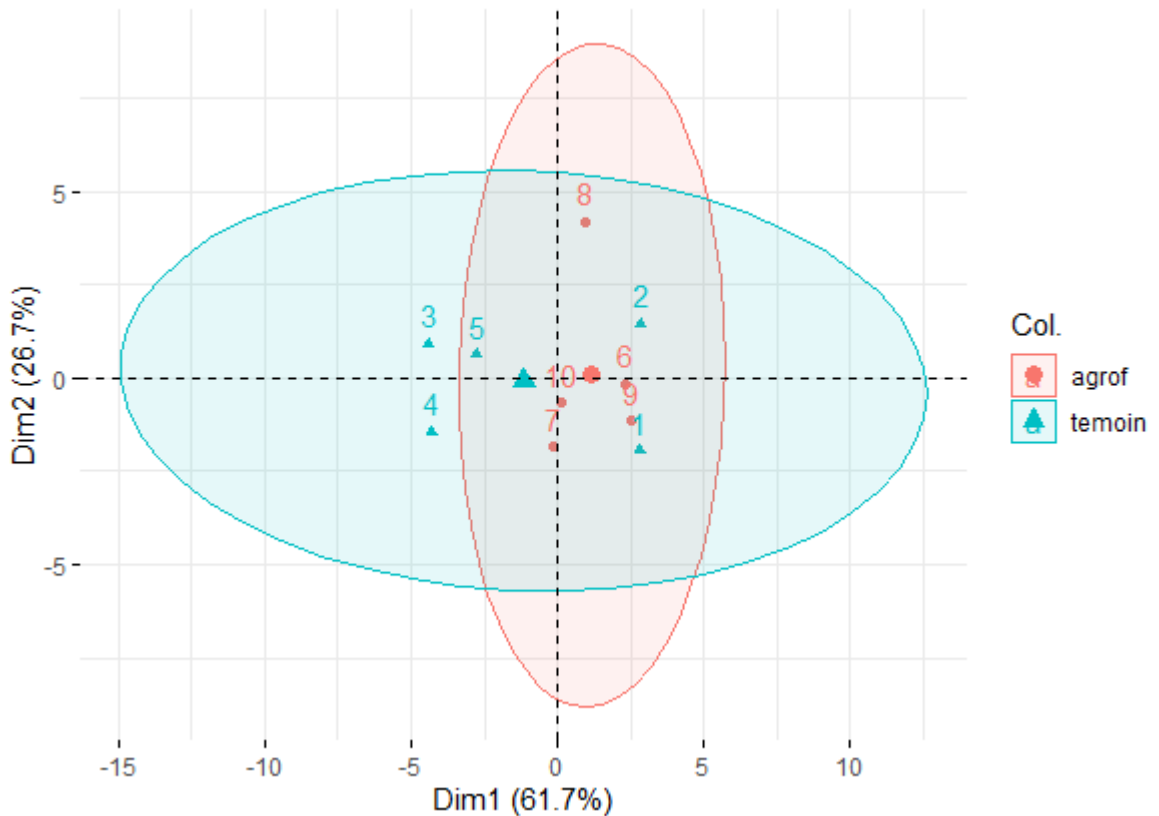
```
plot(acp,choix="var", axes=c(1,2), habillage="cos2", title="ACP de l'ensemble des données de croissance 2022")
```



La hauteur de feuillage moyenne est atteinte en mai, avant les premiers rognages, où les températures printanières favorisent la croissance végétative de l'apex par division cellulaire. La hauteur de feuillage maximale est atteinte en juin, avant la chute de l'apex par rognage ou dessèchement et chute (effet de la sécheresse 2022).

```
fviz_pca_ind(acp,
  col.ind=data.acp$moda,
  addEllipses = TRUE, title = "Visualisation des données Petit Sablonnet 2022")
```

Visualisation des données Petit Sablonnet 2022



La modalité témoin possède une plage de valeurs de croissance des rameaux plus large que la modalité érable champêtre.

Ceci s'explique par le fait que les rameaux du témoin sont plus longs, le groupe formé est donc plus important.

Modèle statistique

```
mymodel1 <- aov(hfmoy ~ moda,data = data.acp)
par(mfrow=c(2,2))
```

```
# Visualisation des résidus du modèle
plot(mymodel1)
```

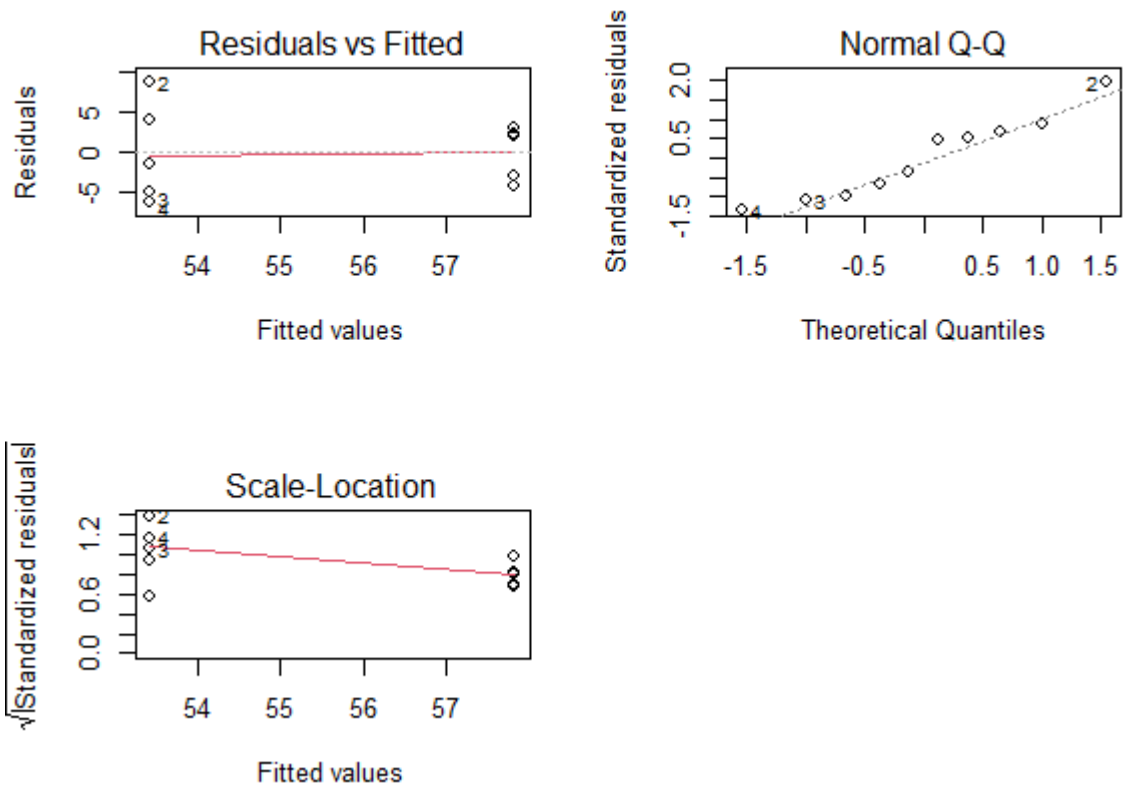
hat values (leverages) are all = 0.2
and there are no factor predictors; no plot no. 5

Hat values (leviers) : mesures de l'influence de chaque observation sur les estimations des paramètres dans un modèle statistique. Elles sont utilisées pour identifier les observations qui ont un impact disproportionné sur les résultats du modèle.

Sont toutes égales à 0,2 : Dans ce contexte, toutes les valeurs de chapeau (leviers) sont égales à 0,2. Cela peut indiquer que chaque observation a une influence modérée et égale sur les résultats du modèle.

Il n'y a pas de prédicteurs de type facteur : Les prédicteurs de type facteur font référence à des variables catégorielles. Cette phrase indique qu'il n'y a pas de variables catégorielles dans le modèle, ce qui signifie que toutes les variables sont de nature continue.

En résumé, cette phrase indique que dans le modèle statistique en question, les observations ont une influence modérée et égale sur les résultats du modèle, qu'il n'y a pas de variables catégorielles, et qu'un certain diagnostic ou graphique spécifique (numéro 4) n'est pas disponible ou n'est pas pertinent.



Residual vs fitted: *la courbe des valeurs résiduelles en fonction des valeurs ajustées suit une tendance horizontale et centrée sur 0, ce qui valide que les résidus suivent une loi centrée avec un écart-type égal à sigma.*

Normal Q-Q plot: *La droite de Henry sert à valider la normalité du modèle. Plus l'alignement graphique des fréquences cumulées se confond avec la droite et plus la distribution est proche d'une loi normale. Visuellement nous pouvons voir que la normalité est respectée pour le modèle analysé.*

Scale-Location: Le graphique Scale-Location permet de déterminer si les résidus vérifient l'hypothèse de variance égale (homoscédasticité). Si nous obtenons une ligne horizontale, il y a une variance constante. La courbe suit une tendance globalement horizontale donc nous pouvons dire que les résidus se propagent de façon aléatoire.

D'après les graphiques ci-dessus, les résidus semblent indépendants, suivent une loi Normale de moyenne 0 et semblent être homogènes. D'après l'observation et l'analyse visuelle des graphiques du modèle, le modèle statistique est validé ; nous pouvons procéder à l'ANOVA.

Dans le cadre d'une ANOVA à 1 facteur (modalité) nous émettons les hypothèses suivantes :

H0 : il n'y a pas d'effet significatif du système de culture « Agroforesterie » sur la croissance des rameaux, sans différence notable avec le témoin.

H1 : il y a un effet significatif du système de culture « Agroforesterie » sur la croissance des rameaux, une différence notable est remarquée avec le témoin, l'arbre exerce une contrainte concurrentielle sur la vigne.

Seuil de risque Alpha = 5% (0,05)

Hauteur de feuillage moyenne

```
> summary(mymodel1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1  47.96  47.96  1.912  0.204
Residuals 8 200.71  25.09
```

On conserve H0, pas d'effet significatif de l'arbre

Pente de croissance

```
> mymodel2 <- aov(pente ~ moda,data = data.acp)
> summary(mymodel2)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1  0.1188  0.1188  1.447  0.263
Residuals 8  0.6568  0.0821
```

On conserve H0, pas d'effet significatif de l'arbre

Hauteur de feuillage maximale

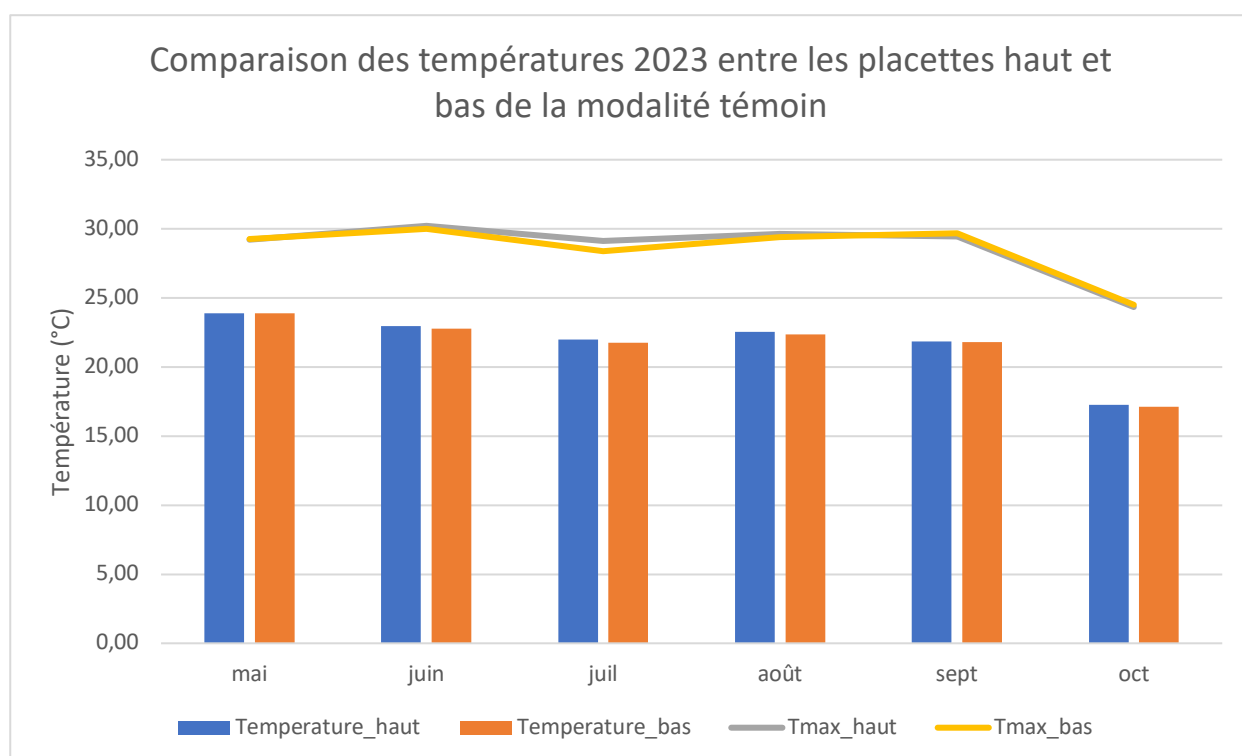
```
> summary(mymodel3)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
moda    1   26  25.6  0.023  0.882
Residuals 8 8731 1091.3
```

On conserve H0, pas d'effet significatif de l'arbre

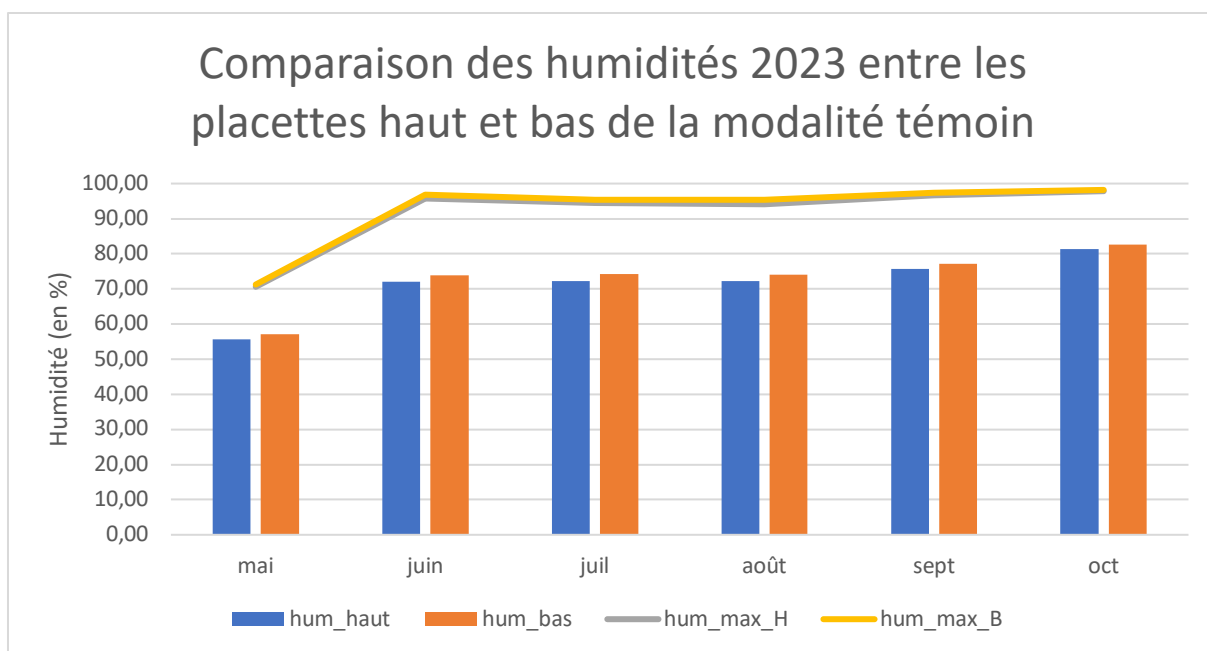
ANNEXE V : ÉTUDE MICROCLIMATIQUE DES MODALITES DE LA PARCELLE PETIT SABLONNET

Mesure climatique de la modalité Témoin

<u>période</u>	<u>Temperature_haut</u>	<u>Temperature_bas</u>	<u>Tmax_haut</u>	<u>Tmax_bas</u>
<u>mai</u>	23,90	23,91	29,21	29,27
<u>juin</u>	22,96	22,80	30,21	30,00
<u>juil</u>	21,99	21,75	29,11	28,38
<u>août</u>	22,53	22,35	29,62	29,41
<u>sept</u>	21,86	21,79	29,44	29,66
<u>oct</u>	17,27	17,14	24,34	24,50



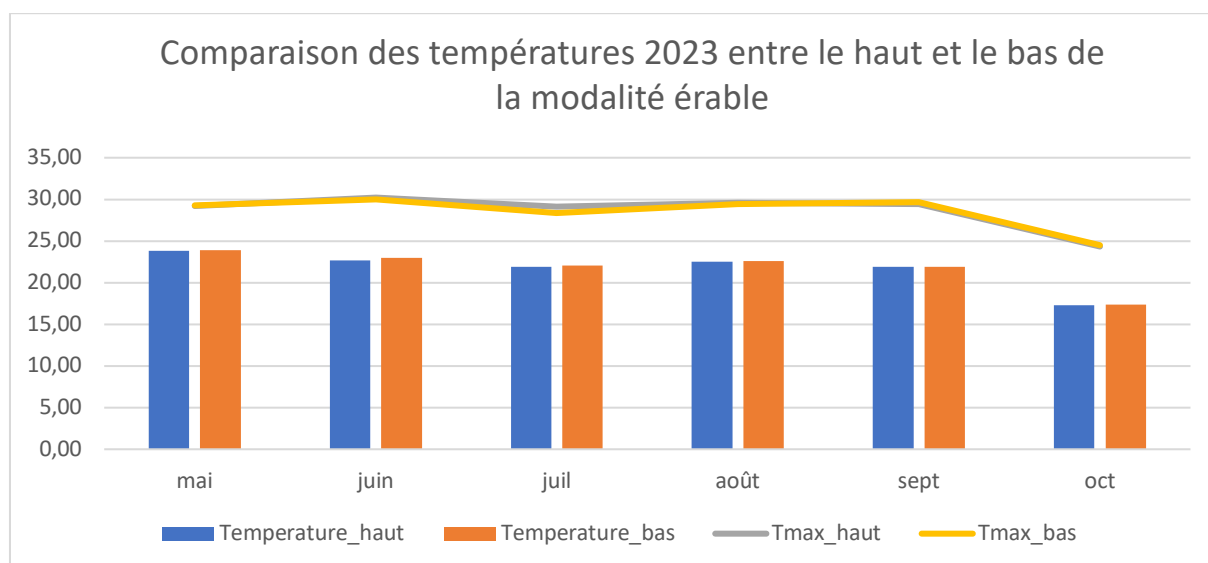
<u>période</u>	<u>hum_haut</u>	<u>hum_bas</u>	<u>hum_max_H</u>	<u>hum_max_B</u>
<u>mai</u>	55,60	57,02	70,60	71,25
<u>juin</u>	72,08	73,94	95,77	96,89
<u>juil</u>	72,23	74,18	94,49	95,38
<u>août</u>	72,18	74,08	94,14	95,40
<u>sept</u>	75,62	77,13	96,73	97,31
<u>oct</u>	81,44	82,60	97,84	98,20



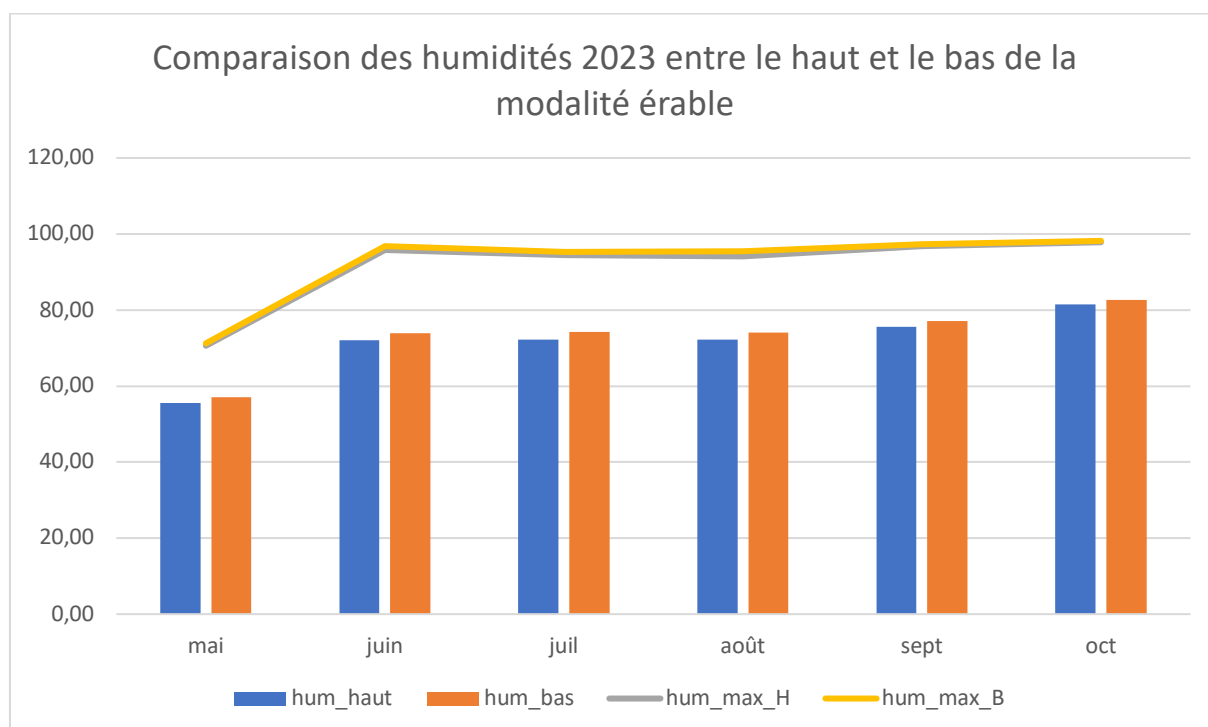
La partie basse de la parcelle (près des haies) connaît une température moyenne et maximale légèrement plus faible en globalité que le haut de la parcelle. Son humidité est également légèrement plus élevée.

Mesure climatique de la modalité Agroforesterie

<u>période</u>	<u>Temperature haut</u>	<u>Temperature bas</u>	<u>Tmax haut</u>	<u>Tmax bas</u>
<u>mai</u>	23,84	23,87	29,21	29,27
<u>juin</u>	22,69	22,95	30,21	30,00
<u>juil</u>	21,87	22,05	29,11	28,38
<u>août</u>	22,48	22,60	29,62	29,41
<u>sept</u>	21,87	21,93	29,44	29,66
<u>oct</u>	17,26	17,36	24,34	24,50



<u>période</u>	<u>hum_haut</u>	<u>hum_bas</u>	<u>hum_max_H</u>	<u>hum_max_B</u>
<u>mai</u>	55,60	57,02	70,60	71,25
<u>juin</u>	72,08	73,94	95,77	96,89
<u>juil</u>	72,23	74,18	94,49	95,38
<u>août</u>	72,18	74,08	94,14	95,40
<u>sept</u>	75,62	77,13	96,73	97,31
<u>oct</u>	81,44	82,60	97,84	98,20



Comme pour le témoin, la partie basse de la parcelle (près des haies) connaît une température moyenne et maximale légèrement plus faible en globalité que le haut de la parcelle. Son humidité est également légèrement plus élevée.

Comparaison du microclimat par calcul d'indices et d'indicateurs

Modalité	Mois	Winkler	Nb j > 30°C	Nb j > 35°C	hum_moy
Témoin	juin	12,88	15	0	73,01
	juillet	11,87	9	2	73,20
	août	12,44	13	7	73,13
	septembre	11,83	12	6	76,38
	octobre	7,21	3	0	82,02
Agroforesterie	juin	12,82	11	0	73,01
	juillet	11,96	9	2	73,20
	août	12,54	18	9	73,13
	septembre	11,90	9	4	76,38
	octobre	7,31	1	0	82,02

ANNEXE VI : TEST DE L'IMPACT DE L'AGROFORESTERIE SUR LE RENDEMENT DE LA VIGNE

Durant la campagne 2023, il a été compté sur 4 parcelles, en juillet, le nombre de grappes sur 10 ceps d'un rang de la modalité témoin, ainsi que 10 ceps d'un rang de la modalité agroforesterie, à 4 répétitions chacune (80 ceps par parcelle, 40 par modalité).

A l'aide de ces comptages, nous avons pu calculer une moyenne, un maximum, un minimum, ainsi qu'un écart type du nombre de grappe par parcelle.

Nous allons pouvoir vérifier statistiquement si l'agroforesterie et sa potentielle concurrence exerce un effet sur la taille des grappes de la vigne.

Jeu de données :

```
> library(readr)
> cluster_fertility <- read_delim("~/Desktop/Latour/Stat2223/cluster_fertility.csv",
+   delim = ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
+   trim_ws = TRUE)
Rows: 26 Columns: 8
```

```
> summary(cluster_fertility)
  year      plot      test      location  mean_cluster  max_cluster  min_cluster  cluster_std
Min. :2023 Length:26 Length:26 Min. : 4.00 Min. :1.500 Min. : 4.00 Min. :0.0000 Min. :1.360
1st Qu.:2023 Class :character Class :character 1st Qu.: 20.00 1st Qu.:2.475 1st Qu.: 6.25 1st Qu.:0.0000 1st Qu.:1.865
Median :2023 Mode :character Mode :character Median : 35.00 Median :3.500 Median : 9.50 Median :0.0000 Median :2.380
Mean :2023 Mean : 59.46 Mean :4.312 Mean : 9.00 Mean :0.8077 Mean :2.615
3rd Qu.:2023 3rd Qu.:105.75 3rd Qu.:5.300 3rd Qu.:11.00 3rd Qu.:0.0000 3rd Qu.:3.303
Max. :2023 Max. :158.00 Max. :9.600 Max. :14.00 Max. :6.0000 Max. :4.730
```

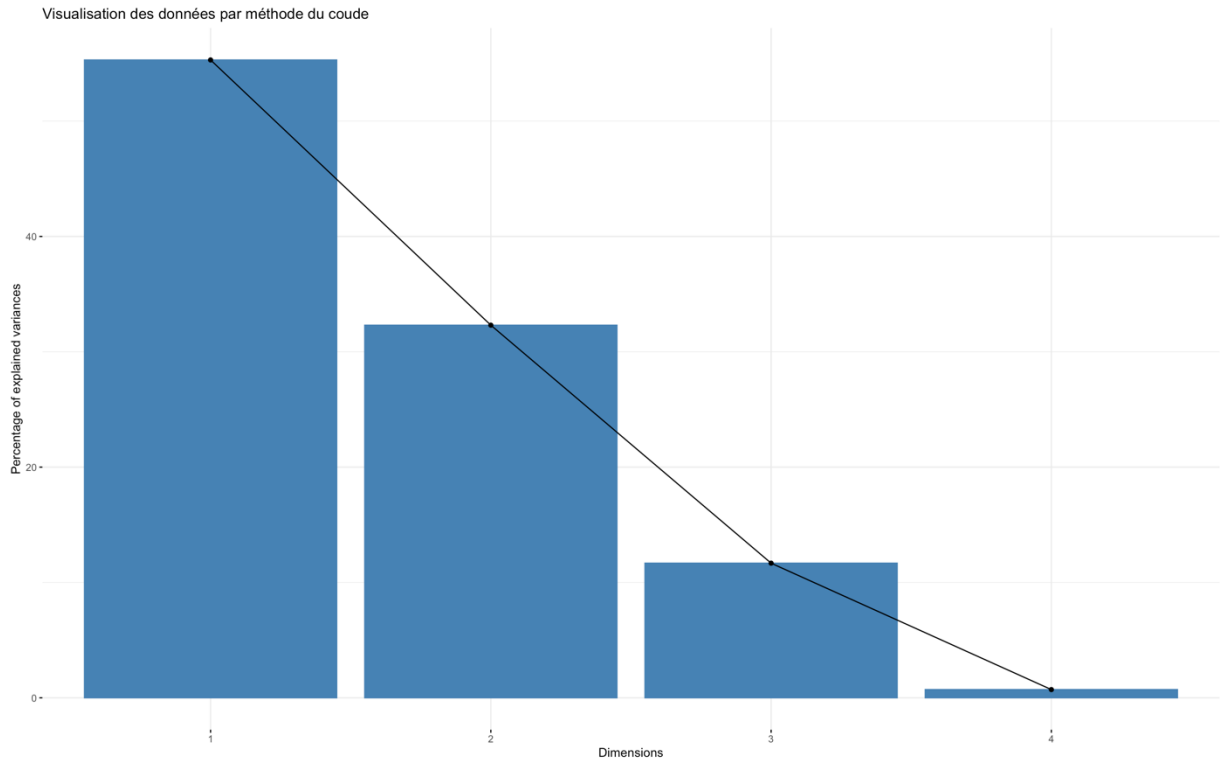
Test statistique :

```
> data$plot_test_year <- as.factor(paste(data$plot, data$test, data$year))
> summary(data)
```

1) ACP

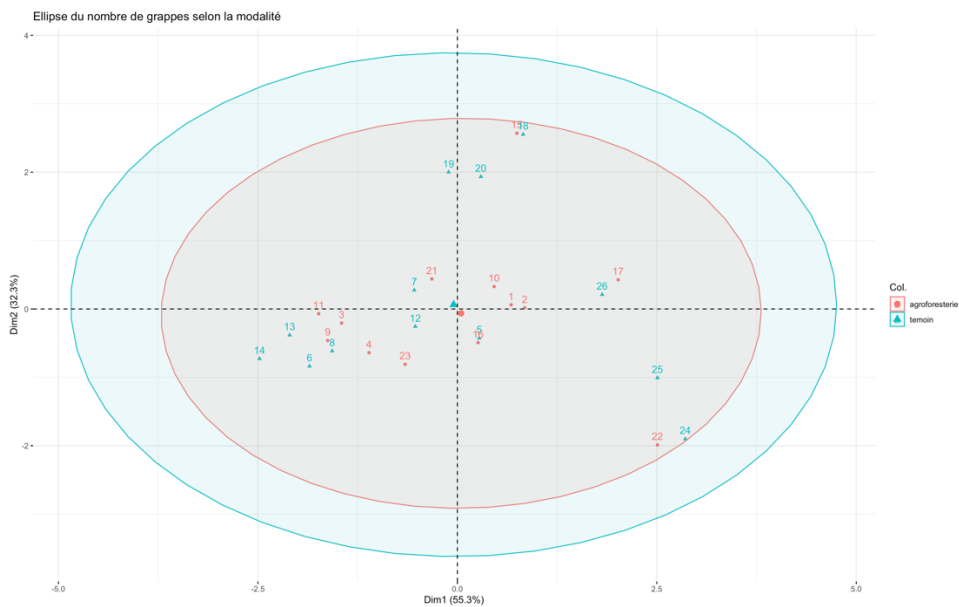
```
> acp <- PCA(data, quali.sup = c(1,2,3,4,9), graph = FALSE)
> acp$eig
  eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
comp 1 2.21214812      55.3037029      55.30370
comp 2 1.29235436      32.3088591      87.61256
comp 3 0.46697634      11.6744085      99.28697
comp 4 0.02852118       0.7130296     100.00000
```

Les deux premières dimensions du modèle expliquent 88 % de sa variance.



#Ellipse des corrélations :

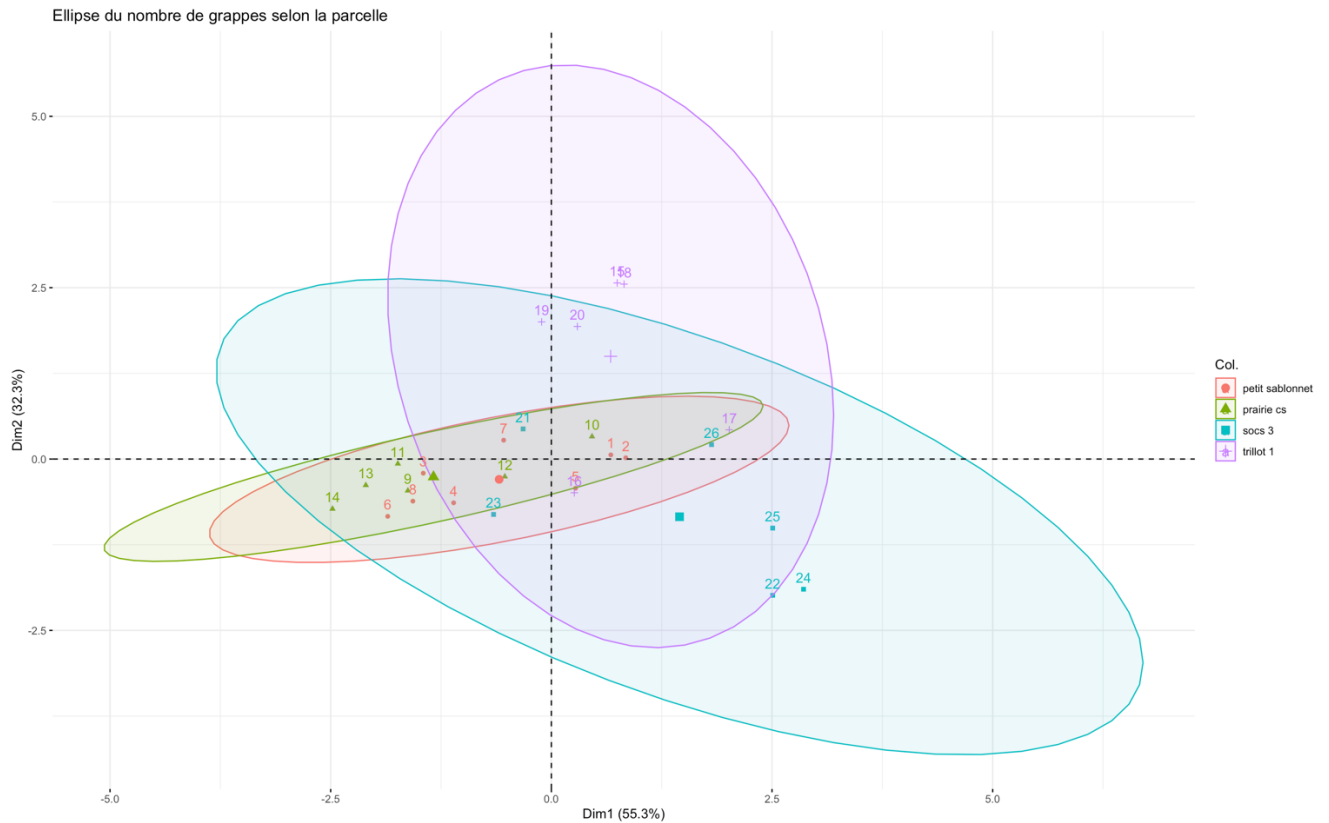
```
> fviz_pca_ind(acp, col.ind = data$test, addEllipses = TRUE, title = "Ellipse du nombre de grappes selon la modalité")
```



Les données étant distribuées de manière aléatoire, aucune tendance ne semble se dessiner pour le moment. Il est notable que le nombre de grappes de la modalité agroforesterie paraît plus faible que le cercle du témoin.

#Ellipse des corrélations selon la parcelle :


```
> fviz_pca_ind(acp, col.ind = data$plot, addEllipses = TRUE, title = "Ellipse du nombre de grappes selon la parcelle")
```

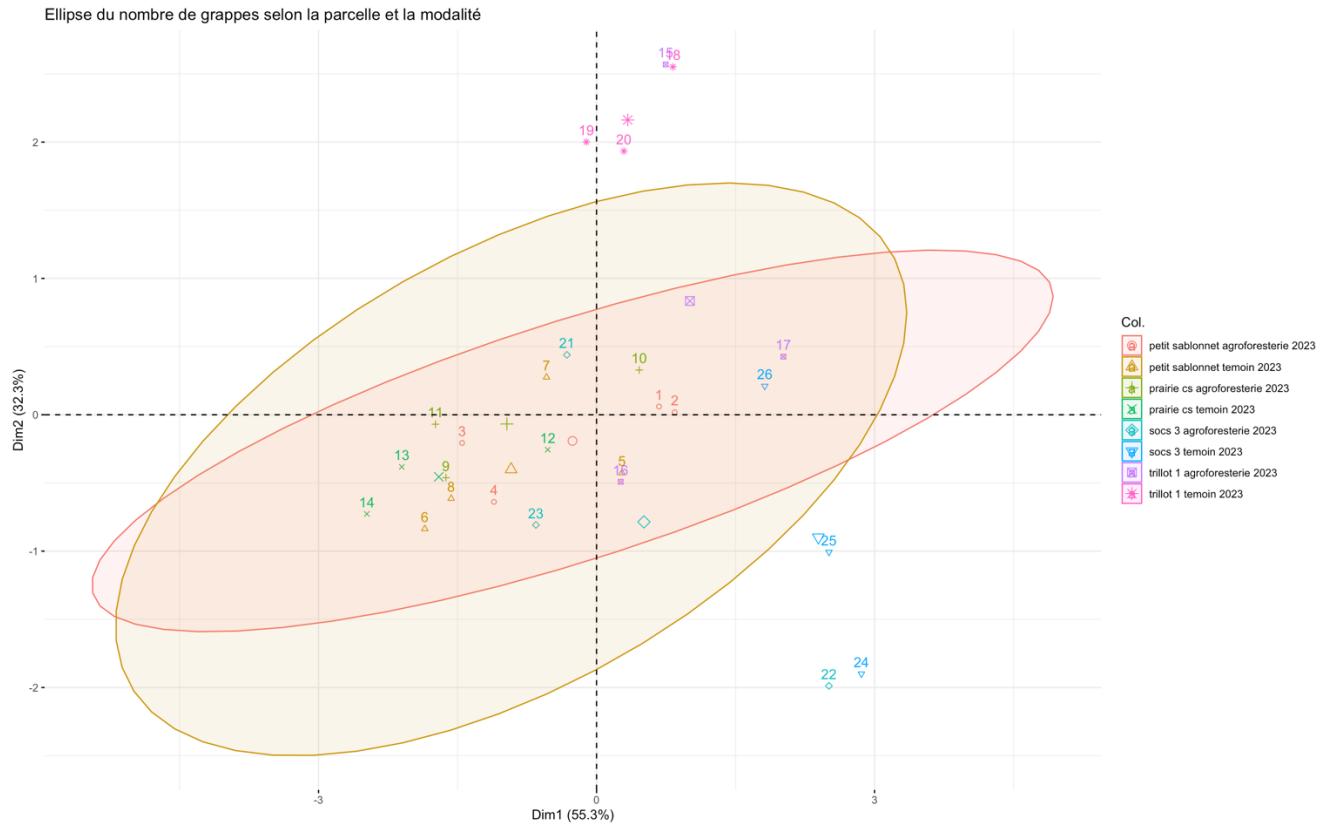


Petit Sablonnet possède le nombre de grappe le plus faible (dépérissement), ainsi que Prairie CS (enherbement important de la parcelle). Trillot 1 est la parcelle avec le nombre de grappes le plus important, c'est un effet cépage (Petit Verdot vs Cabernet-Sauvignon).

#Ellipse des corrélations selon la parcelle et la modalité :

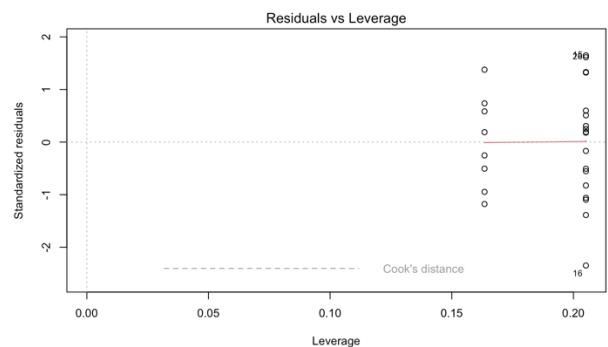
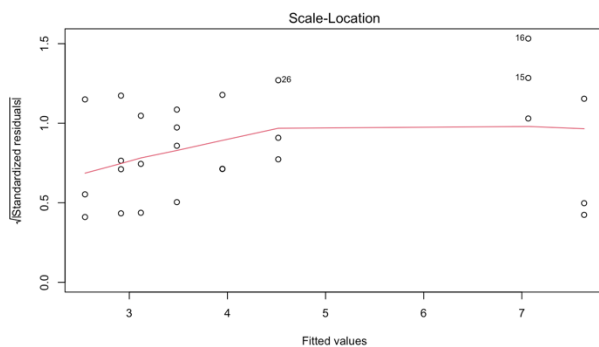
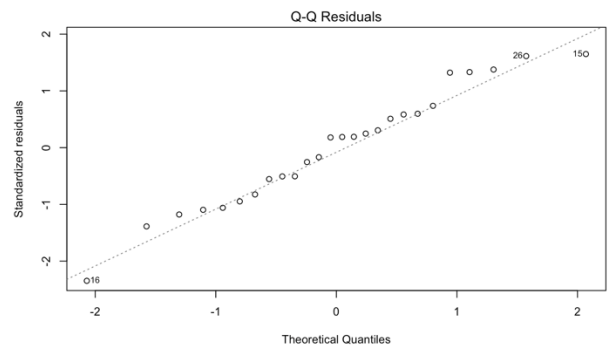
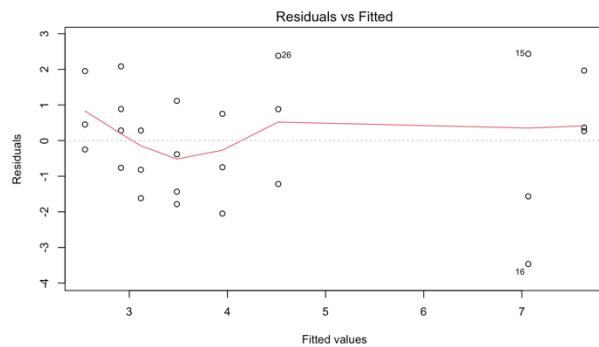
Données très dispersées et hétérogènes selon les paramètres sélectionnés.

```
> fviz_pca_ind(acp, col.ind = data$plot_test_year, addEllipses = TRUE, title = "Ellipse du nombre de grappes selon la parcelle et la modalité")
```



Annova :

```
> mymodel1 <- aov(mean_cluster ~ plot + test, data = data)
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(mymodel1)
```



Residual vs fitted: la courbe des valeurs résiduelles en fonction des valeurs ajustées suit une tendance horizontale et centrée sur ce qui valide que les résidus suivent une loi centrée avec un écart-type égal à sigma. Ici, la droite est légèrement décentrée.

Normal Q-Q plot: La droite de Henry sert à valider la normalité du modèle; Plus l'alignement graphique des fréquences cumulées se confond avec la droite et plus la distribution est proche d'une loi normale. Visuellement nous pouvons voir que la normalité est respectée pour le modèle analysé.

Scale-Location: Le graphique Scale-Location permet de déterminer si les résidus vérifient l'hypothèse de variance égale (homoscédasticité). Si nous obtenons une ligne horizontale il y a une variance constante. La courbe suit une tendance globalement horizontale donc nous pouvons dire que les résidus se propagent de façon aléatoire.

Constant leverage: La distance de Cook permet de visualiser les points aberrants et les valeurs atypiques dans le modèle. Toutes les distances doivent être du même ordre de grandeur. Le graphique ne nous indique pas de point très aberrant qui risquent de biaiser les résultats, la répartition des points est plutôt équilibrée, seul le point 16 est décentré.

D'après les graphiques ci-dessus, les résidus semblent indépendants, et suivent une loi Normale de moyenne 0, semblent être homogènes et ne présentent pas de valeurs aberrantes. D'après l'observation et l'analyse visuelle des graphiques du modèle, le modèle statistique est validé ; nous pouvons procéder à l'ANOVA.

On pose les deux Hypothèses suivantes :

H0 : il n'y a pas d'effet significatif des arbres sur le rendement de la vigne

H1 : il y a un effet de l'arbre, le nombre de grappes est différent par compétition et/ou coulure de la vigne

Seuil de risque Alpha : 5 %

Test sur le nombre moyen de grappes :

```
> mymodel1 <- aov(mean_cluster ~ plot + test, data = data)
```

```
> summary(mymodel1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
plot	3	78.42	26.142	9.534	0.000357 ***
test	1	2.11	2.106	0.768	0.390712
Residuals	21	57.58	2.742		

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

Il y a un effet significatif de la parcelle (effet cépage et milieu : PG / type de sol), mais on conserve H0 car la différence n'est pas significative entre l'agroforesterie et le témoin pour la moyenne des grappes par placette.

Test sur le maximum de grappes :

```
> mymodel2 <- aov(max_cluster ~ test, data = data)
> summary(mymodel2)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
test    1  2.46  2.462  0.325 0.574
Residuals 24 181.54  7.564
```

➔ On conserve H0, p-value>0,05

Test sur le minimum de grappes :

```
> mymodel3 <- aov(min_cluster ~ test, data = data)
> summary(mymodel3)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
test    1  1.88  1.885  0.537 0.471
Residuals 24  84.15  3.506
```

➔ On conserve H0, p-value>0,05

Test sur l'écart type de grappes :

```
> mymodel4 <- aov(cluster_std ~ test, data = data)
> summary(mymodel4)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
test    1  0.60  0.6001  0.64 0.431
Residuals 24  22.49  0.9369
```

➔ On conserve H0, p-value>0,05

ANNEXE VII : TEST DE L'IMPACT DE L'AGROFORESTERIE SUR LA NUTRITION AZOTEE DE LA VIGNE

Durant la campagne 2023, il a été mesuré sur 4 parcelles à 3 reprises (stade petit pois, stade fermeture de grappe, stade véraison) la consommation d'azote à l'aide de l'outil Ntester.

Sur chaque parcelle, le diagnostic a été mené sur 4 rangs, mesuré chacun sur une piquetée définie (2 répétitions témoin vs 2 répétitions agroforesterie).

Il est intéressant dans cette étude de vérifier statistiquement si l'agroforesterie exerce une contrainte sur la nutrition azotée à 3 stades différents, et de vérifier si elle a un effet sur la moyenne de nutrition.

Jeu de données :

```
> data2 <- stat_nitrogen
> data2$plot_test <- as.factor(paste(data2$plot, data2$test))
> summary(data2)
```

plot	variety	test	nitrogen_k	nitrogen_l	nitrogen_m	mean_nitrogen_23
Length:16	Length:16	Length:16	Min. :334.0	Min. :363.0	Min. :361.0	Min. :361.0
Class :character	Class :character	Class :character	1st Qu.:384.0	1st Qu.:403.0	1st Qu.:397.8	1st Qu.:394.0
Mode :character	Mode :character	Mode :character	Median :411.0	Median :432.0	Median :417.5	Median :419.0
			Mean :416.4	Mean :432.2	Mean :429.0	Mean :425.9
			3rd Qu.:437.5	3rd Qu.:471.0	3rd Qu.:459.2	3rd Qu.:455.5
			Max. :534.0	Max. :490.0	Max. :519.0	Max. :514.0


```

plot_test
petit sablonnet agroforesterie:2
petit sablonnet témoin :2
prairie cs agroforesterie :2
prairie cs témoin :2
soc 3 agroforesterie :2
soc 3 témoin :2
(Other) :4

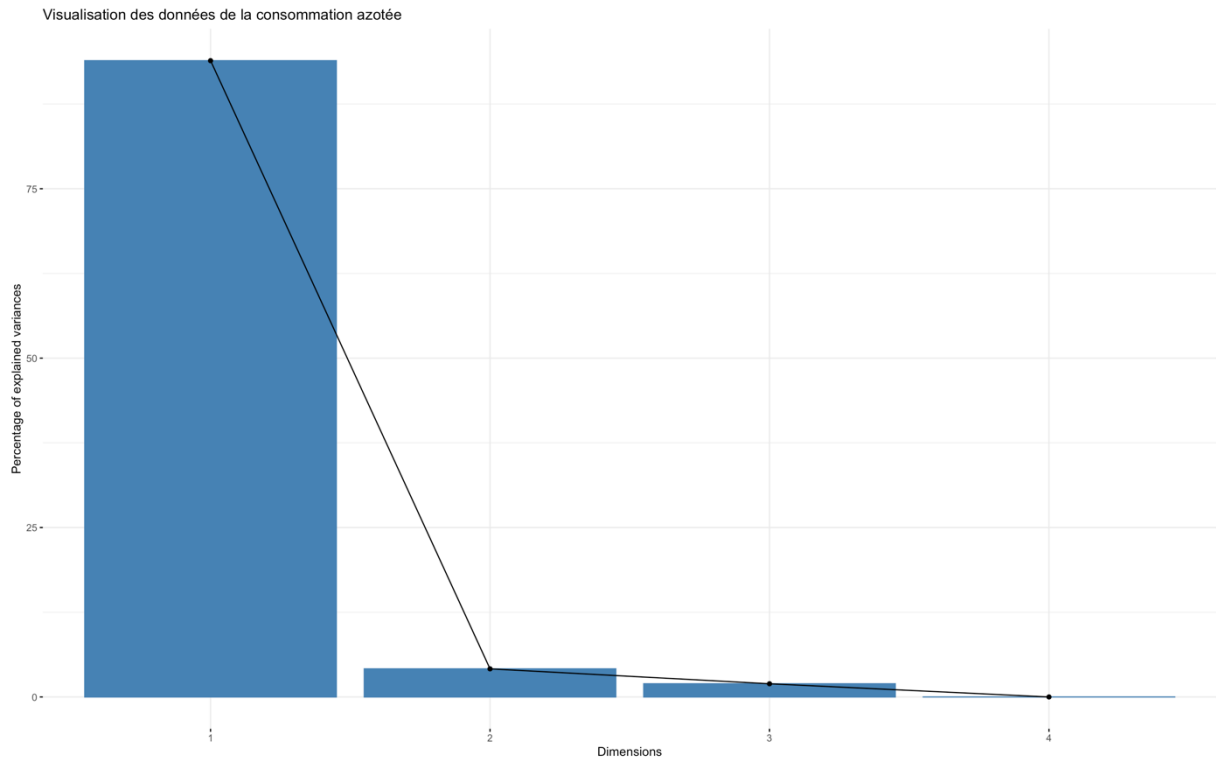
```

Test statistique :

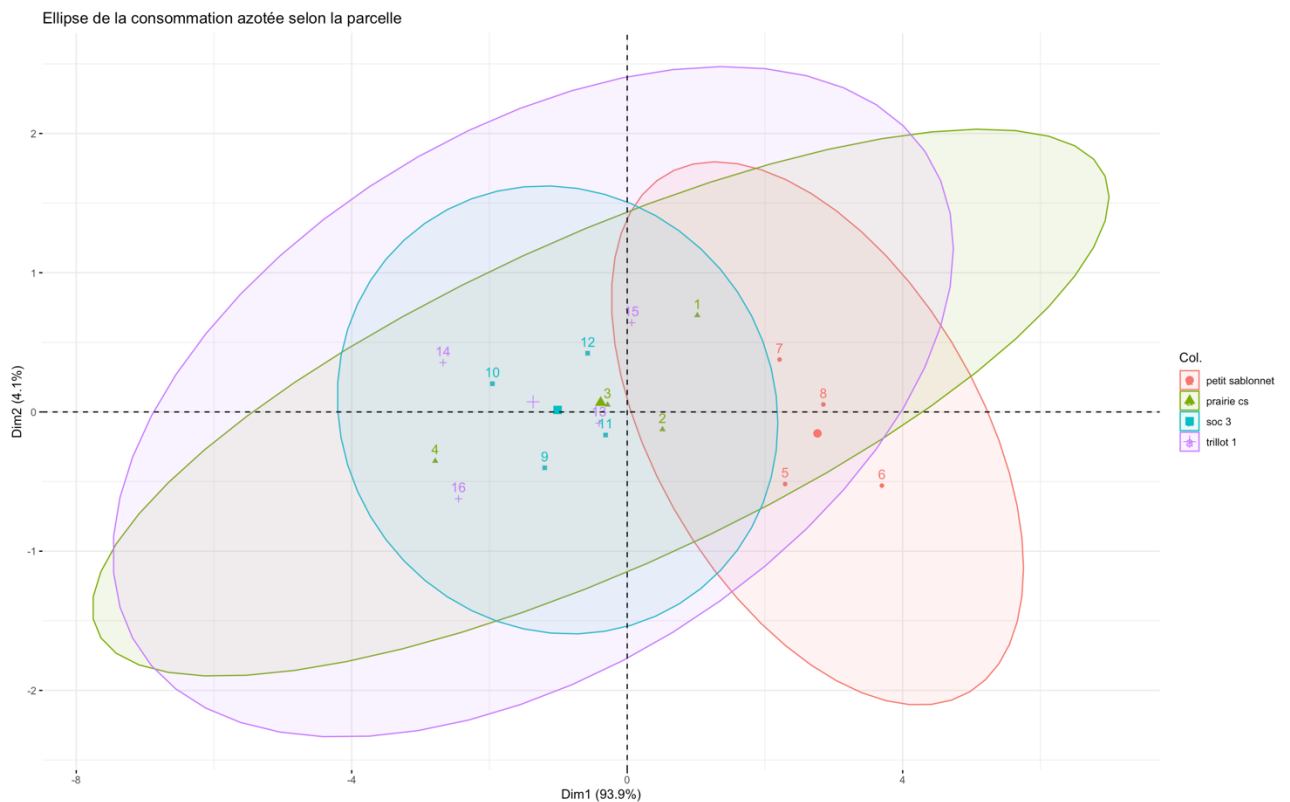
```
> acp2 <- PCA(data2, quali.sup = c(1,2,3,8), graph = FALSE)
> acp2$eig
```

	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	3.755954e+00	9.389886e+01	93.89886
comp 2	1.659829e-01	4.149572e+00	98.04843
comp 3	7.803486e-02	1.950872e+00	99.99930
comp 4	2.805485e-05	7.013713e-04	100.00000

Les deux premières dimensions expliquent 98 % de la variance

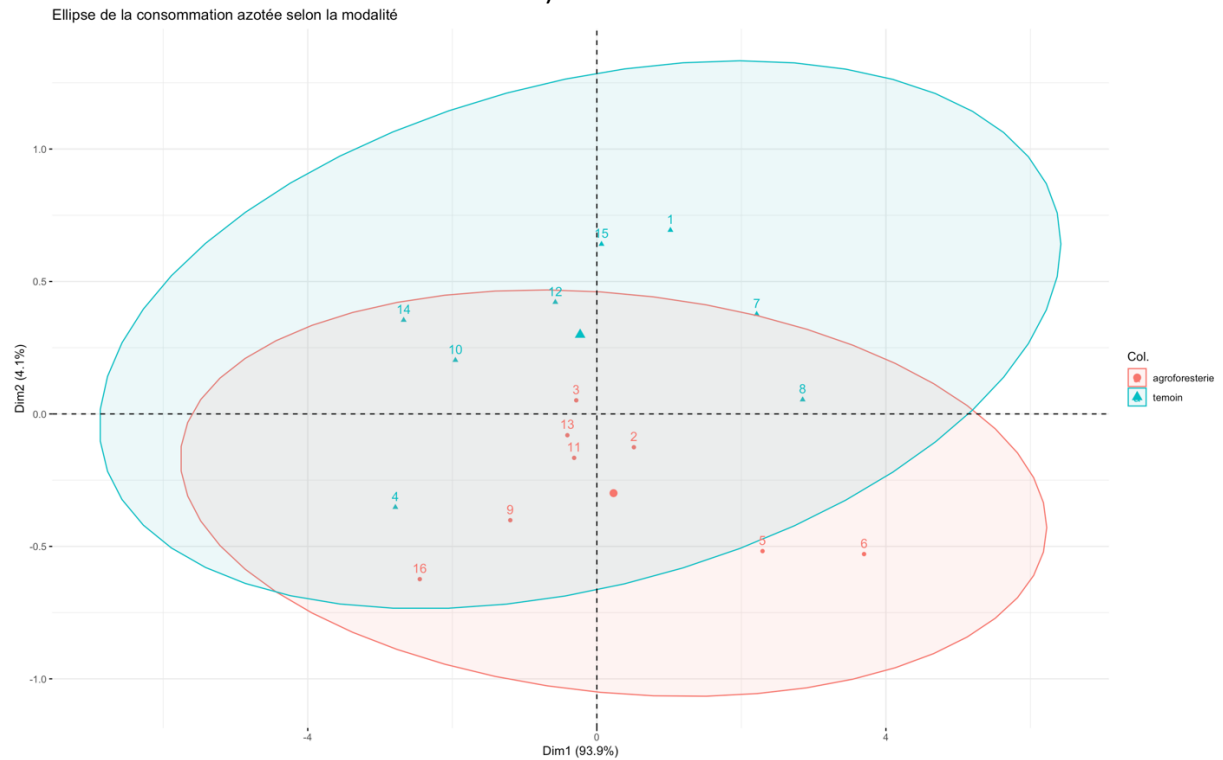


```
#Ellipse selon la parcelle
> fviz_pca_ind(acp2, col.ind = data2$plot, addEllipses = TRUE, title = "Ellipse de la
consommation azotée selon la parcelle")
```



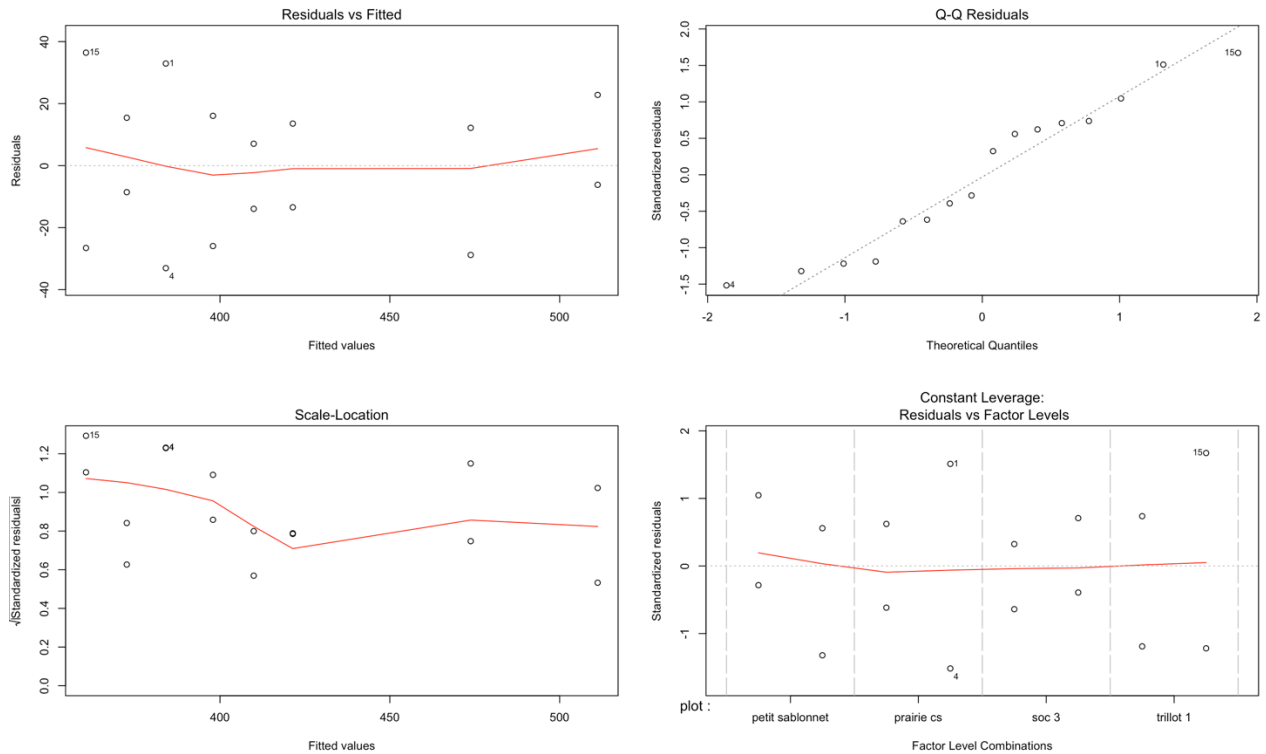
```
#Ellipse de la conso azotée selon la modalité
```

```
fviz_pca_ind(acp2, col.ind = data2$test, addEllipses = TRUE, title = "Ellipse de la  
consommation azotée selon la modalité")
```



Création et validation du modèle :

```
> mymodela <- aov(nitrogen_k ~ plot + test, data = data2)  
> par(mfrow=c(2,2))  
> plot(mymodela)
```



Residual vs fitted: la courbe des valeurs résiduelles en fonction des valeurs ajustées suit une tendance horizontale et centrée sur ce qui valide que les résidus suivent une loi centrée avec un écart-type égal à sigma. Ici, la droite est légèrement décentrée.

Normal Q-Q plot: La droite de Henry sert à valider la normalité du modèle; Plus l’alignement graphique des fréquences cumulées se confond avec la droite et plus la distribution est proche d’une loi normale. Visuellement nous pouvons voir que la normalité est respectée pour le modèle analysé.

Scale-Location: Le graphique Scale-Location permet de déterminer si les résidus vérifient l’hypothèse de variance égale (homoscédasticité). Si nous obtenons une ligne horizontale il y a une variance constante. La courbe suit une tendance peu horizontale, les résidus ne sont pas tous centrés en 0.

Constant leverage: La distance de Cook permet de visualiser les points aberrants et les valeurs atypiques dans le modèle. Toutes les distances doivent être du même ordre de grandeur. Le graphique ne nous indique pas de point très aberrant qui risquent de biaiser les résultats, la répartition des points est plutôt équilibrée, seul le point 15 est décentré.

D’après les graphiques ci-dessus, les résidus semblent indépendants, et suivent une loi Normale de moyenne 0, semblent être homogènes et ne présentent pas de valeurs aberrantes. D’après l’observation et l’analyse visuelle des graphiques du modèle, le modèle statistique est validé ; nous pouvons procéder à l’ANOVA.

On pose les deux Hypothèses suivantes :

H_0 : il n'y a pas d'effet significatif des arbres sur la nutrition de la vigne

H_1 : il y a un effet de l'arbre, le diagnostic azoté est différent par compétition avec la vigne

Seuil de risque Alpha : 5 %

Test 1 : Azote au stade petit pois

```
> mymodela <- aov(nitrogen_k ~ plot + test, data = data2)
> summary(mymodela)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
plot   3 31961 10654 15.420 0.000296 ***
test   1  5588  5588  8.088 0.015971 *
Residuals 11 7600  691
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

➔ Effet significatif de la modalité sur la consommation d'azote en début de saison.

Test 2 : Azote au stade fermeture de grappe

```
> mymodelb <- aov(nitrogen_l ~ plot + test, data = data2)
> par(mfrow=c(2,2))
> summary(mymodelb)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
plot   3 12500  4167  3.796 0.0432 *
test   1   95   95  0.087 0.7740
Residuals 11 12074 1098
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

➔ Pas d'effet significatif en milieu de saison

Test 3 : Azote au stade véraison

```
> mymodelc <- aov(nitrogen_m ~ plot + test, data = data2)
> summary(mymodelc)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
plot   3 30556 10185 10.910 0.00126 **
test   1   64   64  0.069 0.79829
Residuals 11 10269  934
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

➔ Pas d'effet significatif en fin de saison

Test 4 : Teneur moyenne en Azote

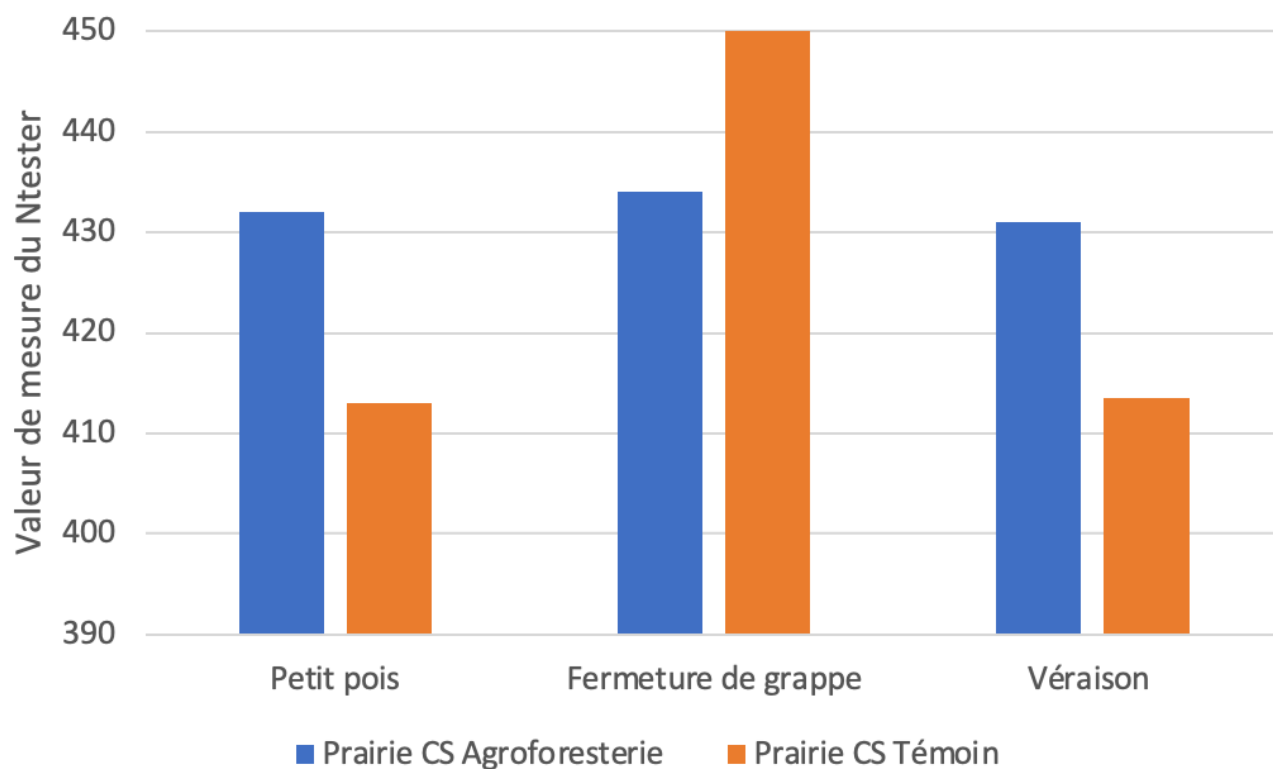
```
> mymodeld <- aov(mean_nitrogen_23 ~ plot + test, data = data2)
```

```
> summary(mymodeld)
```

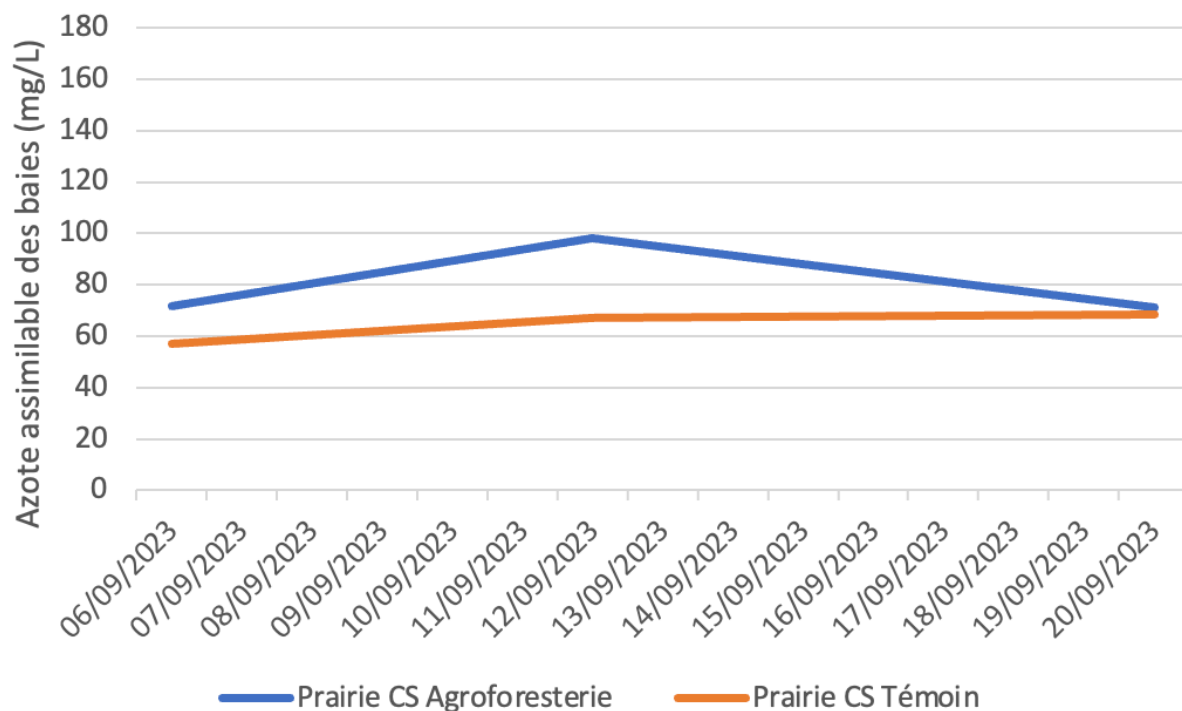
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
plot	3	24051	8017	10.071	0.00174 **
test	1	600	600	0.754	0.40375
Residuals	11	8757	796		

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

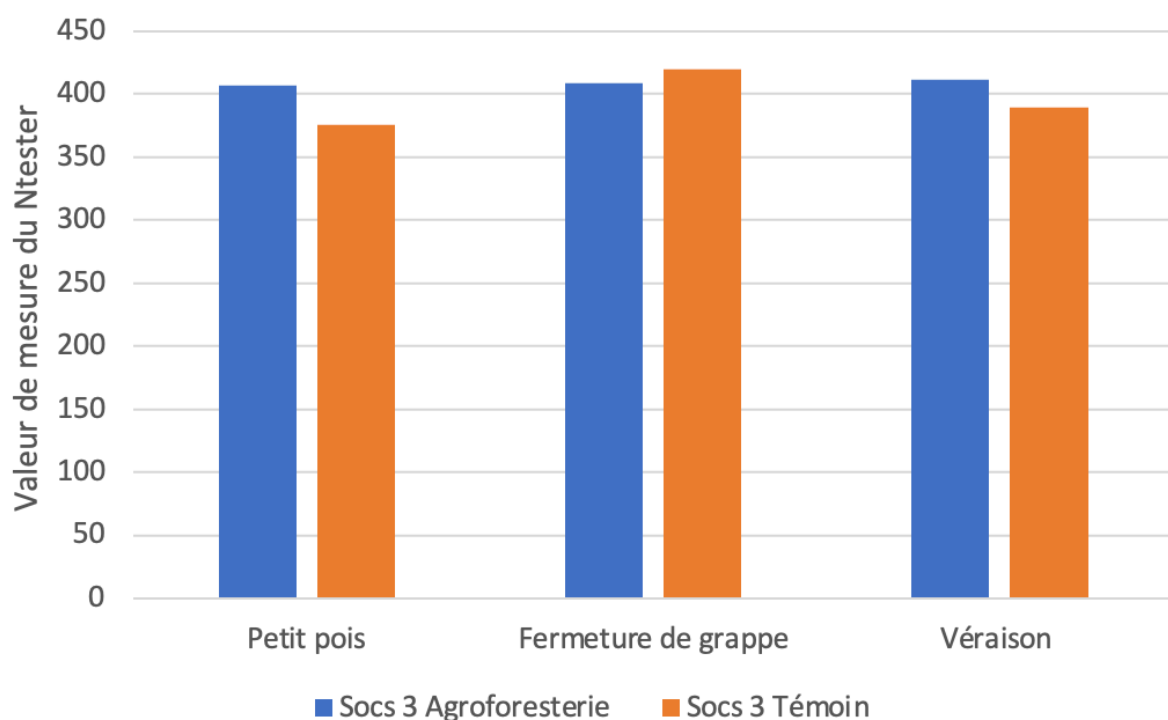
➔ Pas d'effet significatif sur l'azote moyen diagnostiqué au cours de la saison.



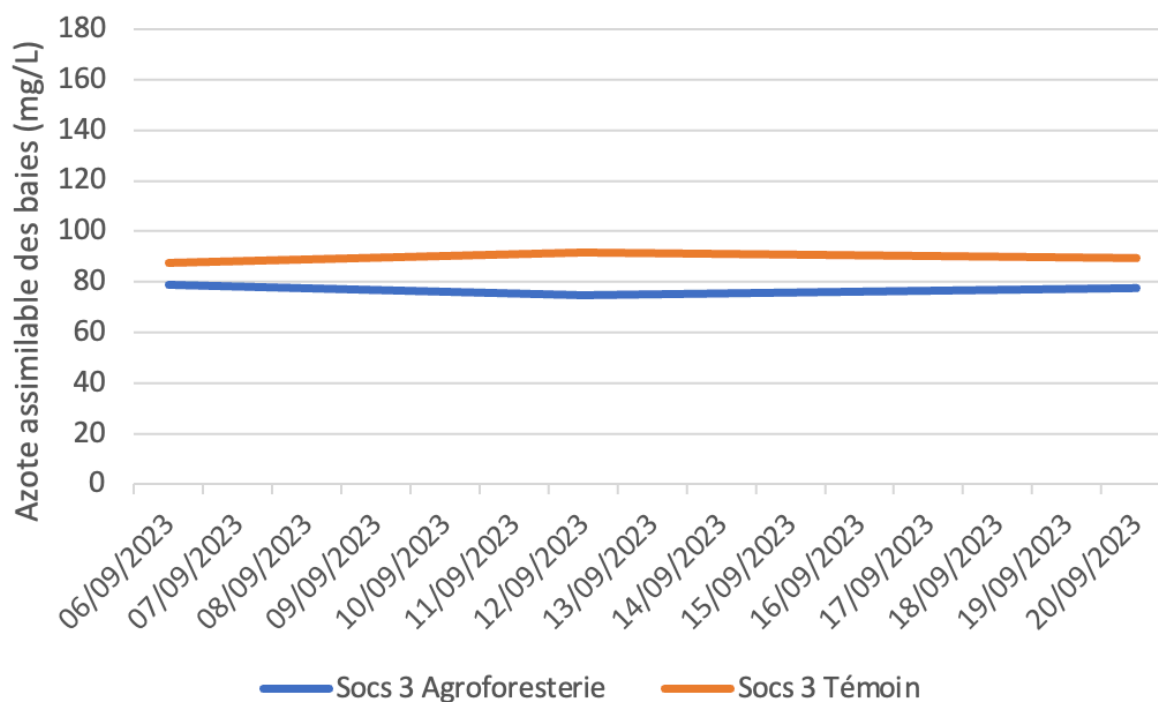
Histogramme des mesures du Ntester de la parcelle Prairie CS en 2023



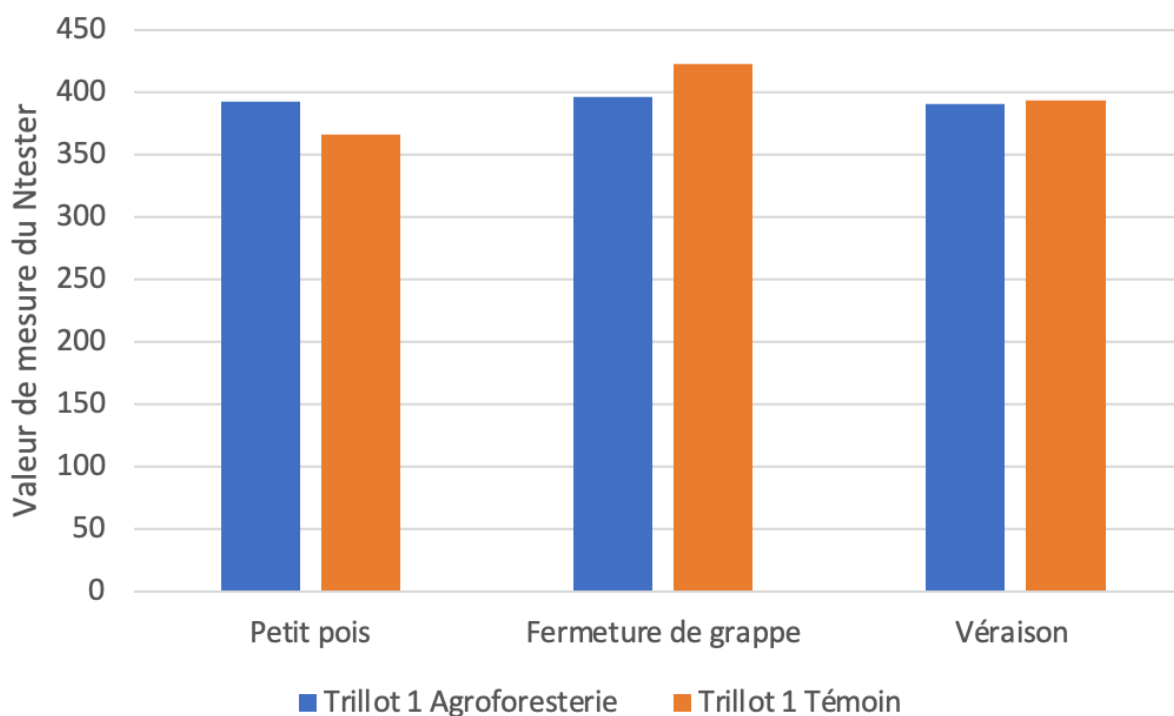
Courbe d'évolution des mesures d'azote assimilable de la parcelle Prairie CS en 2023



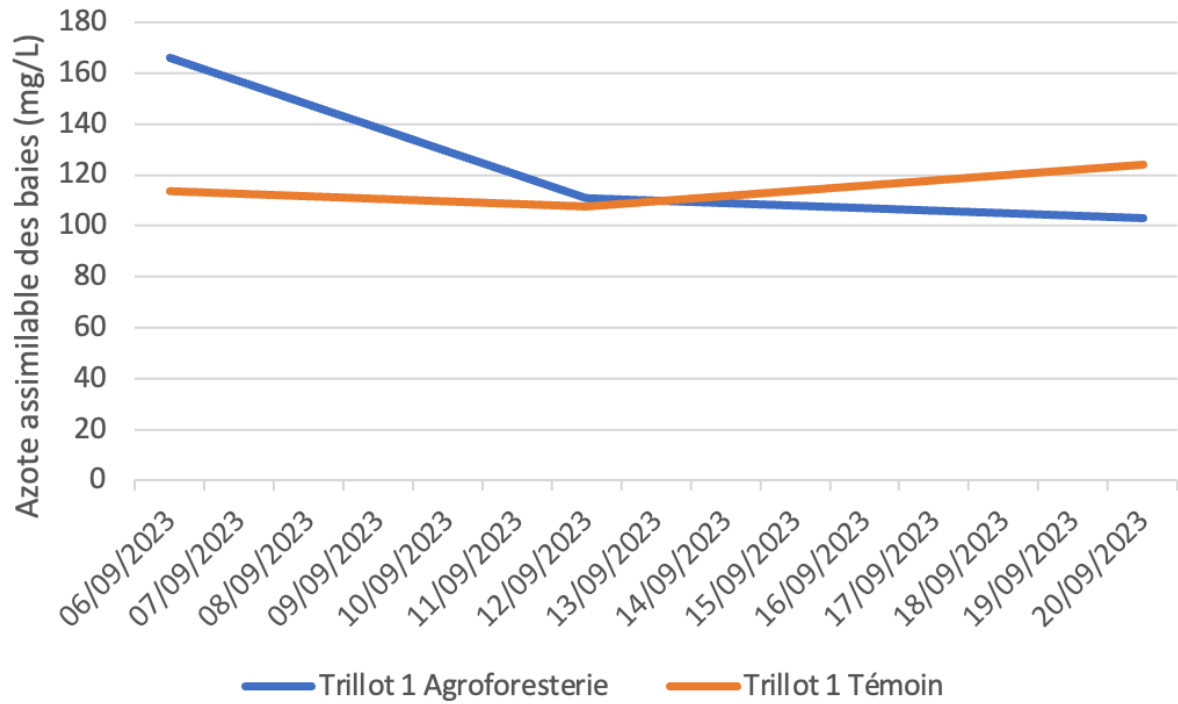
Histogramme des mesures du Ntester de la parcelle Socs 3 en 2023



Courbe d'évolution des mesures d'azote assimilable de la parcelle Socs 3 en 2023

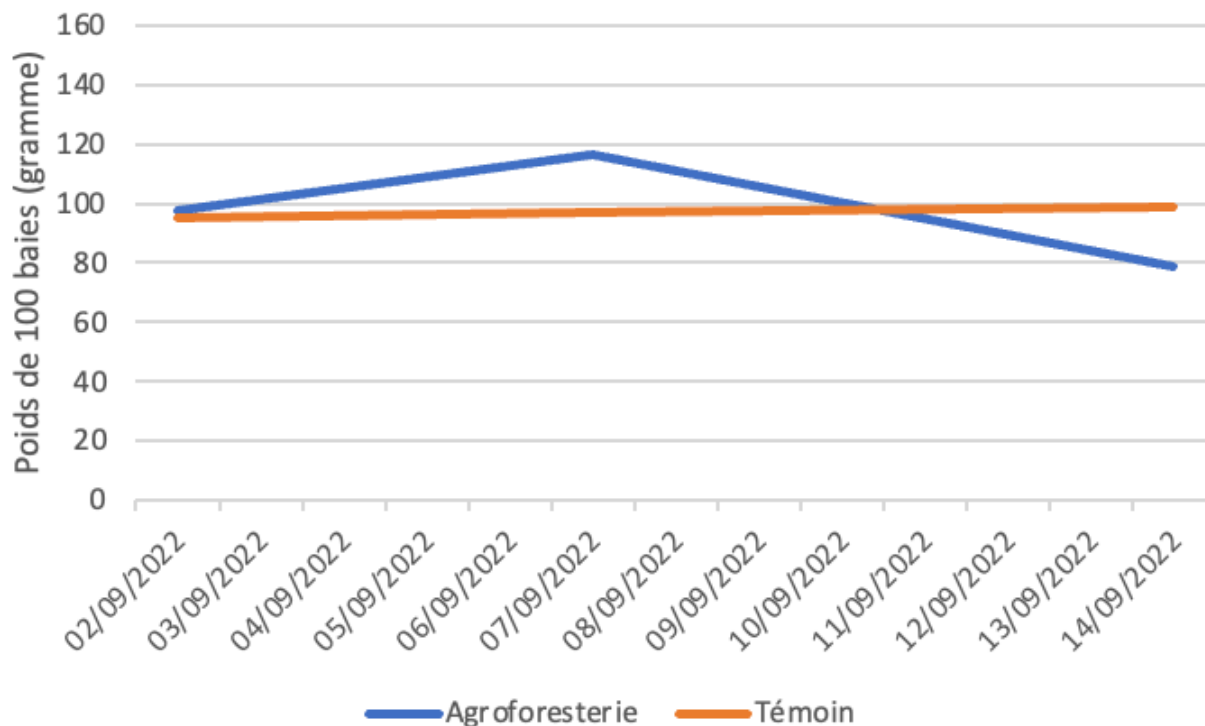


Histogramme des mesures du Ntester de la parcelle Trillot 1 en 2023

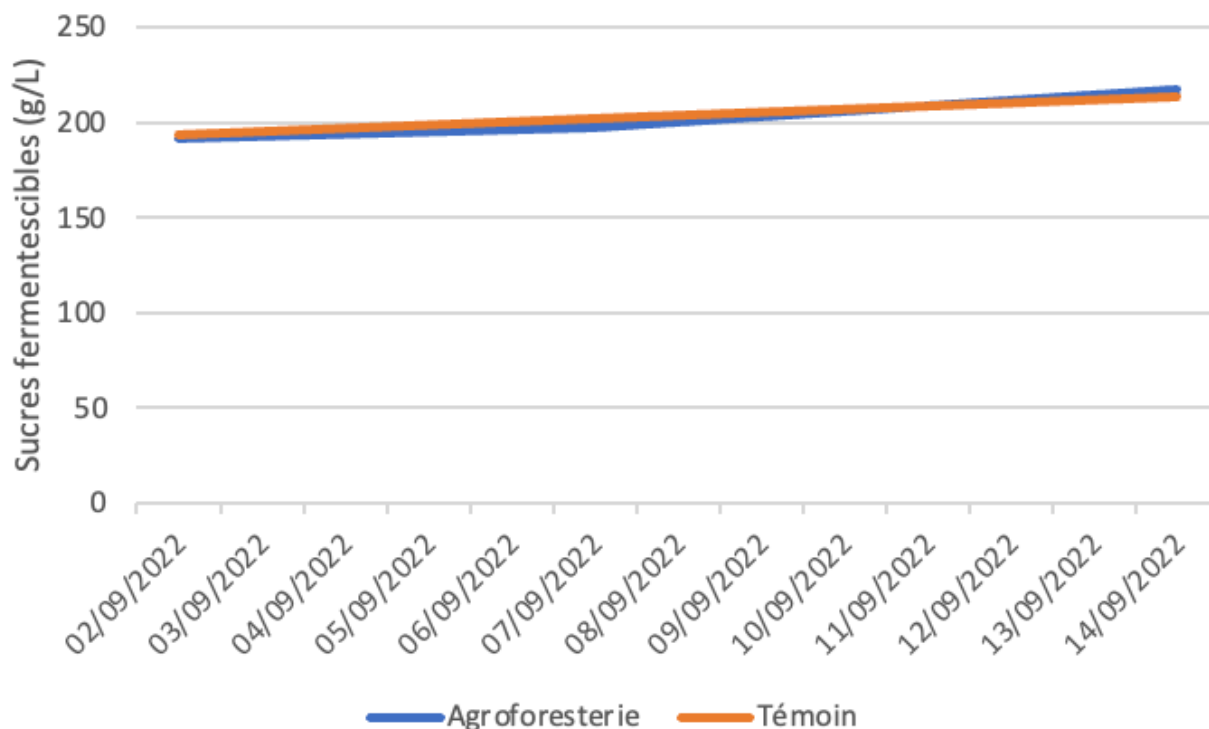


Courbe d'évolution des mesures d'azote assimilable de la parcelle Trillot 1 en 2023

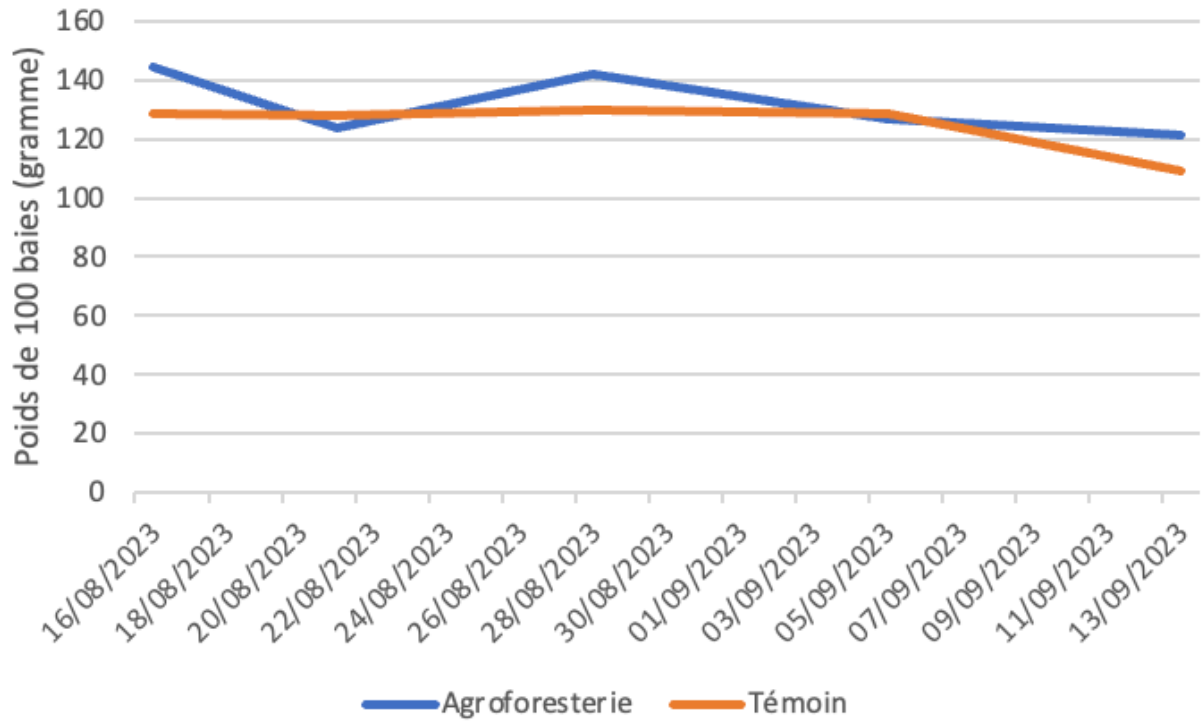
ANNEXE VIII : DONNEES ANALYTIQUES DES SUIVIS MATURITES 2022-2023



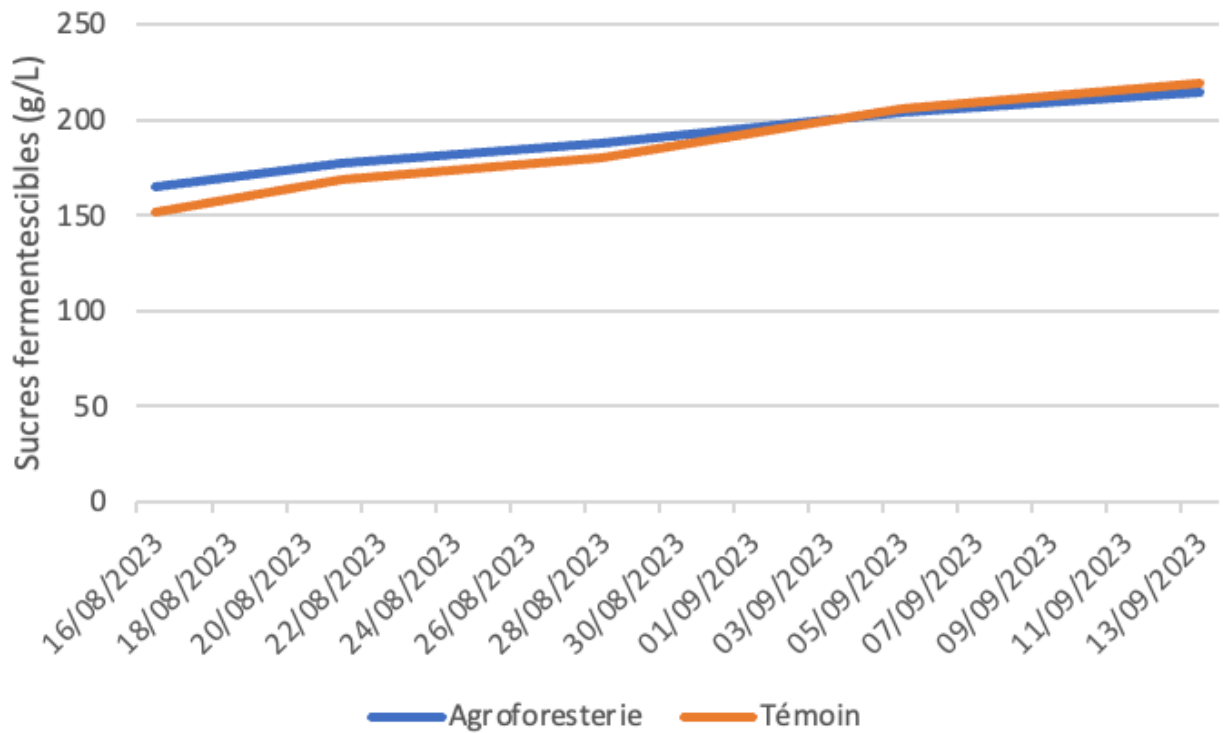
Courbe d'évolution de poids de 100 baies de la parcelle Petit Sablonnet en 2022



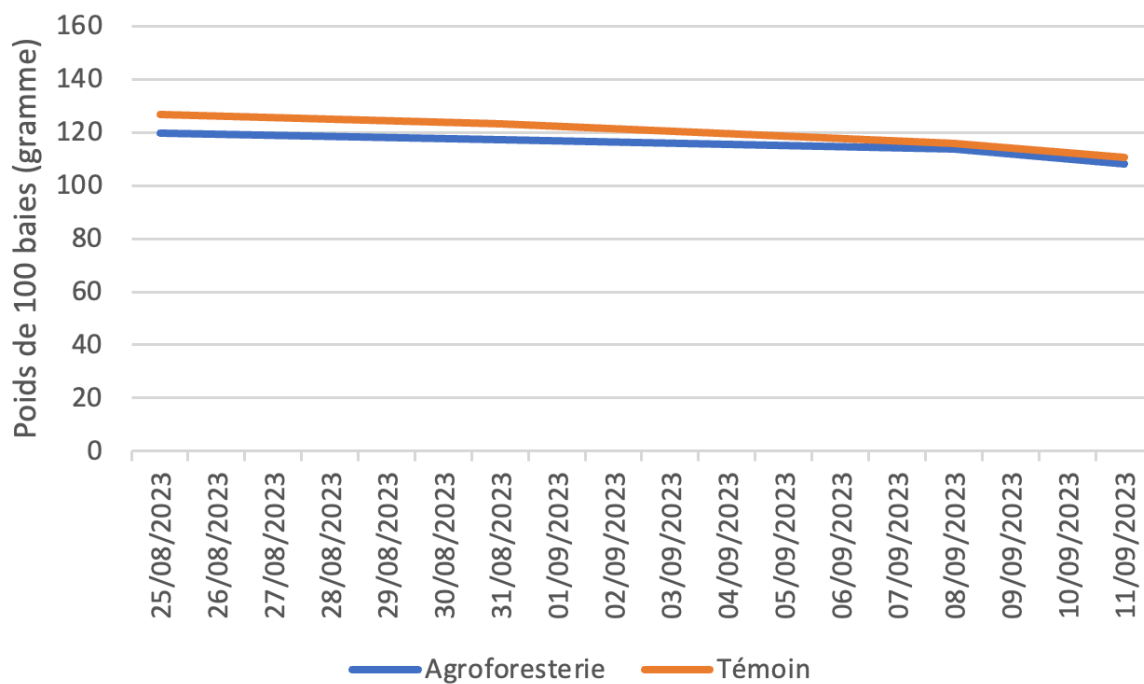
Courbe d'évolution des sucres fermentescibles de la parcelle Petit Sablonnet en 2022



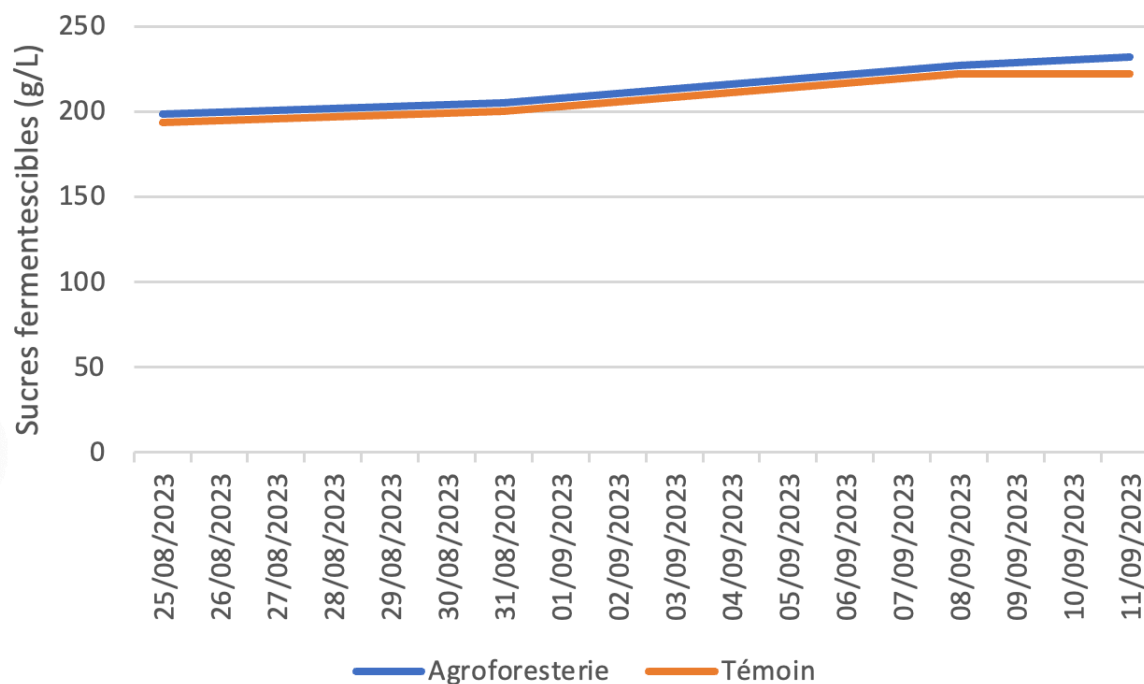
Courbe d'évolution de poids de 100 baies de la parcelle Trillot 1 en 2023



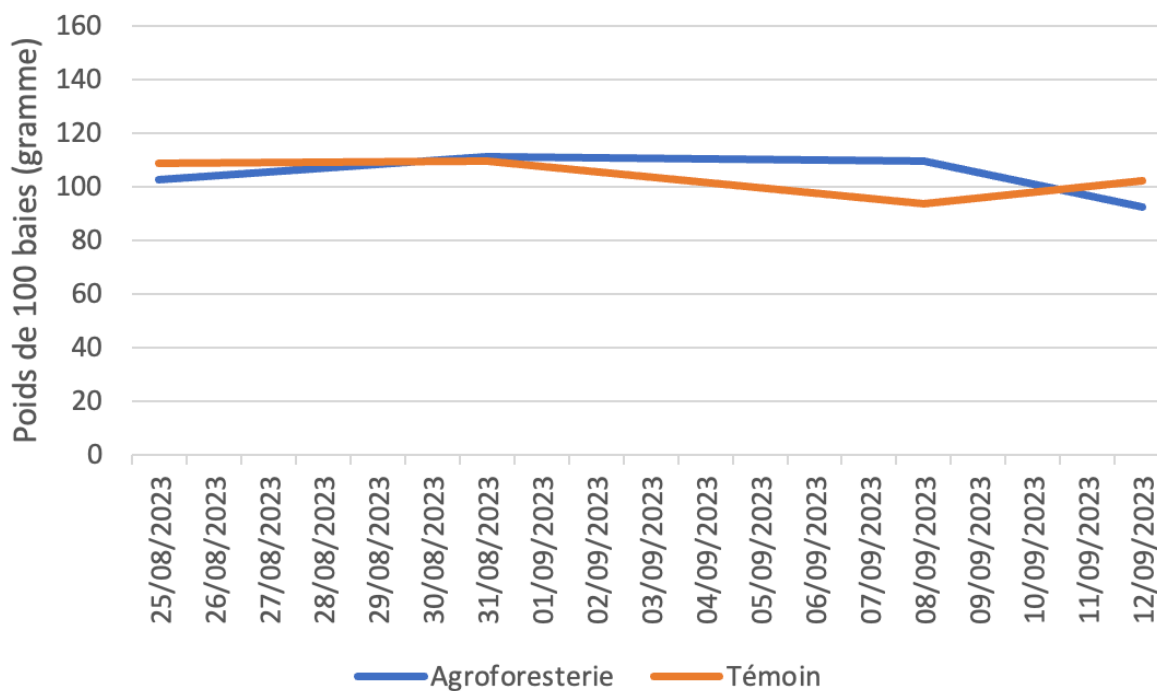
Courbe d'évolution des sucres fermentescibles de la parcelle Trillot 1 en 2023



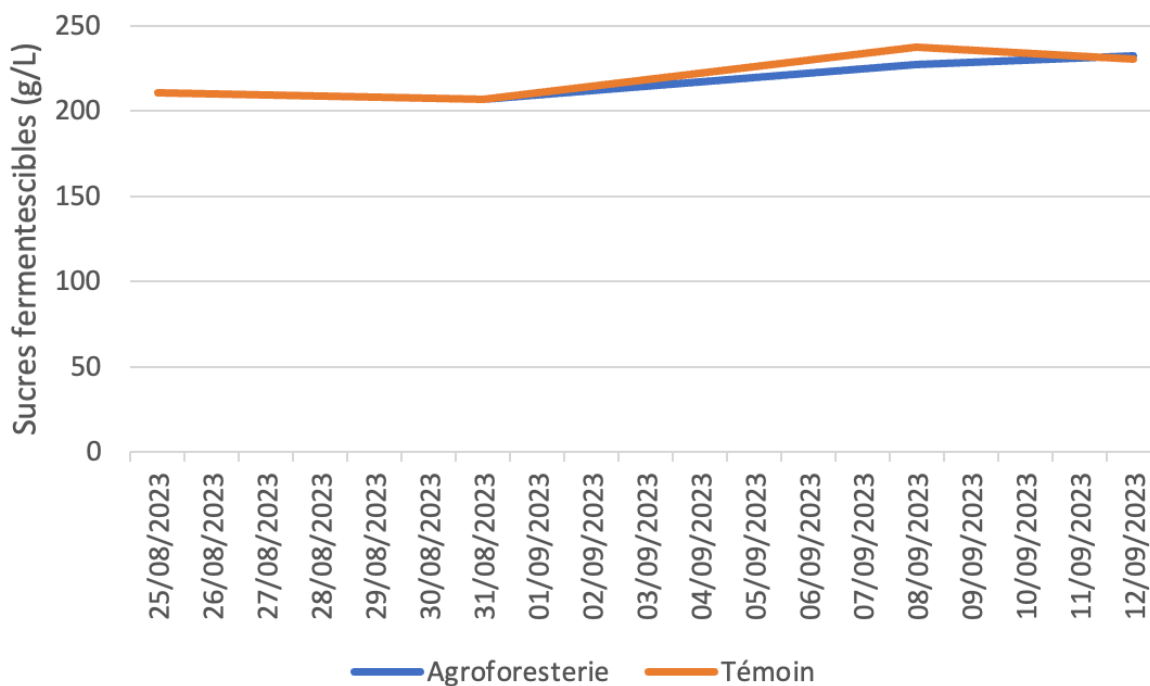
Courbe d'évolution de poids de 100 baies de la parcelle Socs 3 en 2023



Courbe d'évolution des sucres fermentescibles de la parcelle Socs 3 en 2023



Courbe d'évolution du poids de 100 baies de la parcelle Prairie CS en 2023

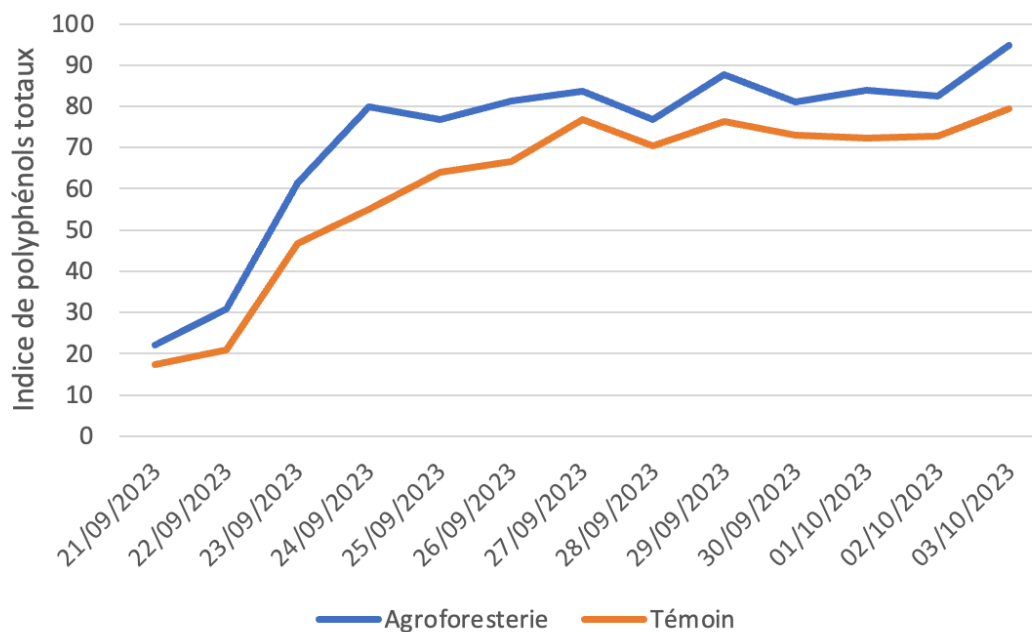


Courbe d'évolution des sucres fermentescibles de la parcelle Prairie CS en 2023

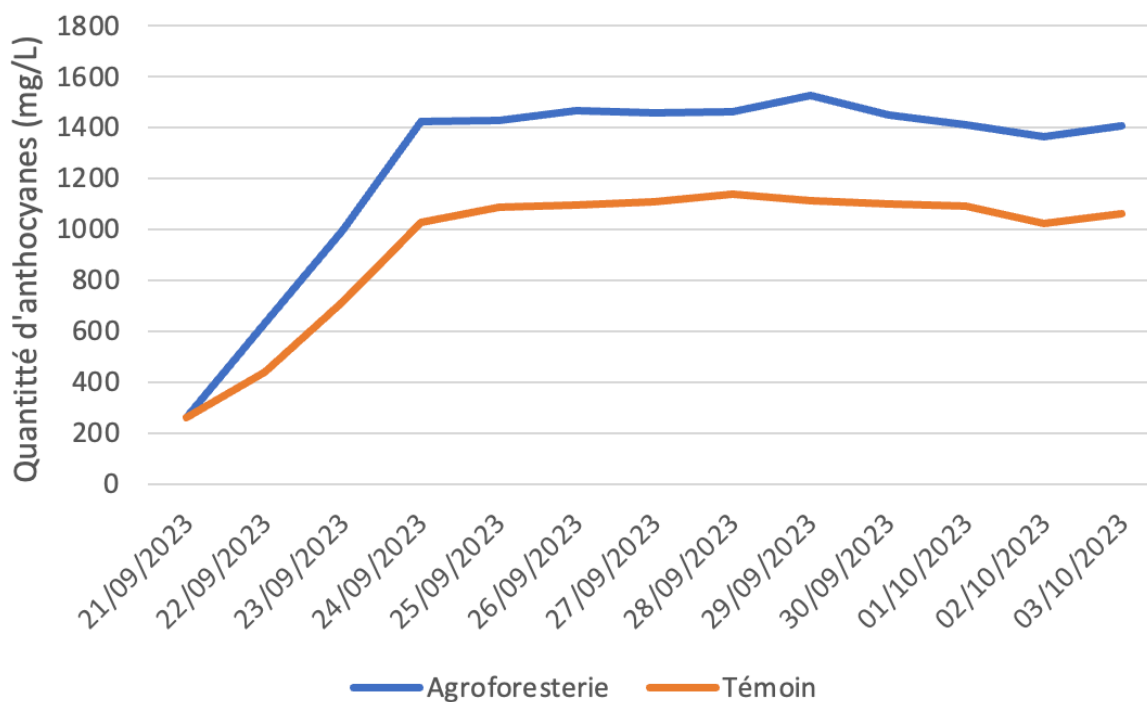
ANNEXE IX : DONNEES ANALYTIQUES DE FIN DE FERMENTATION ALCOOLIQUE DES MICRO-VINIFICATIONS 2023

Tableau des données analytiques de fin de fermentation des micro-vinifications :

Modalité	Date	DO280	DO320	DO520	IPT	Tanins	Anthocyanes
Agroforesterie	03/10/2023	0,948	0,407	0,618	95	3525	1407
Témoin		0,795	0,344	0,467	80	3151	1063

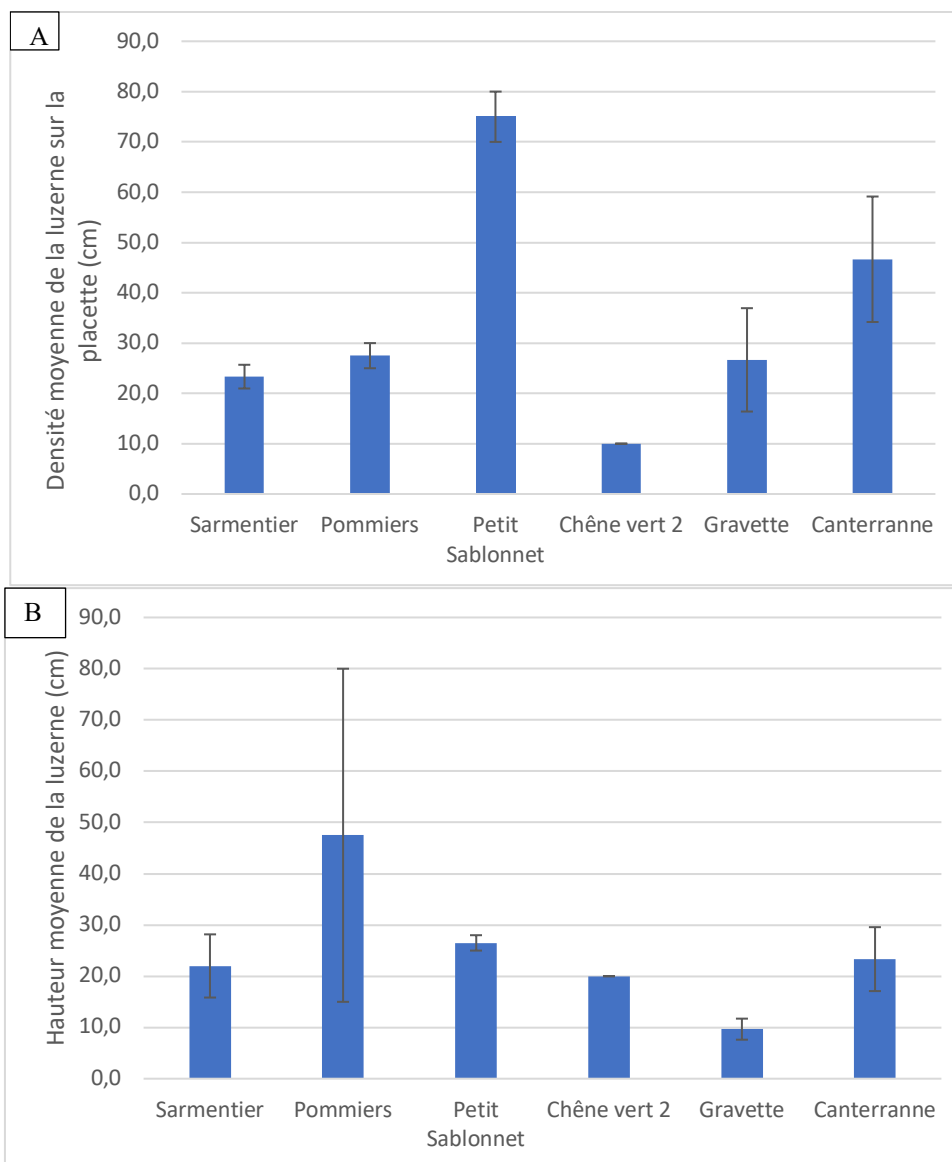


Courbe de la cinétique d'extraction des polyphénols lors des micro-vinifications 2023

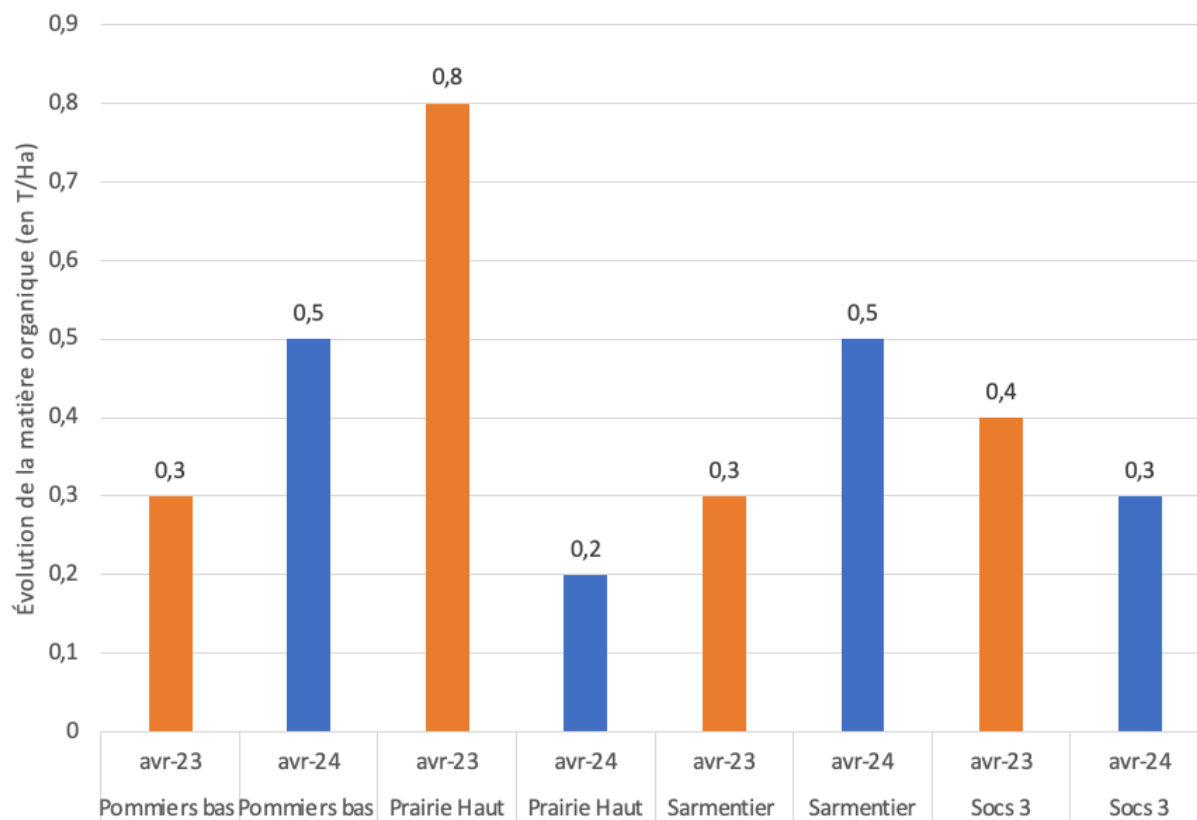


Courbe de la cinétique d'extraction des anthocyanes lors des micro-vinifications 2023

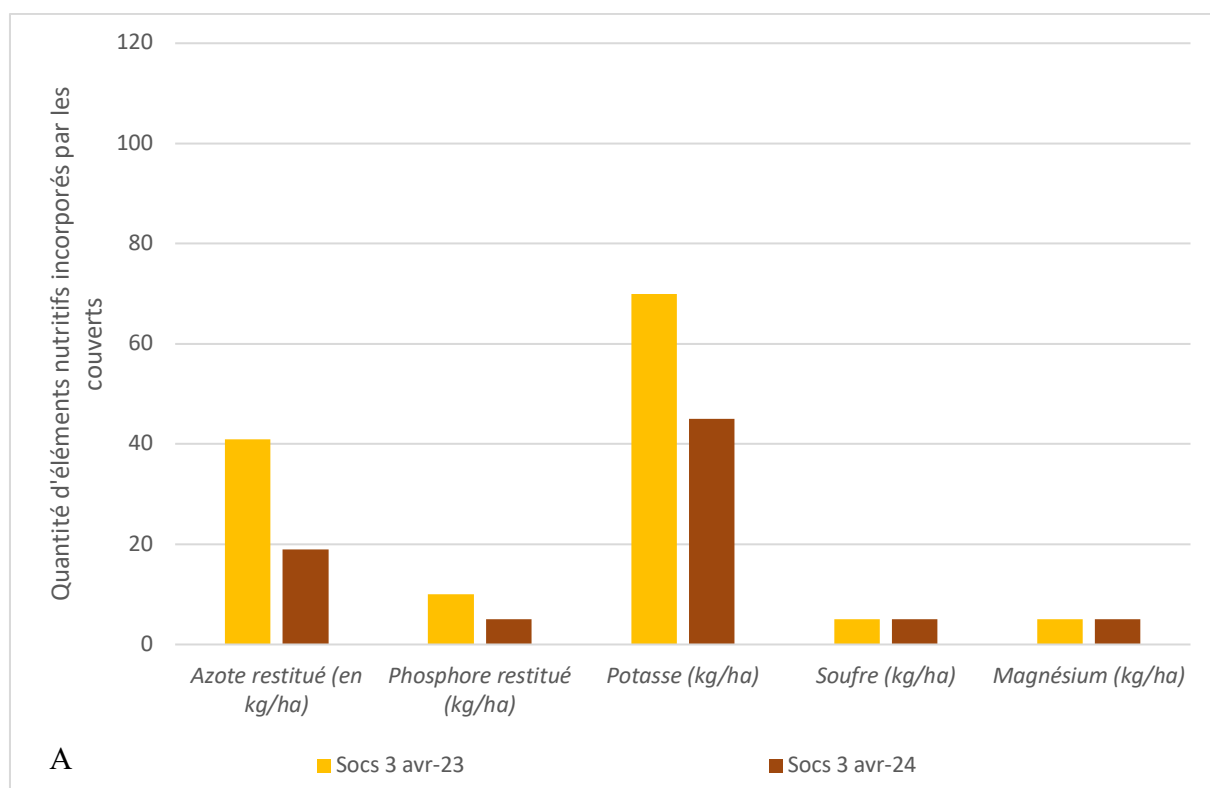
ANNEXE X : DONNEES D'ETUDE DES PROPRIETES DES COUVERTS VEGETAUX 2023 – 2024



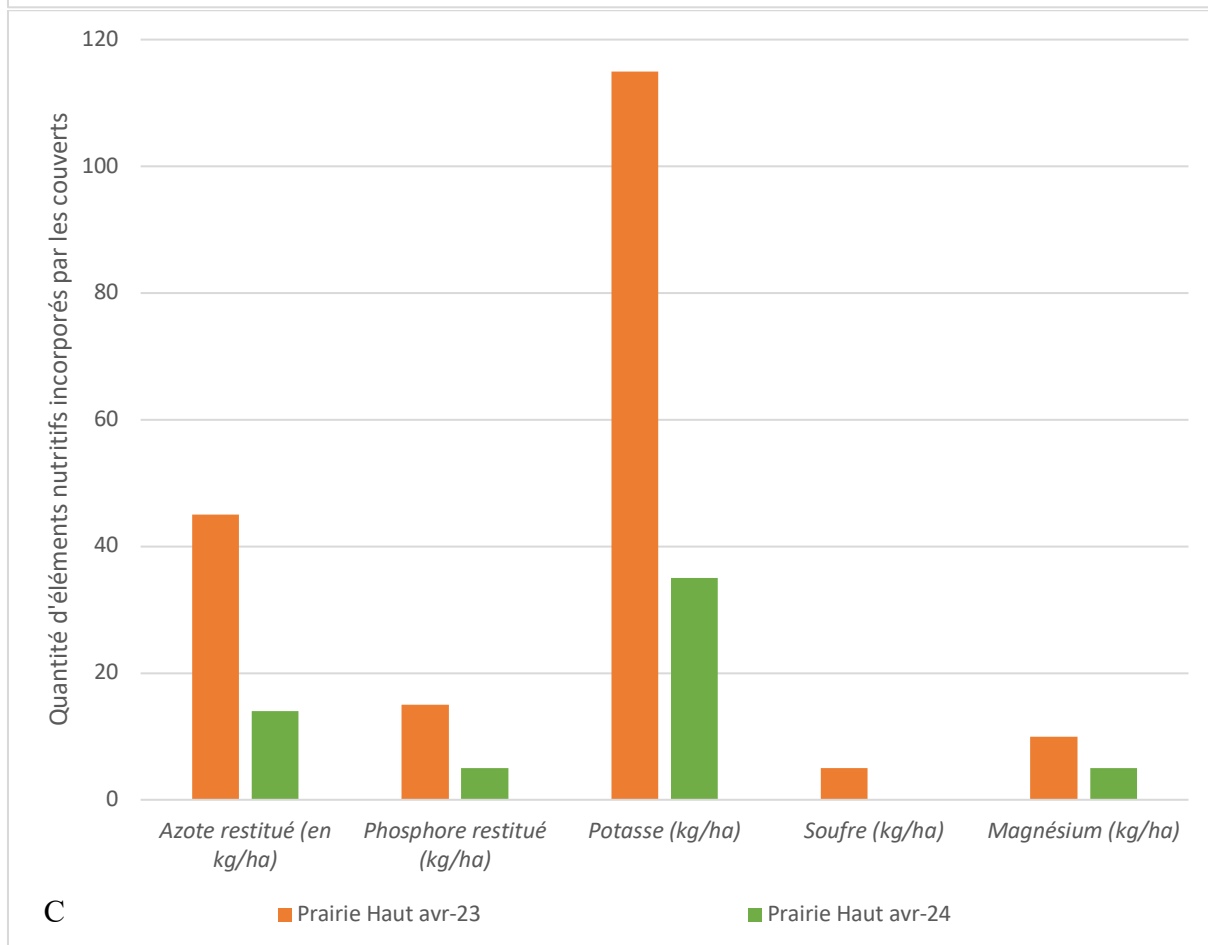
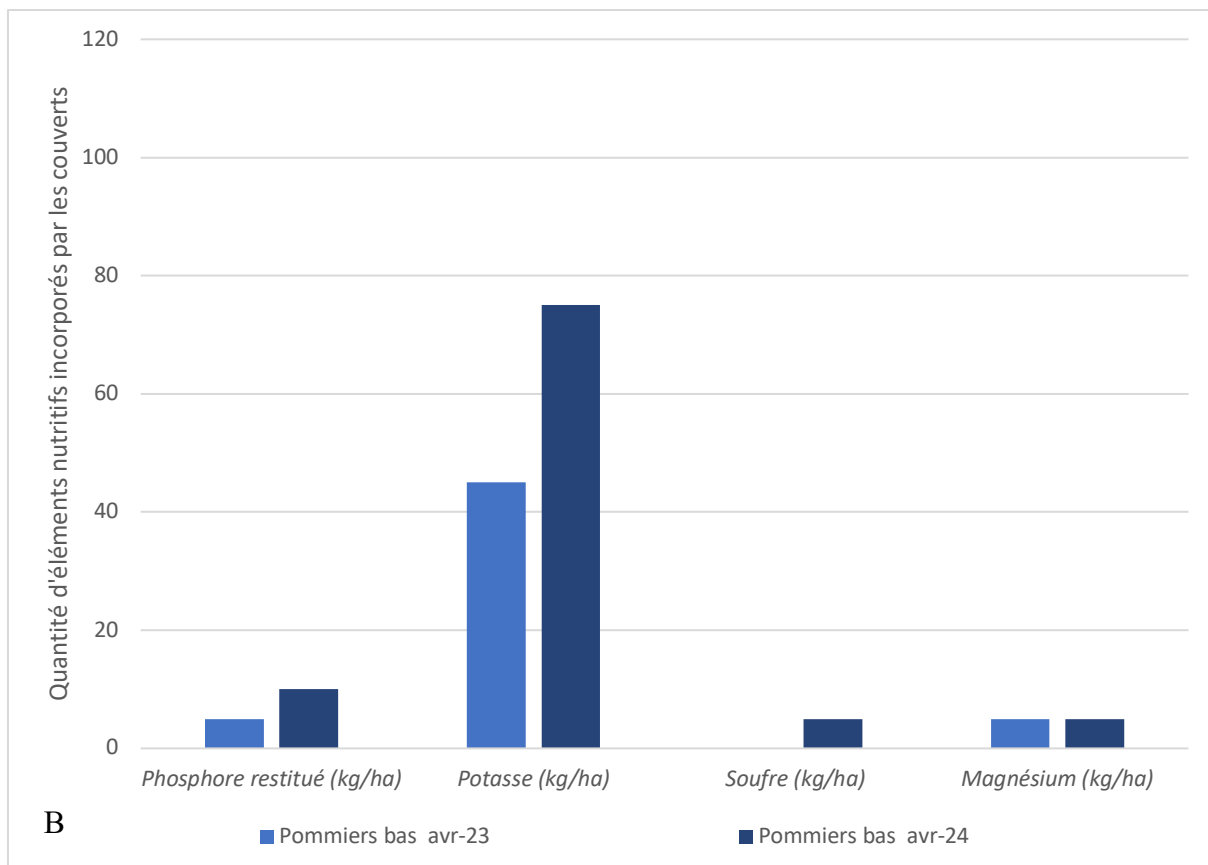
Densité moyenne (A) et Hauteur moyenne (B) de la luzerne endémique en 2024 sur plusieurs parcelles, estimés par mesure in situ

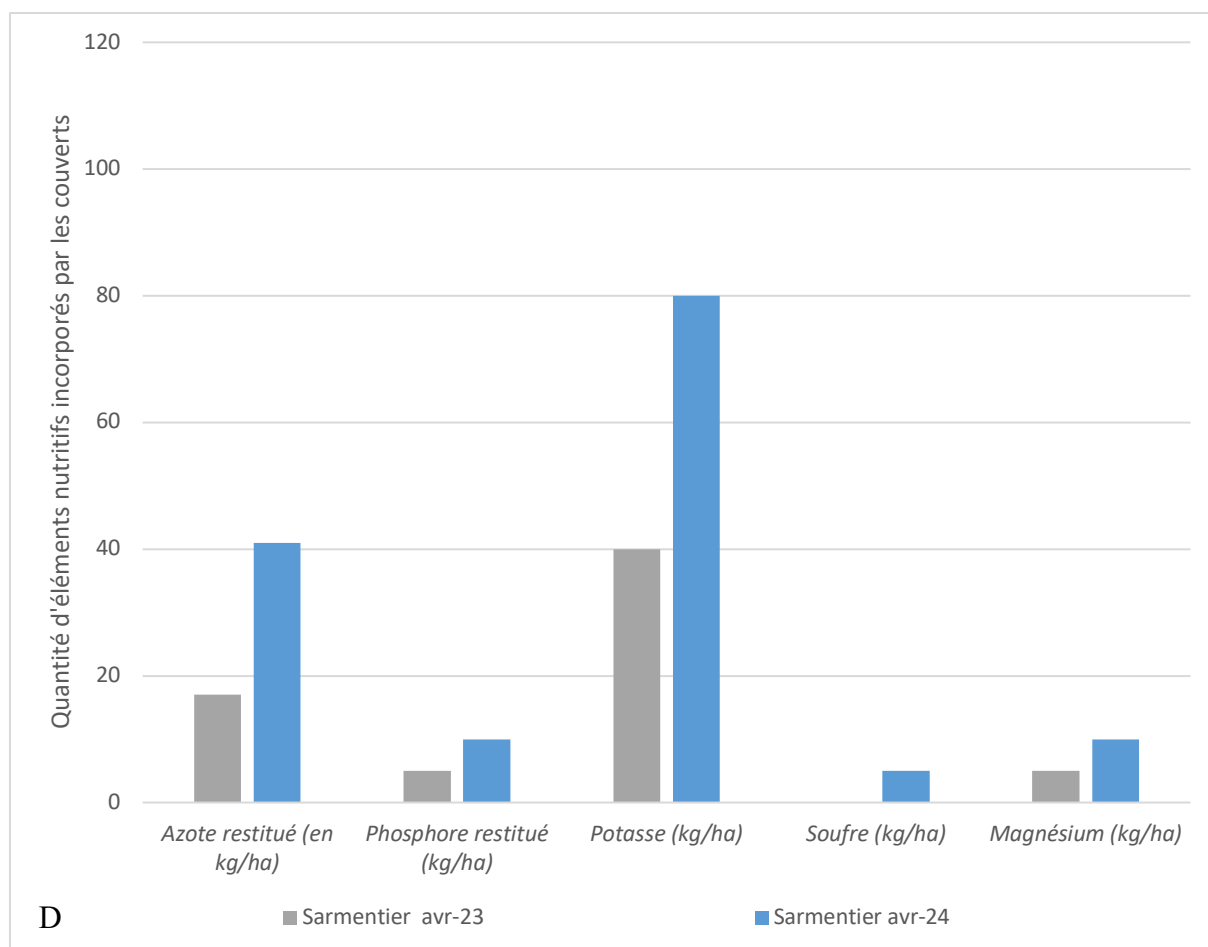


Histogramme des évolutions théoriques de la matière organique des parcelles en 2023-2024

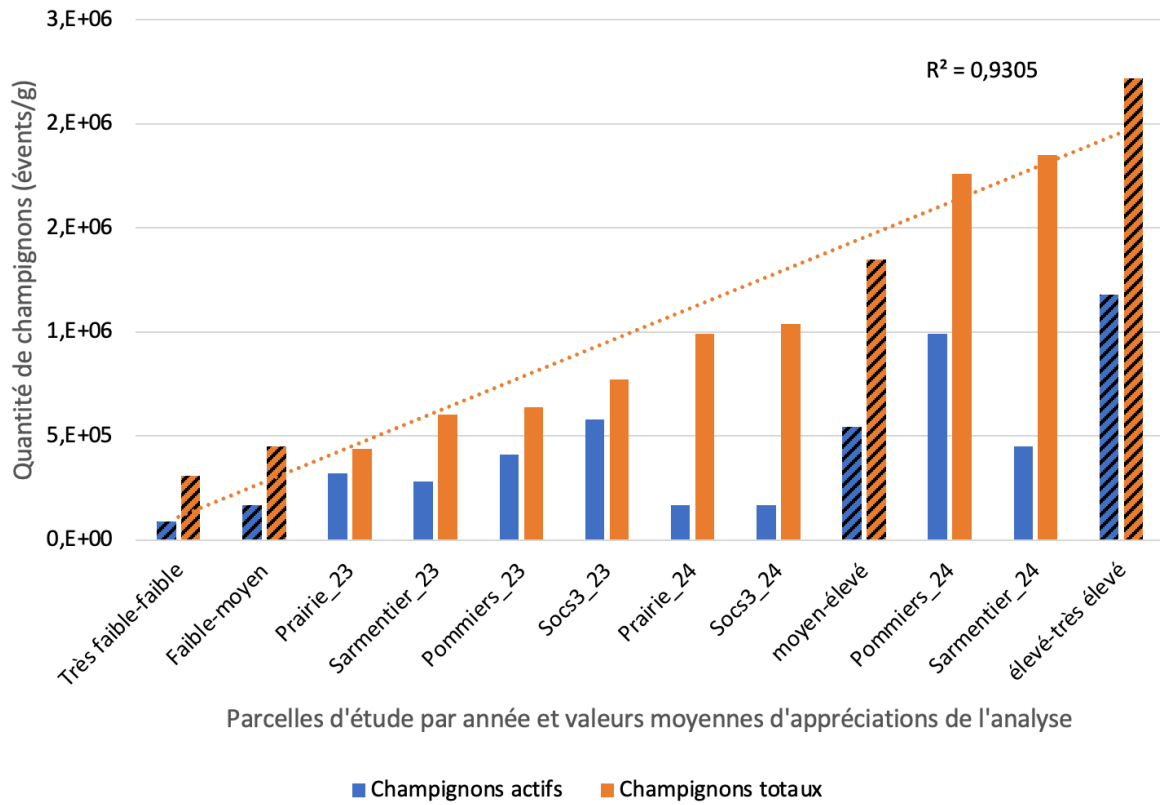


A

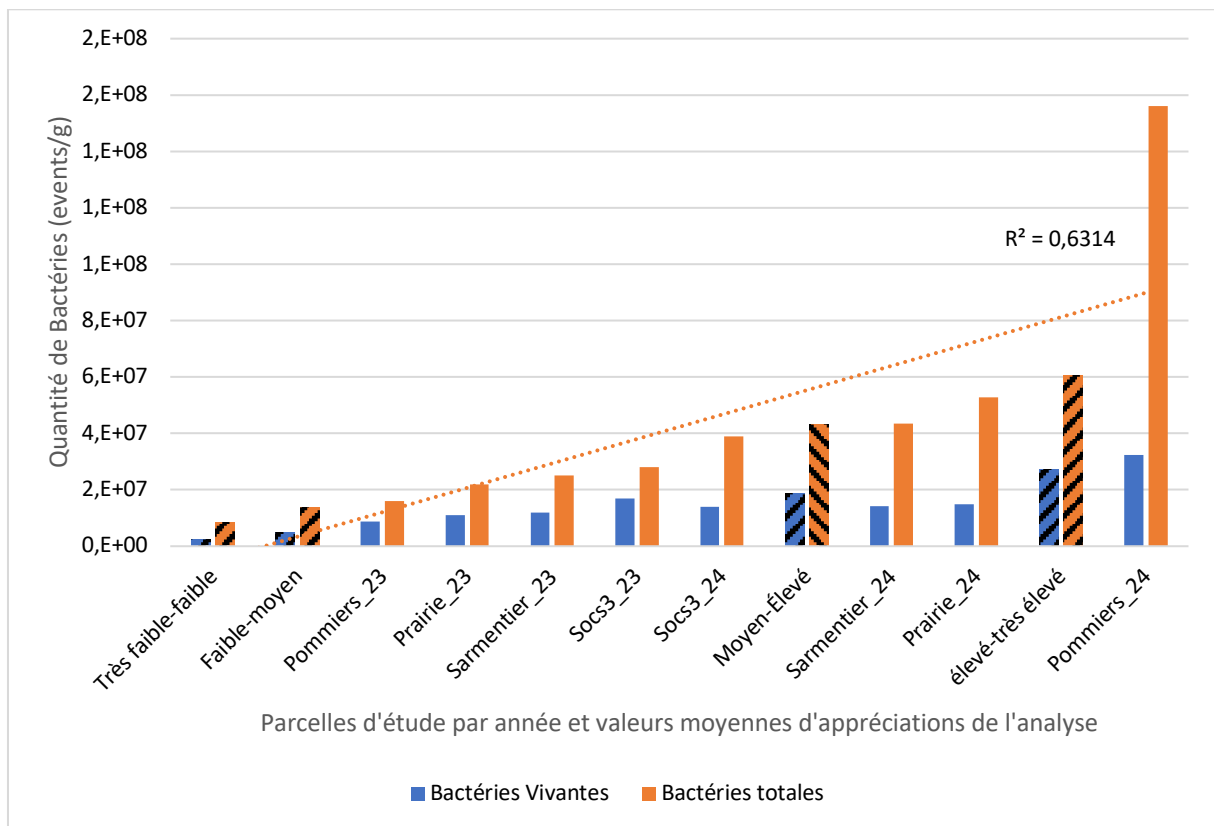




Histogramme des évolutions théoriques des parcelles Socs 3 (A), Pommiers (B), Prairie CS (C) et Sarmentier (D) en éléments nutritifs apportés par le couvert végétal, sur la période 2023-2024



Histogramme des évolutions des quantités de champignons des parcelles en 2023-2024



Histogramme des évolutions des quantités de bactéries des parcelles en 2023-2024

Résumé :

La mise en place de pratiques agroécologiques en viticulture est un sujet d'étude au cœur des préoccupations actuelles. Le contexte de cette étude se situe sur l'agroforesterie et les couverts végétaux (semés et naturels) dans un vignoble bordelais face aux défis climatiques et écologiques.

Les objectifs sont d'analyser l'impact sur la vigne, ainsi que sur la biodiversité et la fertilité des sols de 2022 à 2024.

Concernant les résultats, l'agroforesterie attire plus d'auxiliaires sous certaines conditions climatiques, n'affecte pas négativement la croissance des rameaux, l'alimentation azotée et la fertilité de la vigne, ni le style du vin (légère tendance de volume et de complexité à la dégustation). Les couverts végétaux ont la capacité d'augmenter la biodiversité et d'incorporer des éléments nutritifs aux sols, en apportant de la matière sèche, de l'azote et des nutriments (P, K, S, Mg). Les meilleurs résultats concernent les couverts semés.

En conclusion, les pratiques agroécologiques en viticulture peuvent augmenter la diversité des insectes sans impacts significatifs sur la culture principale, les couverts enrichissent en éléments fertilisants et favorisent l'augmentation de la faune.

Mots Clés : diversité, faune auxiliaire, viticulture, changement climatique, agroécologie, agroforesterie, couverts végétaux, auxiliaires, ravageurs, fertilité.

Pour citer ce document : [Derenoncourt, Théo, 2024. Étude de pratiques agroécologiques pour une production viticole de qualité au Château Latour. Mémoire d'ingénieur agronome, option viticulture-œnologie, L'Institut Agro Montpellier. 36 p.]