

Université de Montréal

L'effet biophile en milieu collégial  
*L'importance d'une vue sur la nature*

*Par*

Diane Thode

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement et développement durable, option gestion de la biodiversité

Février 2022

© Diane Thode, 2022

Université de Montréal



*Ce mémoire intitulé*

L'effet biophile en milieu collégial  
*L'importance d'une vue sur la nature*

*Présenté par*

**Diane Thode**

*A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes*

**Robert Kasisi**

Directeur de recherche

**Sara Teitelbaum**

Présidente du jury

**Michel Max Raynaud**

Membre du jury

## Résumé

Les changements démographiques et climatiques que nous vivons actuellement mènent à de nouveaux défis pour les concepteurs du milieu bâti. La dégradation des systèmes naturels ainsi que la densification urbaine réduit les possibilités d'exposition au monde naturel des citoyens. Des études empiriques ont démontré que cette exposition a un effet réparateur en contribuant à réduire notre stress et à augmenter notre niveau d'attention. C'est ce que nous nommons l'effet biophile. Quoiqu'encore à ses débuts, le domaine du design biophile cherche un appui scientifique pour promouvoir la réintégration de la nature en ville.

L'objectif pratique de ce mémoire est de proposer une vision écosystémique aux concepteurs et décideurs, afin d'influencer le processus de design de nos villes. L'objectif académique est de contribuer aux données probantes dans le domaine de la conception biophile en milieu scolaire. Une approche de « design fondé sur les données probantes » est utilisée, afin d'infirmier un lien positif entre une exposition au monde naturel et le succès scolaire. Notre recherche est observationnelle, étant basée sur des conditions existantes et des données historiques. En caractérisant des expériences biophiles liées aux vues par les fenêtres des salles de classe, nous explorons leur rapport avec les résultats scolaires d'étudiants au niveau collégial. L'effet de ces expériences est modélisé par régression linéaire en utilisant des méthodes d'analyses quantitatives.

Nos résultats initiaux démontrent que sous certaines conditions, il y a un effet biophile positif mesurable et légèrement significatif. En réduisant la portée au cours *vision du monde*, nos résultats subséquents indiquent que les étudiants réussissent mieux dans les salles de classe avec un plus haut degré biophile. Il en est de même pour les étudiants dans les salles de classe avec un plus grand pourcentage de fenêtres. Malgré ces résultats encourageants, nous ne sommes pas en mesure de dire que l'effet biophile est toujours présent ou même toujours positif dans un milieu d'enseignement. Il existe plusieurs opportunités de recherche dans ce domaine qui transcendent les simples résultats scolaires.

**Mots-clés** : design biophile, architecture biophile, biophilie, effet biophile, biodiversité urbaine, succès scolaire

## **Abstract**

Climate change and demographic expansion have led to new challenges for design professionals. The degradation of our natural systems as well as urban densification reduce the opportunity for city dwellers to be exposed to the natural world. This exposure has been shown empirically to have a restorative effect by reducing stress and increasing attention. We call this the biophilic effect. Although still in its early stages, the field of biophilic design is using a scientific approach in an effort to green our cities.

The practical objective of this research is to expose designers and administrators to an ecosystemic worldview that will hopefully impact their design and decision-making process. The academic objective is to contribute to the body of knowledge in the field of biophilic design in academic environments.

We use methods borrowed from 'Evidence Based Design' to test the hypothesis that the biophilic effect has a positive impact on college student performances. It is an observational study based on existing conditions and historical data. By characterising biophilic experiences linked to window views from the classrooms, we explore their impact on student grades. The biophilic effects are modelled using linear regression in a quantitative analysis.

Our initial results indicate that in certain circumstances there is a measurable, slightly significant, positive biophilic effect. When focusing on the *Worldview* course, subsequent results show that students do better in a classroom with a higher degree of biophilic features. They also perform better in classrooms with larger or more windows. Although these results are encouraging, we are far from being able to state that a biophilic effect is always present or always positive in an educational setting. There are many research opportunities in this field that go well beyond simple performance outcomes.

**Keywords:** biophilic design, biophilic architecture, biophilia, biophilic effect, urban biodiversity, student success

## Table des matières

Résumé .....	3
Abstract .....	4
Table des matières .....	5
Liste des tableaux .....	7
Liste des figures .....	8
Remerciements .....	9
Chapitre 1 Introduction .....	10
1.1 Contexte global .....	10
1.2 L'hypothèse biophile .....	11
1.3 La crise écologique .....	11
1.4 Le design biophile .....	12
1.5 La présente étude .....	14
Chapitre 2 Revue de littérature .....	16
2.1 État des lieux de la recherche .....	16
2.2 Critique de l'approche biophile .....	19
2.3 Points clés de la revue de littérature .....	20
Chapitre 3 Méthodes et résultats .....	21
3.1 Contexte de l'étude de cas .....	21
3.2 Design et collecte de données .....	22
3.3 Choix des variables .....	24
3.4 Choix de méthode d'analyse statistique .....	33
3.5 Préparation des données .....	34

3.6 Analyses statistiques .....	41
Chapitre 4 Discussion .....	58
4.1 Le design biophile en pratique .....	58
4.2 Réflexion sur la méthodologie .....	59
4.3 Limites de l'étude .....	60
4.4 Pistes de recherche .....	61
4.5 Conclusion .....	63
Références bibliographiques.....	64
Annexes .....	67
Annexe 1 : Les 14 modèles du design biophile (Terrapin 2014) .....	67
Annexe 2 : Répartition des SDC par profil biophile (PB) .....	68

## Liste des tableaux

Tableau 1. –	Attributs biophiles selon le type d'expérience vécue de Kellert et Calabrese.....	25
Tableau 2. –	Extrait des 14 modèles de design biophile de Terrapin .....	26
Tableau 3. –	Description des attributs biophiles .....	29
Tableau 4. –	Description des profils biophiles .....	32
Tableau 5. –	Résultats des tests de T pour différents cours .....	36
Tableau 6. –	Comparaison de modèles : attributs biophiles .....	43
Tableau 7. –	Comparaison de modèles: profils biophiles .....	48

## Liste des figures

Figure 1. –	Vue aérienne du Collège Dawson (Google Earth).....	21
Figure 2. –	Représentation du modèle biophile P1 : Lien visuel avec la nature.....	26
Figure 3. –	Représentation du modèle biophile P6 : Lumière dynamique et diffuse.....	27
Figure 4. –	Représentation du modèle biophile P7 : Lien avec les systèmes naturels.....	27
Figure 5. –	Représentation du modèle biophile P11 : Perspective.....	28
Figure 6. –	Représentation du modèle biophile P12 : Refuge.....	28
Figure 7. –	Résultats de l’analyse K-means pour partitionner les SDC.....	31
Figure 8. –	Formule mathématique d’une régression linéaire multiple.....	33
Figure 9. –	Histogramme des moyennes de fin de session par prof.....	37
Figure 10. –	Histogrammes de la variable réponse avant et après transformation.....	39
Figure 11. –	Graphique d’interaction entre verdure et luminosité modèle K.....	44
Figure 12. –	Graphique d’interaction entre verdure et enseignants <i>modèle K</i> .....	45
Figure 13. –	<i>Boxplot</i> profil biophile et <i>prof</i> avec données brutes (échantillon réduit).....	47
Figure 14. –	Valeurs prédites EMM par profil biophile par <i>prof</i> modèle 6E.....	50
Figure 15. –	Valeurs prédites EMM par PB par prof modèle 6F.....	51
Figure 16. –	Valeurs prédites EMM par prof par PB modèle 6F.....	51
Figure 17. –	Valeurs prédites EMM par PB par <i>prof</i> modèle 6Ft.....	52
Figure 18. –	Comparaison des EMM par paires de PB modèle 5E.....	53
Figure 19. –	Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6E.....	53
Figure 20. –	Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6F.....	54
Figure 21. –	Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6Ft.....	54
Figure 22. –	Classe avec un profile biophile PB4.....	55
Figure 23. –	Classe avec profil biophile PB6.....	55



## Remerciements

J'ai eu la chance de recevoir l'appui de plusieurs personnes lors de mon parcours de maîtrise. Premièrement, merci à mon directeur de recherche Robert Kasisi pour sa vision macroscopique et sociale qui a été très appréciée pour la portion qualitative de cet ouvrage. Il m'a encouragé à porter le chapeau biodiversité plutôt que celui d'architecte et d'élargir mes horizons.

Je tiens à remercier les deux parties prenantes au collège Dawson, Chris Adam et Ray Bourgeoy. Les deux ont appuyé mon projet dès le départ. Merci à Chris d'avoir partagé son savoir et son enthousiasme. Merci à Ray d'avoir fourni les clés d'accès, littéralement et métaphoriquement, aux ressources du Collège et de m'avoir accompagné sur le terrain.

J'aimerais souligner l'apport de Pierre Legendre dans le cadre de mes analyses statistiques. Son cours de statistiques en écologie numérique était à la fois une initiation à l'univers des statistiques et à la perspective écologique.

J'aimerais remercier ma fille Katia Forgues, qui, par un heureux hasard, écrivait son mémoire de maîtrise en même temps que moi. La synergie et les échanges que nous avons partagés ont grandement contribué à mon avancement et à ma motivation.

Finalement, je ne peux passer sous silence la contribution de Jean-Luc Audoin. Sans lui, ce mémoire serait truffé d'anglicismes.

# Chapitre 1 Introduction

## 1.1 Contexte global

La modernisation et la densification urbaine qui se manifestent à l'échelle mondiale mènent à de nouveaux défis d'adaptation pour l'humain. La relation entre l'homme et son environnement se trouve modifiée, en particulier sa relation avec le monde naturel. Stephen Kellert, dans l'introduction du livre qu'il a co-édité sur la conception biophile, identifie deux conséquences à ces tendances mondiales. Il s'agit de « la transformation massive et la dégradation des systèmes naturels, ainsi que l'aggravation de la séparation homme-nature » (S. R. Kellert et al., 2008, p. 5).

Le monde naturel dans lequel nous avons évolué durant des millénaires est graduellement remplacé par un monde d'artéfacts humains et, plus récemment, un monde virtuel. Il en résulte ce que Richard Louv appelle le trouble déficitaire de la nature (*nature-deficit-disorder*) qui se caractérise par « une diminution de l'usage des sens, des difficultés d'attention et un taux plus élevé de maladies physiques et mentales » (S. R. Kellert et al., 2008, p. 208).

Nos environnements bâtis modernes sont souvent stériles : température, niveaux d'humidité et d'éclairage statiques, panorama olfactif, auditif et visuel pauvre en stimuli. Judith Heerwagen, une psychologue américaine spécialisée en conception biophile, les compare aux enclos des animaux dans les anciens zoos, qui ont, ironiquement, été proscrits à cause de leur inhumanité (S. Kellert & Calabrese, 2015, p. 7).

Un environnement biophile, en contraste, fait appel à tous les sens. À titre d'exemple, dans une forêt, nous vivons simultanément le chant des oiseaux, l'odeur de l'humus et des végétaux, la sensation du vent sur la peau, le mouvement des insectes et des nuages. Un tel environnement éveille la fascination et nous permet de nous perdre dans le moment présent. Au Japon, cette idée a fait son chemin au point qu'il est pratique courante de prescrire un bain de forêt (*shinrin yoku*) aux citoyens surmenés et stressés. Plusieurs zones forestières ont d'ailleurs été réservées à cet effet par le gouvernement (Q. Li, 2018).

Dans les milieux urbains, nous devons composer avec une diminution de l'accès à la lumière naturelle, la verdure et la biodiversité. L'impact de cet environnement transformé sur la santé humaine se manifeste sur plusieurs niveaux, entre autres par l'augmentation du niveau de stress et la diminution de la capacité de concentration.

## **1.2 L'hypothèse biophile**

Le biologiste américain Edward O. Wilson a émis une hypothèse dans les années 80 pour expliquer la relation homme-nature du point de vue de la biologie évolutive. Elle postule que la relation homme-nature est innée et nécessaire à la santé et au bien-être de ce dernier (Wilson, 1984). Une des prémisses de l'hypothèse est l'existence d'une composante biologique, donc universelle, concernant la perception de la nature. Ce legs nous viendrait de notre longue évolution au sein du monde naturel, menant à une prédisposition à être affectés par ce dernier (positivement et négativement) afin d'assurer notre survie.

Stephen Kellert, un sociologue américain, contribua à l'élaboration de cette théorie. Le livre *The Biophilia Hypothesis*, édité par Kellert et Wilson et publié en 1995, marqua le début d'une exploration pluridisciplinaire du concept.

À la base de l'hypothèse biophile, il existe une polémique par rapport à la composante « innée » (génétique) de notre rapport avec le monde naturel versus la composante « apprise » (culturelle). Quoique cette polémique complexifie l'étude théorique de l'hypothèse biophile, elle ne change rien à l'agenda conservationniste explicite qui la motive. Elle promeut un changement de valeurs dans le but de protéger la biodiversité sur terre, pour le bien-être des hommes et de l'écosystème naturel.

## **1.3 La crise écologique**

Il n'est pas surprenant que la perception de la crise écologique et des solutions potentielles ne fasse pas consensus. Chaque culture véhicule une idéologie environnementale qui lui est propre. Les éthiques environnementales qui en découlent se situent sur un spectre allant de la perspective anthropocentrique valorisant uniquement l'humain, à la perspective écocentrique valorisant tous les éléments biotiques et abiotiques de notre écosystème (Corbett, 2006).

La perspective de développement occidentale est souvent perçue comme étant la source de la crise environnementale actuelle. Elle résulte de la perception de supériorité de l'humain, croyant que les ressources naturelles sont inépuisables et à sa disposition pour une croissance continue. Ceci aurait mené à l'objectification et l'exploitation de la nature (Jacob, 1994). Quoiqu'une vision écosystémique fait partie de plusieurs cultures non occidentales, elle est présente depuis peu en occident. L'écologie profonde et le développement durable représentent deux idéologies qui se situent aux pôles opposés du spectre éthique, mais qui partagent les mêmes objectifs.

L'écologie profonde est un mouvement initié en 1973 par le philosophe scandinave Arne Naess. Il promeut « l'égalitarisme biosphérique, la perspective selon laquelle toutes les entités vivantes ont une valeur intrinsèque, indépendamment de leur valeur aux autres » (Brennan & Lo, 2016). C'est une perception de la nature écocentrique qui préconise un changement de valeurs et de comportement et donc une rupture par rapport à la vision du monde occidental actuelle.

Le développement durable est porté par le mouvement conservateur qui prône une utilisation soutenable des ressources naturelles au bénéfice de l'humain. La définition la plus connue est celle du rapport Brundtland émise en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations Unies : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». C'est une perception de la nature anthropocentrique misant sur des solutions technologiques.

Peu importe l'idéologie ou la position éthique, il y a consensus sur le fait que notre survie est liée à la survie de l'écosystème. Le changement de paradigme proposé par le design biophile est de prendre un point de vue plus holistique permettant d'intégrer le milieu bâti à notre écosystème plutôt que le percevoir en opposition à ce dernier.

## **1.4 Le design biophile**

Le design biophile, selon un de ses pionniers Stephen Kellert, est une pratique qui établit la connexion homme nature par l'intermédiaire du milieu bâti. Il cherche à contrer les carences du cadre bâti et paysager contemporain. L'objectif est de créer «de bons habitats pour les humains

en tant qu'organismes biologiques dans un environnement bâti moderne qui promeut la santé et le bien-être de ces derniers » (Kellert, 2015).

Kellert considère le design biophile comme étant le chaînon manquant dans les approches de design écologique et regroupe les deux sous le titre de design environnemental réparateur (*Restorative Environmental Design*). Les approches environnementales encadrées par des programmes de certification de bâtiment écologiques, tel que LEED, se préoccupent surtout de l'impact de l'humain sur l'écosystème, tandis que le design biophile se préoccupe de l'impact de l'écosystème sur l'humain. Quoique le design biophile intègre aussi « nos responsabilités éthiques envers la sauvegarde du monde naturel » (S. Kellert & Calabrese, 2015, p. 22), il se concentre sur l'humain. Une combinaison holistique de ces deux optiques est donc nécessaire afin d'assurer un développement durable.

En tant que domaine académique, le design biophile fait le pont entre le subjectif et l'objectif. Roger Ulrich a développé un nouvel outil scientifique nommé en anglais *Evidence Based Design*. Quoiqu'il ne semble pas y avoir de consensus sur le nom en français, le terme « design fondé sur les données probantes » sera utilisé dans ce mémoire.

Ce domaine d'étude cherche à mesurer l'impact du milieu physique sur notre santé et notre bien-être en utilisant des indicateurs objectifs et en s'appuyant sur une méthodologie scientifique. L'impact d'un espace sur son occupant est représenté par des indicateurs physiologiques (ex. : pression sanguine, présence d'hormones), psychologiques (ex. : satisfaction, bien être) ainsi que cognitifs (ex. : performance, concentration). Les données probantes résultantes servent par la suite à informer le processus de design.

Une part importante de la base théorique provient de la psychologie environnementale. C'est un lien assez naturel puisque ce domaine d'étude porte, entre autres, sur les effets de l'environnement physique sur les humains. L'environnement physique comprend autant le milieu bâti que le milieu naturel.

La conception biophile découle directement de deux théories particulières qui se penchent sur l'importance du contact avec les éléments naturels ou inspirés de la nature.

La première est la théorie de réduction du stress (*Stress Reduction Theory- SRT*). Elle postule que lorsqu'un individu est stressé, un environnement physique naturel non menaçant aura un effet apaisant et récupérateur. À l'inverse, certains milieux urbains entravent cette récupération. (R. S. Ulrich et al., 1991). Plusieurs perspectives théoriques ainsi que recherches empiriques appuient cette hypothèse.

La deuxième est la théorie de la restauration de l'attention (*Attention Restoration Theory- ART*). Elle postule qu'un environnement biophile agit sur le système cognitif et provoque un effet de récupération mentale menant à une amélioration de la concentration et de la performance cognitive. Tandis que la SRT de Ulrich considère l'attention comme étant un sous-produit du niveau de stress, ART le voit en tant que mécanisme distinct et se penche plus particulièrement sur l'attention dirigée et la fatigue mentale (Kaplan & Kaplan, 1989). Une expérience de Li et Sullivan, qui sera discutée à la prochaine section, a d'ailleurs démontré que la diminution du stress et la récupération de l'attention sont deux mécanismes distincts.

Bien que les deux théories divergent sur les mécanismes explicatifs, toutes deux traitent d'environnements réparateurs et peuvent servir de point de départ pour une recherche empirique.

## **1.5 La présente étude**

Cette étude cherche à infirmer une relation entre le lien visuel avec la nature et la performance scolaire des groupes d'étudiants en milieu collégial. Elle vise aussi à développer une méthodologie d'analyse. C'est une évaluation quantitative à grande échelle qui se base sur des données secondaires.

Avant de définir la présente étude, une revue de littérature est effectuée afin d'identifier les déficits de recherche (*knowledge gaps*) et de la cadrer dans le contexte de recherches similaires.

Deux questions de recherche sont abordées. La première est une hypothèse postulant que les résultats scolaires sont positivement corrélés à l'abondance de caractéristiques biophiles dans une salle de classe. La deuxième cherche à distinguer diverses typologies de salles de classe,

différenciées selon leurs caractéristiques biophiles, par rapport à leur effet sur la performance scolaire.

D'un point de vue pratique, ce travail cherche à exposer les concepteurs et décideurs en milieu scolaire à une nouvelle approche écosystémique tenant compte de l'importance de la relation homme-nature. Ils pourront ainsi intégrer les préoccupations sur la santé et le bien-être humain dans leur processus décisionnel. Plus concrètement, elle vise à fournir des outils de design biophile pour les concepteurs en caractérisant les salles de classe par rapport à leur profil biophile. Ces outils sont issus d'une démarche scientifique.

D'un point de vue académique, cette étude cherche à contribuer au bassin de connaissances sur l'effet biophile en milieu scolaire. Elle fournit un exemple de définition d'indicateurs biophiles et une méthodologie d'analyse qui peuvent servir de base pour des recherches futures.

## Chapitre 2 Revue de littérature

Une revue de littérature est effectuée par rapport au design biophile dans le milieu bâti. Cette revue permet de constater l'état des lieux de l'avancement des recherches dans les milieux scolaires et de contextualiser le présent ouvrage. À part le premier exemple qui sert à établir le contexte historique, et la critique qui a une portée plus large, les exemples de recherches sélectionnés sont ceux qui s'assimilent à la présente étude soit sur le plan de la méthodologie ou du sujet de l'étude.

### 2.1 État des lieux de la recherche

Au début, la majorité des recherches liées aux environnements biophiles se concentraient sur les milieux hospitaliers, résidentiels ou de bureaux. Une étude très connue est celle d'Ulrich qui a établi un lien significatif entre le taux de rétablissement de patients et la vue par la fenêtre de la chambre d'hôpital (R. Ulrich, 1984). Il a su démontrer qu'en moyenne, à la suite d'une chirurgie de la vésicule biliaire, les patients avec vue sur la nature se rétablissent 8,5% plus vite que ceux avec vue sur un mur de brique. De plus, ils consomment moins d'analgésiques.

Selon une revue de littérature effectuée par Wijesooriya & Brambilla qui sera discutée dans le prochain point, il y a un déficit de recherches sur l'effet biophile en milieu d'enseignement. La majorité de celles-ci se concentrent sur l'importance du lien visuel avec la nature par rapport au succès scolaire. Certaines sont expérimentales et visent à établir un lien causal en utilisant des indicateurs physiologiques pour mesurer le niveau de stress des individus ainsi que des indicateurs objectifs pour mesurer le niveau de fatigue mentale (D. Li & Sullivan, 2016). D'autres sont corrélationnelles et utilisent des indicateurs de comportement tels les résultats scolaires (Matsuoka, 2010) (Heschong Mahone Group, 1999) (Tanner, 2009) ou encore des indicateurs subjectifs pour évaluer le niveau de satisfaction perçue (Benfield et al., 2015).

L'étude du Groupe Heschong Mahone aux États-Unis en 1999 a initié la recherche biophile appliquée au milieu d'enseignement, particulièrement dans les écoles primaires. Cette étude à très grande échelle a été effectuée auprès de 21 000 étudiants dans trois districts scolaires. C'est une référence souvent citée pour avoir établi un lien entre la qualité de la lumière naturelle et le



succès scolaire. L'étude effectuée dans le district de Capistrano en Californie compare les améliorations des étudiants dans 27 écoles au cours d'une année scolaire. Les variables démographiques sont éliminées puisque chaque étudiant est son propre contrôle. Les résultats suggèrent que les étudiants dans les salles de classe avec une meilleure qualité d'éclairage naturel (bien distribué par des fenêtres ou des puits de lumière, pas d'éblouissement) connaissent une amélioration de 26% en lecture et 20% en mathématiques, sur une année, par rapport à la moyenne de progrès de tous les étudiants du district. Selon la même étude, la présence de fenêtres ouvrantes a aussi un impact significatif, mais moins important sur les résultats scolaires. Cette variable a démontré une amélioration dans l'ordre de 7% et 8% pour lecture et mathématique par rapport à la moyenne du district.

Notons que les variables incluses aux modèles statistiques expliquent environ 25% de la variation des résultats scolaires et que la variable d'éclairage naturelle quant à elle représente entre 0,1% et 1% de cette variation. Ceci donne l'impression d'un effet négligeable, cependant, selon les auteurs, « pour les modèles de régression traitant de comportements d'individus, qui sont très variables, ceci est considéré comme un résultat très crédible et en accord avec d'autres analyses effectuées avec ce genre de données » (Heschong Mahone Group, 1999, p. 41). Ceci nous permet de gérer nos attentes par rapport à l'ordre de grandeur de l'effet biophile avant de commencer nos analyses.

Une autre étude, comparant l'effet du design d'école sur les résultats scolaires en 6 matières dans 71 écoles primaires en Géorgie, a démontré que les effets de différentes caractéristiques physiques des écoles sur le succès scolaire diffèrent selon la matière (Tanner, 2009). Il s'agit d'une comparaison des résultats d'examens provinciaux avec 6 volets (compréhension lecture, vocabulaire lecture, arts linguistiques, mathématiques, études sociales et sciences) par rapport à trois caractéristiques de design : éclairage naturel, vues et parcours. Une corrélation positive significative a été établie entre le degré de lumière naturelle et les volets vocabulaire lecture et sciences. Curieusement ils n'ont trouvé aucune corrélation entre les mathématiques et la lumière naturelle, contrairement à la recherche du groupe Hershong Mahone.

Quant aux vues, les chercheurs ont identifié 5 descripteurs pertinents pour cette caractéristique :

- Vues sur la vie (c.à.d. qui ne donne pas sur un mur ou un stationnement)
- Vues non obstruées (c.à.d. sans éléments opaques tels que des stores)
- Vues vivantes (donnant sur des éléments changeants : jardins, eau, ciel, faune)
- Vue fonctionnelle (vue non obstruée jusqu'à environ 50 pieds)
- Zones vertes (vue avec verdure : arbres, gazon ou jardins).

Ils ont évalué ces descripteurs sur une échelle de 1 à 10 pour chaque école et les ont par la suite combinés dans un indicateur unique pour le facteur 'vue'. Une corrélation significative a été établie entre le facteur 'vue' et les volets vocabulaire lecture, arts linguistiques et mathématiques.

Les résultats d'études auprès d'étudiants du secondaire divergent un peu par rapport à ceux du primaire. Li et Sullivan ont entrepris une étude sur 94 étudiants dans 5 écoles secondaires. Ils ont utilisé des indicateurs physiologiques pour représenter le stress et le niveau d'attention. Leurs résultats démontrent un lien causal entre le degré de verdure entourant l'école, la réduction de stress et la restauration de l'attention (D. Li & Sullivan, 2016). Ils démontrent aussi que sans la présence d'une vue verdoyante, l'effet biophile n'est pas discernable; un puits de lumière ou des fenêtres donnant sur des stationnements, terrains sportifs ou du bâti ne procure aucun avantage. L'étude démontre aussi que l'effet d'un environnement biophile dépend de l'activité; il est plus important dans une période de repos que dans une période d'activité mentale soutenue.

Il existe aussi quelques études pour les niveaux post secondaire, notamment, celle de Benfield effectuée aux États-Unis (Benfield et al., 2015). Cette étude a plusieurs objectifs communs avec la présente recherche, malgré le fait qu'elle soit quasi-expérimentale plutôt qu'observationnelle. L'échantillon consiste en 567 étudiants du 1<sup>er</sup> cycle universitaire dans 38 sections d'un cours de composition. Ces 38 sections ont été réparties entre 2 types de salles de classe qui étaient quasi identiques hormis la vue. Une cohorte avait vue sur la nature tandis que l'autre avait une vue sur le bâti. Les éléments comparés entre les deux groupes étaient les notes, l'assiduité et une évaluation subjective de la part des étudiants.

En utilisant des méthodes de régression, une petite corrélation positive entre la vue sur la nature à partir des fenêtres des salles de classe et les notes de fin de session a été établie. Aucun impact n'a été discerné pour les notes de mi-session. Les auteurs suggèrent que cette différence

peut être attribuée à la saison, puisque les arbres n'étaient pas en feuille au début de la session d'hiver. Un lien positif plus important a été établi entre une vue sur la nature et les évaluations subjectives des étudiants.

## **2.2 Critique de l'approche biophile**

En tant que nouvelle approche, il y a certaines barrières à l'adoption du design biophile. Dans une analyse critique, deux chercheuses australiennes ont effectué une revue de littérature exhaustive dans le but d'identifier les forces, faiblesses, opportunités et menaces (analyse SWOT) liées à l'adoption d'une approche de design biophile dans le milieu bâti (Wijesooriya & Brambilla, 2021). Les faiblesses identifiées ont été classées par rapport à quatre thématiques :

- La première est liée aux restrictions financières : certains chercheurs estiment que « l'adoption du design biophile en tant qu'approche de design principale est contrainte par l'augmentation des coûts associés avec la construction, la maintenance et la nécessité d'avoir un plus grand terrain » (Wijesooriya & Brambilla, 2021, p. 7).
- La deuxième traite d'une barrière psychologique : la subjectivité et les préconceptions culturelles pourraient freiner l'adoption universelle du design biophile. Cette barrière se manifeste parfois sous forme de biophobie, c'est-à-dire le ressentiment d'émotions négatives envers la nature.
- La troisième thématique parle de contraintes de design liées au manque de connaissances et d'encadrement par rapport aux principes de design biophile.
- La thématique finale traite de la durabilité : l'intégration d'éléments biophiles suscite des préoccupations par rapport à l'intégrité structurelle et la longévité des bâtiments.

Un autre point pertinent à cette étude a été soulevé par les auteures dans la section traitant des menaces. Il s'agit de la variabilité de l'effet biophile sur les capacités cognitives selon la tâche. Une des références citées explore le lien entre les tâches à accomplir et le choix de milieu de travail. Il en ressort qu'un espace biophile stimulant n'est pas le premier choix pour les tâches exigeant de hauts niveaux de concentration, des tâches répétitives ou une situation d'évaluation. En revanche, il est classé en tête pour les activités de réflexion, informelles ou créatives (Mangone et al., 2017).

## 2.3 Points clés de la revue de littérature

En plus de mettre en lumière le déficit de recherche dans le secteur de l'éducation, cette revue a soulevé plusieurs points importants qui ont contribué aux étapes de conception et d'interprétation des résultats de cette recherche. Elle suggère un effet biophile positif sur la performance scolaire, une variabilité de cet effet selon le contexte, et une synergie entre les différentes caractéristiques biophiles.

Dans la majorité des cas, il y a une corrélation positive entre un environnement biophile et la performance scolaire.

- L'accès à la lumière naturelle a un effet positif sur les résultats scolaires au niveau primaire
- Les fenêtres ouvrantes améliorent la performance scolaire au niveau primaire
- Un milieu biophile n'est pas un des facteurs d'influence principale par rapport au succès des étudiants, mais il contribue de façon significative

L'effet d'un environnement biophile semble varier selon le contexte

- Il dépend de l'activité : il est plus important dans une période de repos ou d'activité créative que dans une période d'activité mentale soutenue
- Il dépend de la discipline et du niveau scolaire

Il peut y avoir un effet combiné entre différents attributs biophiles

- La vue pourrait être plus importante que le simple accès à la lumière naturelle.

Notre recherche s'inspire des cas étudiés dans cette revue, mais se différencie sur les points suivants :

- Elle concerne le niveau collégial
- Elle se concentre sur un seul établissement
- Elle considère les résultats de groupe plutôt que les résultats individuels
- Elle comprend les salles de classe sans fenêtre

## Chapitre 3 Méthodes et résultats

### 3.1 Contexte de l'étude de cas

Initialement, cette recherche comportait deux volets. Le premier cherche à évaluer l'effet du degré biophile d'une salle de classe sur la performance scolaire à partir de données secondaires. C'est une analyse à grande échelle, mais sans trop de contrôle sur les variables confondantes. Le deuxième volet, quant à lui, se voulait plus ciblé, avec une évaluation de l'effet biophile sur trois variables réponses : la performance, l'assiduité et la persévérance scolaire. Elle comprenait aussi une analyse qualitative de l'effet biophile sur le bien-être perçu des étudiants.

La première évaluation se fait aisément en étude observationnelle tandis que la deuxième requiert une intervention proactive. Vu le contexte particulier de l'année 2020 et l'instauration de l'enseignement à distance, le deuxième volet a dû être éliminé. Il pourrait faire l'objet d'une recherche à venir.



Figure 1. – Vue aérienne du Collège Dawson (Google Earth)

Le lieu choisi pour cette recherche est le Collège Dawson. Ce CÉGEP public anglophone est situé sur un campus boisé dans un quartier central de la ville de Montréal. Il a l'avantage de regrouper une grande variété de salles de classe qui diffèrent sur le plan des caractéristiques biophiles. De

plus, les administrateurs du Collège sont partie prenante dans l'étude puisqu'elle cadre avec leur culture de développement durable et d'innovation pédagogique. À titre d'exemple, l'institution a mis sur pied *Dawson Durable (Sustainable Dawson)*, une entité qui gère différents projets transformateurs tels l'initiative du campus vivant (*Living Campus Initiative*).

En plus de ces atouts, la chercheuse a déjà collaboré avec le Collège dans le passé en tant qu'architecte. Elle a conçu, entre autres, le prototype de la salle de classe d'apprentissage actif qui incorpore plusieurs stratégies de design biophile. C'est donc dans cet esprit collaboratif que le Collège a mis à la disposition du projet des données qui englobent les résultats scolaires des groupes d'étudiants de la session printemps 2014 à la session hiver 2019. Ils ont aussi facilité la prise de mesures sur les lieux afin d'identifier et caractériser les salles de classe qui feraient partie de l'étude.

Un certificat d'éthique a été accordé par le REB (*Research Ethics Board*) de Dawson ainsi que le CERAH (Comité d'éthique de la recherche en arts et humanités) de l'Université de Montréal. Une entente (*Memorandum of Understanding*) a été signée entre le Collège et la chercheuse afin de définir les attentes des deux parties.

## **3.2 Design et collecte de données**

### Type d'étude

Malgré l'élimination du deuxième volet, une portion de cette étude peut tout de même être considérée comme étant expérimentale. Selon la définition de Hurlbert, l'inventaire sur le terrain des différents attributs biophiles présents dans les salles de classe serait considéré comme étant une «expérience comparative mesurant un phénomène naturel», aussi parfois nommé «expérience absolue» (Hurlbert, 1984). Cette prise de mesure ne concerne cependant que les variables explicatives biophiles. Les données reliées à la variable réponse (performance scolaire) et aux covariables explicatives sont, quant à elles, issues de la base de données du Collège. Aucune intervention par rapport au design des salles de classe ni à l'attribution de locaux pour les différents cours n'a été effectuée; il s'agit d'une méthode de recherche observationnelle basée sur des conditions existantes et des données historiques.

## Stratégies pour contrôler l'effet des variables confondantes

L'utilisation de données secondaires exclut une vraie randomisation de données qui permettrait d'éliminer les effets de variables confondantes, qu'elles soient connues ou non. Il y a cependant l'avantage que le biais de sélection est diminué puisque les données ont été compilées indépendamment d'une hypothèse spécifique. Dans ce cas, l'attribution des étudiants aux différents groupes, ainsi que l'attribution des groupes aux différentes salles de classe est essentiellement aléatoire selon le fonctionnement normal de l'institution; les élèves ont un peu de flexibilité pour le choix de l'horaire, mais la salle de classe est attribuée selon la taille du groupe et la disponibilité des locaux.

Dans cette recherche, à part le fait de traiter les moyennes de classe plutôt que les moyennes d'individus pour contrôler les facteurs démographiques, trois stratégies sont utilisées afin de simuler autant que possible une expérience randomisée et contrôler l'influence des covariables.

La première est une stratégie de sélection des échantillons parmi les données disponibles, la deuxième est un design associé par paires (*matched pairs design*) tandis que la troisième est une forme de contrôle statistique qui tient compte des variables confondantes au sein des modélisations par régression.

## Prises de mesure sur site

Des mesures ont été prises lors de trois relevés et par télédétection sur *Google Earth*. Les deux premiers relevés ont été exécutés le 26 octobre 2019 et le 10 novembre 2019. Ils étaient basés sur une liste de 96 salles de classe fournie par le département des ressources matérielles du Collège le 25 octobre 2019.

À la suite de la réception d'une liste révisée avec 87 salles de classe (fournie par les ressources matérielles le 26 novembre 2019) et d'un extrait de la base de données des résultats scolaires du Collège (reçu le 23 janvier 2020), un troisième relevé a été effectué le 22 juin 2020 afin de répertorier les locaux manquants. Une consolidation de la liste de salles de classe a donc été effectuée afin de dresser la liste finale des 95 salles de classe retenues pour cette analyse.

### **3.3 Choix des variables**

#### **Sujets de l'étude**

Les sujets de l'étude sont les groupes d'étudiants qui font partie d'une classe. Ces groupes sont répartis sur 371 cours regroupés au sein de 32 disciplines faisant partie des programmes préuniversitaires sur 2 ans ou techniques sur 3 ans. Il y a en général une trentaine d'étudiants par classe avec une fourchette d'âge entre 17 et 25 ans.

#### **Variable réponse**

La moyenne de fin de session (notes) des groupes d'étudiants dans les différentes sections de cours a été choisie en tant que variable réponse et d'indicateur de la performance scolaire.

#### **Variables biophiles**

Un des défis de cette étude est d'identifier les qualités physiques mesurables dans les salles de classe qui contribuent aux expériences biophiles. Puisqu'elle est non expérimentale, le choix se limite aux éléments infrastructurels déjà présents. Les éléments de design tel que la couleur des murs, les matériaux de finition, l'aménagement du mobilier et la présence de plantes n'ont pas été évalués puisque ces derniers auraient pu changer d'état au courant de la période observée.

Deux sources ont été utilisées pour effectuer le choix de variables biophiles. La première est un ouvrage de Stephen Kellert et Elizabeth Calabrese publié en 2015 (Kellert, 2015). Les auteurs ont commencé par identifier trois stratégies de design basé sur le type d'expérience vécue par l'utilisateur et ont par la suite classé 24 attributs selon ces trois catégories. Les éléments en caractère gras sont pertinents à cette recherche.



Expérience directe de la nature	Expérience indirecte de la nature	Expérience de l'espace et de l'esprit des lieux
<b>Lumière</b>	Images de la nature	<b>Perspective et refuge</b>
Air	Matériaux naturels	Complexité organisée
Eau	Couleurs naturelles	Intégration de partie dans le tout
Plantes	Simulation de lumière et d'air naturels	Espaces de transition
Animaux	Textures et reliefs inspirés de la nature	Mobilité et orientation
<b>Météo</b>	Évocation de la nature	Attachement au lieu culturel et écologique
<b>Paysages naturels et écosystèmes</b>	Richesse d'information	
Feu	Age, changement et la patine du temps	
	Géométries naturelles	
	Biomimétisme	

Tableau 1. – Attributs biophiles selon le type d'expérience vécue de Kellert et Calabrese

La deuxième source provient de Terrapin Bright Green, une agence de consultation environnementale spécialisée, entre autres, en conception biophile. Les auteurs se sont basés sur les travaux de Kellert et autres pionniers du design biophile pour créer un outil pour les concepteurs d'espace. Ils ont articulé le rapport entre la nature et l'environnement bâti selon 14 principes ou modèles de conception biophile (Terrapin, 2014). Ces modèles décrivent la finalité recherchée en ce qui concerne l'expérience biophile plutôt qu'un attribut spécifique. Les modèles pertinents à cette recherche sont décrits ci-après (voir annexe 1 pour la liste complète).

Expérience	Principes ('patterns')	Description
Nature dans l'espace	P1-Lien visuel avec la nature	Une vue sur les éléments de la nature, systèmes vivants et processus naturels.
	P6-Lumière dynamique et diffuse	Utiliser les variations d'intensité de la lumière et des ombres qui changent selon le temps pour créer des conditions que l'on retrouve dans la nature.
	P7-Lien avec les systèmes naturels	Prise de conscience des processus naturels, en particulier les changements saisonniers et temporaires, caractéristiques d'un écosystème sain.
Nature de l'espace	P11-Perspective	Une vue dégagée au loin permettant surveillance et prévoyance.
	P12-Refuge	Un lieu pour se retirer des conditions environnementales ou du flux principal d'activités, dans lequel l'individu est protégé par derrière et au-dessus.

Tableau 2. – Extrait des 14 modèles de design biophile de Terrapin

Les photos suivantes permettent de visualiser l'expérience recherchée pour les modèles biophiles étudiés (photos prises par l'auteur au Mont Royal en mai 2020).



Figure 2. – Représentation du modèle biophile P1 : Lien visuel avec la nature



Figure 3. – Représentation du modèle biophile P6 : Lumière dynamique et diffuse



Figure 4. – Représentation du modèle biophile P7 : Lien avec les systèmes naturels





Figure 5. – Représentation du modèle biophile P11 : Perspective



Figure 6. – Représentation du modèle biophile P12 : Refuge

## Attributs biophiles

Trois attributs biophiles reliés à la vue par les fenêtres des salles de classe ont été retenus en tant que variables explicatives. Il s'agit de la luminosité exprimée par la taille des fenêtres donnant accès à la lumière naturelle, la présence de végétation et la profondeur du champ de vision. Afin d'avoir accès à la puissance des tests statistiques paramétriques, ces trois attributs ont été codés en variables semi-quantitatives avec trois niveaux d'abondance chacune.

LUMINOSITÉ		
Abondance	Description	Occurrence
0	Peu ou pas d'accès à la lumière naturelle	Salles de classe sans fenêtres ou avec de petites fenêtres en margelle
1	Accès standard à la lumière naturelle	Salles de classe avec des fenêtres de taille standard sur un seul mur
2	Accès supérieur à la lumière naturelle	Salles de classe avec de grandes baies vitrées ou des fenêtres sur plus d'un mur
VÉGÉTATION		
Abondance	Description	Occurrence
0	Peu ou pas de végétation visible	Pas de fenêtre ou fenêtres donnant sur certaines cours intérieures ou la façade sud
1	Vue sur la végétation à l'arrière-plan	Fenêtres donnant sur certaines grandes cours intérieures ou les façades est et ouest
2	Vue sur la végétation à l'avant plan	Fenêtres donnant sur la façade nord ou autres façades selon l'aménagement paysager
PERSPECTIVE		
Abondance	Description	Occurrence
0	Vue obstruée < 30m	Locaux donnant sur les petites cours intérieures, d'autres constructions ou locaux sans fenêtres.
1	Vue dégagée entre 30 et 60m	Locaux donnant sur les grandes cours intérieures ou la façade sud.
2	Vue dégagée au-delà de 60m	Façades nord, est et ouest

Tableau 3. – Description des attributs biophiles

Les codes numériques sont ordonnés selon les hypothèses émises par les théories SRT et ART décrites plus haut. Le code 0 indique l'absence de l'attribut, le code 1 indique une présence moyenne tandis que le code 2 indique une présence importante de l'attribut. Plusieurs modèles linéaires sont créés avec ces variables afin d'explorer leurs effets individuels et combinés sur la performance scolaire. Les attributs biophiles servent aussi de base pour la création de trois variables biophiles synthétiques : la cote biophile, l'indice biophile et le profil biophile.

### Cote biophile

La cote biophile est une échelle d'évaluation de type Likert où le degré biophile des salles de classe est réparti sur une échelle de 0 à 6. Cette échelle est créée en cumulant les valeurs des trois attributs biophiles pour une salle de classe donnée. Une cote de 0 indique une absence d'attributs biophiles (les trois attributs ont une valeur de 0), tandis qu'une cote de 6 indique le plus haut degré biophile (les trois attributs ont une valeur de 2). Cette combinaison additive assume que les trois attributs biophiles ont la même importance (elles ne sont pas pondérées) et ne tient pas compte des interactions entre elles. La cote biophile est utilisée pour créer l'indice biophile.

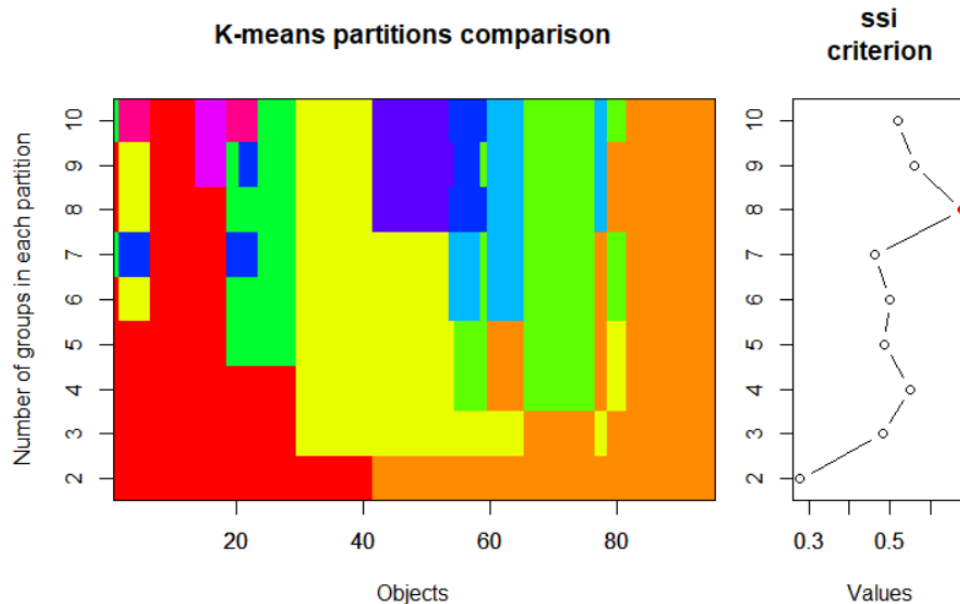
### Indice biophile

L'indice biophile permet de diviser les salles de classe en deux groupes : les salles de classe plus biophiles et les salles de classe moins biophiles. Une salle de classe a un indice biophile PLUS si sa cote biophile est supérieure à la moyenne (4 à 6) et un indice biophile MOINS si sa cote biophile est inférieure à la moyenne (0 à 3).

L'indice biophile est utilisé en tant que critère de division pour créer le tableau de données associées par paires. Ce tableau équilibré est utilisé pour les analyses de signification globales avec le test de T. Il permet de tester l'hypothèse qu'il y a un lien positif entre le succès scolaire et le degré biophile d'une salle de classe.

## Profil biophile

Le profil biophile est créé afin de regrouper les salles de classe par typologies qui partagent autant que possible les mêmes combinaisons d'attributs biophiles. Différentes méthodes de groupement ont été explorées. La méthode de partitionnement non hiérarchique K-means qui compare les différents objets à partir d'une matrice de dissimilarité a été retenue.



Le résultat de l'analyse fixe à huit le nombre de groupes qui permet de maximiser la valeur du critère SSI. La valeur de l'indicateur de performance de partitionnement SSI (simple structure index) augmente lorsque la dissimilarité inter-groupes et la similarité intra groupe augmentent. Le partitionnement résultant ne distinguait pas les salles de classe sans fenêtres (ou avec de petites fenêtres en margelles). Cette catégorie est potentiellement importante en tant que groupe de contrôle. Un réglage fin a été effectué manuellement et sept profils biophiles ont été retenus. Ils sont décrits dans le tableau suivant. La répartition des salles de classe par profil biophile est résumée à l'annexe 2 avec photos à l'appui.

Groupe	Nombre de salles de classe	Description
PB1	12	Pas de fenêtre ou petite fenêtre en margelle
PB2	17	Fenêtre standard, vue urbaine, champ de vision varié
PB3	8	Fenêtre standard, champ de vision moyen, vue urbaine ou sur végétation à l'arrière-plan
PB4	18	Fenêtre standard, vue sur végétation à l'avant plan, champ de vision court ou moyen
PB5	15	Fenêtre standard, champ de vision profond, vue sur végétation à l'avant ou l'arrière-plan
PB6	15	Fenêtre supérieure, champ de vision moyen ou court, vue variée
PB7	10	Fenêtre supérieure, champ de vision profond, vue variée

Tableau 4. – Description des profils biophiles

Contrairement à la cote et à l'indice biophile, le profil biophile n'émet pas de jugement par rapport au degré biophile relatif des salles de classe et permet d'évaluer l'effet des attributs combinés. Cette variable sera utilisée principalement pour établir des relations plutôt que de tester des hypothèses. Une exception potentielle est l'utilisation du profil PB1 en tant que barème non-biophile contre lequel les autres profils peuvent être comparés. Le profil biophile sera utilisé en tant que facteur explicatif au sein d'une analyse de variance dans le but de classer les différents profils par rapport à leur contribution au succès scolaire.



### 3.4 Choix de méthode d'analyse statistique

La méthode d'analyse statistique utilisée dans cette recherche est basée sur la modélisation de variation par régression linéaire. Dans notre cas, les conditions qui influencent les sujets de l'étude sont multiples et souvent interreliées. Il y a une structure intrinsèque qui rend certaines observations dépendantes les unes par rapport aux autres : les différences de moyennes par enseignant sont plus importantes que les différences de moyennes attribuables aux variables biophiles. Les outils statistiques développés pour l'écologie numérique ont été utilisés pour tenir compte de ces complexités.

Le point de départ d'une analyse par régression linéaire est de créer les équations (les modèles) qui mettent en relation les variables que nous voulons explorer. En utilisant nos données pour résoudre ces équations, nous pouvons quantifier la contribution à la variation de chaque variable explicative incluse au modèle. La formule relationnelle pour une régression linéaire multiple est la suivante :

$$y \sim \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_4 * x_4 + \dots + \varepsilon$$

y = variable réponse (dépendante)

$\beta_0$  = l'intercept (premier état de chaque variable catégorique ou valeur 0 pour les variables quantitatives)

$\beta_x$  = coefficient de régression partiel (l'effet de la variable sur la variation des résultats- la pente)

$\varepsilon$  = la somme de 'l'erreur' : la différence entre les valeurs ajustées prédites par le modèle et les valeurs réelles basées sur les observations

Figure 8. – Formule mathématique d'une régression linéaire multiple

«Chaque coefficient de régression est une mesure du taux de changement de la variable y par unité de la variable  $x_i$ , si toutes les autres variables explicatives dans l'étude étaient maintenues à une valeur constante » (Legendre & Legendre, 2012, p. 557).

Selon nos objectifs, nous pouvons utiliser ces analyses pour décrire une relation entre variables, tester des hypothèses ou prédire des résultats futurs.

Il n'est pas suffisant de simplement résoudre les équations linéaires, nous devons aussi effectuer des tests de signification statistiques pour déterminer si la variation des résultats que nous avons attribué à nos variables est plus importante qu'une simple variation due au hasard. Cette

probabilité est exprimée sous forme du *p-value*. Nous avons fixé le seuil de certitude à 95% indiquant que si le *p-value* est supérieur à 0,05, les variables explicatives n'ont pas d'effet discernables sur les résultats (ceci est l'hypothèse nulle -  $H_0$ ). Un résultat avec un *p-value*  $\leq 0,05$  est considéré comme étant statistiquement significatif. Nous avons aussi considéré les résultats avec un *p-value* entre 0,05 et 0,1 comme étant légèrement significatifs.

Le choix de l'analyse statistique utilisée pour tester la signification des modèles dépend des types de variables étudiées et des questions de recherche (CSBQ, 2021).

### **3.5 Préparation des données**

Il est assez rare que les données secondaires soient aptes aux analyses statistiques sans exiger d'explorations ou de manipulations préalables. Les tableaux de données doivent être créés et les covariables à inclure choisies. Nous devons aussi trouver un échantillon où l'effet biophile est discernable. Ce nouvel échantillon doit lui aussi subir un prétraitement. Les données aberrantes doivent être identifiées et éliminées tandis que les variables anormales doivent être rectifiées. Le progiciel R a été utilisé pour accomplir tous ces travaux.

#### **Étapes préparatoires**

##### Création du tableau de données

Le tableau de données de départ a été créé à partir de l'extrait de la base de données du Collège et du relevé des salles de classe. Seuls les groupes d'étudiants inscrits au programme régulier, le jour, aux sessions automne et hiver ont été conservés. Les groupes d'étudiants avec des observations manquantes ainsi que ceux qui ont suivi un cours dans un local autre que ceux qui ont été mesurés ont été exclus.

Pour certains des groupes retenus, les résultats figuraient plus d'une fois dans la base de données du CÉGEP. Ce dédoublement s'explique par le fait que certains cours ont plusieurs séances par semaine. Si ces séances sont données dans des salles de classe différentes ou avec un professeur différent, le groupe d'étudiants a été éliminé.

Parfois, les sections d'un cours avaient plusieurs blocs horaires. Une analyse de signification a été effectuée avec un sous-ensemble isolant les cours donnés en avant et après midi. Elle n'était pas concluante donc les doublons liés au bloc horaire ont été éliminés.

### Choix de l'échantillon de départ

Il est pertinent d'effectuer un test du genre « tout ou rien » sur nos données avant d'approfondir, afin de voir si elles permettent de mettre en lumière les variables qui nous intéressent. Le test de T pour données appariées a été choisi puisqu'il simule en quelque sorte une étude de cohorte en minimisant l'effet des covariables. Ce test exige un design équilibré, c'est-à-dire que nous voulons le même nombre d'observations pour chaque cohorte.

Pour commencer, un échantillon avec données associées par paires est créé à partir du tableau de départ. Nous identifions les groupes qui partagent le même numéro de cours, la même session et le même enseignant à l'aide d'une variable d'appariement. Les observations sont ensuite divisées entre deux « cohortes » utilisant l'indice biophile en tant que critère de division. Finalement, pour avoir un design équilibré, nous ne conservons que deux groupes d'étudiants pour chaque variable d'appariement. Une moitié fait partie de la cohorte dans les salles de classe plus biophiles, tandis que l'autre moitié fait partie de la cohorte dans les salles de classe moins biophiles.

Ce test calcule les différences de moyenne uniquement entre les variables appariées et permet de déterminer si cette différence est significative. Nous avons analysé notre échantillon au complet avec tous les cours, ainsi que quatre sous échantillons avec les quatre cours les plus fréquents. Ces sous-ensembles éliminent le numéro de cours en tant que variable confondante importante. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Échantillon (cour)	Nombre de paires (n/2)	Notes cohorte plus biophile (écart type)	Notes cohorte moins biophile (écart type)	Différence de Moyenne	P-value
Tous les cours	625	76,8 (6,33)	76,6 (6,58)	+ 0,193	0,2129
Vision du monde	37	77,0 (4,79)	75,4 (6,51)	+ 1,518	0,07452.
Introduction to College English	31	76,3 (6,72)	75,9 (5,89)	+ 0,402	0,266
Applied Ethics in Humanities	39	77,6 (7,06)	76,7 (6,60)	+ 0,876	0,166
Connaissances	37	75,4 (5,74)	74,6 (6,12)	+ 0,824	0,212

Légende des codes de signification: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' NS' 1

Tableau 5. – Résultats des tests de T pour différents cours

Dans tous les cas, les notes pour la cohorte plus biophiles sont légèrement supérieures à celles pour la cohorte moins biophile (0,76% en moyenne). Cependant, seul l'échantillon qui isole le cours *vision du monde* donne des résultats légèrement significatifs. **Les étudiants du cours *vision du monde* dans les salles de classe plus biophiles réussissent avec 1,5% de plus en moyenne que les étudiants dans les salles de classe moins biophiles.**

Un échantillon de données qui conserve toutes les données du cours *vision du monde* (et non seulement deux observations par variable d'appariement) a donc été créé et est utilisé pour les analyses subséquentes.

### Choix des covariables

Il existe plusieurs facteurs potentiellement confondants qui pourraient influencer les analyses de variances ou rendre indiscernable statistiquement l'effet biophile. La relation entre une section de cours et les résultats peut varier, entre autres, selon la discipline, l'année, la saison, le bloc horaire, le professeur, le niveau du groupe au départ et l'environnement physique.

Des études exploratoires ont été effectuées sur plusieurs variables et deux d'entre elles ont été retenues. Ces dernières ont à la fois un effet important et significatif sur la moyenne de fin de session.

#### *Moyenne de secondaire IV et V*

Cette variable indique la moyenne de groupe des moyennes de secondaire 4 et 5 des étudiants dans une classe. Elle est une indicatrice potentielle du niveau de compétence du groupe en début de session.

Une analyse par régression linéaire simple indique que **la variable indiquant la moyenne de secondaire IV et V des groupes d'étudiants explique dans l'ordre de 20% de la variation de la moyenne de fin de session pour le cours *vision du monde***. Cette dernière sera incluse dans l'étape de prétraitement de données, mais sera exclue des analyses de variance puisque son inclusion occulte l'effet des variables biophiles. Nous supposons qu'elle est distribuée de façon égale et aléatoire entre les différents niveaux de facteurs. Si ce n'est pas le cas, sa contribution fera partie des résidus.

#### *Professeur*

La variable représentant le professeur est catégorique et distingue les 36 professeurs retenus. La moyenne des moyennes de fin de session par professeur varie de façon importante allant de 60,5% pour le 'prof24' et 84,7% pour le 'prof28'.

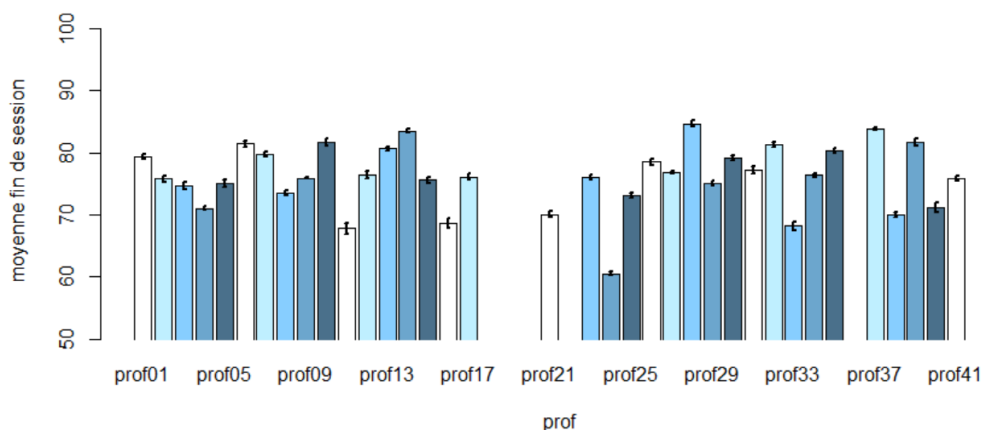


Figure 9. – Histogramme des moyennes de fin de session par prof

L'histogramme ci haut démontre que les variations de moyennes inter-*prof* sont beaucoup plus importantes que les variations des moyennes intra-*prof* (la ligne verticale sur chaque rectangle identifie l'erreur type).

Une analyse par ANOVA indique que **la puissance explicative de la variable '*prof*' est de l'ordre de 53%**. La relation entre elle et la moyenne de fin de session est très significative et très importante. Elle sera incluse en tant que covariable pour toutes les analyses de variance et de covariance avec les variables biophiles.

## Prétraitement des données

### Identification de données aberrantes ou inutilisables

Parfois, certaines observations ne tombent pas dans la norme de valeurs et perturbent les analyses paramétriques. D'autres observations tombent dans les normes, mais sont tout de même inutilisables. À titre d'exemple, les ANOVA à deux facteurs exigent au moins 2 observations par niveau de facteur. Les valeurs uniques doivent donc être exclues.

Le graphique diagnostique des résidus vs influence permet d'identifier les observations avec une forte influence sur les résultats. Chacune de ces observations est étudiée pour déterminer si elle est aberrante. Nous entendons par données aberrantes, des observations avec des valeurs exerçant une grande influence sur les résultats, mais n'étant pas représentatives de la population étudiée.

Nous avons identifié les données aberrantes ou inutilisables en effectuant une régression linéaire simple contre les moyennes de secondaire IV et V, une ANOVA avec le facteur *prof* et une ANOVA avec le facteur profil biophile. Six groupes d'étudiants associés aux enseignants ayant donné le cours une seule fois ont été éliminés. Trois autres groupes ont été éliminés puisqu'ils ne représentent pas des groupes typiques.

### Transformation de la variable réponse

Parfois les données des variables quantitatives étudiées n'ont pas une distribution normale. Si l'asymétrie est trop sévère, les résultats de tests par régression ne sont pas interprétables. Les

tests de normalité et l’histogramme de la distribution de notre variable réponse démontrent une légère asymétrie vers la droite.

Il est possible de transformer les données pour les rendre normales. Un essai a été effectué avec la fonction racine carré de (K-moyfds) (CSBQ, 2021). Cette dernière est utilisée pour une distribution avec asymétries négatives modérées. K est une constante soustraite de chaque valeur de notre variable pour que la plus petite valeur soit 1. Étant donné que la plus grande moyenne de fin de session (note) est de 89,72,  $K = 90,72$ . Cette transformation a comme effet de réduire la plage de valeurs et de donner moins d’importance aux valeurs extrêmes.

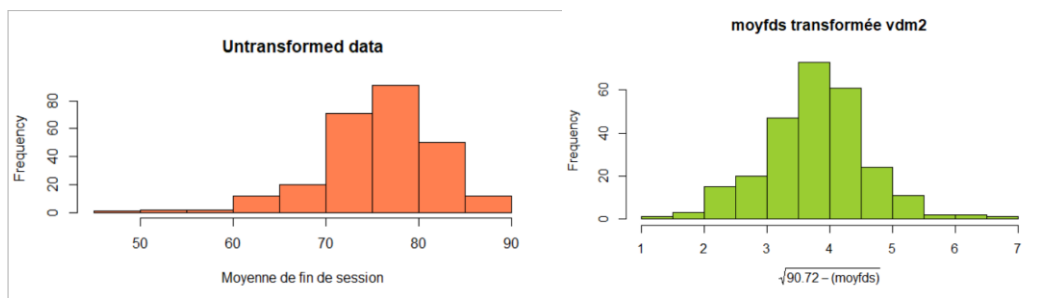


Figure 10. – Histogrammes de la variable réponse avant et après transformation

La distribution des données de notre variable réponse devient normale à la suite de la transformation. **La variable réponse transformée est rajoutée au jeu de données.**

Un inconvénient de l’utilisation de variables transformées est que les coefficients de régression ne sont pas directement interprétables. Dans notre cas, ils prédisent la valeur de  $\sqrt{90,72 - moyfds}$  plutôt que la vraie moyenne de fin de session. De plus, la relation est inversée, donnant l’impression d’une corrélation négative lorsqu’elle est positive et vice versa. Puisque l’asymétrie des données n’est pas très importante, nous favorisons la variable réponse non transformée lorsque nous voulons interpréter les coefficients de régression ou les contrastes entre niveaux de facteurs. Pour les analyses de signification ou pour le calcul de puissance des variables explicatives, les deux sont utilisées.

### Vérification des conditions de bases pour les analyses par régression

Les analyses par régression exigent que certaines conditions de base soient respectées avant de pouvoir interpréter les résultats:

1. Les variables explicatives ne doivent pas être colinéaires (dépendantes les unes des autres)
2. La variable réponse doit être distribuée normalement
3. Les résidus doivent être indépendants
4. Les résidus doivent suivre une distribution normale
5. Les résidus doivent avoir une moyenne de 0
6. Les résidus doivent être homoscédastiques (leur variance doit être constante)

La 2<sup>e</sup> condition a déjà été adressée au point précédent. Les quatre dernières sont vérifiées en consultant les graphiques diagnostiques des résidus et en effectuant des tests de normalité *Shapiro Wilk* sur les résidus des modèles de régression. Une structure importante dans les résidus indique qu'il manque une variable explicative importante dans le modèle. Les tests de résidus pour les modèles utilisés dans nos analyses de variance ont été jugés conformes.

Il reste la condition 1 qui est un peu plus complexe. Même si les tests par régression sont assez robustes, une colinéarité trop sévère entre variables descriptives mène à des résultats instables qui peuvent diverger d'une simulation à l'autre. Nous entendons par colinéarité lorsque la valeur d'une variable peut être partiellement prédite à partir d'une autre variable. Il en résulte une zone ambiguë où la variance peut être attribuable à l'une ou l'autre des variables. Dans cette étude, nous allons attribuer le chevauchement de l'effet aux covariables afin de conserver uniquement l'effet additionnel pour nos variables biophiles.

Nous avons vérifié la colinéarité entre les attributs biophiles et le facteur *prof* en utilisant le facteur d'inflation de la variation (VIF). Tous nos attributs ont un VIF inférieur à 2, qui est bien en deçà du seuil de 5 à ne pas dépasser. Pour les analyses à deux facteurs avec les profils biophiles et le facteur *prof*, puisque nous avons un design non équilibré, un certain pourcentage de colinéarité est inévitable. Il est possible que les valeurs de nos coefficients de régression soient un peu décalées.



### 3.6 Analyses statistiques

À la suite de l'étape de préparation des données, dont nous ne devons pas sous-estimer l'ampleur, nous répondons à nos questions de recherche :

- Question #1 : Est-ce que les notes augmentent avec le degré biophile des salles de classe?
- Question #2 : Quels types de salles de classe contribuent le plus à la performance scolaire?

#### **Question #1 : Est-ce que les notes augmentent avec le degré biophile des salles de classe?**

Nous sommes maintenant prêts à passer à nos questions de recherche. Puisque les valeurs des attributs biophiles représentent « l'abondance » de caractéristiques biophiles dans les salles de classe et qu'elles peuvent être converties en données semi-quantitatives, nous serions normalement en mesure de tester l'hypothèse que l'augmentation du degré biophile dans les salles de classe mène à une augmentation des moyennes de fin de session. L'existence d'interactions entre les attributs biophiles et la covariable *prof* nous empêcherait d'atteindre cet objectif. Dans ce cas, nous pourrions uniquement tester l'hypothèse que le degré biophile des salles de classe a un effet significatif sur les moyennes de fin de session, mais que cet effet varie selon l'enseignant.

Nous aimerions aussi savoir si les attributs biophiles interagissent entre eux. Par exemple, le fait d'avoir une grande fenêtre change-t-il l'effet d'une vue verdoyante sur les résultats scolaires? Si c'est le cas, nous ne pourrions pas interpréter l'effet des variables individuellement.

Puisque nos données ne sont pas équilibrées (il n'y a pas le même nombre d'observations pour tous les niveaux de nos facteurs), nous effectuons des ANOVA de type II au lieu de type I pour déterminer la signification des modèles. Dans ce cas, les résultats sont identiques, peu importe l'ordre d'entrée des variables, puisque chaque effet principal est ajusté pour l'effet de l'autre (Langsrud, 2003).

## Comparaison de modèles candidats : attributs biophiles

Pour répondre à nos questions de recherche, nous effectuons des ANCOVA (analyses de covariance) avec les 3 attributs biophiles et la covariable *prof*. Nous comparons plusieurs modèles linéaires qui intègrent les 4 variables et les interactions entre elles dans le but de comprendre les effets individuels et croisés. Vu l'importance de l'effet de l'enseignant sur les résultats scolaires, cette covariable est traitée en tant que structure dans les données. Ceci implique que l'effet marginal de chaque attribut n'est pas pertinent sans avoir préalablement tenu compte des variations dues à l'enseignant.

Huit modèles ont été étudiés, puis un neuvième rajouté. Les formules pour chaque modèle avec l'échantillon 'vision du monde' sont les suivantes (l'astérisque entre deux variables indique une interaction) :

1. Modèle A <- lm(notes ~ prof)
2. Modèle B <- lm(notes ~ luminosité + prof + luminosité\*prof)
3. Modèle C <- lm(notes ~ verdure + prof + verdure\*prof)
4. Modèle D <- lm(notes ~ perspective + prof + perspective\*prof)
5. Modèle E <- lm(notes ~ luminosité + verdure + prof + luminosité\*verdure)
6. Modèle F <- lm(notes ~ luminosité + perspective + prof + luminosité\*perspective)
7. Modèle G <- lm(notes ~ verdure + perspective + prof + verdure\*perspective)
8. Modèle H <- lm(notes ~ luminosité + verdure + perspective + prof + luminosité\*verdure + luminosité\*perspective + verdure\*perspective + luminosité\*prof + verdure\*prof + perspective\*prof)
9. Modèle K <- lm(notes ~ verdure + prof + verdure\*prof + luminosité\*verdure)

Le tableau suivant résume les résultats pour les différents modèles. Les symboles dans les cases représentent le niveau de signification (*p-value*). Le degré de certitude de chaque symbole est décrit dans la légende. Pour aider la compréhension, un ombrage vert indique une association significative tandis qu'un ombrage jaune indique une association légèrement significative. La puissance explicative de chaque modèle ( $R^2$  ajusté\*100) est indiquée à l'avant-dernière ligne. La qualité du modèle est indiquée par le critère d'information d'*Akaike* corrigé pour un échantillon

de petite taille (AICc) et est indiquée à la dernière ligne. La fonction lm dans R est utilisé pour effectuer les régressions linéaires.

	null	A	B	C	D	E	F	G	H	K
prof		***	***	***	***	***	***	***	***	***
LUM			NS			.	NS		NS	
VER				.		*		*	**	.
PER					NS		NS	.	NS	
LUM:VER						*			*	**
LUM:PER							NS		NS	
VER :PER								NS	NS	
LUM:prof			NS						NS	
VER :prof				*					NS	*
PER:prof					*				NS	
% expl.	0%	53.32%	52.32% (-1%)	57.29% (4%)	57.15 (3.8%)	55.25% (1.9%)	53.13% (-0.2%)	54.12% (0.8%)	58.38% (5.1%)	<b>59.11%</b> <b>(5.79%)</b>
AICc	1605	1459	1513	1492	1496	<b>1453</b>	1465	1459	1661	1484

Légende des codes de signification: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' NS' 1

Tableau 6. – Comparaison de modèles : attributs biophiles

Nous constatons que l’effet de la luminosité sur les notes est légèrement significatif tandis que l’effet des interactions entre la verdure et le professeur ainsi qu’entre la perspective et le professeur sont significatifs. Il y a de plus un effet significatif pour l’interaction entre la luminosité et la verdure.

Comme notre objectif est de comprendre l’effet biophile et non pas de prévoir les résultats scolaires, nous cherchons le modèle avec la plus grande valeur explicative. Il n’est pas nécessairement le plus parcimonieux. Nous avons créé le modèle K qui répond à ces critères. Il est conservé pour explorer les effets principaux et des interactions en plus de détail.

## Interaction entre luminosité et verdure

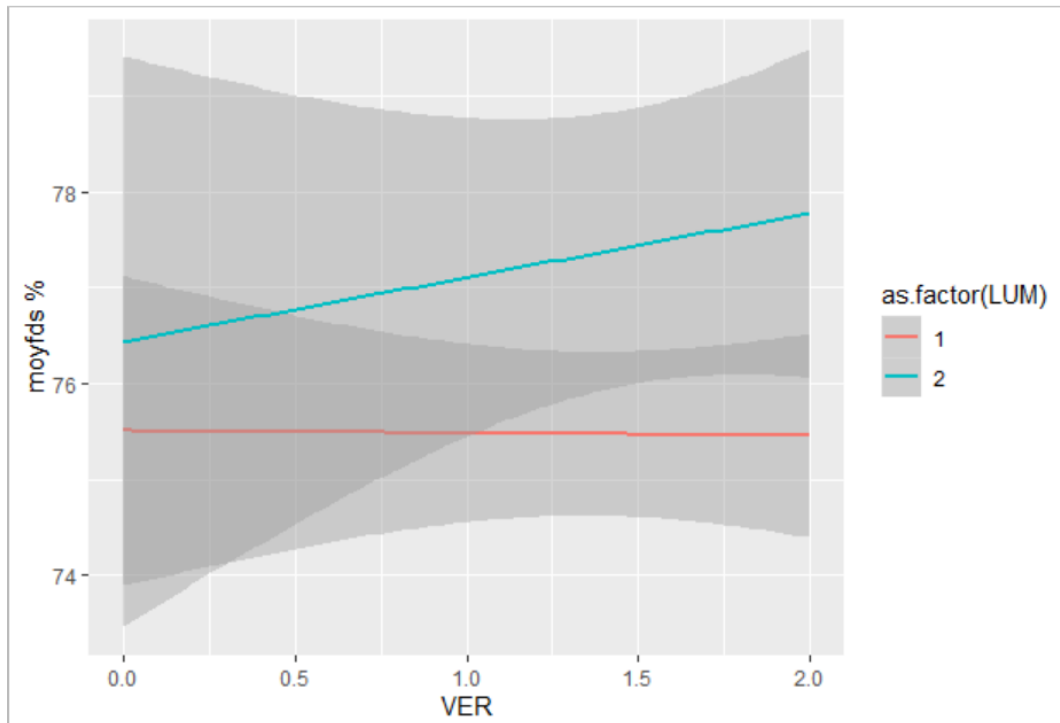


Figure 11. – Graphique d'interaction entre verdure et luminosité modèle K

Le graphique d'interaction entre les attributs verdure et luminosité démontre que la relation entre la moyenne de fin de session et une vue sur la verdure varie selon la taille des fenêtres. Avec une luminosité de 1 (fenêtres standard), les moyennes de fin de session sont relativement stables, peu importe le niveau de verdure. **Avec de grandes fenêtres, les moyennes de fin de session augmentent avec le niveau de végétation.** Ceci corrobore les résultats des études de Li & Sullivan.

## Interaction entre la verdure et les enseignants

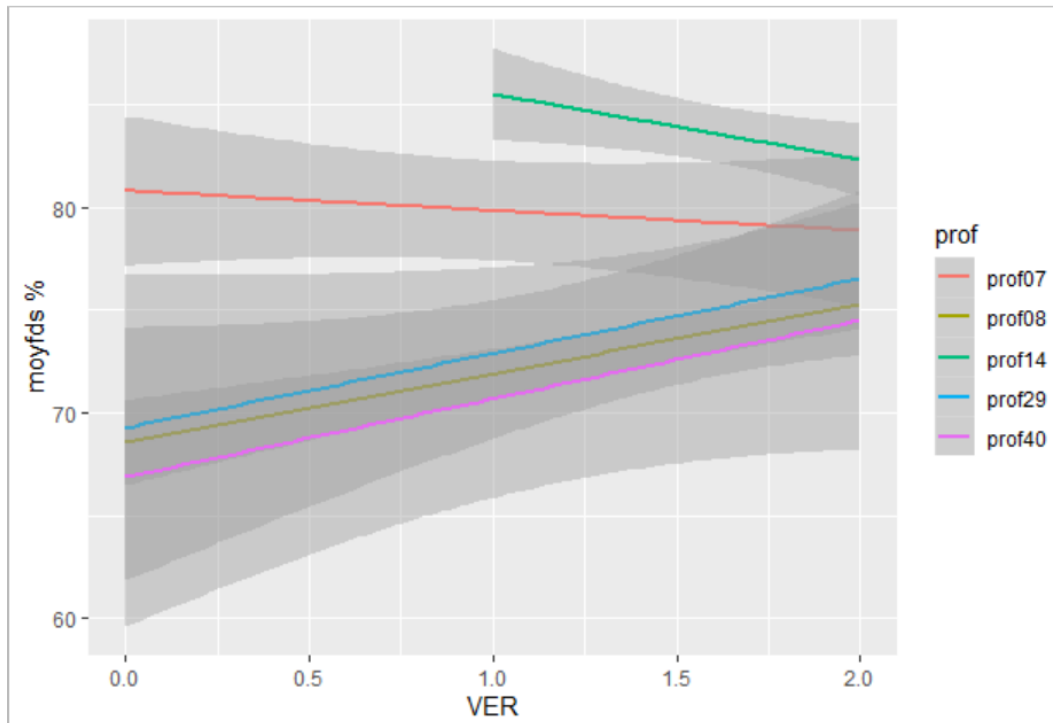


Figure 12. – Graphique d’interaction entre verdure et enseignants *modèle K*

Le nombre d’enseignants est réduit à 5 dans le graphique d’interaction afin de faciliter la visualisation de la relation entre le niveau de verdure et l’enseignant. Nous constatons que **la relation entre la verdure et les résultats scolaires varie selon l’enseignant**. Dans certains cas, cette interaction est positive tandis que dans d’autres, elle est négative.

### Puissance explicative des attributs biophiles

Puisqu’il y a des interactions entre les attributs biophiles et l’enseignant, il n’est pas possible de tester l’hypothèse qu’une salle de classe avec un degré biophile plus élevé mène à de meilleurs résultats. Nous pouvons cependant dire que l’ajout d’attributs biophiles dans le modèle de régression augmente la valeur explicative. Une comparaison des résultats entre les modèles A et K indique que **le modèle avec les attributs biophiles explique 5,79% de plus de la variation des résultats scolaires que le modèle de référence avec seulement le facteur *prof***. Cette augmentation est statistiquement significative (p-value = 0,002542 \*\*).

En comparant l'effet de certaines combinaisons préétablies des attributs biophiles, nous arriverons peut-être à des résultats plus concrets. Dans la prochaine section, nous explorons le lien entre les profils biophiles et le succès scolaire.

## **Question #2 : Quels types de salles de classe contribuent le plus à la performance scolaire?**

Nous savons déjà que la moyenne des moyennes de fin de session varie selon l'enseignant. Nous aurons donc des valeurs différentes pour chaque combinaison de *prof* et de profil biophile. En statistique, ceci équivaut à dire que les interceptes sont différents. Puisque notre facteur profile biophile est non-ordonné, nous n'avons pas de niveau de contrôle prédéterminé. Nous cherchons plutôt à établir la différence de moyenne (le contraste) entre chaque paire de profils biophiles.

Avant d'effectuer cette démarche, nous devons établir si les enseignants sont affectés de façon similaire par les différents profils. Est-ce que les notes augmentent pour tous les professeurs dans une salle de classe avec un profil PB5 par rapport à un profil PB4? Est-ce que la différence de moyenne entre les profils PB5 et PB4 est constante pour tous les professeurs ou va-t-elle au moins dans la même direction? En statistique, ceci équivaut à demander s'il y a une interaction entre les facteurs *prof* et profile biophile.

Pour répondre à ces questions, nous effectuons des ANOVA à deux facteurs entre la variable catégorique profil biophile et la covariable catégorique *prof*. Comme pour l'analyse des attributs biophiles, nous commençons par une comparaison de différents modèles candidats. Si l'ANOVA détecte un effet significatif, nous effectuons un test post-hoc de comparaison de moyennes par paires de profils afin de les classer par rapport à leur contribution au succès scolaire. Nous utilisons les moyennes marginales estimées (*EMM-Estimated Marginal Means*) issues des modèles de régression pour contraster les paires de profils biophiles. S'il y a des tendances généralisables pour tous les enseignants, nous serons en mesure de classer nos profils.

Afin de faciliter la visualisation des données et de minimiser les données manquantes lorsque nous effectuons des tests d'interaction, nous avons créé un échantillon réduit qui ne conserve que les 7 enseignants avec au moins 10 observations, réparties sur au moins 4 profils biophiles.

## Données brutes

Nous commençons par visualiser les données brutes de l'échantillon réduit dans un *boxplot*.

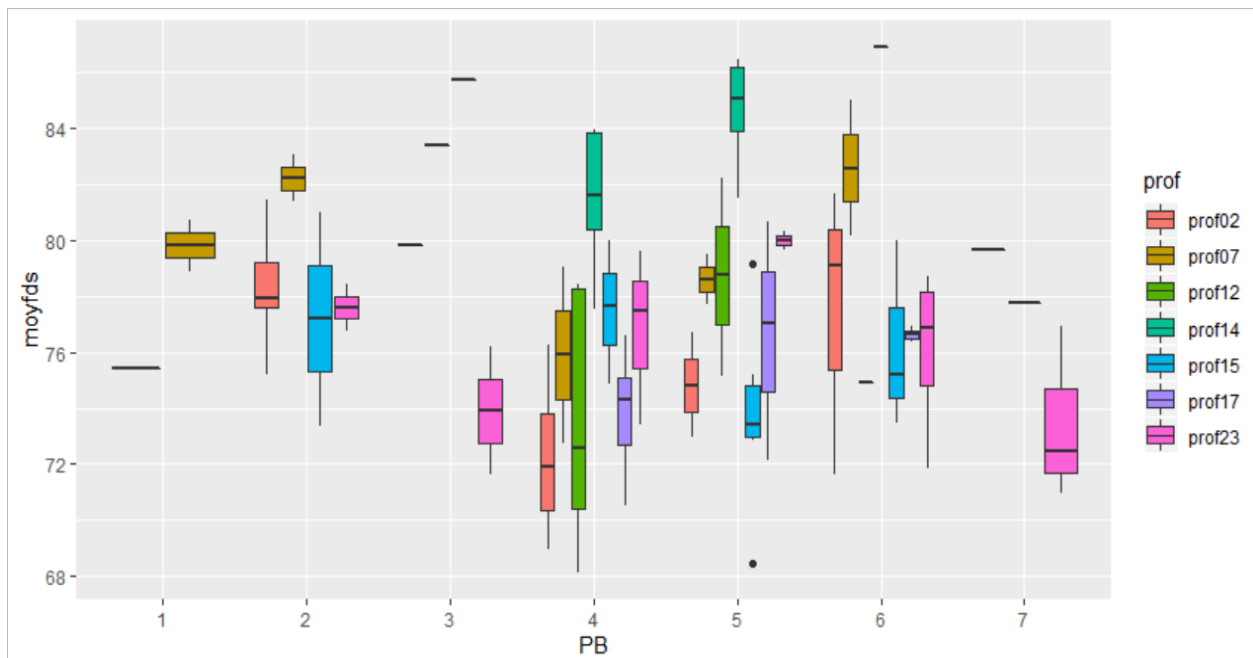


Figure 13. — *Boxplot* profil biophile et *prof* avec données brutes (échantillon réduit)

Le graphique suggère que les moyennes marginales sont différentes pour chaque enseignant et potentiellement pour chaque profil.

## Comparaison de modèles candidats : profils biophiles

Afin de comparer les effets principaux et l'effet de l'interaction avec le facteur *prof* sur la moyenne de fin de session du profil biophile, huit modèles linéaires ont été créés. Les modèles commençant par le chiffre 5 utilisent les données de l'échantillon 'vision du monde' au complet (n=261) avec 36 enseignants tandis que ceux avec le chiffre 6 utilisent les données de l'échantillon réduit (n=94) avec 7 enseignants. Les modèles E sont sans interaction tandis que les modèles F sont avec interaction. La lettre t indique l'utilisation de la variable réponse transformée.

1. Modèle 5E <-  $\text{lm}(\text{moyfds} \sim \text{prof} + \text{profil biophile})$
2. Modèle 5Et <-  $\sqrt{\text{lm}}(\sqrt{90.72 - \text{moyfds}} \sim \text{prof} + \text{profil biophile})$
3. Modèle 6E <-  $\sqrt{\text{lm}}(\text{moyfds} \sim \text{prof} + \text{profil biophile})$
4. Modèle 6Et <-  $\sqrt{\text{lm}}(\sqrt{90.72 - \text{moyfds}} \sim \text{prof} + \text{profil biophile})$

5. Modèle 5F <-  $\Gamma m(\text{moyfds} \sim \text{prof} + \text{profil biophile} + \text{prof} * \text{profil biophile})$
6. Modèle 5Ft <-  $\Gamma m(\sqrt{90.72 - \text{moyfds}} \sim \text{prof} + \text{profil biophile} + \text{prof} * \text{profil biophile})$
7. Modèle 6F <-  $\Gamma m(\text{moyfds} \sim \text{prof} + \text{profil biophile} + \text{prof} * \text{profil biophile})$
8. Modèle 6Ft <-  $\Gamma m(\sqrt{90.72 - \text{moyfds}} \sim \text{prof} + \text{profil biophile} + \text{prof} * \text{profil biophile})$

Avant d'effectuer la régression, les variables catégoriques sont décomposées en matrice de contrastes. Une matrice de contrastes comprend une variable pour chaque niveau des facteurs et pour chaque combinaison possible entre les niveaux des deux facteurs si nous tenons compte de l'interaction. Les premiers niveaux sont exclus et servent de niveau de contrôle. Les autres sont exprimés en fonction du niveau de contrôle. Nous avons essayé des contrastes avec codage *Helmert*, qui ont l'avantage de créer (théoriquement) des variables sans colinéarité et des contrastes *Traitement*, qui sont une forme de codage binaire. Les deux donnent exactement les mêmes résultats.

Le tableau suivant compare la puissance explicative des modèles candidats. Les valeurs représentent le pourcentage de la variation qui est expliqué exclusivement par les variables d'intérêt (coefficients de régression partiels) et pour le modèle au complet. Elles sont calculées en multipliant le  $R^2$ ajusté par 100. Les symboles sont les codes de signification tels que décrits dans la légende. Les fonctions 'lm' et 'rda' dans R ont été utilisées pour effectuer les régressions linéaires. Les deux mènent aux mêmes résultats.

% expliqué	5E	5Et	6E	6Et	5F	5Ft	6F	6Ft
Facteur prof	***	***	***	***	***	***	***	***
Facteur PB	2,20% *	2,43% **	8,03% *	8,00% **	NS	NS	5,84% *	6,36% **
Interaction					4,69% .	5,74% *	7,17% .	8,98% *
Modèle complet	55,52 % ***	55,29 % ***	42,74 % ***	47,44 % ***	60,22 % ***	61,04 % ***	49,90 % ***	56,43 % ***

Légende des codes de signification: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' NS' 1

Tableau 7. – Comparaison de modèles: profils biophiles

Nous constatons qu'il y a une interaction entre l'enseignant et le profile biophile, que ce soit avec la variable réponse transformée ou non. Cette interaction est légèrement significative avec la variable réponse non transformée et significative avec la variable réponse transformée. De plus,



l'ajout de l'interaction augmente de façon importante la puissance explicative des modèles. Ceci corrobore les résultats de la précédente section avec les attributs biophiles et démontre que **l'enseignant est influencé par l'environnement biophile de la salle de classe.**

Pour les deux échantillons, la puissance explicative augmente si nous utilisons la variable réponse transformée puisqu'elle a une distribution plus symétrique. Les profils biophiles et les interactions sont mieux représentés dans les modèles avec l'échantillon réduit même si la puissance totale du modèle est inférieure.

L'échantillon réduit sera utilisé pour évaluer les modèles avec interaction. Les deux échantillons seront utilisés pour évaluer les modèles sans interactions.

### Comparaison multiple des moyennes

Nous effectuons des tests post-hoc de comparaison de moyennes par paires pour déterminer si certains profils biophiles diffèrent significativement des autres

Les données ajustées aux modèles sont utilisées pour calculer les moyennes marginales des différents profils biophiles avec la méthode EMM (*Estimated Marginal Means*) (fonction *emmeans* dans R). Cette méthode est souvent utilisée pour synthétiser les résultats de modèles avec des combinaisons de facteurs nichés et/ou avec des données non équilibrées. Les moyennes ne sont pas pondérées et sont divisées en moyennes marginales par profil biophile. De plus, en nichant le profil biophile sous la variable *prof*, nous estimons une moyenne unique par profil qui est la somme des moyennes par enseignant. La moyenne de chaque enseignant a le même poids, peu importe le nombre d'observations.

### Visualisation des modèles

Les modèles issus de l'échantillon avec 36 enseignants sont très difficilement visualisables. Seuls les modèles avec l'échantillon réduit à 7 enseignants sont donc présentés pour interprétation.

## Modèle 6E

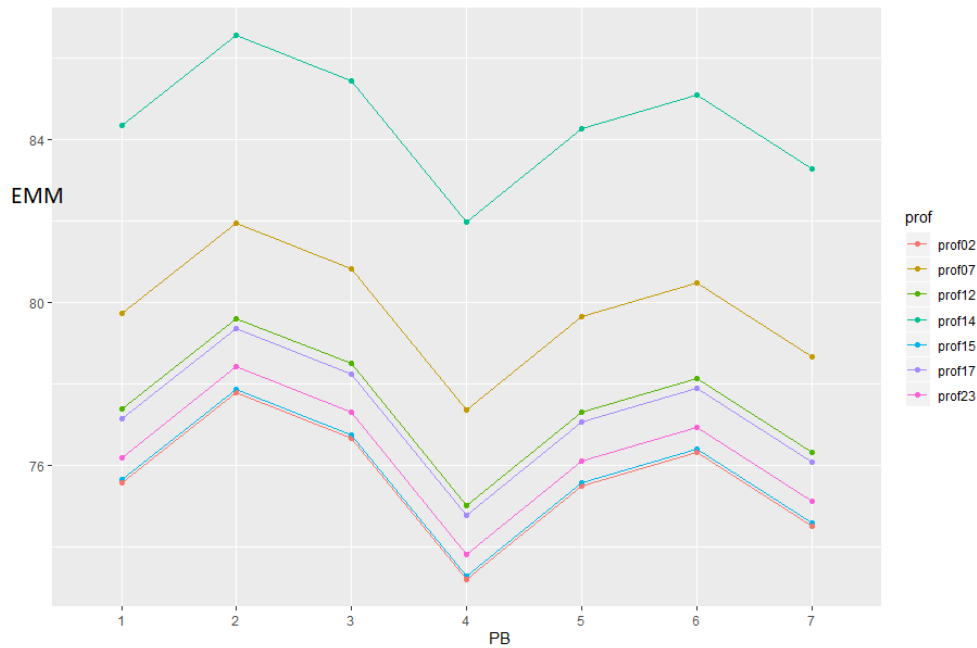


Figure 14. – Valeurs prédites EMM par profil biophile par *prof* modèle 6E

Le modèle 6E ne tient pas compte de l'interaction entre les facteurs PB et *prof*. Il suppose que même si les notes sont différentes, l'effet des différents profils est le même pour tous les enseignants. En comparant ce graphique au *boxplot* des données brutes, nous constatons qu'il n'est pas très bien ajusté aux données. Dans le cas d'une interaction significative, les résultats obtenus à partir de modèles observant uniquement les effets principaux ne sont pas nécessairement interprétables. Nous allons tout de même effectuer les comparaisons multiples des EMM des différents profils pour les modèles 5E et 6E mais à titre d'information seulement.

## Modèle 6F

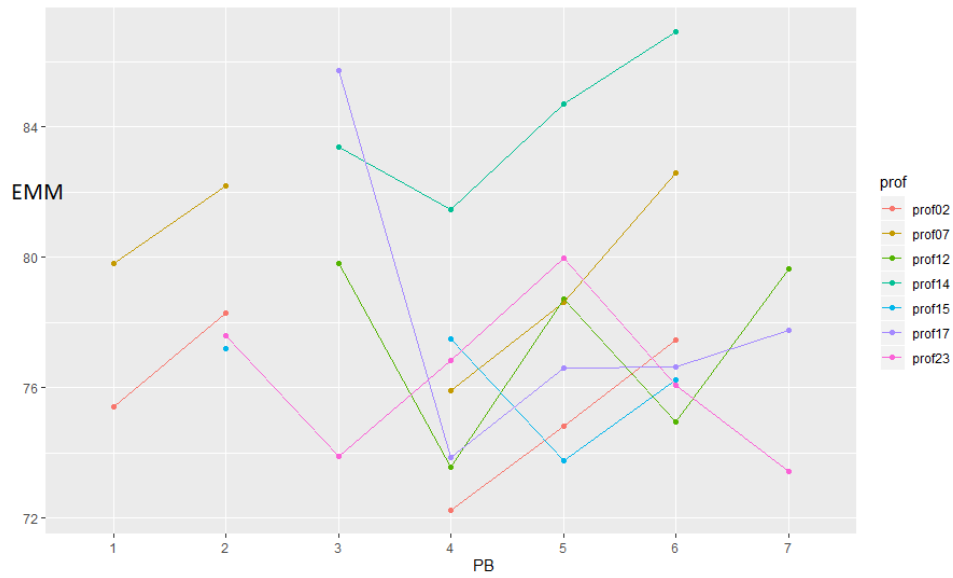


Figure 15. – Valeurs prédites EMM par PB par prof modèle 6F

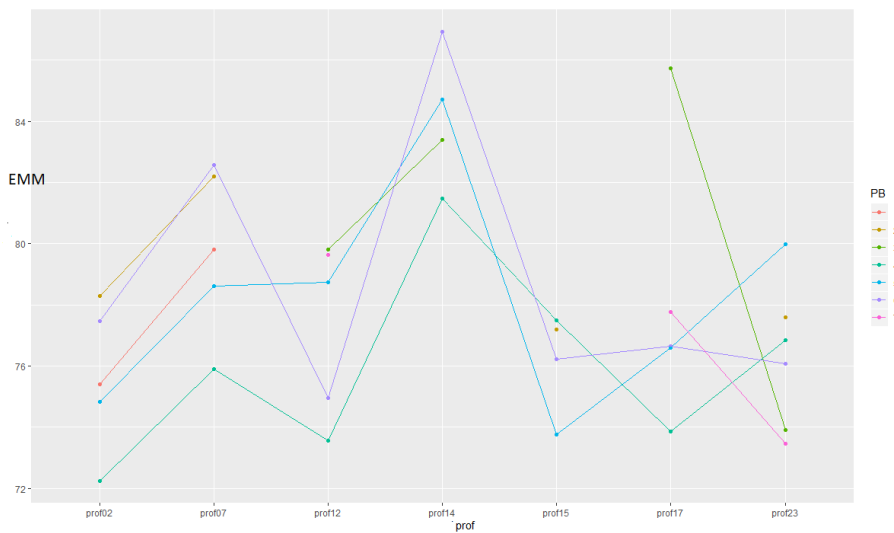
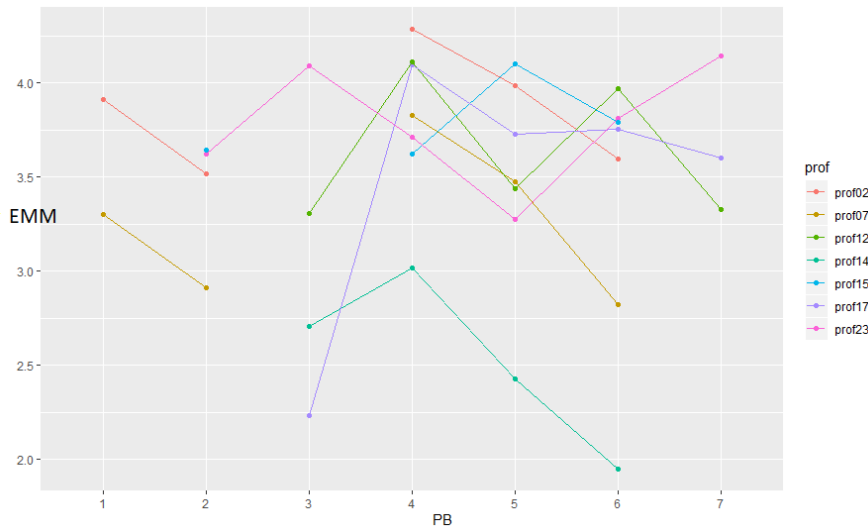


Figure 16. – Valeurs prédites EMM par prof par PB modèle 6F

En regardant les moyennes marginales estimées pour le modèle 6F, nous pouvons voir l'effet des différents enseignants. Ils ont non seulement des valeurs distinctes, mais aussi des contrastes entre profils distincts (différentes pentes et parfois même différentes directions). Il est plus difficile de discerner des tendances claires par rapport à la relation entre les profils biophiles et les moyennes de fin de session. Le graphique suggère que le profil PB4 a un effet négatif sur la performance scolaire puisqu'il représente les moyennes les plus basses pour 5 des 7 enseignants.

## Modèle 6Ft



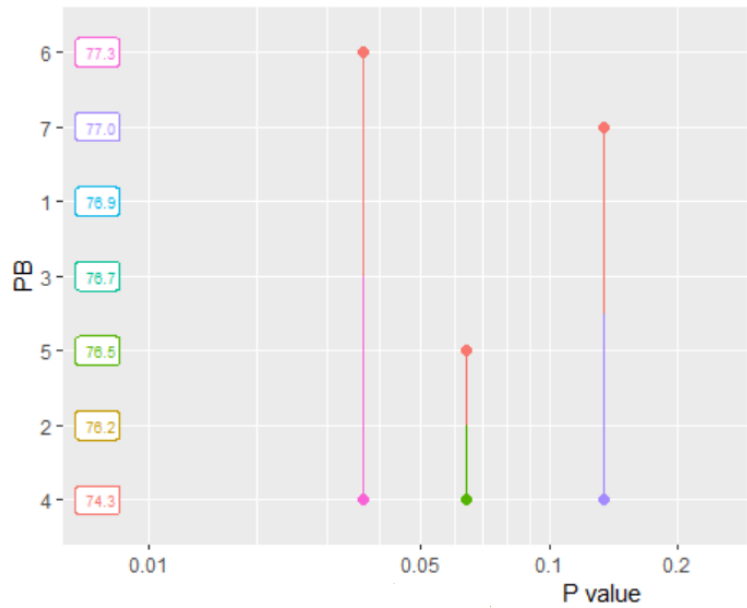
Le graphique des EMM prédites par le modèle 6Ft avec la variable réponse transformée est le miroir de celui pour le modèle 6F. Les valeurs doivent être retransformées avant d'être interprétées.

Figure 17. – Valeurs prédites EMM par PB par *prof* modèle 6Ft

### Contrastes entre paires de profils

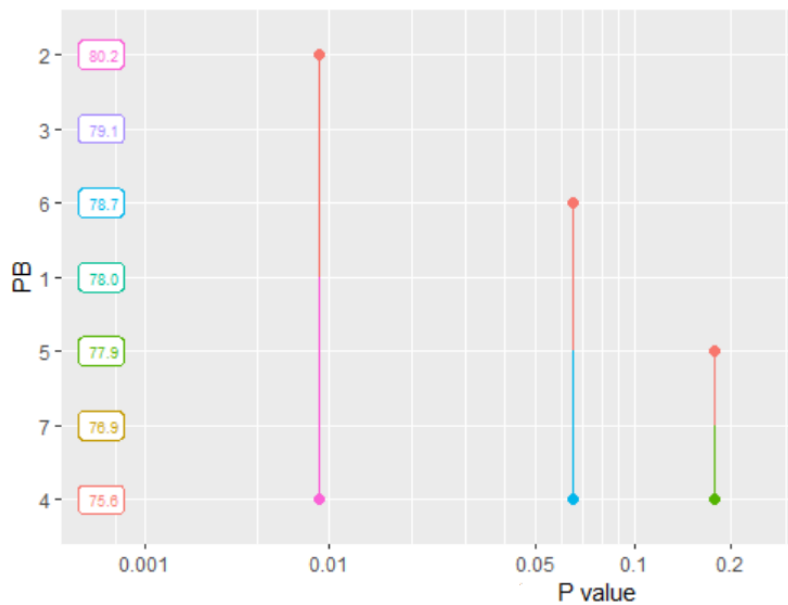
En contrastant nos EMM par paires et en faisant un test de signification pour chaque paire, nous serons en mesure de savoir quels contrastes entre profils sont significatifs, et potentiellement trouver des tendances qui ne sont pas visibles à l'œil nu. La méthode d'ajustement *Tukey* pour régressions multiples est utilisée.

Nos résultats sont représentés sur des graphiques *pvp* (*p-value pairwise plot*). Ils permettent de visualiser facilement les paires de profils qui sont significativement différents entre eux. L'axe y indique les profils biophiles en ordre croissant de EMM. L'emplacement des lignes verticales qui relient les profils de chaque paire indique le *p-value* sur l'axe x. Les contrastes avec des *p-values*  $\leq 0,05$  sont considérées comme étant significatifs tandis que ceux avec des *p-value* entre 0,05 et 0,1 sont considérés comme étant légèrement significatifs.



Le modèle sans interaction 5E avec l'échantillon au complet donne quelques résultats interprétables. Le contraste entre les profils PB6 et PB4 est significatif en faveur du profil PB6 et celui entre les profils PB5 et PB4 est légèrement significatif en faveur du profil PB5.

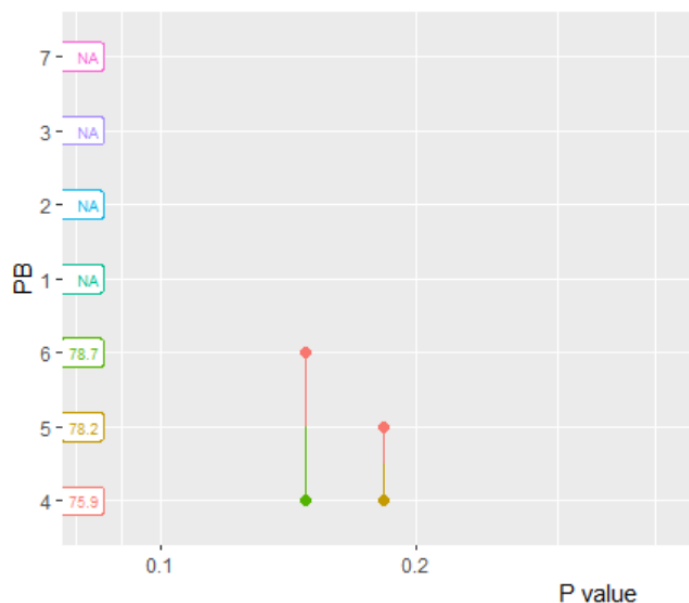
Figure 18. — Comparaison des EMM par paires de PB modèle 5E



Dans le cas du modèle sans interaction 6E avec l'échantillon réduit, la différence de moyenne entre les profils PB2 et PB4 est significative en faveur du profil PB2 et celle entre les profils PB6 et PB4 est légèrement significative en faveur du profil PB6.

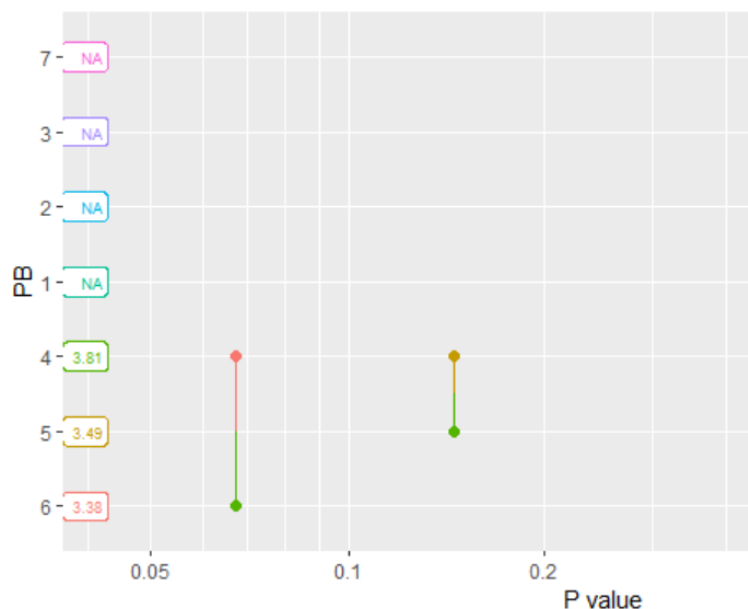
Figure 19. — Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6E

Aucune des paires de profils pour le modèle avec interaction 5F ne contient assez de données pour permettre des comparaisons.



Le modèle avec interaction 6F ne donne pas de résultats significatifs, mais nous constatons tout de même une différence de moyenne entre le profil PB6 et PB4 en faveur du profil PB6 et une différence entre PB5 et PB4 en faveur du profil PB5. Trois paires de profils seulement contiennent assez de données pour permettre des comparaisons.

Figure 20. – Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6F



Le modèle avec interaction et la variable réponse transformée est le seul avec des résultats utilisables. Il démontre une différence légèrement significative entre les profils PB4 et PB6. En inversant la transformation, nous récupérons nos valeurs de moyennes de fin de session, soit 76,20 pour le profil biophile PB4 et 79,30 pour le profil PB6.

Figure 21. – Comparaison des EMM par paires de PB Modèle 6Ft

Nous pouvons conclure avec 90% de certitude que **les étudiants du cours vision du monde dans les salles de classe avec un profil biophile PB6 réussissent avec 3,1% de plus en moyenne que les étudiants dans les salles de classe avec un profil biophile PB4.**



Figure 22. – Classe avec un profile biophile PB4

Nous rappelons que le profil biophile PB4 représente les salles de classe avec des fenêtres standard, un champ de vision court ou moyen et une vue sur la végétation à l'avant plan.



Figure 23. – Classe avec profil biophile PB6

Le profil PB6 quant à lui, représente les salles de classe avec des fenêtres de taille supérieure, un champ de vision court ou moyen et une vue variée.

La seule distinction nette entre les deux typologies est la taille (ou la quantité) de fenêtres. **Les étudiants qui ont suivi le cours vision du monde dans des salles de classe avec des fenêtres de taille supérieure ont mieux réussi que ceux dans les salles de classe avec des fenêtres de taille standard.**

Un autre point intéressant ressort en interprétant les résultats des modèles évalués : **les étudiants dans les salles de classe avec peu ou pas de fenêtres semblent réussir aussi bien sinon mieux que les autres.** Même si le profil PB1 ne comporte pas suffisamment de données pour obtenir des résultats significatifs, cette tendance va à l'encontre de nos attentes.

## Points clés des analyses statistiques

Malgré la complexité des interrelations, un design non équilibré et les contraintes d'une étude non expérimentale, certains des résultats de notre analyse quantitative sont légèrement significatifs et corroborent les constats de la revue de littérature. Nous pouvons conclure que l'effet biophile existe et qu'il varie d'un prof à l'autre. Nous constatons aussi que certains attributs biophiles sont interreliés entre eux et avec la covariable prof.

### L'effet biophile existe

L'hypothèse principale de cette recherche veut que l'effet biophile contribue à l'augmentation des notes de fin de session des étudiants au niveau collégial. En nous concentrant sur un cours en particulier (*vision du monde*), nos analyses de variance démontrent un lien mesurable et légèrement significatif entre le succès scolaire et le degré biophile d'une salle de classe.

### L'enseignant fait toute la différence

Notre recherche suggère que, pour le cours *vision du monde*, l'effet d'un environnement biophile sur les enseignants se répercute sur les notes des étudiants. En plus d'être la variable avec la plus grande valeur prédictive nous constatons que la variation des résultats scolaires pour chaque professeur est corrélée de façon significative à la profondeur du champ de vision (perspective) et la quantité de verdure visible par les fenêtres (végétation).

Pour la majorité d'entre eux, il s'agit d'une corrélation positive. Il demeure cependant que, pour certains, les résultats scolaires diminuent avec l'augmentation de végétaux visibles. Il est possible que l'effet biophile sur l'enseignant (positif ou négatif) ait un impact sur la qualité de son enseignement ou son rapport avec les étudiants.

### Le tout est plus que la somme des parties

Nos résultats démontrent que les attributs pour la verdure et la luminosité agissent en combinaison. L'augmentation de verdure ne semble pas avoir d'effet sur la performance scolaire dans les salles de classe avec des fenêtres de taille standard. Cependant, des fenêtres supérieures mènent à de meilleurs résultats, peu importe la quantité de verdure visible. Cet avantage est accentué avec une augmentation de verdure.



## Un design déséquilibré réduit la puissance des tests statistiques

Les effets croisés avec la covariable *prof* ont complexifié l'analyse statistique des profils biophiles. Si c'était à refaire, nous aurions réduit davantage le nombre de profils et d'enseignants. La combinaison de ces deux facteurs, en plus de leur interaction, a donné lieu à un design fortement déséquilibré avec plusieurs valeurs manquantes. Ceci réduit la puissance et la fiabilité des tests statistiques. Un design plus équilibré nous aurait peut-être permis de classer tous les profils selon leur contribution au succès scolaire plutôt qu'uniquement deux d'entre eux.

## Chapitre 4 Discussion

### 4.1 Le design biophile en pratique

L'effet d'un effet.

Dans cette étude, nous avons utilisé les résultats scolaires en tant que mesure de performance. Il est à noter qu'il y a un degré de recul par rapport à l'effet d'un environnement biophile. Le lien direct est avec la réaction biologique qui à son tour influence la performance. Ce degré de séparation rend plus complexe le rapport entre un environnement et ses occupants. Cette complexité se manifeste autant dans le domaine académique qu'au sein d'un projet d'architecture.

Notre cheminement en tant que concepteurs doit passer par plusieurs étapes : cibler la réaction biologique que nous voulons susciter (ex. : réduction de stress, augmentation de la concentration), identifier l'expérience biophile liée à cet effet et finalement, identifier la combinaison de caractéristiques physiques qui se prêtent à cette expérience.

Une salle de classe passe-partout?

Un autre niveau de complexité est dû au fait que la réaction biologique désirée n'est pas la même selon l'activité. L'analyse critique du design biophile incluse à la revue de littérature a fait part de ces constats.

Les différentes expériences biophiles peuvent avoir des impacts physiologiques, psychologiques ou cognitifs variés et simultanés qui sont bénéfiques ou non selon la situation. Une situation d'examen nécessite un haut niveau de concentration et pourrait bénéficier d'un espace de type refuge. En contraste, lors d'une pause, une vue panoramique qui capte l'attention pourrait être plus désirable. Une activité de groupe nécessite un environnement stimulant et bénéficierait d'une *expérience directe de la nature* multisensorielle, par exemple une salle de classe extérieure. Un cours magistral nécessite un bon niveau d'attention. Il bénéficierait sans doute d'un environnement intéressant, mais calme, offert par la présence de matériaux naturels ou une vue sur un paysage naturel.

Les étudiants du Collège écrivent déjà leurs examens finaux dans des locaux distincts (auditorium ou gymnase sans fenêtres), mais il serait intéressant d'explorer de nouvelles méthodes d'attribution de locaux si la structure logistique le permet. Au lieu d'attribuer un local en particulier pour un cours, l'attribution se ferait plutôt par activité. Certaines séances pourraient même avoir lieu à l'extérieur. Une autre possibilité est d'avoir des espaces flexibles qui permettent de varier l'expérience biophile selon les besoins.

### Expérience biophile sans fenêtres?

Cette variabilité d'expérience biophile désirée selon l'activité explique peut-être les résultats inattendus par rapport aux salles de classe sans fenêtres. Les concepteurs d'écoles des années 70 croyaient que celles-ci étaient souhaitables puisqu'elles réduisaient les distractions. Cette étude n'a pas réussi à supplanter cette hypothèse. Quoique les résultats ne soient pas significatifs en raison d'un manque de données, ils suggèrent que les étudiants dans les salles de classe sans fenêtres sont en ligne sinon supérieurs à la moyenne. Même si ces locaux ne bénéficient pas des bienfaits supposés de nos trois attributs biophiles, il est possible que d'autres qualités biophiles aient une incidence sur les résultats. Un environnement de type refuge représente «un lieu pour se retirer des conditions environnementales ou du flux principal d'activités, dans lequel l'individu est protégé par-derrière et au-dessus» (Terrapin, 2014). Selon l'activité, il est possible qu'une salle de classe sans fenêtres augmente la performance des étudiants. Notre supposition que ces salles représentent des environnements non-biophiles ne semble pas être fondée.

## 4.2 Réflexion sur la méthodologie

### Scinder l'analyse en deux

Dans notre première question de recherche qui explore le lien entre le degré biophile d'une salle de classe et la performance scolaire, nous avons attribué une cote biophile de zéro aux salles de classe sans fenêtres. Ceci indique la 'non-présence' des trois attributs étudiés. Nos résultats suggèrent que d'autres facteurs contradictoires entrent en jeu. Il serait préférable de scinder l'analyse du phénomène de la présence de fenêtres de l'analyse de l'augmentation du degré biophile si nous voulons tester des hypothèses. Un indice biophile construit uniquement à partir

de salles de classe avec fenêtres nous aurait peut-être permis d'analyser plusieurs différents cours plutôt qu'uniquement le cours *vision du monde*.

Parallèlement, nous pourrions vérifier s'il y a une différence significative entre les résultats scolaires dans une salle de classe sans fenêtres et une salle de classe avec fenêtres en effectuant une analyse de signification globale sur un nouvel échantillon avec données associées par paires qui distingue entre ces deux situations.

### Les profils biophiles sont plus parlants que la cote biophile

Nos analyses statistiques ont démontré qu'il y a des interactions entre les différents attributs biophiles. Ceci implique que nous ne pouvons pas utiliser les cotes biophiles telles qu'elles ont été conçues puisqu'elles ne tiennent pas compte de cette synergie.

Les profils biophiles ont l'avantage de tenir compte des effets croisés en comparant des scénarios complets. De plus, pour notre deuxième question de recherche qui vise le classement des différents profils biophiles selon leur contribution au succès scolaire, le problème des salles de classe sans fenêtres ne se présente pas. Nous considérons le profil PBO en termes de typologie descriptive à même titre que les autres. Nous effectuons une comparaison (un contraste) entre chaque paire de profils plutôt que d'utiliser PBO en tant que barème contre lequel tous les autres sont comparés.

## 4.3 Limites de l'étude

### Nos observations sont a posteriori

La nature rétrospective de cette recherche implique que plusieurs attributs biophiles potentiels n'ont pas pu être répertoriés. Certaines salles de classe ont connu des rénovations soit cosmétiques ou transformationnelles dans le cadre temporel de l'étude. Les seuls attributs stables que nous avons pu observer a posteriori étaient les fenêtres et la vue observable à partir de celles-ci.

En nous basant sur les trois types d'expérience de la nature proposés par Kellert et Calabrese, ces caractéristiques ne contribuent qu'à deux d'entre elles. L'accès à la lumière naturelle, une vue de la météo et une vue sur les paysages naturels et écosystèmes permettent une *expérience directe*

*de la nature* tandis que l'utilisation de vues dégagées (perspective et refuge) permet une *expérience de l'espace et de l'esprit des lieux*. Nous n'avons pas pu répertorier les autres caractéristiques liées à ces deux types d'expérience (attributs multisensoriels liés à l'air, les plantes ou l'eau; l'organisation spatiale) ni à la panoplie de caractéristiques qui contribuent à *l'expérience indirecte de la nature* (matériaux, couleurs, textures). Ces éléments auraient sensiblement influencé l'expérience biophile vécue et auraient sans doute donné une différente distribution de salles de classe au sein des profils biophiles.

### Obstruction des fenêtres

Une des limitations de cette étude est le manque de contrôle sur le cadre physique : ceci est typique d'une étude historique. Lors de nos relevés, nous avons observé certains stores en position fermée, vraisemblablement pour contrer l'éblouissement. Puisque nos attributs biophiles sont liés aux fenêtres et à la vue, la position des stores change leur caractérisation. Cette situation a sans doute réduit la pertinence de nos données. L'utilisation de stores ajourés ou autres pare-soleils permettrait de bénéficier de la vue et de la lumière naturelle sans le problème d'éblouissement.

### Le monde naturel est en mouvement

Les attributs biophiles varient selon les cycles diurnes et saisonniers. Ils ne sont pas fixes dans le temps : ceci est typique d'une observation du monde naturel. La qualité de la lumière change selon l'heure du jour, la saison, ou même les conditions météorologiques. L'état de la végétation varie selon la saison et le degré de maturité des plantes. Ceci implique que nos attributs biophiles ne sont pas constants pour la durée de l'étude. Une salle de classe avec une cote de 2 pour l'attribut lié à la verdure dans la saison estivale se verrait accorder une cote de 0 en hiver. L'état de la végétation peut aussi avoir un impact sur la perception de la profondeur du champ de vision. Un arbre bien fourni à l'avant-plan peut agir en tant qu'obstacle à la vue. Cette étude n'a pas tenu compte des changements temporels des attributs biophiles.

## **4.4 Pistes de recherche**

### Expérience biophile immersive

Les occasions de recherche en design biophile sont immenses, commençant par l'élargissement du champ d'études aux expériences multisensorielles. Une étude rétrospective n'offre malheureusement pas l'occasion de bonifier l'environnement existant pour solliciter les autres sens en rajoutant, par exemple, des plantes parfumées, un jeu d'eau ou une fenêtre ouvrante. Une étude expérimentale se prête mieux à ce type de problème. C'est plus facile à contrôler les variables confondantes et nous pouvons tenir compte des contraintes des analyses statistiques subséquentes à l'étape de définition. Cette augmentation du degré de contrôle favorise les résultats statistiquement significatifs.

### Analyse multivariable

Les méthodes d'analyse statistique issues de l'écologie numérique ont un potentiel bien supérieur à celui exploité dans cette étude. Elles permettraient de mesurer simultanément plusieurs indicateurs de succès scolaire, tel que l'assiduité (basé sur la présence en classe) ou la persévérance (basé sur la proportion d'élèves ayant complété le cours) parmi tant d'autres. Une analyse multivariée peint un tableau plus précis de l'effet biophile sur les étudiants.

### Changement d'échelle

Une étude à l'échelle du campus est très pertinente au niveau collégial puisque les étudiants n'occupent pas une classe particulière, mais partagent leur journée entre différents locaux (salles de classe, gymnase), espaces transitionnels (corridors, halls d'entrée) et espaces de détente (cafétéria, aires extérieures, aires de repos). L'effet de ces environnements multiples sur le succès et le bien-être des étudiants est cumulatif. Avec des ressources limitées, il peut s'avérer plus efficace d'investir dans la naturalisation des espaces de détente ou l'effet biophile semble être le plus ressenti.

### Spécificité culturelle

Comme le démontrent les résultats de la revue de littérature et des analyses statistiques, la conception biophile ne constitue pas une règle d'or unique. Son application dépend du contexte : « les pratiques de conception biophil(iqu)e se basent sur les besoins d'une population spécifique dans un lieu particulier et sont donc vouées à varier » (Terrapin, 2014, p. 14). Cette spécificité empêche une généralisation des résultats à la population générale, mais elle ouvre la porte à

plusieurs occasions de recherche. Une analyse à l'échelle de l'individu ou d'un groupe homogène permettrait d'explorer si notre fascination avec le monde naturel est innée ou apprise.

## 4.5 Conclusion

Plusieurs études empiriques démontrent un lien entre la réduction du stress, l'augmentation de l'attention et l'exposition au monde naturel. Nos résultats d'analyse suggèrent que cette réaction biologique se répercute positivement sur la performance scolaire des étudiants. En nous concentrant sur un cours en particulier (*vision du monde*), nos résultats démontrent un effet mesurable et légèrement significatif ainsi qu'une corrélation positive entre les résultats scolaires et les fenêtres de taille supérieure donnant sur la verdure à l'avant-plan. Dans un monde où de plus en plus de jeunes souffrent de problèmes de déficit de l'attention, le verdissement des campus scolaires peut être une solution bien adaptée.

Le design biophile représente un nouveau paradigme à l'intersection entre la biologie et la psychologie. La science se met au service du design en fournissant des données empiriques permettant d'incorporer les enjeux liés à la santé et au bien-être des occupants au processus de prise de décision. L'étude de l'effet biophile observe la relation entre l'environnement naturel et l'être humain : deux entités hautement variables. En plus du niveau de complexité que ceci entraîne, ce domaine de recherche est encore embryonnaire. La définition des indicateurs d'expériences biophiles et l'identification des variables confondantes sont à parfaire.

L'adoption du design biophile se fait peu à peu, en commençant par son inclusion dans les programmes de certification pour bâtiments écologiques tels que LEED, WELL et Living Building Challenge. C'est en contribuant à la sensibilisation et aux données empiriques ainsi qu'en multipliant les études de cas que nous pourrions atteindre le point de bascule.

La conception biophile centrée sur l'humain réveille notre connexion à la nature et interpelle notre éthique écologique. Le *design environnemental réparateur*, qui comprend le design biophile et le design écologique, permet de pallier simultanément les besoins des écosystèmes et des humains qui en font partie.

## Références bibliographiques

- Benfield, J. A., Rainbolt, G. N., Bell, P. A., & Donovan, G. H. (2015). Classrooms With Nature Views: Evidence of Differing Student Perceptions and Behaviors. *Environment and Behavior*, 47(2), 140–157. <https://doi.org/10.1177/0013916513499583>
- Corbett, J. (2006). A Spectrum of Environmental ideologies. *Communicating Nature*, 26–56.
- CSBQ. (2021). *Ateliers R du CSBQ*. [https://wiki.qcbs.ca/r\\_atelier4](https://wiki.qcbs.ca/r_atelier4)
- Heschong Mahone Group. (1999). *Daylighting in Schools An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance Detailed Report*. 139.
- Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs*, 54(2), 187–211. <https://doi.org/10.2307/1942661>
- Jacob, M. (1994). Sustainable development and deep ecology: An analysis of competing traditions. *Environmental Management*, 18(4), 477. <https://doi.org/10.1007/BF02400853>
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. CUP Archive.
- Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). *The Practice of Biophilic Design*.
- Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2008). *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life* (Illustrated edition). US Green Building Council.
- Langsrud, Ø. (2003). ANOVA for unbalanced data: Use Type II instead of Type III sums of squares. *Statistics and Computing*, 13(2), 163–167. <https://doi.org/10.1023/A:1023260610025>
- Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology* (3rd edition, Vol. 24). Elseier.
- Li, D., & Sullivan, W. (2016). Impact of views to school landscapes on recovery from stress and mental fatigue. *Landscape and Urban Planning*, 148, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.015>
- Li, Q. (2018). *Shinrin-Yoku: The Art and Science of Forest Bathing*. Penguin Books.
- Mangone, G., Capaldi, C. A., van Allen, Z. M., & Luscuere, P. G. (2017). Bringing nature to work: Preferences and perceptions of constructed indoor and natural outdoor workspaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.02.009>
- Matsuoka, R. H. (2010). Student performance and high school landscapes: Examining the links. *Landscape and Urban Planning*, 97(4), 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.06.011>
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399. <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>
- Terrapin, B. G. (2014). *14 Patterns of Biophilic Design*. Terrapin Bright Green. <https://www.terrapinbrightgreen.com/report/14-patterns/>
- Ulrich, R. (1984). View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science (New York, N.Y.)*, 224, 420–421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>



- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology, 11*(3), 201–230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7)
- Wijesooriya, N., & Brambilla, A. (2021). Bridging biophilic design and environmentally sustainable design: A critical review. *Journal of Cleaner Production, 283*, 124591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124591>
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press.



## Annexes

### Annexe 1 : Les 14 modèles du design biophile (Terrapin 2014)

Expérience	Modèle (pattern)	Description
Nature dans l'espace	P1-LIEN VISUEL AVEC LA NATURE	Une vue sur les éléments de la nature, systèmes vivants et processus naturels.
	P2-LIEN INVISIBLE AVEC LA NATURE	Des stimulations auditives, tactiles, olfactives ou gustatives qui engendrent une réaction positive et délibérée envers la nature, les systèmes vivants et naturels.
	P3-SIMULATIONS SENSORIELLES NON-RHYTHMIQUES	Liens stochastiques et éphémères avec la nature qui peuvent être analysés statistiquement, sans toutefois pouvoir être prévus avec précision.
	P4-VARIABILITÉ THERMIQUE ET RENOUVELLEMENT D'AIR	Des changements subtils dans la température de l'air, l'humidité, les courants d'air sur la peau et les températures de surface qui imitent les environnements naturels.
	P5-PRESENCE DE L'EAU	Une condition qui favorise le vécu d'un endroit à travers la vue, l'audition ou le toucher de l'eau.
	P6-LUMIÈRE DYNAMIQUE ET DIFFUSE	Utiliser les variations d'intensité de la lumière et des ombres qui changent selon le temps pour créer des conditions que l'on retrouve dans la nature.
	P7-LIEN AVEC LES SYSTÈMES NATURELS	Prise de conscience des processus naturels, en particulier les changements saisonniers et temporaires, caractéristiques d'un écosystème sain.
Analogies naturelles	P8-FORMES ET MOTIFS BIOMORPHIQUES	Références symboliques à des arrangements modelés, à motifs, texturés ou numériques que l'on retrouve dans la nature.
	P9-LIEN MATÉRIEL AVEC LA NATURE	Matériaux et éléments de la nature qui, avec une transformation minimale, reflètent le milieu naturel ou la géologie locale pour créer un ressenti particulier du lieu.
	P10-COMPLEXITÉ ET ORDRE	Profusion d'information sensorielle riche qui adhère à une hiérarchie spatiale similaire à celle que l'on retrouve dans la nature.
Nature de l'espace	P11-PERSPECTIVE	Une vue dégagée au loin permettant surveillance et prévoyance.
	P12-REFUGE	Un lieu pour se retirer des conditions environnementales ou du flux principal d'activités, dans lequel l'individu est protégé par derrière et au-dessus.
	P13-MYSTÈRE	La promesse d'une richesse d'information atteinte grâce à des vues partiellement obscurcies ou à travers d'autres installations sensorielles qui incite l'individu à explorer plus loin.
	P14-RISQUE ET PÉRIL	Une menace identifiable combinée avec une sécurité fiable.

## Annexe 2 : Répartition des SDC par profil biophile (PB)

Profil biophile PB1

PB1 (n=12) Pas de fenêtre ou petite fenêtre en margelle						
num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
-2H.07	0	0	0	0	-1	1
-2H.14	0	0	0	0	-1	1
-2H.23	0	0	0	0	-1	1
-2H.25	0	0	0	0	-1	1
-2H.27	0	0	0	0	-1	1
3A.07	0	0	0	0	-1	1
3A.09	0	0	0	0	-1	1
3B.11	0	0	0	0	-1	1
3B.13	0	0	0	0	-1	1
3B.15	0	0	0	0	-1	1
3F.07	0	0	0	0	-1	1
3G.02	0	0	0	0	-1	1



### Profil biophile PB2

PB2 (n=17) Fenêtre standard, vue urbaine, champ de vision varié						
num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
3D.02	1	0	0	1	-1	2
3E.10	1	0	0	1	-1	2
3F.03	1	0	0	2	-1	2
3F.05	1	0	2	3	1	2
3F.06	1	0	0	1	-1	2
3F.37	1	0	0	1	-1	2
3F.38	1	0	0	1	-1	2
3F.39	1	0	0	1	-1	2
3F.45	1	0	0	1	-1	2
3H.06	1	0	0	1	-1	2
3H.10	1	0	0	1	-1	2
4D.02	1	0	0	1	-1	2
4D.06	1	0	0	1	-1	2
4E.18	1	0	0	1	-1	2
4H.10	1	0	0	1	-1	2
4H.12	1	0	0	1	-1	2
5E.08	1	0	2	3	-1	2



### Profil biophile PB3

PB3 (n=8) Fenêtre standard, champ de vision moyen, vue urbaine ou sur végétation à l'arrière-plan						
num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
3E.03	1	1	1	3	-1	3
4A.14	1	1	1	3	-1	3
4D.11	1	1	1	3	-1	3
4E.01	1	1	1	3	-1	3
4E.07	1	1	1	3	-1	3
5B.02	1	1	1	3	-1	3
5D.02	1	0	1	2	-1	3
5D.06	1	0	1	2	-1	3



Profil biophile PB4

PB4 (n=18) Fenêtre standard, vue sur végétation à l'avant plan, champ de vision court ou moyen						
num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
3A.04	1	2	1	4	1	4
3A.06	1	2	1	4	1	4
3A.10	1	2	1	4	1	4
3E.01	1	2	1	4	1	4
3E.04	1	2	0	3	-1	4
3E.06	1	2	0	3	-1	4
3E.07	1	2	0	3	-1	4
3E.09	1	2	1	4	1	4
3E.11	1	2	1	4	1	4
4A.02	1	2	1	4	1	4
4A.04	1	2	1	4	1	4
4A.06	1	2	1	4	1	4
4D.01	1	2	1	4	1	4
4D.03	1	2	1	4	1	4
4E.09	1	2	1	4	1	4
4E.11	1	2	1	4	1	4
5A.02	1	2	1	4	1	4
5D.01	1	2	1	4	1	4



### Profil biophile PB5

PB5 (n=15) Fenêtre standard, champ de vision profond, vue sur végétation à l'avant ou l'arrière-plan

num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
4A.03	1	2	2	5	1	5
4A.05	1	2	2	5	1	5
4A.07	1	2	2	5	1	5
4E.20	1	1	2	4	1	5
5B.07	1	2	2	5	1	5
5B.11	1	2	2	5	1	5
6B.13	1	2	2	5	1	5
7A.05	1	2	2	5	1	5
7A.11	1	2	2	5	1	5
7A.13	1	2	2	5	1	5
7B.02	1	1	2	4	1	5
7B.04	1	1	2	4	1	5
7B.06	1	1	2	4	1	5
7B.11	1	2	2	5	1	5
7B.13	1	2	2	5	1	5



### Profil biophile PB6

PB6 (n=15) Fenêtre supérieure, champ de vision moyen ou court, vue variée

num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
3F.25	2	2	0	4	1	6
3G.03	2	2	1	5	1	6
3H.13	2	2	1	5	1	6
3H.15	2	2	1	5	1	6
3H.17	2	2	1	5	1	6
3H.23	2	1	1	4	1	6
4F.02	2	0	1	3	-1	6
4F.04	2	0	1	3	-1	6
4H.06	2	0	0	2	-1	6
4H.08	2	0	0	2	-1	6
4H.15	2	2	1	5	1	6
4H.17	2	2	1	5	1	6
4H.19	2	2	1	5	1	6
4H.25	2	1	1	4	1	6
5A.12	2	1	1	4	1	6





## Profil biophile PB7

PB7 (n=10) Fenêtre supérieure, champ de vision profond, vue variée

num_sdc	LUM	VER	PER	CB	IB	PB
3D.23	2	2	2	6	1	7
3E.13	2	2	2	6	1	7
3F.27	2	1	2	5	1	7
3H.19	2	2	2	6	1	7
3H.21	2	1	2	5	1	7
4D.17	2	1	2	5	1	7
4F.06	2	0	2	4	1	7
4H.21	2	2	2	6	1	7
4H.23	2	2	2	6	1	7
5B.03	2	2	2	6	1	7

