



**HAL**  
open science

# Une exploration de visualisation de données pour sensibiliser à l'impact environnemental des régimes alimentaires

Aymeric Ferron

► **To cite this version:**

Aymeric Ferron. Une exploration de visualisation de données pour sensibiliser à l'impact environnemental des régimes alimentaires. RR-9512, Inria Centre at the University of Bordeaux. 2023. hal-04129393

**HAL Id: hal-04129393**

**<https://hal.science/hal-04129393>**

Submitted on 21 Jun 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

*Inria*

# Une exploration de visualisation de données pour sensibiliser à l'impact environnemental des régimes alimentaires

Aymeric Ferron

**RESEARCH  
REPORT**

**N° 9512**

Juin 2023

Project-Team Potioc

ISRN INRIA/RR--9512--FR+ENG

ISSN 0249-6399





## Une exploration de visualisation de données pour sensibiliser à l'impact environnemental des régimes alimentaires

Aymeric Ferron \*

Équipe-Projet Potioc

Rapport de recherche n° 9512 — Juin 2023 — 29 pages

**Résumé :** Nous proposons une nouvelle façon de visualiser les données de l'impact environnemental des régimes alimentaires en utilisant un concept de mini-monde. Ce dernier permet de reproduire un monde réduit contenant des caractéristiques environnementales facilement reconnaissables. L'enjeu est de rendre moins abstraites les données scientifiques d'émissions de gaz à effet de serre, de consommation d'eau et d'usage des terres en traduisant ces données en conséquences virtuelles sur le mini-monde. Ces conséquences sont des reproductions exagérées des conséquences réelles qui peuvent toucher l'environnement. Cet outil permet de simplifier la relation entre les données et leurs conséquences en les exagérant et offre un cadre scientifique suffisant pour pouvoir comparer différents régimes alimentaires au sein du mini-monde.

**Mots-clés :** visualisation de données, mini-monde, interaction humain-machine soutenable, exploration, régimes alimentaires, développement durable, prise de décision, changement de comportement

---

\* Inria, Université de Bordeaux, Bordeaux INP, CNRS

**RESEARCH CENTRE  
BORDEAUX – SUD-OUEST**

200 avenue de la Vieille Tour  
33405 Talence Cedex

## Raising awareness of the impacts of eating habits on the environment: a data visualization exploration

**Abstract:** We suggest a new way to visualize data on the environmental impact of diets using a mini-world concept. The mini-world allows reproducing a reduced world containing easily recognisable environmental features. The challenge is to make scientific data on greenhouse gas emissions, water consumption and land use less abstract by translating these data into virtual consequences on the mini-world. These consequences are exaggerated reproductions of the real consequences that can affect the environment. This tool simplifies the relationship between the data and their consequences by exaggerating them and provides a scientific framework sufficient enough to compare different diets within the mini-world.

**Key-words:** data visualization, mini-world, sustainable human-computer interaction, exploration, dietary choices, sustainability, decision making, behaviour change

## **Remerciements**

Je tiens à remercier mes encadrants, Martin Hachet, Yvonne Jansen et Pierre Dragicevic, qui m'ont initié à la recherche en IHM et qui m'ont guidé pendant ces cinq mois de stage, me permettant de livrer ce rapport de recherche aujourd'hui.

Merci également à mes collègues doctorantes et doctorants, ainsi qu'à Arnaud Prouzeau et Stéphanie Cardoso, pour avoir consacré du temps à la réalisation et à la participation de mon atelier d'idéation au début de ce projet.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Contexte et motivations</b>	<b>5</b>
1.1	Contexte écologique, sociétal et économique . . . . .	5
1.2	Contexte de recherche . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Objectif de recherche</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Étude de l'existant</b>	<b>7</b>
3.1	Exemples de jeux vidéo . . . . .	8
3.2	Exemples de simulateurs . . . . .	9
3.3	Exemples de projets de recherche . . . . .	9
3.4	Conclusion partielle . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Travail préparatoire au projet</b>	<b>11</b>
4.1	Recherche de données pertinentes . . . . .	11
4.2	Élaboration d'un design . . . . .	11
4.2.1	Apparence du mini-monde . . . . .	11
4.2.2	Caractéristiques évolutives du mini-monde . . . . .	12
4.3	Nom du projet . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Développement du projet</b>	<b>13</b>
5.1	Technologies utilisées . . . . .	14
5.2	Création des ressources visuelles . . . . .	14
5.3	Choix des données . . . . .	14
5.4	Exploitation des données . . . . .	15
5.4.1	Modéliser l'indicateur "Changement climatique" . . . . .	16
5.4.2	Modéliser l'indicateur "Utilisation des ressources en eau" . . . . .	17
5.4.3	Modéliser l'indicateur "Utilisation des sols" . . . . .	17
5.5	Fonctionnalités implémentées . . . . .	18
5.6	Ajustements à la marge de la modélisation . . . . .	19
<b>6</b>	<b>Discussions</b>	<b>20</b>
6.1	Enjeux techniques . . . . .	20
6.2	Enjeux conceptuels . . . . .	21
6.3	Enjeux de médiation . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Perspectives</b>	<b>22</b>
7.1	Perspectives à court terme . . . . .	22
7.2	Perspectives à moyen terme . . . . .	23
7.3	Perspectives à long terme . . . . .	23
	<b>Annexes</b>	<b>24</b>

# 1 Contexte et motivations

Le but de ce document est de rendre compte du travail effectué durant le cours *8INF860 - Essai* closant le parcours de maîtrise en informatique avec majeure en jeu vidéo de l'Université du Québec à Chicoutimi. Il s'agit également du projet de fin d'étude permettant de clore le cursus d'ingénieur en informatique à l'ENSEIRB-MATMECA.

Ce stage est mené dans le centre de recherche Inria de l'université de Bordeaux, auprès de Martin Hachet, d'Yvonne Jansen et de Pierre Dragicevic, dans l'équipe Potioc spécialisée en interaction humain-machine (IHM). Il se déroule du 1er septembre 2022 au 30 janvier 2023.

A l'aide de technologies utilisant la **réalité mixte** (RM), et plus particulièrement la **réalité augmentée** (RA), il serait possible de concevoir des **Interactions Humain-Machine (IHM)** augmentant l'**engagement** des individus les utilisant. L'objectif de ce projet de recherche est d'**explorer le potentiel de la RA afin de sensibiliser le grand public à l'impact environnemental de son mode de vie.**

## 1.1 Contexte écologique, sociétal et économique

Depuis plusieurs décennies, la communauté scientifique internationale alerte sur les dangers du changement climatique et ses conséquences. Le dernier rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'inscrit dans cette lignée en exposant clairement les causes et les conséquences de ce phénomène [1]. Il apporte également des éléments de solution à mettre en place afin de limiter le réchauffement global en dessous de la barre des 2°C par rapport à 1990.

### Un fossé entre la connaissance et l'action

Malheureusement, le passage à l'action ne relève pas de l'évidence. Force est de constater qu'il existe un fossé entre les connaissances transmises par la communauté scientifique et les efforts du grand public [2] [3] [4] et des politiques [5] [6] [7]. Alors, comment parvenir à le combler ?

Le fossé entre la connaissance et l'action peut s'expliquer par différentes raisons, dont la distance psychologique, et la complexité des données.

La **distance psychologique** "fait référence à la distance que nous établissons par rapport à un objet en termes cognitifs et selon son niveau d'abstraction" [8]. Elle dépend de quatre dimensions : la distance spatiale, la distance temporelle, la distance sociale et le caractère incertain de l'objet. Dans le cas du dérèglement climatique, ses conséquences sont souvent lointaines géographiquement et vont toucher des personnes que l'on ne connaît pas. Quand on en parle en France, les experts parlent d'horizons temporels lointains. Toutes ces causes exacerbent la distance psychologique des citoyens français vis-à-vis du dérèglement climatique. Permettre de visualiser concrètement les conséquences de certaines actions peut rendre la compréhension du concept de gaz à effet de serre (GES) et de dérèglement climatique plus tangible. Dans leur expérimentation, Breves et Schramm comparent une vidéo et une expérience en réalité virtuelle (RV) et montrent que la RV a un impact plus grand sur la prise de conscience de problèmes environnementaux que la simple vidéo [9]. Utiliser la **réalité mixte** (RM) permet donc de confronter directement les personnes aux conséquences lointaines des émissions de GES et d'éveiller leur conscience. D'autre part, il peut être plus intéressant et impactant d'effacer la distance spatiale entre la donnée et l'objet auquel elle fait référence. Ainsi, il est possible d'utiliser la réalité augmentée (RA) afin de modéliser de façon pertinente certaines données au plus près des individus et des objets qu'ils manipulent, **en milieu situé** [10].

La **complexité des données** est inhérente au contexte scientifique. Pour atteindre les citoyens qui n'ont pas forcément de clefs de lecture, il faut concevoir des modèles permettant



de simplifier et de rendre compréhensibles ces données. On parle alors ici de **visualisation de données**. On peut alors jouer sur les ordres de grandeur pour représenter différemment les données, faire intervenir des éléments de comparaison [11] et permettre aux apprenants d'interagir directement avec ces représentations en RM. Ainsi, on peut citer l'exemple frappant de Carbon Visuals qui représente les émissions de GES de New York en milieu situé avec des sphères bleues [12].

La RM et la visualisation de données environnementales sont des leviers sur lesquels il est possible d'agir pour améliorer les dispositifs d'**éco-feedback**. Ces derniers s'intéressent à la façon de concevoir des IHM pour rendre visible ce qui ne l'est pas forcément et ainsi former les individus à réduire leur impact sur l'environnement [13]. Il s'agit donc d'un domaine prometteur pour sensibiliser la population et essayer de combler le fossé entre connaissance et action, bien qu'il se soit fait critiquer pour avoir contribué à mettre beaucoup de responsabilités sur les individus en mettant de côté l'importance du système.

## La nécessité d'aller de l'avant

Puisque le GIEC nous explique que chaque nouvelle tonne de GES émise dans l'atmosphère contribue à son réchauffement, il est plus qu'urgent d'agir. Parmi les différents comportements qu'un citoyen français peut adopter afin de faire baisser ses émissions de GES de façon simple, on retrouve la possibilité de changer de régime alimentaire. Abandonner la viande au profit d'un régime végétarien représente une diminution de 1.3 tonne de CO<sub>2</sub> par personne et par an, ce qui n'est pas négligeable [14]. Sans être totalement végétarien, réduire simplement sa consommation de viande permet déjà de couper une partie de ses émissions de GES. De plus, il s'agit d'une action qui peut être mise en place rapidement et pour un coût raisonnable par rapport à d'autres investissements majeurs comme la rénovation de son isolation ou l'achat d'un véhicule électrique.

Cependant, le régime végétarien manque encore d'acceptabilité sociale [15] et bien que son impact puisse être réel et immédiat, cette solution est trop rarement présentée lorsque l'on évoque les moyens de réduire le dérèglement climatique, comme on peut le constater dans les livres d'écoles canadiens [16]. Il y a donc un réel intérêt à faire de la pédagogie autour de l'impact environnemental de la nourriture, notamment à travers la RM et la visualisation de données en milieu situé, pour permettre aux citoyens de se rendre compte de l'importance de cet enjeu. De plus, de tels outils pourraient également servir à justifier de potentielles politiques publiques qui pourraient s'avérer impopulaires. Si les citoyens comprennent le bien fondé de mesures contraignantes, alors ils seront certainement plus à même de les accepter.

## 1.2 Contexte de recherche

Ce projet de recherche s'inscrit dans un travail préliminaire à un **projet transdisciplinaire** auquel participe l'équipe Potioc et financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Ce projet se nomme Be-aware [17]. L'idée est de mêler les disciplines que sont l'interaction humain-machine, les sciences de l'environnement et l'économie comportementale afin de rapprocher les questions environnementales du public.

Ce projet de recherche a donc un but exploratoire et doit permettre d'amorcer des réflexions autour de la problématique soulevée par Be-aware qui pourront ensuite être exploitées durant une thèse au sein de ce même projet.

## 2 Objectif de recherche

Dans le contexte de ce projet de recherche, il est intéressant de voir comment des applications peuvent être développées afin d'aider le grand public à mieux comprendre l'impact de son mode de vie sur l'environnement.

On peut donc se poser la question suivante, qui reprend la problématique du projet ANR Be-aware [17] :

**Comment exploiter la réalité augmentée pour améliorer la compréhension du grand public vis-à-vis de l'impact environnemental de son mode de vie ?**

Nous désirons aborder cette question sous trois angles qui nous paraissent pertinents.

Premièrement, et comme évoqué en section 1, le comportement qui aurait le plus d'influence sur les émissions de GES et qui serait probablement le plus facile à mettre en place rapidement et massivement aujourd'hui est une **réduction importante de la consommation de viande**. Il nous semble donc naturel d'explorer cette piste en tant que « comportement à portée écologique ».

Deuxièmement, plusieurs études proposent de placer la **collaboration** et le **lien entre les individus** au centre de la stratégie d'apprentissage [18] [19]. Gustafsson et al. montrent par exemple que l'utilisation d'un dispositif d'éco-feedback au sein de familles permet de baisser la consommation d'électricité de façon durable [20]. En utilisant ce genre d'approche, l'apprentissage est plus efficace, l'engagement plus fort, et la dimension applicative tend à transcender l'individu pour embrasser la notion de collectivité, que ce soit à travers une notion de collaboration ou de compétition.

Troisièmement, et afin d'appuyer cette notion de collectivité, il est fondamental de mettre l'accent sur **l'aspect systémique** du problème, comme évoqué en section 1. Puisque l'individu à lui seul ne peut pas tout, il est intéressant de comparer les conséquences des actions de l'individu avec celles de la collectivité et avec celle du système pour mieux visualiser et comprendre les ordres de grandeur et de responsabilité.

Une fois ces bases bien définies, il est intéressant de tisser différentes applications autour. On peut se poser la question de l'influence du *framing*, soit la façon dont le sujet est abordé (d'un point de vue négatif, positif ou neutre), faire varier le niveau de collaboration entre les individus ou encore ajouter des notions de ludification.

Pour ce projet de recherche, nous décidons de développer un prototype utilisable sur un simple moniteur en laissant les aspects de réalité augmentée et communautaires de côté en raison de contraintes temporelles. Le but est de produire un mini-monde virtuel évoluant au gré de différents menus et au fil du temps, jouant ainsi le rôle d'une **vitrine d'exposition**. L'utilisateur peut ainsi proposer des compositions de régime alimentaire et en explorer les conséquences grâce à la visualisation permise par le mini-monde, selon le concept d'**exploration**.

## 3 Étude de l'existant

Dans la mesure où l'objectif initial de ce projet de recherche contient certains aspects de ludifications, cette étude explore aussi bien des **articles scientifiques** que des **jeux vidéo** ou des **jeux de société**. Afin de ne pas alourdir ce rapport, nous n'évoquons en détail que trois projets qui se démarquent par rapport au sujet de ce projet de recherche.

### 3.1 Exemples de jeux vidéo

De nombreux jeux vidéos explorent des sujets proches de l'environnement. En misant sur la ludification, le joueur est amené à explorer des mondes ou à faire des choix qui changent l'univers fictif qu'il traverse. Cependant, l'aspect ludique l'emporte largement sur l'aspect jeu sérieux, et le message écologique peut se trouver noyé dans le gameplay. On peut rapidement citer *Fate of the World* qui illustre la complexité de reformer notre société mondialisée [21], ou encore *Eco* où le joueur doit sauver son monde d'un astéroïde tout en préservant les ressources de sa planète [22].

Au milieu de tous ces jeux, *Climate Game* [23] se démarque en faisant le lien entre la vie réelle et un monde ludique. Ce jeu se présente sous la forme d'une application mobile permettant de **suivre ses émissions de GES** grâce à un **système d'enregistrement personnel**. Tous les jours, l'utilisateur est invité à détailler ce qu'il a mangé et avec quel moyen de transport il s'est déplacé. L'application prend également en compte la consommation d'eau, de gaz et d'électricité du domicile. Une île fictive est attribuée au joueur (voir figure 1), mais l'interaction avec cette dernière est limitée. En effet, l'aspect de l'île va simplement varier en fonction de la rapidité avec laquelle le joueur va émettre des GES. Des animaux peuvent apparaître ou disparaître de l'île en fonction de la quantité de GES. Une interface permet d'afficher les courbes d'émissions de GES de l'utilisateur.



FIGURE 1 – Interface principale de *Climate Game*

Ce jeu est intéressant car il offre à l'utilisateur un feedback émotionnel et instinctif à travers l'île et ses animaux, mais il ne permet pas de tester différents scénarios et les interactions avec l'île sont limitées.

### 3.2 Exemples de simulateurs

L'utilisation de simulateurs permet de faire un lien plus évident entre des données réelles et les conséquences à venir. *The Financial Times* propose une version plus réaliste de *Fate of the World* évoqué plus haut, mais sa simulation reste encore assez ludique [24]. Le site *Mission Climat* [25] permet de s'inscrire dans des propositions beaucoup plus réalistes et pointues.

*Mission Climat* est un **simulateur d'objectifs et de politiques publiques** s'appuyant sur un modèle de calcul de B&L évolution afin de **projeter l'évolution des températures en France à horizon 2100**. L'utilisateur peut utiliser les différents sliders à sa disposition pour définir des objectifs dans cinq catégories (Bâtiments, Transports, Agriculture et alimentation, Biens et services, Énergie). Les émissions de GES sont ensuite calculées, et un chiffre de réchauffement climatique est affiché (voir figure 2).

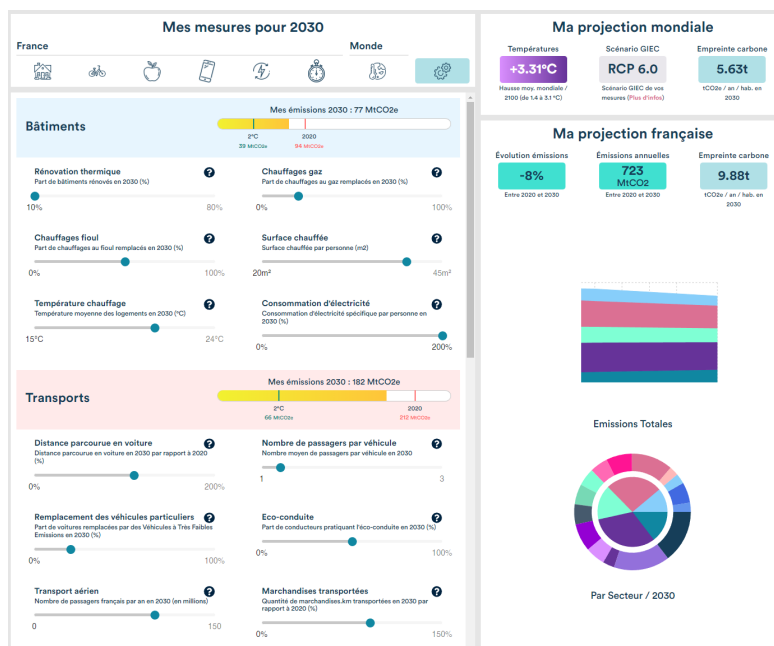


FIGURE 2 – Interface principale de *Mission Climat*

Ce simulateur permet de tester différents scénarios mais ses résultats sont abstraits et techniques. *Mission Climat* n'évoque pas les conséquences des émissions et des températures et ne cherche pas à trouver de moyen innovant de visualiser ces données.

### 3.3 Exemples de projets de recherche

De nombreux projets de recherche dans le domaine des interactions humains-machines cherchent à concevoir des prototypes permettant de sensibiliser les utilisateurs à l'impact de leur mode de vie sur l'environnement. On retrouve beaucoup de travaux sur l'utilisation de l'énergie [20] et relativement peu sur la nourriture. On peut citer deux jeux sérieux qui se concentrent sur l'impact de la nourriture sur l'environnement avec *Veganity, your journey* [26] et *Project P.E.A.R.* [27], ce dernier disposant de fonctionnalités en RA.

Le projet de recherche *Edo : A Participatory Data Physicalization on the Climate Impact of Dietary Choices* [28] cible directement l'impact de la nourriture sur les émissions de GES. Il

s'agit d'un projet de recherche mené dans l'équipe Potioc en 2021 par Kim Sauvé, Yvonne Jansen et Pierre Dragicevic. Ce dispositif tangible permet de **visualiser la quantité de GES émise pour une semaine de repas**. La quantité de GES est encodée à travers la surface de jetons en bois : plus l'aliment rejette des GES, plus il sera grand (voir figure 3a). L'utilisateur est invité à placer les jetons correspondant à ses repas sur un tableau, permettant de cette façon de visualiser la quantité de GES émise au cours de la semaine. Plusieurs tableaux sont conçus afin de tester différents designs, avec des bilans personnels, hebdomadaire ou journaliers (voir figure 3b).

Ce projet de recherche propose un moyen innovant de visualiser sa quantité de GES émise par repas, mais il ne montre pas quelles sont les conséquences de ces émissions.



(a) Détails des jetons

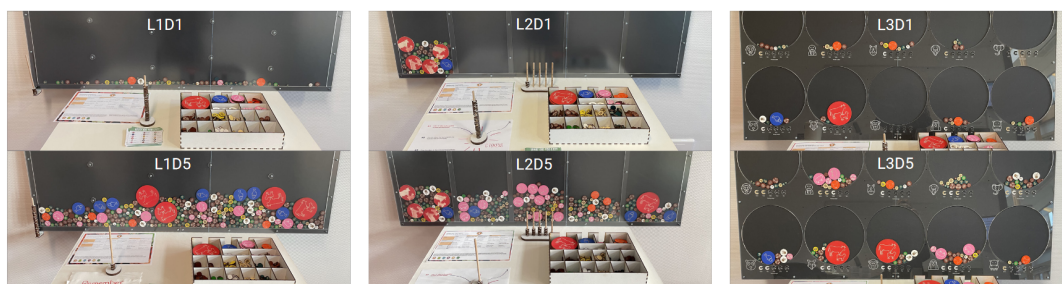


Figure 3. Resulting visualization for each layout (L1-3), after day one (D1) and day 5 (D5).

(b) Différents designs de tableaux

FIGURE 3 – Figures empruntée à Edo (Sauvé et al.)

### 3.4 Conclusion partielle

Nous voyons que les trois projets proposés dans cette section offrent des fonctionnalités intéressantes, mais ont également des limites, notamment en termes de visualisation des conséquences des émissions de GES. Notre projet cherche donc à pallier cette limitation en proposant une approche innovante de visualisation de données.

## 4 Travail préparatoire au projet

Afin de préparer le développement du projet, il est nécessaire de chercher un ensemble de données pertinent sur lequel s'appuyer et d'élaborer un design pour le mini-monde.

### 4.1 Recherche de données pertinentes

Afin de modéliser les conséquences environnementales de la nourriture, nous cherchons un ensemble de données pertinent. Nous choisissons finalement la base de données française Agribalyse [29].

Agribalyse est une base de données développée par l'Agence environnementale et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et l'Institut national de la recherche agronomique (INRAE). Elle s'appuie sur l'**analyse de cycle de vie (ACV)** pour calculer l'impact environnemental de **2700 aliments** communs en France. L'utilisation de l'ACV permet de prendre en compte toutes les étapes de la vie d'un aliment, depuis sa culture jusqu'à sa cuisson, en passant par son transport et sa transformation. Cela permet donc d'obtenir des valeurs très pertinentes et exhaustives. D'autre part, l'éco-score [30], système de notation environnementale qui va être déployé dans les prochaines années de la même façon que le nutri-score, va s'appuyer sur les données d'Agribalyse. Il est donc extrêmement pertinent d'appuyer notre projet sur ces données reconnues.

Pour chacun de ces aliments, Agribalyse fournit **seize indicateurs environnementaux** précis. Nous avons choisi d'en retenir cinq qui semblaient plus simples à représenter que les autres : le **changement climatique** (en kg CO<sub>2</sub>eq), l'**eutrophisation de l'eau douce** (en kg Peq), l'**eutrophisation marine** (en kg Neq), l'**utilisation du sol** (en Point) et l'**épuisement des ressources en eau** (en m<sup>3</sup> depriv).

### 4.2 Élaboration d'un design

A ce stade du projet, nous avons le concept et les données. Il convient désormais de réfléchir à l'articulation de ces deux aspects en choisissant un design pertinent. Pour cela, un **atelier d'idéation** est organisé avec les membres de l'équipe Potioc pour tenter de trouver des idées variées. L'atelier se déroule durant deux heures dans une salle de réunion du laboratoire de recherche avec dix personnes de l'équipe. Nous répartissons ces dix participants en trois groupes : un premier groupe de quatre personnes qui connaît déjà les tenants et les aboutissants de Dana et deux groupes de trois personnes qui ne connaissent pas le sujet.

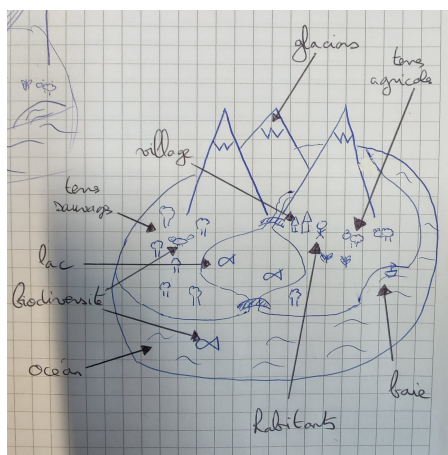
#### 4.2.1 Apparence du mini-monde

Tout d'abord, il faut déterminer l'apparence qu'aura la visualisation. L'enjeu est de voir si des alternatives au mini-monde peuvent être trouvées par les participants. La question posée à l'équipe est la suivante : "*Si vous deviez représenter un système métaphorique représentant les conséquences environnementales de la nourriture, que choisiriez-vous ?*". Les participants réfléchissent de manière individuelle à cette question durant cinq minutes.

Plusieurs suggestions sont faites, parmi lesquelles :

- utiliser des êtres vivants pour symboliser l'état de la simulation (des poissons dans un aquarium, une plante en pot) ;
- simuler une ferme où des animaux apparaissent ou disparaissent en fonction de la consommation des humains ;
- un parc d'attractions qui attire plus ou moins de visiteurs ;
- un gâteau qui se reconstitue en fonction du temps, et qui disparaît totalement si on le consomme trop vite ;
- un pont vers un monde positif qui se détruit lorsque les repas sont peu respectueux de l'environnement ;
- une planète sur laquelle on peut reproduire le dérèglement climatique ;
- une maison dont l'état va évoluer ;
- un système de jeu de rôle où les caractéristiques du personnage évoluent en fonction de la consommation alimentaire ;
- une île avec des ressources différentes qui peuvent s'épuiser et un environnement évolutif en fonction des repas.

Le choix d'une petite île s'est démarqué, dans la mesure où il s'agit de l'idée la plus instinctive pour les différents membres de l'équipe. De plus, ce format permet de faire apparaître plusieurs écosystèmes sur une surface réduite et permet de **créer une vue d'ensemble rapide de la situation**, comme on peut le voir sur l'esquisse de la figure 4a. D'autre part, on peut facilement représenter les conséquences d'un dérèglement climatique et de la pression sur les ressources naturelles **sans être trop symbolique**, au risque de perdre le propos et de ne plus être compris des utilisateurs.



(a) Dessin du concept du mini-monde



(b) Conception des caractéristiques évolutives

FIGURE 4 – Travaux menés durant l'atelier d'idéation

#### 4.2.2 Caractéristiques évolutives du mini-monde

La seconde partie de l'atelier d'idéation concerne les différentes caractéristiques qui peuvent varier sur l'île afin de représenter les conséquences des régimes alimentaires. Les participants ré-

Indicateur	Caractéristique	Avec un indicateur élevé	Avec un indicateur bas
Emissions de GES	Nuage	Le nuage à l'apparence malsaine s'étend dans l'atmosphère de l'île.	Le nuage n'existe pas.
	<b>Glacier</b>	<b>Les glaciers fondent et n'existent plus.</b>	<b>Les glaciers restent intacts.</b>
	Citoyens	Les citoyens doivent porter des masques à gaz.	Les citoyens ne se protègent pas.
	Coraux	La barrière de corail blanchit et disparaît.	Le corail se porte bien.
	Catastrophes naturelles	Augmentation des catastrophes naturelles (tornades, inondations...).	Pas de catastrophe naturelle.
	Dôme sur l'île	Le dôme rétrécit et devient de plus en plus oppressant.	Le dôme est très haut et ne gêne pas.
Utilisation des ressources en eau	<b>Lac</b>	<b>Le lac contient de moins en moins d'eau potable.</b>	<b>Le lac est plein.</b>
	Constructions	Des usines de désalinisation sont construites.	Les usines n'existent pas.
	Citoyens	Les citoyens ont soif.	Les citoyens se portent bien.
Surface terrestre utilisée	<b>Terres agricoles</b>	<b>Beaucoup de terres sont utilisées pour cultiver du blé.</b>	<b>Peu de terres sont utilisées pour cultiver du blé.</b>
	<b>Forêts</b>	<b>Les forêts sont coupées pour cultiver du blé.</b>	<b>Les forêts sont intactes.</b>
	Biodiversité	Les animaux sauvages disparaissent.	Les animaux sauvages peuplent la forêt.
Eutrophisation de l'eau	Algues	Des algues colonisent les milieux.	Aucune algue n'est visible.
	Poissons	Les poissons meurent.	Les poissons vivent correctement.

TABLE 1 – Différentes caractéristiques proposées lors de l'atelier d'idéation

fléchissent trente minutes par équipe. Ils ont à leur disposition des exemples de régime alimentaire associés à des indicateurs environnementaux, des Legos et du papier (voir figure 4b).

Quatre indicateurs environnementaux sont choisis pour cet exercice : **l'utilisation des ressources en eau, la surface utilisée, l'eutrophisation de l'eau douce et de l'eau de mer et les émissions de gaz à effet de serre**. Les participants de l'atelier doivent proposer des manières de représenter les conséquences des augmentations et des diminutions de ces indicateurs sur l'île. Plusieurs idées sont évoquées, listées dans le tableau 1.

Les caractéristiques en gras dans le tableau 1 sont retenues pour le développement de l'application car elles semblent plus faciles à réaliser et sont assez représentatives des impacts sur l'environnement.

### 4.3 Nom du projet

Finalement, nous choisissons un nom pour le projet afin d'y référer plus facilement. Nous prenons le nom de **Dana**, en référence à une déesse celte de la nature et de la prospérité. Dans la suite de ce rapport, nous nous référerons au logiciel développé avec le nom "Dana".

## 5 Développement du projet

Le développement de Dana suit plusieurs étapes, dont la création de ressources visuelles, le choix des données, leur exploitation et les différentes fonctionnalités à implémenter dont nous discutons ci-après.

Le prototype et le code son accessibles sur le dépôt Gitlab suivant : <https://gitlab.inria.fr/aferron/dana>.



## 5.1 Technologies utilisées

Plusieurs technologies sont utilisées dans le cadre du développement de Dana. Tout d’abord, nous utilisons **Blender** afin de créer les ressources visuelles. Afin de développer Dana, nous utilisons le moteur de jeu **Unity** et l’IDE **Rider**. Enfin, nous utilisons le gestionnaire de version **Git** sur le **Gitlab** du centre de recherche.

## 5.2 Création des ressources visuelles

Grâce à **Blender**, nous créons la structure de notre monde : une île semblable à un bout de continent (voir figure 5). Nous la concevons de façon à pouvoir en faire le tour facilement, dans l’optique de la projeter à terme en réalité virtuelle.

Nous dotons l’île de **montagnes** afin d’y créer des **glaciers**. Une **rivière** vient alimenter un **lac** au centre de l’île. Une rivière en aval vient se jeter dans l’**océan**. Une **petite île** baigne au large de la plus grande. Nous faisons en sorte de créer du **dénivelé** afin de pouvoir observer une montée de l’océan pertinente lors de la modélisation du dérèglement climatique.

Afin de remplir le monde de Dana, nous créons un asset de **maison** (voir figure 6a) ainsi que deux assets d’**arbres** (un sapin et un chêne, voir figure 6b). Enfin, nous créons un asset de **champ de blé** (voir figure 6c).

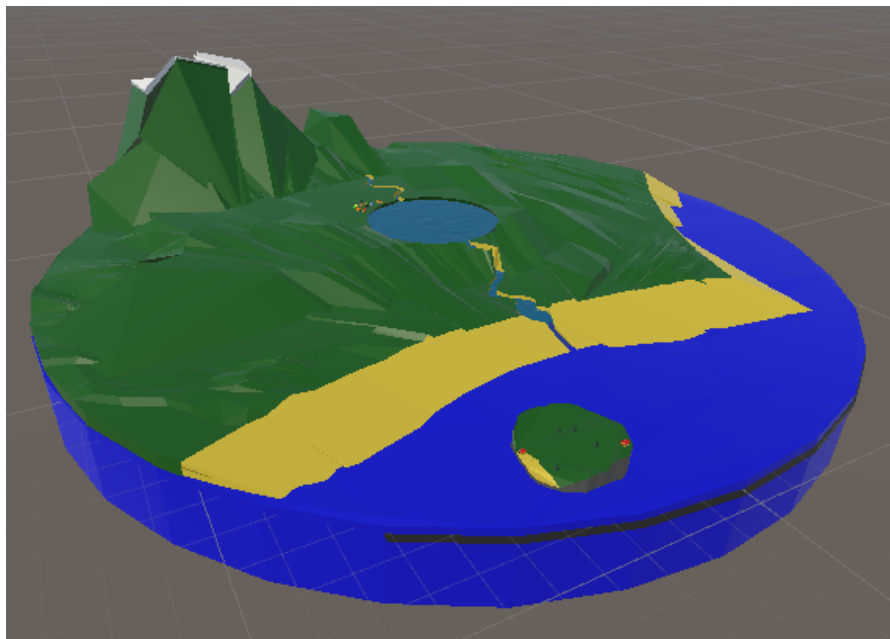
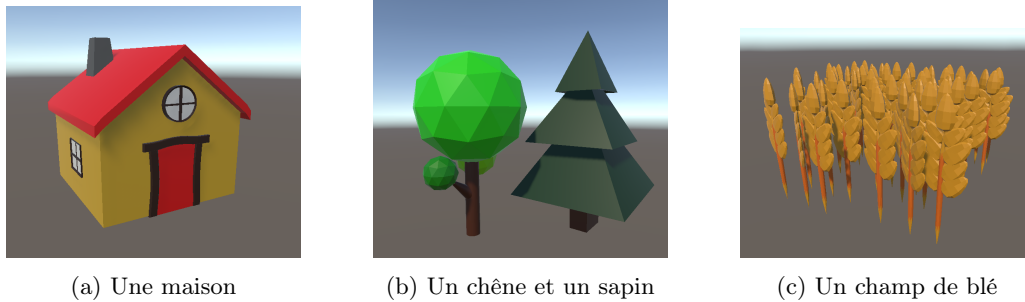


FIGURE 5 – Mini-monde

## 5.3 Choix des données

Afin de simuler l’impact environnemental de la nourriture, nous utilisons les données d’Agribalyse, comme détaillé dans la section 4.1. Afin de simplifier les calculs d’impact environnementaux, on décide de définir la notion de repas.



(a) Une maison

(b) Un chêne et un sapin

(c) Un champ de blé

FIGURE 6 – Ressources visuelles placées dans le mini-monde

Dans notre modèle, un repas est composé de 600 grammes de nourriture répartis comme suit : 120 grammes de **protéines**, 120 grammes de **légumes**, 120 grammes de **féculents**, 120 grammes de **fruits** et 120 grammes de **produits laitiers**. Parmi les protéines différentes, on dénombre le **boeuf, le poulet, le poisson, le porc et les protéines végétales**.

Nous décidons donc de choisir dans Agribalyse un aliment pour chacune des catégories sus-nommées, dont nous détaillons les caractéristiques dans le tableau 2.

Type de nourriture	Aliment choisi	Climat (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)	Sol (Pt/kg)	Eau (m <sup>3</sup> /kg)
Boeuf	Bavette d'ailoyau	42.76	2446.09	7.01
Poulet	Filet de poulet	7.31	412.18	8.12
Poisson	Pavé de saumon	6.17	208.13	45.15
Porc	Côte de porc	12.07	753.81	10.57
Protéines végétales	Lentilles	0.33	62.74	0.4
Légumes	Ratatouille	1.9	11.85	3.3
Féculents	Pâtes	1.67	217.47	0.53
Fruits	Salade de fruits	1.07	27.62	18.09
Produits laitiers	Yaourt à la grecque nature	2.44	133.15	0.64

TABLE 2 – Types de nourriture choisis pour les calculs de Dana et indicateurs environnementaux associés

## 5.4 Exploitation des données

A ce stade du projet, nous savons à quoi le mini-monde doit ressembler et nous en avons une maquette 3D. Nous possédons également des données pertinentes. Il s'agit maintenant de décider **comment traduire les données environnementales en visualisation de données sur l'île**.

Nous proposons de calculer les impacts des régimes alimentaires sur cinq jours afin d'avoir une variabilité en termes de types de nourritures mangés. Cela permet de décrire dix repas de compositions différentes. En multipliant les valeurs des indicateurs obtenus pour cinq jours de consommation par 73, nous obtenons l'impact de ce régime alimentaire pour un an.

Nous partons du principe que Dana est un mini-monde confié à un unique individu. Il faut donc que les ressources du mini-monde évoluent en fonction de la consommation d'**une seule et unique personne**. Nous nous posons donc la question suivante : **quelles devraient être**

## une consommation et une pollution raisonnables du mini-monde pour une seule personne, et comment devrions-nous la modéliser ?

Puisque nous avons trois indicateurs différents, cette question se pose trois fois. Nous détaillons nos choix et nos raisonnements pour chacun d'entre eux ci-après. Ces propositions de modélisation sont toutes basées sur des preuves scientifiques et ont été approuvées par un chercheur en sciences de l'environnement partenaire de l'équipe de recherche.

### 5.4.1 Modéliser l'indicateur "Changement climatique"

L'indicateur de changement climatique correspond à **une masse d'équivalent dioxyde de carbone rejetée dans l'atmosphère**. L'équivalent CO<sub>2</sub> est une unité permettant de comparer les potentiels de réchauffement global de différents gaz à celui du CO<sub>2</sub>, et d'ainsi pouvoir les comparer plus facilement lors de bilan carbone.

On sait que la Terre est capable d'absorber naturellement la moitié des GES actuellement émis grâce à ses puits de carbone [31]. En 2021, 36.4 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> ont été émises [32]. Cela signifie que l'humanité peut se permettre d'émettre 18.2 milliards de tonnes de GES par an dans la configuration actuelle.

Selon le cabinet d'étude Carbone 4, **chaque individu sur Terre ne devrait émettre que deux tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an** pour atteindre la neutralité carbone [14]. En revenant sur les origines de leurs calculs, nous nous rendons compte que cette valeur correspond à la capacité naturelle de la Terre à absorber du carbone dans ses puits de carbone naturels (soit 18.2 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an) divisé par le nombre d'individus sur Terre (8 milliards). Ainsi,  $18.2 * 10^9 / 2 * 10^9 = 2.3$ .

Carbone 4 va un peu plus loin dans son étude et propose une répartition du budget carbone de deux tonnes pour un français [14]. Dans ce budget, **0.6 tonne de dioxyde de carbone par an et par personne est accordée à l'alimentation**. Nous proposons donc d'utiliser cette valeur comme captation carbone annuelle dans Dana, puisque notre proposition de visualisation ne concerne que l'impact environnemental du régime alimentaire d'une personne.

Dans la mesure où la quantité de GES est invisible à l'oeil nu, nous devons trouver une façon de la rendre perceptible. L'approche classique utilisée par le GIEC ou les journalistes consiste à utiliser des graphiques, mais cela ne correspond pas à notre but de rendre ces chiffres moins abstraits. Nous décidons donc d'utiliser les conséquences de la concentration de GES dans l'atmosphère pour rendre compte de leur présence. Nous proposons d'utiliser deux caractéristiques pour représenter l'indicateur "changement climatique" dans Dana : **la montée de l'océan et la fonte des glaciers**. En effet, il a été prouvé que rejeter des gaz à effet de serre dans l'atmosphère la réchauffe de façon globale. Cette hausse de la température moyenne a des conséquences sur les glaciers et sur les océans.

Tout d'abord, plus l'atmosphère se réchauffe, plus les glaciers se mettent à fondre [33]. Par exemple, nous savons que les glaciers suisses ont perdu 6% de leur volume en 2022 [34]. Dans la conjoncture actuelle, cela signifie donc que lorsque l'humanité émet deux fois plus de CO<sub>2</sub> qu'elle ne le devrait par an, les glaciers suisses perdent 6% de leur volume chaque année. On propose de traduire cet effet dans Dana en **diminuant le volume des glaciers de 6% à chaque fois que 0.6 tonne de CO<sub>2</sub> sont ajoutées dans l'atmosphère de Dana**.

Nous appliquons le même raisonnement à la montée des océans. Le niveau de la mer s'élève en raison de deux facteurs. Tout d'abord, pour un même volume, l'eau chaude prend plus de place que l'eau froide. Un réchauffement de l'océan tend donc à augmenter la place qu'il prend. De plus, la fonte des glaciers évoquée précédemment alimente les océans, participant à leur élévation. Ainsi, on sait que l'océan s'élève chaque année en moyenne de 3.2mm [35]. On propose donc de

traduire cet effet dans Dana en **augmentant le niveau de la mer de 0.1 sur l'axe de Unity à chaque fois que 0.6 tonnes de CO<sub>2</sub> sont émises.**

#### 5.4.2 Modéliser l'indicateur "Utilisation des ressources en eau"

L'indicateur d'utilisation d'eau correspond au **volume d'eau utilisé pour la création des repas**. De l'eau douce est utilisée à différentes étapes de la création des aliments, notamment lors de la culture ou lors de l'élevage, mais également lors de la transformation en usine des aliments. Cette eau, prélevée dans la nature, **se renouvelle naturellement** avec le cycle de l'eau, notamment grâce aux précipitations. Cependant, **ce renouvellement n'est pas identique dans toutes les régions du monde**, ce qui fait appel à la notion de **stress hydrique**. On définit le stress hydrique par la situation dans laquelle la demande en eau dépasse la quantité d'eau disponible. Plus les réserves d'eau mettent du temps à se renouveler et plus la pression sur la ressource est forte, plus le stress hydrique augmente.

L'indicateur d'utilisation des ressources en eau d'Agribalyse **prend en compte le stress hydrique** [36]. Ainsi, pour un même produit, l'utilisation des ressources en eau sera plus élevée au Maroc qu'en Bretagne, car il y a plus d'eau en Bretagne qu'au Maroc, et donc un stress hydrique moins important.

Dana étant une modélisation d'un système naturel, nous devons donc définir par nous même un taux de renouvellement des ressources en eau. Puisque la situation est très inégale dans le monde entier, nous ne pouvons pas compter sur une moyenne planétaire afin de l'utiliser dans notre simulation. Pour le premier prototype, nous décidons donc de doter Dana d'un **volume de renouvellement d'eau de 2 011 mètres cubes par an**, ce qui correspond à la consommation annuelle d'eau potable d'un régime végétarien à partir des données choisies dans la section 5.3. De plus, nous dotons Dana d'un **volume d'eau potable de base de 20 110 mètres cubes d'eau**, soit dix fois son renouvellement annuel. A titre de comparaison, le tableau 3 indique la consommation d'eau annuelle pour trois protéines différentes.

Protéine	Utilisation d'eau (m <sup>3</sup> )
Boeuf	2 590.332
Protéine végétale	2 011.296
Poisson	5 677.356

TABLE 3 – Exemples de l'indicateur d'utilisation de la ressource en eau pour trois protéines

On propose de représenter les variations de consommation d'eau potable en faisant **varier le niveau d'un lac dans Dana, ainsi que de la rivière en aval**. On décide que le stock initial d'eau potable correspond au cas où le lac est plein, et que le lac est vide lorsque le volume du lac atteint 0 m<sup>3</sup>, et nous faisons varier le niveau du lac proportionnellement à ces références.

#### 5.4.3 Modéliser l'indicateur "Utilisation des sols"

L'indicateur d'utilisation du sol d'Agribalyse est un indicateur sans dimension qui agrège plusieurs données. Il s'appuie sur des recommandations européennes [37] et **prend en compte plusieurs données qualitatives** (production biotique, résistance à l'érosion, filtration mécanique, renouvellement des nappes phréatiques). Ces critères servent à élaborer un indice de perte de qualité du sol lors de son utilisation, qui est ensuite **multiplié par la surface utilisée et par le temps passé à l'utiliser** [38].

Il est compliqué de rendre compte d'une telle complexité sur une modélisation comme Dana. Nous décidons donc de simplifier cet indicateur d'utilisation du sol en revenant à la simple **surface utilisée**. Puisque le régime alimentaire à base de boeuf est le pire en termes d'utilisation du sol, nous décidons que **100% de la surface de Dana est utilisée** dans ce cas là, ce qui correspond à une utilisation annuelle du sol de 248 449.4 Pt. L'utilisation du sol des autres régimes alimentaires est alors calculée en pourcentage à partir du pire cas correspondant à 100%. Nous représentons l'occupation du sol par **des champs de blé et la suppression des arbres**.

## 5.5 Fonctionnalités implémentées

Dana est composée de plusieurs fonctionnalités que nous détaillons ci-dessous.

Au lancement de l'application, des **explications** sont données à propos du but du projet, de la provenance des données, du mode de calcul, de la façon dont les indicateurs sont modélisés et des différentes fonctionnalités à disposition de l'utilisateur. Une fois que l'utilisateur a lu toutes les informations, il accède à l'application.

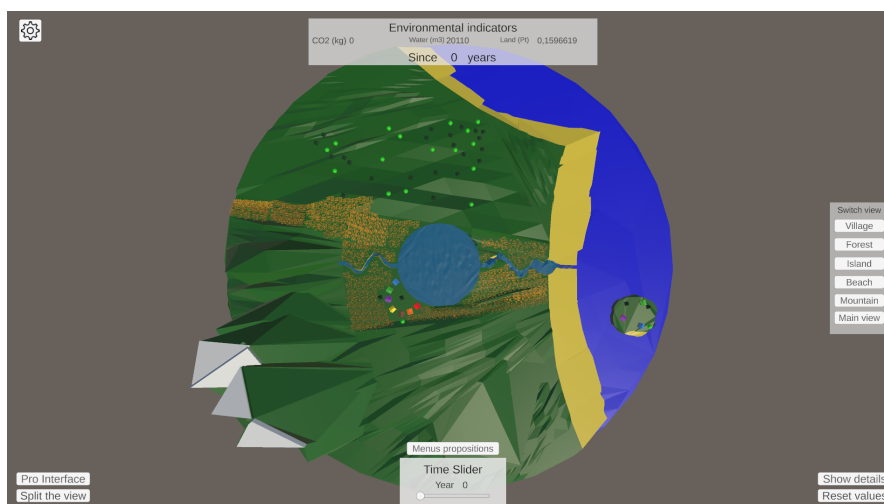


FIGURE 7 – Interface principale de Dana

A droite de l'écran, plusieurs boutons permettent de **changer la vue** du mini-monde. Ainsi, l'utilisateur peut regarder de plus près le village, la forêt, l'île, la plage ou la montagne (les figures 10, 11, 12, 13 et 14 sont des captures d'écrans des différentes vues, disponibles en annexe). Cette fonctionnalité permet d'aller voir plus en détail l'évolution du mini-monde dans ses différents recoins.

En bas et au centre de l'écran, le bouton "*Menus propositions*" permet de choisir **plusieurs alternatives alimentaires** afin de tester rapidement leurs conséquences sur Dana (voir figure 8a).

Juste en dessous du bouton des menus, le slider temporel permet de **faire passer le temps**. Chaque année correspond à une année passée à manger selon le régime alimentaire choisi. Les impacts de ces années s'additionnent et se répercutent sur le mini-monde, ainsi que sur la fenêtre située en haut de l'écran et qui affiche le bilan environnemental de Dana en temps réel.

En bas à droite, le bouton "*Show details*" permet d'**afficher en détail le régime alimentaire choisi**, ainsi que ses **conséquences sur l'environnement en cinq jours et en un an** (voir figure 8d). Le bouton "*Reset values*" permet de mettre toutes les valeurs à 0.

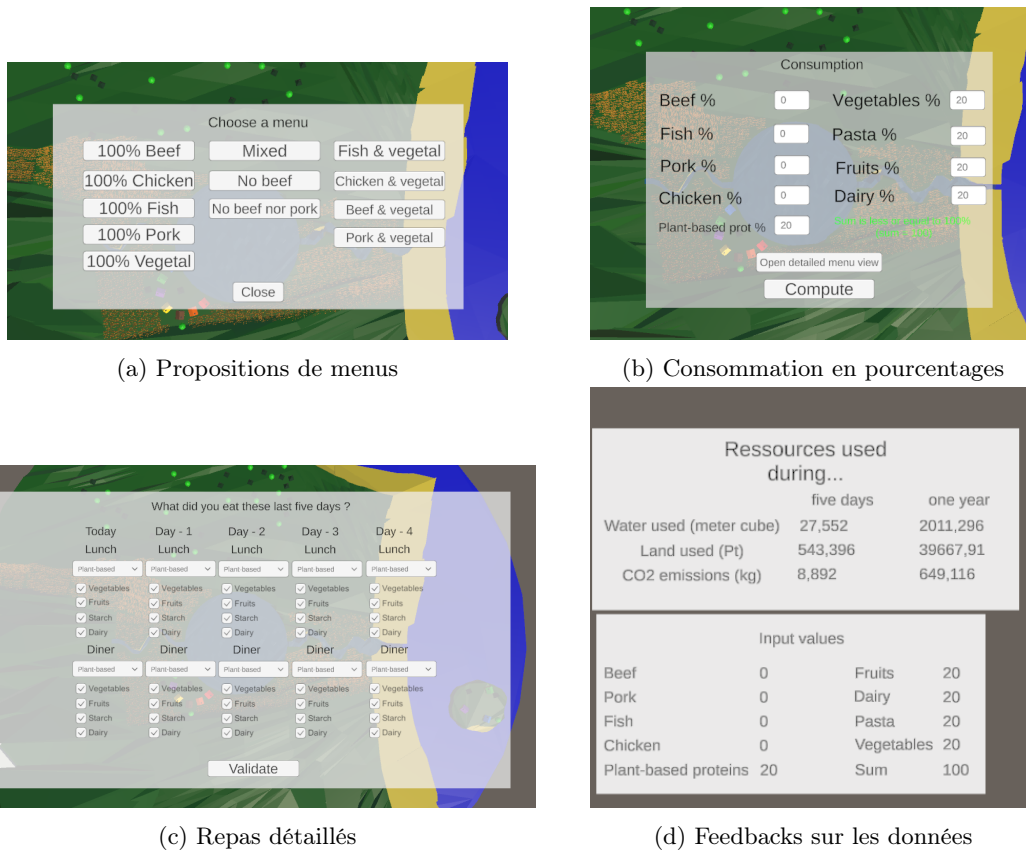


FIGURE 8 – Différentes interfaces dans Dana

En bas à gauche de l'écran, le bouton "*Pro interface*" permet d'accéder à une interface plus poussée que celle du choix des menus (voir figure 8b). Ici, l'utilisateur peut lui-même décider de **la répartition de son régime alimentaire**. Comme il peut être difficile de raisonner en termes de pourcentage, une interface complémentaire est accessible depuis cette fenêtre en cliquant sur le bouton "*Open detailed menu view*" (voir figure 8c). Ici, l'utilisateur peut **composer dix repas de son choix** pour ensuite constater leurs effets sur Dana.

Toujours en bas à gauche, le bouton "*Split the view*" permet d'afficher deux mini-mondes l'un à côté de l'autre afin de pouvoir **comparer plus aisément deux régimes alimentaires**, comme présenté en figure 9.

Enfin, le bouton en haut à gauche de l'écran permet d'afficher **les paramètres** grâce auquel l'utilisateur peut régler le fenêtrage de l'application, relire les explications du démarrage et quitter Dana.

## 5.6 Ajustements à la marge de la modélisation

Le traitement des données réalisé par Dana s'appuie sur des données réelles et pertinentes. Cependant, le fait de transposer ces données réelles dans un monde virtuel engendre une **déformation de l'information**. Dans la première version de Dana, des données au plus proche de la réalité ont été choisies (voir tableau 4). Cependant, certaines constantes ne rendaient pas un

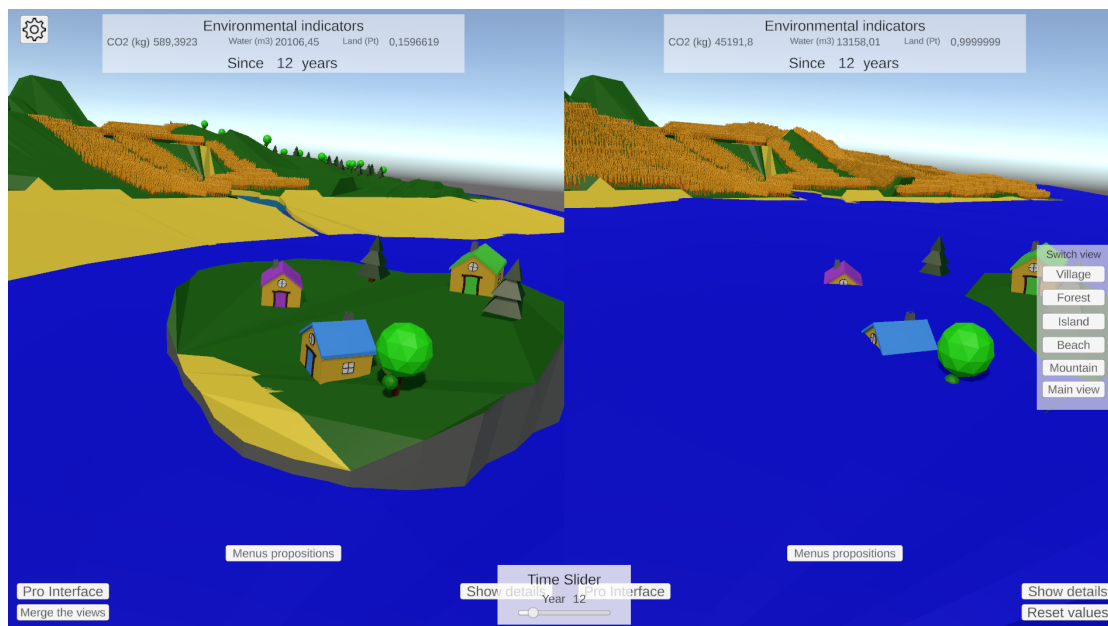


FIGURE 9 – Exemple d'utilisation de comparaison de mini-mondes

résultat convenable, nous avons donc choisi de les ajuster pour obtenir un résultat satisfaisant.

Le concept même de créer un mini-monde implique des choix de conception qui peuvent être biaisés. Ainsi, nous avons décidé d'exagérer les conséquences des régimes alimentaires afin de permettre de constater leurs effets plus aisément. En revanche, si les exagérations éloignent Dana de la réalité, les ordres de grandeur sont conservés au sein de la simulation car tous les calculs sont proportionnels. Cela permet donc de constater au sein même de Dana les conséquences des différents régimes alimentaires en comparant leurs conséquences entre eux. Ainsi, l'utilisateur peut sentir et comprendre les ordres de grandeur des impacts des différents régimes alimentaires proposés.

## 6 Discussions

Dans cette section, nous discutons les intérêts et les limitations de notre prototype.

### 6.1 Enjeux techniques

Tout d'abord, Dana souffre d'une limitation technique en ce qui a trait avec son rendu. Le choix de conception consistant à recouvrir la totalité de l'île avec du blé pour modéliser l'indicateur "Usage des sols" est malheureux. Il entraîne une multiplication de `GameObject` que l'ordinateur a du mal à rendre, ce qui mène à une **chute de FPS désagréable** pour l'utilisateur lorsque l'ordinateur n'est pas assez puissant. Cette limitation a été constatée à la fin du développement en déployant l'application sur d'autres machines. En effet, le développement s'est déroulé sur une machine très puissante qui n'avait aucun souci à faire fonctionner Dana.

Le rendu esthétique de Dana peut également être discuté. Réalisées par un non-expert, **les ressources visuelles utilisées ne sont pas au niveau de ce qui peut exister de nos**

	Donnée scientifique	Traduction dans Dana	Ajustement
Référence de GES émis annuellement	18.2 milliards de tonne	0.6 tonnes	N/A
Élévation annuelle de l'océan	3.2 millimètres	0.1 mètre	0.05 mètre
Perte de volume annuelle des glaciers	6%	6%	1.2%
Captage annuel de carbone	18.2 milliards de tonnes	0.6 tonne	N/A
Renouvellement de l'eau	Variable	2011 mètres cubes	N/A
Volume d'eau initial	N/A	20110 mètres cubes	N/A
Surface couverte par le blé	N/A	100%	N/A

TABLE 4 – Constantes choisies pour représenter les caractéristiques environnementales

jours dans le monde du jeu vidéo et qui fait désormais la norme. Cet aspect amateur peut rebuter certains utilisateurs.

## 6.2 Enjeux conceptuels

Comme détaillé dans la section 5.4, la traduction des données réelles en conséquences simulées est compliquée à bien des égards. D'un côté, nous avons **une réalité très nette** : une base de données détaille l'impact environnemental actuel de certains aliments et nous calculons l'impact de régimes alimentaires particuliers sur plusieurs années. Les conséquences de ces régimes alimentaires, telles que l'épuisement des ressources en eau ou le réchauffement de l'atmosphère, sont des conséquences bien réelles sur l'environnement et scientifiquement prouvées. De l'autre, de nombreux **choix de conception** à tous les niveaux du développement de Dana ont influencé le rendu final. On peut citer les choix qui ont conduit à l'apparence graphique de l'île, les positionnements des maisons, les différentes altitudes du mini-monde et tous les ajustements des valeurs réelles traduites dans Dana. L'objectif atteint est de montrer les conséquences environnementales des régimes alimentaires basées sur des données réelles, mais **l'impact écologique présenté dans Dana n'est pas ce qui va se passer dans la réalité**. L'intérêt est d'exagérer les conséquences connues des régimes alimentaires afin d'en permettre une meilleure compréhension. Nous nous situons donc au milieu d'un **spectre** dont une extrémité est la simulation parfaitement ancrée dans le réel et dont l'autre est totalement ancrée dans l'imaginaire.

Il y a un intérêt à se positionner de la sorte. Inventer de toutes sortes des conséquences environnementales imaginaires à base de données inventées ne présente que peu d'intérêt pour sensibiliser les citoyens à l'impact de leur mode de vie. Se positionner avec une simulation au plus proche du réel est possible, mais les conséquences environnementales sont tellement subtiles et lentes à se mettre en place qu'elles en seraient presque invisibles dans une simulation comme Dana. D'autre part, cela est très largement exploité dans d'autres pans de la recherche et notre but est de proposer un prototype innovant. **Utiliser des données réelles pour en représenter des conséquences proches de la réalité mais de façon symbolique et déformée a**



donc l'avantage d'être plus facilement perceptible par le grand public. De plus, **les données restent comparables dans le cadre de cette simulation**. En effet, une fois les données réelles traduites dans le contexte de Dana, leurs conséquences restent proportionnelles les unes aux autres et ne sont pas déformées par un autre traitement. D'autre part, un mini-monde comme Dana permet d'être **plus facilement déployable qu'une simulation réelle**. En effet, simuler exactement les environs d'une ville ou d'une région requière de recommencer de nouveaux rendus pour chaque nouveau déploiement. Dana permet de synthétiser les impacts environnementaux en contenant **des caractéristiques généralistes** qui peuvent se trouver partout dans le monde. Ainsi, une personne vivant près de la plage et une personne vivant à la montagne pourront se sentir concernées par une même simulation. Enfin, chaque simulation a une part de projection et d'incertitude. Aucun modèle n'est parfait, et même les plus réalistes peuvent projeter des choses qui n'arriveront jamais.

Reste que les choix de conceptions de Dana demeurent **des partis pris**, ce qui peut être problématique, les personnes utilisant l'application pouvant alors se sentir manipulées. On peut alors collaborer avec un chercheur en sciences de l'environnement pour qu'il ajuste les paramètres **de façon à obtenir une "exagération réaliste"**. Il faut également être **transparent sur la conception de l'application** et ne pas sous-entendre que ce qui se produit dans Dana va se produire dans la réalité.

### 6.3 Enjeux de médiation

Le prototype proposé semble être un outil de médiation prometteur. Il permet d'entamer la conversation autour du sujet de l'impact environnemental de la nourriture. De plus, il permet de mieux **comprendre les différences entre les types de nourriture et offre une vision plus subtile que l'opposition classique végétarien/carniste**. Dana montre que deux viandes ne vont pas avoir le même impact sur l'environnement et que réduire simplement sa consommation de viande est déjà un grand pas en avant vers la réduction de l'impact environnemental.

## 7 Perspectives

Dans cette section, nous discutons des perspectives pour l'avenir de Dana.

### 7.1 Perspectives à court terme

Dans l'immédiat, il serait intéressant d'avoir une version de Dana dont **le rendu graphique fonctionne correctement**. Pour cela, plusieurs pistes sont envisageables. Un tout nouveau mini-monde pourrait être créé avec comme contrainte technique d'être moins gourmand en performances graphiques. De façon plus simple et plus immédiate, il est possible de garder les mêmes graphismes mais de réduire le nombre de champs de blé, soit en réduisant la taille globale de Dana, soit en faisant en sorte que le pire cas d'usage des sols ne soit plus représenté que par un recouvrement de 50% de la surface de Dana, et non plus 100%. **L'interface graphique pourrait également être améliorée** afin qu'elle soit plus agréable pour l'utilisateur. Enfin, des ajustements réalistes pourraient être mis en place avec un chercheur en sciences de l'environnement afin de tendre vers une **modélisation plus réaliste**. On pourrait même imaginer un système où l'utilisateur pourrait passer d'un mini-monde exagéré où les conséquences environnementales sont bien visibles à un mini-monde plus réel pour une meilleure compréhension des enjeux.

## 7.2 Perspectives à moyen terme

A moyen terme, Dana pourrait être déployée en **réalité augmentée**, comme nous le souhaitons au début de ce projet. A l'aide **d'une maquette physique et d'un projecteur vertical**, il est possible de projeter des textures afin de simuler l'évolution d'un mini-monde sur une surface. Nous pourrions également développer une version RA de Dana avec un **HoloLens** pour pouvoir mener une étude comparative entre un logiciel sur ordinateur, une application en RA avec un HoloLens et une maquette avec projecteur. L'enjeu serait de déterminer si la compréhension des enjeux environnementaux serait différente avec l'un ou l'autre des dispositifs.

Changer de dispositifs pour modéliser le mini-monde invite à repenser son esthétique et ses caractéristiques. Il nous semble pertinent d'avoir **un logiciel ou une maquette belle**, correspondant aux standards des jeux vidéos de l'époque, afin d'être pris au sérieux par le grand public. D'autre part, nous pouvons également repenser à la façon dont nous représentons le mini-monde, en utilisant pourquoi pas **des environnements proportionnellement aussi grands que ceux présents sur Terre** afin de se rapprocher de la réalité. On aurait alors un mini-monde composé à 72% d'eau et le reste réparti en déserts, forêts, surfaces urbaines, surfaces agricoles, et ainsi de suite.

La simulation de l'impact de la nourriture pourrait également être complexifiée en **matérialisant les aspects de transport de marchandises** (ajouter des aéroports et des ports) ou en créant **une société fictive** qui subirait d'une façon différente les conséquences climatiques en fonction de leur lieu d'habitation. Cela permettrait de visualiser les inégalités sociales que génèrent les conséquences du réchauffement climatique.

Pour reprendre les motivations originelles autour du projet, nous pourrions aussi relier Dana à **des données réelles d'expérimentateurs**. Dana évoluerait alors en fonction de leur consommation de nourriture et des statistiques sur leurs changements de comportements pourraient être mesurées.

## 7.3 Perspectives à long terme

A long terme, nous pouvons imaginer un déploiement de Dana pour toucher le grand public. On peut penser à des **expositions** dans des musées, à des **interventions** des collectivités territoriales pour appuyer des politiques publiques, à des mises à dispositions dans des grandes surfaces ou à des interventions dans des cafétérias d'écoles ou d'entreprises.

## Conclusion

Finalement, ce projet a permis de produire un **prototype novateur de visualisation de données sur l'impact environnemental de la nourriture**. Cette expérience a été extrêmement complète, dans la mesure où elle a permis de réaliser une étude de l'existant et une revue de littérature scientifique, une conception approfondie d'un prototype, puis son développement. L'application ainsi réalisée offre des perspectives prometteuses sur de nouvelles façons de visualiser les données de l'impact de l'Anthropocène sur l'environnement. **Validée conceptuellement** par des chercheurs en sciences de l'environnement et par des chercheurs en économie comportementale, **Dana sera l'objet de travaux approfondis dans un futur proche**, au cours d'une thèse qui commencera en mars 2023.

## Annexes

### Images

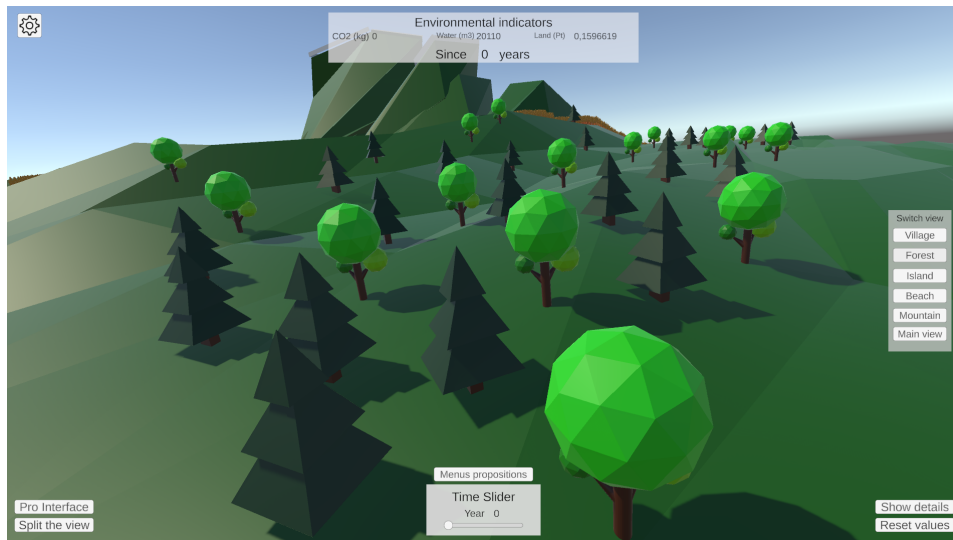


FIGURE 10 – Dana : vue de la forêt

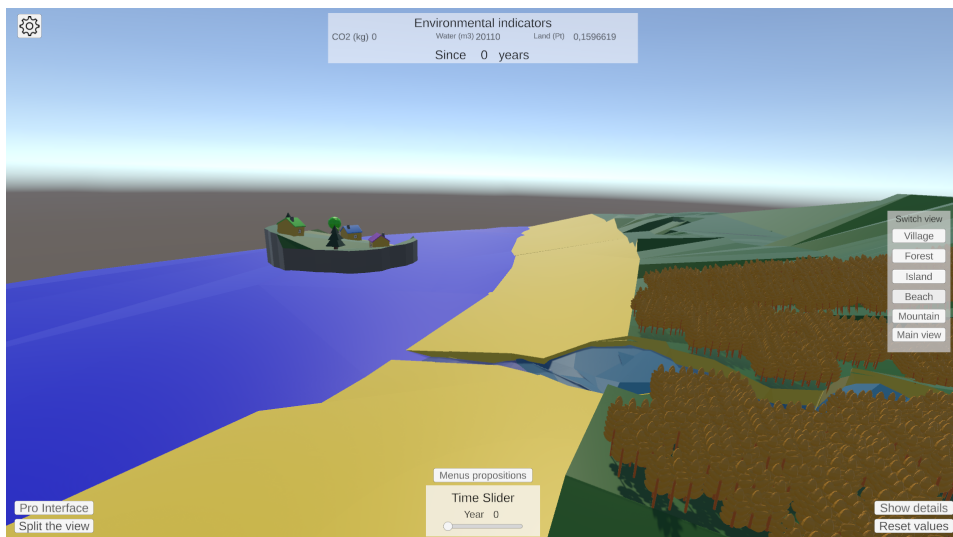


FIGURE 11 – Dana : vue de la plage

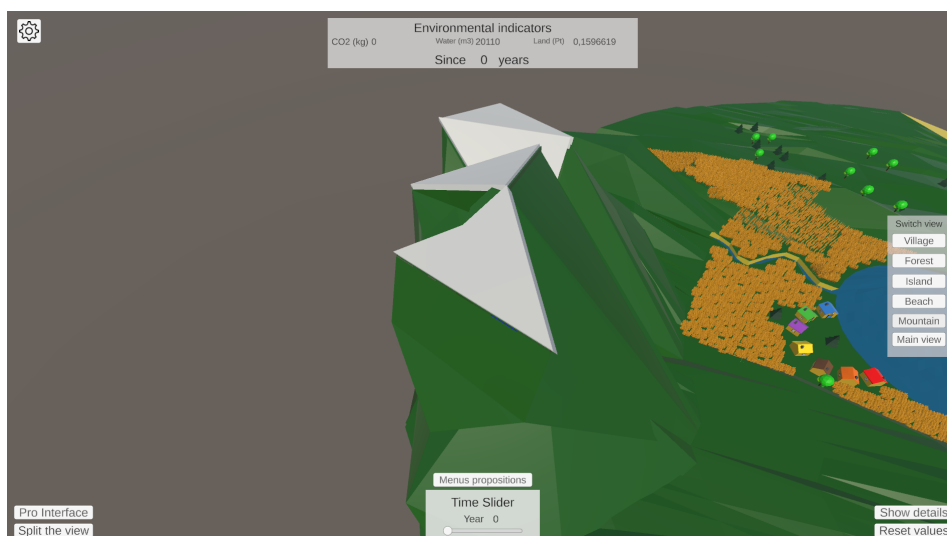


FIGURE 12 – Dana : vue de la montagne



FIGURE 13 – Dana : vue du village

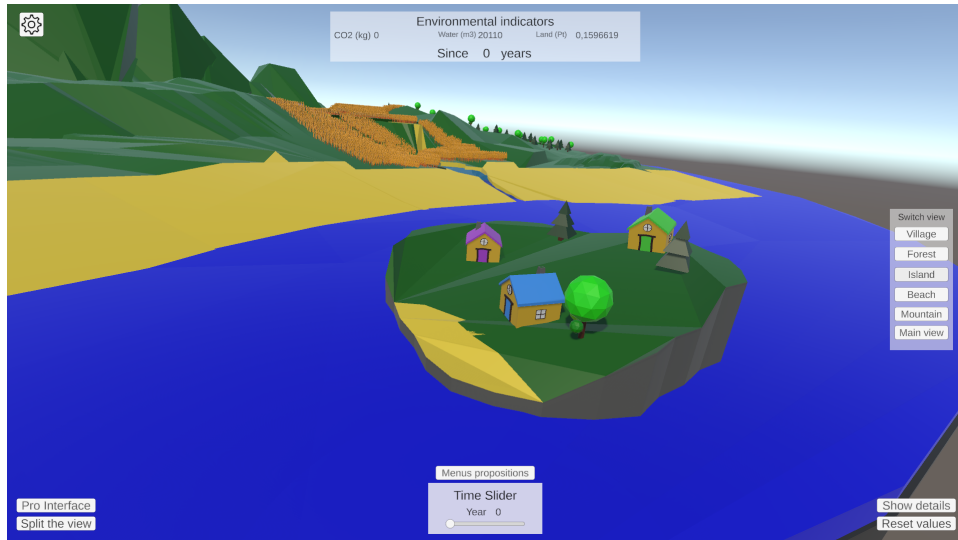


FIGURE 14 – Dana : vue de l'île

## Références

- [1] GIEC, "C'est établi : nous pouvons réduire de moitié les émissions d'ici à 2030, mais il faut agir aujourd'hui." *Communiqué de presse*, 2022, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2022/04/IPCC-AR6-WG-III-PressRelease-French.pdf>.
- [2] J. Bell, J. Poushter, M. Fagan, and C. Huang, "In Response to Climate Change, Citizens in Advanced Economies Are Willing To Alter How They Live and Work," *Pew Research Center's Global Attitudes Project*, Sep. 2021. [Online]. Available : <https://www.pewresearch.org/global/2021/09/14/in-response-to-climate-change-citizens-in-advanced-economies-are-willing-to-alter-how-they-live-and-work/>
- [3] I. Alcock, M. P. White, T. Taylor, D. F. Coldwell, M. O. Gribble, K. L. Evans, A. Corner, S. Vardoulakis, and L. E. Fleming, "'Green' on the ground but not in the air : Pro-environmental attitudes are related to household behaviours but not discretionary air travel," *Global Environmental Change*, vol. 42, pp. 136–147, Jan. 2017. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801630543X>
- [4] K. M. Nelson, M. K. Bauer, and S. Partelow, "Informational Nudges to Encourage Pro-environmental Behavior : Examining Differences in Message Framing and Human Interaction," *Frontiers in Communication*, vol. 5, 2021. [Online]. Available : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomm.2020.610186>
- [5] V. Boisclair, "Environnement : le bilan de la caq plombé par un « manque de cohérence et de vision »,» *Radio Canada*, 2022, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1907129/election-s-bilan-environnement-caq-gouvernement-legault-changements-climatiques>.
- [6] C. Brouillette, "Comment démêler les plans climat des partis provinciaux?" *L'actualité*, 2022, <https://lactualite.com/environnement/comment-demeler-les-plans-climat-des-partis-provinciaux/>.
- [7] Franceinfo, "'affaire du siècle" : la france condamnée à réparer le préjudice causé par le non-respect de ses engagements pour le climat," *Franceinfo*, 2021, [https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/cop26/affaire-du-siecle-la-france-condamnee-a-reparer-le-prejudice-cause-par-le-non-respect-de-ses-engagements-dans-la-lutte-contre-le-rechauffement-climatique\\_4807157.html](https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/cop26/affaire-du-siecle-la-france-condamnee-a-reparer-le-prejudice-cause-par-le-non-respect-de-ses-engagements-dans-la-lutte-contre-le-rechauffement-climatique_4807157.html).
- [8] O. Navarro, *Psychologie environnementale : 100 notions clés*. [Online]. Available : <https://www.cairn.info/psychologie-environnementale-100-notions-cles--9782100828289-page-83.htm>
- [9] P. Breves and H. Schramm, "Bridging psychological distance : The impact of immersive media on distant and proximal environmental issues," *Computers in Human Behavior*, vol. 115, p. 106606, Feb. 2021. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563220303538>
- [10] Y. Jansen, F. Bucchieri, P. Dragicevic, M. Hachet, M. Koval, L. Petiot, A. Prouzeau, D. Schmalstieg, L. Yao, and P. Isenberg, "Envisioning Situated Visualizations of Environmental Footprints in an Urban Environment," Zenodo, Tech. Rep., Sep. 2022. [Online]. Available : <https://zenodo.org/record/7053934>
- [11] F. Chevalier, R. Vuillemot, and G. Gali, "Using Concrete Scales : A Practical Framework for Effective Visual Depiction of Complex Measures," vol. 19, no. 12, pp. 2426–2435.
- [12] C. Visuals, "New york city's greenhouse gas emissions as one-ton spheres of carbon dioxide gas," *Carbon Visuals*, 2012, [https://www.youtube.com/watch?v=DtqSIplGXOA&t=3s&ab\\_channel=RealWorldVisuals](https://www.youtube.com/watch?v=DtqSIplGXOA&t=3s&ab_channel=RealWorldVisuals).

- [13] J. Froehlich, L. Findlater, and J. Landay, “The design of eco-feedback technology,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI ’10. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Apr. 2010, pp. 1999–2008. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1145/1753326.1753629>
- [14] C. Dugast and A. Soyeux, “Faire sa part.” [Online]. Available : <https://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part>
- [15] B. Girod, D. P. van Vuuren, and E. G. Hertwich, “Climate policy through changing consumption choices : Options and obstacles for reducing greenhouse gas emissions,” *Global Environmental Change*, vol. 25, pp. 5–15, Mar. 2014. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000077>
- [16] S. Wynes and K. A. Nicholas, “The climate mitigation gap : education and government recommendations miss the most effective individual actions,” *Environmental Research Letters*, vol. 12, no. 7, p. 074024, Jul. 2017, publisher : IOP Publishing. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7541>
- [17] M. Hachet, “Be-aware,” *Inria*, 2023, <https://beaware.inria.fr/fr/>.
- [18] P.-A. Cinquin, P. Giraudeau, T. Lainé, and L. Cousin, “Erlen : Une interface tangible pour la réduction de la consommation énergétique sur le poste de travail,” Oct. 2018, p. 2p. [Online]. Available : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01900054>
- [19] P. Dourish, “HCI and environmental sustainability : the politics of design and the design of politics,” in *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, ser. DIS ’10. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Aug. 2010, pp. 1–10. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1145/1858171.1858173>
- [20] A. Gustafsson, M. Bång, and M. Svahn, “Power explorer : a casual game style for encouraging long term behavior change among teenagers,” in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 2009, pp. 182–189.
- [21] RedRedemption, *Fate of the world*. [Online]. Available : [https://store.steampowered.com/app/80200/Fate\\_of\\_the\\_World/?l=french](https://store.steampowered.com/app/80200/Fate_of_the_World/?l=french)
- [22] StrangeLoopGame, *Eco*. [Online]. Available : <https://store.steampowered.com/app/382310/Eco/>
- [23] GameOn. ClimateGame - Mobile App | Learn how to live sustainably by playing. Climategame.eu. [Online]. Available : <https://climategame.eu/mobileapp/>
- [24] F. Times, *The Climate Game*. [Online]. Available : <https://ig.ft.com/climate-game/>
- [25] P. Besson, G. Martin, C.-A. Louis, C. Niclot, N. Gautreau, O. Berthomieu, E. Bernard, and P. Carillon, “Mission Climat,” B&L Evolution. [Online]. Available : <http://mission-climat.io/>
- [26] D. Böhm, B. Dorland, R. Herzog, R. B. Kap, T. S. Langendam, A. Popa, M. Bueno, and R. Bidarra, “How can you save the world? Empowering sustainable diet change with a serious game,” in *2021 IEEE Conference on Games (CoG)*, pp. 1–7.
- [27] K. Wang, Z. D. Tekler, L. Cheah, D. Herremans, and L. Blessing, “Evaluating the Effectiveness of an Augmented Reality Game Promoting Environmental Action,” vol. 13, no. 24, p. 13912. [Online]. Available : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/24/13912>
- [28] K. Sauvé, Y. Jansen, and P. Dragicevic, “Edo : A Participatory Data Physicalization on the Climate Impact of Dietary Choices.” [Online]. Available : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03906849v1>
- [29] ADEME, “Agribalyse.” [Online]. Available : <https://agribalyse.ademe.fr/app>

- [30] ——. Eco-score : présentation. [Online]. Available : <https://docs.score-environnemental.com/>
- [31] Friedlingstein and E. All, “Global Carbon Budget 2022,” vol. 14, no. 11, pp. 4811–4900. [Online]. Available : <https://essd.copernicus.org/articles/14/4811/2022/>
- [32] S. en chef du Québec, “Captage du carbone : ce qu’il faut savoir,” *Détecteur de rumeur - Gouvernement du Québec*, 2021. [Online]. Available : <https://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/ddr-captage-du-carbone-ce-quil-faut-savoir/>
- [33] B. Marzeion, G. Kaser, F. Maussion, and N. Champollion, “Limited influence of climate change mitigation on short-term glacier mass loss,” vol. 8, no. 4, pp. 305–308. [Online]. Available : <http://www.nature.com/articles/s41558-018-0093-1>
- [34] AFP, “Les glaciers suisses ont perdu 6 % de leur volume en 2022, un record,” *Ouest France*, 2022. [Online]. Available : <https://www.ouest-france.fr/environnement/rechauffement-climatique/les-glaciers-suisses-ont-perdu-6-de-leur-volume-en-2022-un-record-16079966-3f05-11ed-b695-eda89e95acac>
- [35] N. Geographic, *Élévation du niveau de la mer : les chiffres clefs*. [Online]. Available : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/elevation-du-niveau-de-la-mer-les-chiffres-clefs>
- [36] ADEME. Agribalyse : méthodologie acv. [Online]. Available : <https://doc.agribalyse.fr/documentation/methodologie-acv>
- [37] L. Zampori and R. Pant, “Suggestions for updating the product environmental footprint (pef) method,” *European Commission*, 2019. [Online]. Available : [https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF\\_method.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf)
- [38] X. V. A. Cao, “Développements méthodologiques pour l’utilisation des terres en évaluation des impacts du cycle de vie : application aux polymères agro-sourcés.” [Online]. Available : <https://publications.polymtl.ca/2106/>
- [39] N. Chater and G. Loewenstein, “The i-Frame and the s-Frame : How Focusing on Individual-Level Solutions Has Led Behavioral Public Policy Astray,” Rochester, NY, Mar. 2022. [Online]. Available : <https://papers.ssrn.com/abstract=4046264>
- [40] A. Assor, A. Prouzeau, P. Dragicevic, and M. Hachet, “Augmented Reality Waste Accumulation Visualizations,” Dec. 2022, working paper or preprint. [Online]. Available : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03907474>



*Inria*

**RESEARCH CENTRE  
BORDEAUX – SUD-OUEST**

200 avenue de la Vieille Tour  
33405 Talence Cedex

Publisher  
Inria  
Domaine de Voluceau - Rocquencourt  
BP 105 - 78153 Le Chesnay Cedex  
[inria.fr](http://inria.fr)

ISSN 0249-6399