

Projet tutoré partie 2 - Réalisation

ART ET SYSTÈMES COMPLEXES

Valse Habentique

Étudiants

Barreau Nicolas

Broto Marie

Rioual Marie

Encadrants

Olivier Ageron - ENSAD

Christine Bourjot - équipe Simbiot, LORIA

SOMMAIRE

Avant-propos	2
Glossaire	3
Introduction	4
I. Contexte du projet	5
A. Art et sciences.....	5
B. Les boids de Reynolds comme système complexe pour dénoncer la surpêche.....	6
1. L'histoire des boids : de la nature à la simulation informatique.....	6
2. Caractéristiques des boids comme système complexe.....	7
3. Application des boids dans l'art cinématographique.....	8
4. Bancs de poissons et surpêche.....	9
C. Apport des sciences cognitives au projet Valse halieutique.....	10
II. Immersion, Art et Systèmes complexes	12
A. Concept d'immersion au sein d'expositions.....	13
B. Analyse des approches et des techniques utilisées pour créer des interactions entre le spectateur et l'installation.....	14
1. Rôle du son dans une exposition.....	14
2. Intérêt de la détection de mouvements pour une exposition immersive.....	16
C. Exemple d'exposition immersive autour des Boids.....	17
III. Réalisation et discussion	18
A. Evolution des objectifs.....	18
B. Conception de l'installation.....	20
1. Méthode et outils utilisés.....	20
2. Historique du développement du programme informatique.....	20
3. Présentation de la conception de l'installation.....	23
C. Pistes d'amélioration de l'installation proposée.....	24
D. Exploration des possibilités d'adaptation et d'extension de l'installation.....	25
1. Dans le domaine artistique.....	25
2. Dans le domaine de la santé.....	26
Conclusion	27
Annexe	29
Bibliographie	30

Avant-propos

“Plus on est de fous, plus on survit !” pourrait être la devise de nombreuses espèces de poissons comme les sardines ou les anchois qui se déplacent en bancs impressionnants de plusieurs dizaines, centaines voire milliers d’individus. Vivre en très grand groupe représente certes un inconvénient en matière de compétition alimentaire mais offre surtout d’énormes avantages pour se protéger des prédateurs. Cependant les humains, en exploitant les poissons à un taux quatorze fois supérieur, en moyenne, à celui des autres prédateurs marins, constituent un superprédateur face à ce superorganisme que forment les poissons lorsqu’ils se déplacent de concert, noyant les contours de chaque individu dans la masse. Avec ces immenses bateaux-usines qui sillonnent les océans, la surpêche représente ainsi aujourd’hui la plus grande menace pesant sur la survie de la biodiversité marine.

Avec notre installation immersive de modélisation d’un banc de poissons projeté sur un mur, accompagné du chant tout à la fois étrange et fascinant des baleines boréales, le spectateur plonge et découvre l’univers aquatique. Grâce au système de détection Kinect, il devient acteur en jouant le rôle d’un filet de pêche, visant à mettre en évidence les conséquences de la surpêche. Notre projet procure une expérience utilisateur originale et captivante mêlant immersion, divertissement et conscience écologique. Le visiteur expérimente ainsi le concept de système complexe et les principes sous-jacents que l’on peut observer notamment dans un banc de poissons tout en prenant conscience des enjeux environnementaux actuels de cet écosystème.

Nous remercions tuteurs et professeurs, femmes et hommes des Arts et des Sciences qui nous ont guidés, animés et inspirés dans notre réflexion tout au long de ce projet et qui ne manqueront pas de le faire encore dans les mois et les décennies à venir.

Glossaire

Affordance: capacité d'un objet ou d'un système à évoquer son utilisation, sa fonction provoquant une interaction spontanée entre un environnement et son utilisateur.

Auto-organisation : concept qui étudie comment des comportements complexes émergent à partir d'interactions simples entre des individus.

Impressionnisme : courant pictural dont les deux principes fondamentaux sont de saisir le monde extérieur dans ses aspects changeants et utiliser la couleur seule (avec la lumière) pour traduire l'art.

Loi du contraste simultané des couleurs : caractéristique de la perception humaine des couleurs énoncée en 1839 par le chimiste Michel-Eugène Chevreul, qui exprime le fait que des couleurs juxtaposées sont perçues différemment des mêmes couleurs observées isolément

Pointillisme : courant pictural consistant à appliquer des petits points de couleur pour former une image.

Surpêche: pêche exercée par l'homme, excessive ou destructive de la ressource, dûe à un rythme de capture de poissons supérieur à leur taux de reproduction, ce qui épuise les populations de poissons et met en danger leur durabilité à long terme par une diminution du nombre de prises, de la taille moyenne et de l'âge moyen des prises, du nombre d'individus mûres prêts à se reproduire

Interactivité : communication réciproque entre les participants et le système, qui permet une participation active, une influence mutuelle et une personnalisation de l'expérience pouvant prendre différentes formes allant de simples actions de clics pour déclencher des réponses préprogrammées à des systèmes plus complexes qui permettent une interaction en temps réel et une adaptation du contenu en fonction des actions de l'utilisateur.

Immersion : état d'absorption totale dans une expérience, visant à créer une expérience multisensorielle et multidimensionnelle sollicitant les sens, l'imagination, les émotions et la participation active des participants.

Vie artificielle: définie par Langton comme « l'étude de systèmes construits par l'homme qui présentent des comportements caractéristiques des systèmes vivants naturels ».

Introduction

L'objectif principal du projet réside dans la vulgarisation des systèmes complexes auprès du grand public en utilisant un dispositif artistique interactif. Il fait suite au projet tutoré Art et Systèmes Complexes 21-22 et a pour but de participer à la manifestation artistique et scientifique Artex 2023 organisée par l'Institut des Sciences Cognitives Paris Île-de-France.

Les étudiants de l'année précédente se sont intéressés à la dynamique d'opinion, qui étudie comment les opinions et les croyances se propagent et évoluent au sein d'un système composé d'individus interagissant les uns avec les autres. Ce phénomène met en évidence la capacité des systèmes complexes à générer des comportements collectifs émergents à partir d'interactions locales. Compte tenu de nos profils universitaires de différents horizons, nous nous sommes intéressés à la question de l'intelligence collective, ce qui nous a amenés de fil en aiguille aux principes d'auto-organisation et d'émergence et finalement au flocking où les individus se déplacent en groupe de manière coordonnée. Nous avons alors choisi de représenter un modèle de simulation de banc de poissons, la fluidité des mouvements collectifs, les motifs changeants et les interactions dynamiques entre les poissons créant un spectacle visuel captivant. Notre dispositif, *Valse Halieutique*, permettra au public d'être immergé dans un univers aquatique en constante évolution, où la grâce des poissons se mêle à la complexité de leurs interactions. De plus, un attachement certain pour la mer et ses trésors parfois trop exploités nous a conduits à nous pencher sur l'une des principales menaces qui pèse sur la vie des océans : la surpêche, laquelle est indirectement liée au phénomène de bancs de poissons. Ainsi, en représentant visuellement cette réalité, nous souhaitons sensibiliser le public à la fragilité de ces écosystèmes marins et encourager une réflexion sur la nécessité de préserver l'équilibre délicat de ce type de système complexe. Enfin, en représentant un banc de poissons comme système complexe, nous recherchons une expérience esthétique, immersive et multisensorielle qui interpelle le public, provoquant la curiosité et peut-être même l'émergence d'une conscience écologique.

Avant de plonger dans la description détaillée de notre dispositif, il est essentiel de saisir le contexte dans lequel s'inscrit notre projet. Nous avons mené des recherches sur la manière dont l'art se combine aux sciences en nous concentrant sur le flocking et ses applications dans le domaine artistique. Puis nous avons exploré les œuvres existantes exploitant l'immersion sensorielle et la relation entre l'art et les systèmes complexes. Une fois l'installation et le programme informatique présentés, nous discuterons des pistes d'amélioration afin d'enrichir encore l'expérience immersive et interactionnelle ainsi que de renforcer l'impact émotionnel de notre installation artistique.

I. Contexte du projet

Nous vous proposons dans cette première partie de parcourir ensemble le contexte du projet, c'est-à-dire le cadre d'Artex ainsi que le cheminement intellectuel qui a été le nôtre ces derniers mois en amont de la réalisation physique du projet. Le point de départ est incontestablement de décrypter le terme d'Artex et son ambition. Nous chercherons donc d'abord à sonder les liens historiques entre art et sciences. Il s'agit ensuite de choisir un système complexe spécifique. Ainsi, nous ferons dans un second temps un détour par l'histoire des boids - un programme informatique de vie artificielle développé par Craig Reynolds - de ses origines: observation et imitation de la nature, à ses répercussions fécondes dans l'art cinématographique notamment via l'utilisation de foule de synthèse. Puis il convient de déterminer le thème ou le message porté par notre projet. Nous endosserons alors nous-mêmes le rôle d'observateur de la biosphère marine en sondant l'intérêt tant écologique qu'économique des bancs de poissons, ainsi que les conséquences de l'action humaine sur la biosphère marine. Enfin nous nous attarderons sur la sphère des sciences cognitives - notre champ d'expertise en devenir - et ce que cette spécialité ou le regroupement de disciplines qu'elles recouvrent peut apporter au projet *Valse halieutique* et inversement.

A. Art et sciences

Quels liens l'art et les sciences entretiennent-ils ? En quoi l'art peut-il nourrir et faire avancer les sciences ? Qu'est-ce que les sciences apportent à l'art ? Un laboratoire peut-il tout autant inspirer un artiste, qu'un musée peut inspirer un chercheur ? Telles les deux faces d'une même pièce, arts et sciences se sont emboîtées le pas, siècle après siècle, donnant naissance à autant de chefs-d'œuvre que de découvertes bouleversantes. L'art et la science, dans le monde universitaire comme dans celui de la recherche ou de la création où ils s'expriment, peuvent être séparés et cloisonnés dans des disciplines, laboratoires ou ateliers différents qui ne communiquent que très rarement entre eux (Lopez, 2008).

Pourtant l'art peut aider à vulgariser des concepts scientifiques complexes de manière plus accessible et visuellement attrayante, voire même faire naître un certain intérêt pour les sciences en éveillant la curiosité et l'imagination. L'art peut encore intégrer les avancées scientifiques et technologiques dans ses processus de création en utilisant des outils et techniques innovants pour expérimenter de nouvelles formes artistiques. Ainsi selon Ray Bradbury, « la science n'est pas plus qu'une tentative d'explication d'un miracle inexplicable et l'art une interprétation de ce miracle. » Le tissage des activités scientifiques et artistiques dans la culture impactent la société dans la mesure où l'un est l'environnement dans lequel l'autre va émerger et se modifier. L'impact des découvertes dans la connaissance du phénomène lumineux sur les courants impressionnistes et pointillistes en constitue un bon exemple. En effet, des artistes comme Georges Seurat ou Paul Signac ont été inspirés par les travaux de scientifiques tels que Maxwell et Chevreul sur le contraste simultané des couleurs (Chevreul, 1839) et influencés par l'invention des microscopes à haute définition qui ont fait émerger la théorie cellulaire. Observer revenait désormais à faire face à un monde pointilliste universel où tout ce qui vit est fait de points. La science apporte parfois même des métaphores à l'art. Dans le tableau « Impression soleil levant », Claude Monet s'appuie sur le principe de perception visuelle. Le titre fait appel à la rigueur scientifique : il

s'agit non d'un soleil levant mais d'une « impression » d'un lever de soleil puisque ce dernier n'est qu'une illusion depuis les découvertes de Galilée stipulant que la Terre tourne autour du soleil et non l'inverse. De plus, ces courants artistiques sollicitent l'intervention active du spectateur dans la mesure où, en déterminant sa distance au tableau, le spectateur choisit la lecture qu'il veut en faire : une version éclatée, abstraite, en petites touches ou au contraire une version synthétique, globale qui redonne à l'œuvre sa dimension figurative (Clay, 1971).

Ces deux domaines, l'art et les sciences, partagent finalement souvent une quête commune de compréhension, de créativité et d'innovation. En proposant une nouvelle vision du monde, artistes et scientifiques peuvent mutuellement s'inspirer, collaborer et élargir l'étendue de leurs domaines respectifs. Voilà l'objectif que s'est donné l'Institut des Systèmes Complexes via Artex, manifestation culturelle et scientifique biennale qui offre l'occasion à des artistes, organismes de recherche et d'enseignement supérieur en sciences de faire découvrir à un large public l'étendue du domaine des systèmes complexes par le biais d'installations artistiques, conférences... Notre projet *Valse halieutique* dont l'objectif est d'être présenté à la journée Artex est le fruit d'une collaboration entre une école d'Art et de Design, une école en sciences cognitives et du numérique et un laboratoire de recherche en informatique et intelligence artificielle. Il a eu pour mission de mutualiser des compétences et sensibilités complémentaires d'étudiants d'horizons diverses et partageant la même curiosité pour travailler sur un sujet qui tente de réconcilier deux domaines différents de prime abord mais complémentaires dans le processus de création humaine. Ce projet a - de manière inattendue - attiré notre attention sur cette démarche souvent partagée entre artistes et scientifiques : comprendre les lois qui régissent ce qu'ils observent dans la nature, cette dernière devenant ainsi un modèle et même un mentor pour des avancées aussi bien dans leurs domaines d'expertise respectifs.

Les boids de Reynolds ont ainsi suscité un vif intérêt aussi bien dans le domaine de l'art interactif que dans la recherche scientifique en explorant les mécanismes sous-jacents du mouvement collectif, la communication entre individus et l'émergence de comportements complexes à partir d'interactions simples.

B. Les boids de Reynolds comme système complexe pour dénoncer la surpêche

1. L'histoire des boids : de la nature à la simulation informatique

Les animaux numériques ou « boids » sont un exemple intéressant des va et vient entre art et science. En 1986, l'infographiste Craig Reynolds observe le mouvement effectué par une nuée d'oiseaux et cherche à le reproduire via un programme informatique. A cette période, les progrès en informatique sont notables dans le domaine de la vie artificielle avec notamment le jeu de la vie de John Conway et la fourmi informatique de Christopher Langton. Les découvertes dans ce domaine s'inspirent directement et explicitement des caractéristiques du vivant. Mais alors que les biologistes et scientifiques font l'hypothèse d'un chef qui contrôlerait le mouvement global du groupe, Reynolds imagine un fonctionnement décentralisé dans lequel un comportement collectif émerge à partir des

interactions entre oiseaux. Chaque boid dispose d'un champ de vision sphérique dont il est le centre et suit une trajectoire affectée uniquement par les autres boids situés dans ce champ de vision (figure 1).

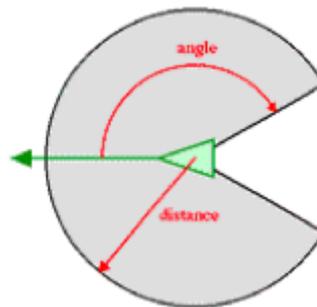


Figure 1 : Voisinage d'un boid (Reynolds, 2001)

Le modèle de Reynolds repose uniquement sur trois règles:

- la séparation: chaque boid s'écarte de ses voisins pour éviter les collisions
- l'alignement : chaque boid tend à s'approcher des vitesses et directions générales de ses voisins
- la cohésion : chaque boid cherche à s'approcher du centre de gravité du groupe local (figure 2)

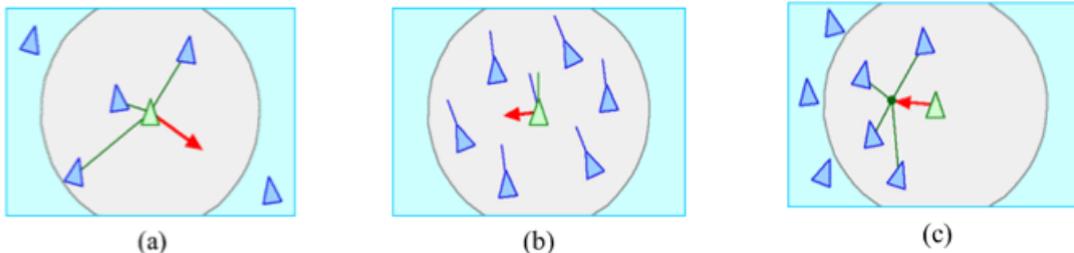


Figure 2 : les règles sociales des boids, (a) : séparation, (b) : alignement, (c) : cohésion (Reynolds, 2001)

2. Caractéristiques des boids comme système complexe

Dans le modèle de Reynolds, chaque boid prend des décisions fondées uniquement sur les informations locales qu'il perçoit, c'est à dire avec les proches voisins, à partir de règles simples sans qu'aucun agent ne contrôle directement le groupe ou n'ait de connaissance globale de l'environnement ou des autres agents. Le comportement collectif qui en émerge est ainsi auto-organisé, complexe et imprévisible à l'échelle du groupe.

Les interactions sont qualifiées de non-linéaires dans la mesure où de faibles variations dans les paramètres initiaux tels que la vision ou la vitesse des boids peuvent conduire à des effets amplifiés ou des comportements inattendus à plus grande échelle.

De plus, les boids ajustent leur comportement aux changements de leur environnement : si un boid se retrouve isolé, il cherche à se réaligner avec les autres. Ce principe d'auto-organisation permet au système de se maintenir malgré les perturbations externes.

Enfin, si l'on peut prédire le mouvement à une très courte échelle de temps, il est impossible d'anticiper ce mouvement à une plus longue échelle. Cette propriété contraste à la fois avec les comportements chaotiques qui ne sont prévisibles ni à court terme, ni à long terme ; et avec les comportements ordonnés, lesquels sont prévisibles, qu'ils soient statiques ou périodiques (Reynolds, 1987; Reynolds, 2001).

On retrouve ainsi les différentes propriétés que présentent les systèmes complexes, listées dans la partie bibliographique de ce rapport : l'auto-organisation, la non-linéarité, l'émergence, ou encore les notions d'ordre et de chaos. Les boids de Reynolds constituent ainsi un système complexe, i.e. un ensemble d'éléments en interaction où un comportement organisé émerge sans l'intervention d'un contrôleur externe.

Grâce à cette découverte, Reynolds devient une figure incontournable des studios hollywoodiens et participe à la réalisation des effets spéciaux de nombreux films.

3. Application des boids dans l'art cinématographique

Le flocking se rapporte au comportement présenté par un groupe d'oiseaux, appelé « flock », qui avancent ensemble en formation. Plus généralement, les simulations informatiques ou modèles mathématiques développés pour imiter les comportements de nuée d'oiseaux s'apparentent aussi à un comportement de flocking. Il s'applique donc aussi aux bancs de poissons, aux troupes de mammifères ou même aux humains lors de mouvements de foule. Ainsi un domaine où cet algorithme a été le plus utilisé est l'animation par ordinateur de foule pour la réalisation de films ou de jeux vidéo. Un problème majeur rencontré lorsque l'on reproduit le phénomène de foule réside dans la difficulté voire l'impossibilité de pouvoir calculer à l'avance la trajectoire et le comportement de chaque individu. Les premiers films ont ainsi préféré faire directement appel à une foule de figurants. Le record revient probablement au film « Gandhi » en 1983, peu de temps avant la découverte de Reynolds, qui a nécessité pour sa réalisation plus de 300 000 figurants venus assister aux funérailles de Gandhi (figure 3).



Figure 3: Foule de 300 000 figurants humains (image extraite du film « Gandhi »)

Ainsi le système des boïds a révolutionné le monde du cinéma et Reynolds a réalisé les effets spéciaux notamment pour l'attaque de dinosaures dans le film « Jurassic Park » en 1993, la nuée de chauve souris dans le film « Batman returns » en 1992 ou encore le troupeau de buffles dans « Le Roi Lion » en 1994 (figure 4).



Figure 4: Déplacement d'un troupeau de gnous (image extraite du film « Le Roi Lion »)

Le phénomène de flocking a aussi intéressé les biologistes et notamment Ichiro Aoki qui a développé un modèle au début des années 1980 reproduisant les caractéristiques des mouvements collectifs des bancs de poissons et reprenant ces trois mêmes paramètres de séparation, alignement et cohésion (Aoki, 1982).

4. Bancs de poissons et surpêche

Le banc est un groupement physique dans leur milieu, de poissons mutuellement attirés les uns par les autres (Fréon, 1984). Les poissons se déplacent ensemble de manière synchronisée et sans leader et se comportent comme un seul superorganisme. Il n'y a pas de hiérarchie dans un banc, c'est le poisson qui se trouve à l'avant qui prend momentanément la tête du groupe jusqu'à ce que le banc de poissons change de direction. L'organisation en banc concerne les espèces qualifiées de grégaires et constitue la meilleure stratégie de survie. En matière de défense, le banc n'est pas fragilisé par la prédation d'un individu à la tête du groupe. De plus, les poissons au centre du banc sont protégés par ceux situés sur les flancs. Lors d'une attaque d'un prédateur, la stratégie habituelle consiste à resserrer le banc pour former une forme de boule qui protège les individus les plus faibles au centre. En matière de recherche de nourriture, le banc permet une meilleure exploitation notamment dans un milieu très dilué puisque la détection de plancton d'un seul individu bénéficie au groupe entier. Cependant le banc bénéficie aussi aux espèces prédatrices – dont l'être humain – en offrant une concentration de nourriture significative. De nombreuses espèces grégaires font partie des espèces les plus pêchées au monde. Cette ressource vulnérable est cependant menacée par l'intensification de la pêche industrielle et les nouvelles techniques : la plupart des prélèvements éradiquent presque tous les individus d'un banc, présentant un risque à court terme pour la survie des espèces. La plupart des espèces grégaires concernées par cette pêche intensive sont aujourd'hui

menacées par cette pratique, et on observe que plus d'un tiers des réserves de poissons sont aujourd'hui surexploitées (FAO, 2022).

Le modèle des boids sur lequel s'appuie le projet *Valse Halieutique* offre une opportunité de collaboration entre artistes, scientifiques et experts en technologie. En réunissant des compétences et des perspectives différentes, il est possible de créer des projets qui allient esthétique artistique, rigueur scientifique et innovation technologique. Il fournit ainsi un terrain fertile pour une collaboration interdisciplinaire, caractéristique-même des sciences cognitives.

C. Apport des sciences cognitives au projet *Valse halieutique*

En quoi les sciences cognitives peuvent-elles répondre à un projet, à la jonction entre art et systèmes complexes, sur fond de banc de poissons et de sensibilisation à la surpêche ? Qu'est-ce que ce projet peut apporter aux sciences cognitives ? Les sciences cognitives sont un ensemble de disciplines dont l'objectif est d'expliquer les processus de la pensée humaine qui rendent possibles la connaissance. Elles regroupent l'intelligence artificielle et l'informatique, la psychologie sociale, les neurosciences, l'anthropologie, la linguistique et la philosophie. Nous allons maintenant analyser ce projet sous l'angle de ces différents domaines.

Comme décrit plus haut, les boids correspondent à une approche algorithmique utilisée en intelligence artificielle pour simuler le comportement collectif de bancs de poissons. Ce projet est directement lié aux connaissances que nous avons acquises au cours de l'année sur la modélisation et la simulation informatique de phénomènes collectifs -comme détaillé plus bas dans ce rapport - mais s'appuie aussi sur les avancées faites dans le domaine de la vie artificielle contribuant ainsi à son tour à faire rayonner ce domaine.

En ce qui concerne la psychologie sociale, l'étude des bancs de poissons implique l'observation et la compréhension des comportements collectifs, tels que la synchronisation et la coopération au sein d'un groupe, concept que l'on peut assimiler à l'influence sociale et la dynamique de groupe. Plus précisément, les poissons doivent être capables de percevoir les mouvements et les positions des autres membres du groupe pour communiquer rapidement et efficacement afin de maintenir la cohésion du groupe. La perception et la dynamique sociale au sein des groupes sont des domaines d'intérêt en psychologie, et l'étude des bancs de poissons peut fournir des informations sur ces processus (Couzin et al. 2003). En effet, des études ont suggéré que les différences interindividuelles comportementales chez les animaux pouvaient jouer un rôle fondamental dans le comportement collectif des groupes, notamment en termes de prise de décision (Webster et al. 2011). Jolles et al. (2017) ont ainsi combiné le suivi « réel » d'individus de bancs d'épinoches avec des comportements connus - car préalablement observés - avec des modèles à base d'agents de groupes auto-organisés pour fournir une compréhension prédictive de la performance collective. Les résultats de l'étude démontrent que des différences comportementales telles que la sociabilité, soit la propension à rester proche des autres individus, et l'audace, soit la capacité à explorer l'environnement, sont des

prédicteurs du positionnement spatial et du leadership au sein d'un groupe. Les poissons présentant ces traits de « personnalité » peuvent influencer le mouvement global du banc et la capacité du groupe à réagir aux stimuli comportementaux.

Établir les circuits et réseaux de prise de décision donnant lieu à un comportement individuel est une des problématiques centrale des neurosciences. Rosenthal et al. (2015) ont étudié les vagues rapides chez des bancs de poissons et ont pu déterminer à partir de calculs des positions et des champs visuels de chaque poisson la cartographie fonctionnelle entre l'entrée sensorielle générée au niveau social et la réponse motrice durant l'évasion collective. Ils ont ainsi démontré qu'il est possible de reconstruire quantitativement les réseaux sensoriels d'interaction. De plus, le fait de révéler leur structure permettait d'identifier les individus les plus influents d'un groupe et prédire les cascades de changement de comportement. Ils ont aussi mis en avant que lorsqu'un poisson réagit à un comportement de démarrage rapide d'un autre poisson - dû à l'existence d'un circuit réflexe impliquant une paire de neurones géants, les cellules de Mauthner - il ne fait pas de différence entre un sursaut spontané et un sursaut lié à une menace. Les auteurs suggèrent que le risque de prédation rend trop coûteux d'attendre de déterminer si le mouvement de fuite des autres poissons est associé à un réel danger ou non. Il est intéressant de noter que cette observation se rapproche de celle faite lorsqu'une personne se met spontanément à courir lorsqu'elle voit les personnes environnantes s'enfuir même lorsqu'elle ne perçoit pas elle-même le danger.

L'anthropologie a pour but de déterminer la place de l'Homme dans la nature et d'en préciser les relations avec les autres êtres vivants. L'élevage, la chasse ou la pêche constituent des influences humaines sur les systèmes écologiques. Une équipe d'une centaine de scientifiques du monde entier a récemment montré, en utilisant un modèle informatique, que les populations de cinq des espèces les plus communes de requins de récif sont jusqu'à 70% inférieures à celles qu'elles pourraient être sans pressions humaines extérieures. Par effet ricochet, la disparition de ces squales provoque un déséquilibre dans la chaîne alimentaire: la population de leurs proies augmentant fortement, les proies de ces proies, soit le niveau inférieur, diminuent et ainsi de suite, mettant en danger la sécurité alimentaire mondiale. L'impact sur le réchauffement climatique est aussi notable car les requins se nourrissent d'herbivores et lorsque ceux-ci augmentent en nombre, le volume d'algues dont ils se nourrissent diminue, or celles-ci permettent d'absorber le CO₂ par photosynthèse (Sherman et al. 2023).

Le lien avec la linguistique est peut-être le moins évident à établir mais plusieurs cours en sciences cognitives à l'IDMC étant communs avec les étudiants du parcours Traitement Automatique des Langues, nous allons tenter de l'explorer. La linguistique computationnelle s'intéresse aux modèles émergents dans le langage, en étudiant comment les structures linguistiques globales émergent des interactions locales entre les locuteurs. Par exemple, dans le domaine de la génération de texte, des approches basées sur le flocking peuvent être utilisées pour générer des textes cohérents et fluides en prenant en compte des principes tels que la cohésion sémantique et la cohérence stylistique. Les règles locales qui gouvernent le comportement des individus dans un essaim peuvent être analogues aux règles de génération de texte, telles que la cohérence thématique ou temporelle. Le modèle de flocking peut aussi être utilisé dans des tâches de classification et de regroupement. Bacanin et al. (2022) ont proposé une approche hybride de détection de spams en

combinant des modèles d'apprentissage automatique avec un algorithme d'intelligence en essaim, l'algorithme sinus cosinus, qui présente des performances de détection supérieures aux autres modèles de simple apprentissage automatique. Par ailleurs, Cui et al. (2006) ont développé un algorithme de clustering de documents où chaque document est représenté par un boïd et suit 4 règles locales simples de séparation, cohésion, alignement ainsi que de similarité et dissemblance pour se déplacer dans un espace virtuel. L'étude montre que les documents se regroupent rapidement en clusters et le résultat généré est compréhensible facilement et visuellement par un utilisateur non entraîné.

Lorsqu'on utilise le terme de vie artificielle, se pose alors la question de définir le concept de vie (Sterelny, 1997). Or pour Bedau, il ne s'agit pas tant de s'intéresser au concept de vie, lequel est dépendant d'un contexte historique et culturel mais de comprendre et explorer les principes fondamentaux et unificateurs pouvant expliquer les caractéristiques de la vie. Les efforts associés de la philosophie et de la vie artificielle sont adaptés pour répondre à ce questionnement (Wheeler et al., 2002). Selon l'auteur, le champ de la vie artificielle enrichit le domaine de la philosophie au niveau du contenu comme de la méthodologie. Il apporte un éclairage sur la nature des phénomènes émergents et permet d'expliquer l'élasticité des processus mentaux (Bedau 1998).

Les sciences cognitives peuvent enfin aborder les aspects émotionnels et esthétiques de l'interaction entre l'art et les systèmes complexes en permettant d'étudier comment les spectateurs réagissent émotionnellement à une représentation artistique d'un flocking. L'objectif de ces représentations est généralement de provoquer des réflexions et des prises de conscience, et modifier les comportements, comme dans le cas du projet *Valse Halieutique*, vis-à-vis de la préservation des fonds marins.

Le cadre thématique et scientifique poursuivi dans notre projet ayant été posé : démontrer que le banc de poisson est un type de système complexe et attirer l'attention sur la surpêche, nous nous sommes intéressés à la mise en oeuvre artistique : la « boîte à outils » à disposition des artistes d'installations telles que celles présentées dans une exposition comme Artex : immersion, fond sonore, détection de mouvements... Nous avons aussi fouillé dans les dernières expositions interactives notamment celles utilisant le principe des boïds. La prochaine partie abordera les concepts de mouvement et d'immersion ainsi que les différentes modalités sensorielles utilisées dans les projections visuelles et les installations interactives actuelles et donnera un exemple de représentation artistique utilisant le flocking d'oiseaux.

II. Immersion, Art et Systèmes complexes

Les expositions immersives offrent aux visiteurs une expérience singulière qui met l'accent sur les émotions, les sensations et la participation active. Dans cette partie, nous examinerons l'importance du point de vue du visiteur et de la dimension multisensorielle, ainsi que les approches et techniques employées pour susciter des interactions avec les installations. De plus, nous aborderons le rôle crucial du son et de la détection de mouvement dans le contexte des expositions immersives.

A. Concept d'immersion au sein d'expositions

L'évolution de la muséologie, discipline qui étudie les musées, qui était principalement axée sur la présentation d'objets authentiques ou de savoirs vérifiés, a permis de créer une troisième catégorie muséologique axée sur le visiteur lui-même : les expositions immersives. L'approche didactique et pédagogique est abandonnée au profit d'une approche basée sur l'émotion et les sensations. Plutôt que de simplement transmettre des connaissances au visiteur, ces expositions ont pour but de lui faire vivre une expérience (Belaën, 2003). L'étude de Guo et ses collaborateurs (2021) met en évidence que l'état émotionnel et le sentiment de présence jouent un rôle crucial dans la relation entre les signaux multisensoriels et les expériences numériques vécues par les visiteurs lors d'expositions muséales. L'utilisation de la combinaison de plusieurs sens et le fait d'éveiller des émotions chez le visiteur sont des points clés à la capacité d'immersion d'une expérience.

Cependant, le point de vue du visiteur est tout aussi important dans les expériences immersives. En effet, le visiteur peut être spectateur ou participant. Le spectateur est considéré comme un observateur passif qui regarde une œuvre de manière détachée alors que le participant est engagé activement dans l'expérience artistique. Pour une immersivité totale dans l'œuvre, il est intéressant de réussir à passer du point de vue de spectateur à celui de participant. Le visiteur devient alors partie intégrante de la scénographie, il est au cœur du dispositif et devient l'acteur principal.

Il est aussi possible malgré tout de mixer les deux points de vue tout en gardant l'expérience immersive comme l'a montré Bjarke Ingels avec son œuvre BIG MAZE (figure 5). Dans un labyrinthe commun, il est facile de se perdre car nous n'avons qu'un point de vue immersif de participant. Dans le BIG MAZE, les murs rétrécissent au fur et à mesure que l'on approche du centre, offrant la possibilité de trouver la sortie car cette configuration permet de fournir une perspective mixte participant-spectateur.

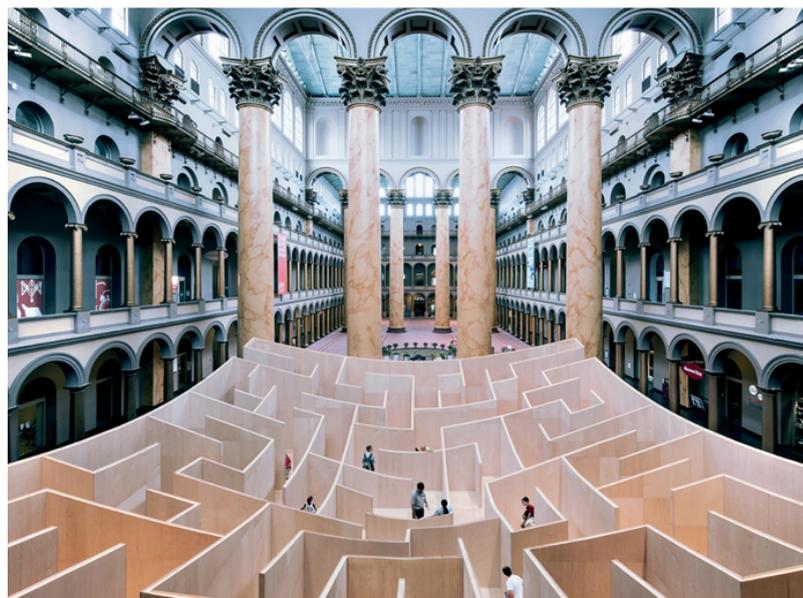


Figure 5 : BIG MAZE (2018). Extrait de R. Dewey. Hack the Experience : Tools for Artists from Cognitive Science, p.62

Ces points de vue ne se retrouvent pas seulement dans le sens de la vue mais aussi dans tous les domaines sensoriels. Il peut alors être intéressant de combiner ces deux points de vue via différents systèmes sensoriels comme dans le cas de l'illusion de la main en caoutchouc. Une personne met une main sous la table et l'autre main au-dessus. Une main en caoutchouc est placée sur la table à l'endroit où devrait être sa main placée sous la table. L'expérimentateur caresse la main sous la table et la main en caoutchouc simultanément à l'aide d'une plume. La personne va alors croire que la main en caoutchouc est sa propre main. L'esprit peut être trompé lorsqu'un point de vue spectateur dans un domaine (ici visuel) est combiné à un point de vue participant dans un autre domaine (ici haptique) (Dewey, 2018). Jouer avec les illusions, en perturbant les perceptions sensorielles et en combinant différents points de vue, peut ainsi permettre d'intensifier l'immersion dans une expérience.

Ce type d'exposition est généralement plébiscitée pour son côté éphémère. Le public va pouvoir participer à quelque chose d'unique qu'il ne reverra probablement pas et que les autres ne pourront ni voir, ni faire s'ils ne sont pas présents à ce moment-là. Cela donne un effet de rareté et d'exclusivité au spectateur. De plus, cette nouvelle forme d'art attire le grand public, qu'importe son âge, ses connaissances en termes de technologies, ou encore son bagage et sa sensibilité artistique, grâce à un grand nombre de techniques de plus en plus variées. C'est le cas de la réalité virtuelle ou encore l'intelligence artificielle, qui rendent les expositions ludiques et amusantes (Melin et al., 2019).

L'utilisation des différents sens est alors très importante pour une expérience immersive plus profonde, il convient donc de s'attarder sur le sens auditif.

B. Analyse des approches et des techniques utilisées pour créer des interactions entre le spectateur et l'installation

1. Rôle du son dans une exposition

Une récente étude a montré que la combinaison des signaux visuels et auditifs permet d'améliorer l'expérience des visiteurs dans les musées numériques (Guo et al., 2021). Le caractère multisensoriel d'une oeuvre augmente l'immersion du visiteur, or le son fait appel à plusieurs sens : le sens extéroceptif qui comprend l'ouïe et le toucher avec la vibration de l'air ou d'un objet au contact de la peau, ainsi que le sens intéroceptif, la kinesthésie, avec les vibrations ressenties dans tout le corps (Lebas, 2005). Ces sensations sont uniques et certaines sonorités, comme les infrasons, qui produisent dans l'abdomen des vibrations localisées dans les zones érogènes internes ou encore les mélodies répétitives, qui produisent instantanément un effet hypnotique (Chaudet, 2017). La musique électronique, qui contient principalement des sons de synthèses et des traitements de sons enregistrés, s'associe bien avec des œuvres interactives et immersives grâce à son côté contemporain voire futuriste. De plus, son rythme entraînant peut stimuler l'énergie et la motivation du spectateur et son impact émotionnel car elle peut évoquer toute une gamme d'émotions, qu'elles soient positives ou négatives.

Plusieurs artistes ont fait le choix d'utiliser la musique électronique dans leur œuvre, comme par exemple Pier Schneider avec son installation CORE (figure 6), présentée en 2022 au Festival International des Arts Numériques de Metz. Cette installation a initialement été conçue pour l'exposition Electro à la Philharmonie de Paris en 2019. Il s'agit d'un cube de 3 mètres de côté où la musique est transformée en volumes de lumière dynamique, représentant la bande son de Laurent Garnier sous une forme spatiale, vibrante et oscillante. Cette œuvre permet de mettre en avant l'impact qu'apporte l'utilisation de plusieurs sens grâce à une technologie innovante (Constellations, 2022).



Figure 6 : Lefauconnier, G. (2019). Exposition Electro, Philharmonie de Paris
<https://ideat.fr/kraftwerk-daft-punk-bain-electronique-philharmonie/>

L'artiste Molécule a lui aussi voulu coupler la musique électronique à une nouvelle technologie nommée Nextmind qui est un dispositif permettant de décoder en temps réel les signaux émis par le cortex visuel de son cerveau afin de les transformer en commandes digitales pour pouvoir jouer sa musique uniquement grâce à la pensée. Cette technologie se matérialise sous la forme d'un casque (figure 7) et utilise l'électroencéphalographie qui permet de mesurer l'activité électrique du cerveau grâce à des électrodes placées sur le cuir chevelu. L'artiste se concentre alors sur une interface reliée à un ordinateur avec des boutons spécifiques représentant les commandes d'une table de mixage (The Absolut Company Creation, s.d.).



Figure 7 : Vigneau. Photo de l'utilisation du dispositif Nextmind
<https://www.tsugi.fr/brain-performance-mix-le-casque-qui-contrôle-la-machine-par-la-pensee-arrive-sur-scene/>

L'utilisation de nouvelles technologies d'interface cerveau-ordinateur à destination de l'art auditif met en lumière un processus créatif innovant utilisant les sciences cognitives afin de retirer le sens haptique dans la création de musique.

L'artiste Mezerg a de son côté mêlé le sens haptique au sens auditif en utilisant des Makey Makey, un dispositif permettant de contrôler n'importe quel programme informatique avec des objets du quotidien. Il a alors transformé son clavier avec des fruits, ajoutant un côté ludique, amusant et original à la réalisation de musique électronique (figure 8). Les touches de son clavier sortent du commun, ce qui suscite la curiosité du visualisateur et qui lui donne envie de rentrer en interaction avec ce dispositif. Cette curiosité favorise l'immersion car elle est associée à la fascination et l'originalité.

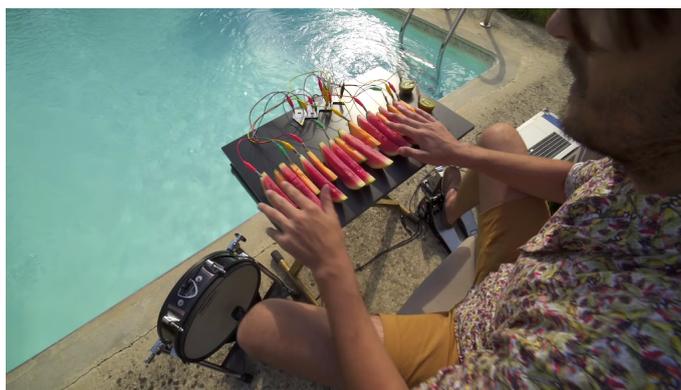


Figure 8 : Screenshot du clip vidéo : MEZERG - WATERMELON (2020).
<https://www.youtube.com/watch?v=RPf28jaiU90>

Ces exemples démontrent la nécessité d'intégrer le son dans une expérience immersive en offrant une dimension supplémentaire d'interaction. L'utilisation du son permet d'explorer de nouvelles possibilités créatives et de stimuler la curiosité, l'engagement et l'interaction du public dans le contexte artistique. Afin de renforcer l'immersion du visiteur, il est intéressant de s'attarder sur le rôle du mouvement.

2. Intérêt de la détection de mouvements pour une exposition immersive

La détection de mouvements est une technique innovante qui semble très intéressante pour rendre une exposition immersive car elle offre une interaction directe et intuitive entre l'observateur et l'œuvre. En effet, les participants peuvent utiliser leur corps pour interagir et influencer les éléments visuels ou sonores de l'œuvre. Contrairement à d'autres dispositifs d'interaction comme les écrans tactiles ou les manettes, la détection de mouvements permet une interaction sans contact physique direct avec l'interface. Cela offre une liberté aux participants dans leur mouvements, et donc une expérience plus fluide et spontanée. Le mouvement permet aux artistes de transmettre des émotions et des sentiments à travers leurs créations. Les mouvements du corps, les mouvements de pinceau ou d'autres médiums artistiques peuvent exprimer la joie, la tristesse, la colère, l'énergie ou d'autres états émotionnels. De plus, il est possible de capturer les mouvements de plusieurs

personnes simultanément, ce qui permet de créer une expérience collective. Les participants peuvent interagir ensemble et voir comment leurs mouvements individuels influencent le système. Cela crée une dynamique sociale et encourage la collaboration et l'exploration commune.

L'installation Bubbles, créée en 2000 et exposée au Centre d'art et de technologie des médias (ZKM) de Karlsruhe utilise la détection de mouvements permettant au spectateur d'interagir avec des bulles de savon virtuelles. A l'époque, il n'existait pas encore de dispositif de détection de mouvement accessible au grand public, alors la méthode de coordination de la position de l'ombre du spectateur avec la position de la bulle a été créée pour cette installation grâce à la reconnaissance automatique d'image en temps réel. Des effets sonores ont aussi été ajoutés lorsque le spectateur touche une bulle afin de le plonger complètement dans ce monde surprenant (AssociationADAN, 2007).

Nous avons choisi d'utiliser la Kinect comme solution de détection de mouvement pour notre projet. La Kinect est un périphérique destiné au matériel Microsoft avec la Xbox 360, Xbox One et Windows conçu en 2008. Elle permet d'interagir avec l'interface par commande vocale, reconnaissance de mouvement et d'image. Grâce à sa caméra utilisant un capteur de profondeur, il est possible de s'en servir dans l'obscurité, ce qui est intéressant dans le cadre d'une exposition utilisant une projection. De plus, la Kinect permet d'obtenir de très bons résultats de capture de mouvement gestuelle et faciale à moindre coût. Enfin, la Kinect est très facile à utiliser et compatible avec de nombreux logiciels (« Kinect », 2023).

La dimension multisensorielle, le fait de susciter des émotions, l'utilisation de mouvements jouent sur l'état immersif du public lors d'une exposition. Les artistes se servent alors de cela pour construire leurs œuvres. Cette immersion se retrouve dans bon nombre d'œuvres illustrant les systèmes complexes.

C. Exemple d'exposition immersive autour des Boids

Les systèmes complexes ont éveillé l'intérêt des artistes. En effet, représenter un système complexe dans des expositions immersives invite les spectateurs à explorer des modèles naturels complexes en mettant en valeur leurs structures tout en créant une expérience artistique interactive et éducative qui incite à la découverte et à l'émerveillement. Daniel Shiffman a utilisé le modèle « Boids » de Craig Reynolds pour représenter de manière artistique un système complexe. Programmeur informatique et membre du conseil d'administration de la Processing Foundation à l'origine du logiciel qui nous a servi à développer notre modèle, il a réalisé l'œuvre d'art interactive « Swarm » (figure 9) pour l'exposition « Beyond TV » au Paley Center for Media à New York en 2002. Cette installation vidéo interactive consiste en la réalisation en direct du portrait numérique du visiteur qui implémente le motif de flocking d'oiseaux sous la forme d'un coup de pinceau. Le spectateur devient alors l'œuvre d'art en interagissant totalement avec celle-ci car il peut contrôler le caractère réaliste ou abstrait du portrait grâce à ses mouvements tout en découvrant le phénomène de flocking (Greenfield et Machado, s.d.).



Figure 9 : Photo de l'utilisation de l'installation en direct. Extrait de Greenfield et Machado. *Swarm Art*, p.15

Les expositions immersives offrent une expérience unique aux visiteurs en mettant l'accent sur les émotions, les sensations et la participation active. Nous avons examiné l'importance du point de vue du visiteur et de la multisensorialité, les approches et techniques utilisées pour créer des interactions avec les installations, ainsi que le rôle du son et de la détection de mouvement dans les expositions immersives. Les approches artistiques contemporaines vues précédemment nous ont permis de réfléchir à notre propre installation et aux points indispensables à inclure dans la réalisation de projet.

III. Réalisation et discussion

Nous détaillerons dans cette partie les pistes qui ont été écartées et celles maintenues avant d'exposer l'installation au niveau des méthodes et outils utilisés, le matériel nécessaire et le code informatique développé. Puis nous aborderons les améliorations et extensions potentielles de notre dispositif dans le cadre d'Artex, en dehors d'Artex et enfin dans le champ de la santé.

A. Evolution des objectifs

Le projet *Valse Halieutique* met en scène un banc de poissons comme système complexe à travers un dispositif visant à offrir une expérience artistique qui est à la fois esthétique, immersive et multisensorielle. L'objectif principal est de captiver le public, suscitant ainsi sa curiosité et, potentiellement, favorisant l'éveil d'une conscience écologique.

Pour créer une expérience immersive, nous avons trouvé intéressant d'utiliser une kinect pour transformer le spectateur en spect'acteur, en abolissant les barrières entre le spectateur et l'œuvre. La kinect détecte les mouvements du corps et offre une interaction intuitive et sans contact permettant au public de devenir partie prenante de l'expérience artistique. Cette approche stimule l'engagement émotionnel et physique de l'observateur,

l'invitant à interagir de manière active avec l'œuvre. De plus, l'utilisation de la Kinect favorise une expérience collective, car les spectateurs peuvent interagir simultanément, établissant ainsi une dynamique de groupe et encourageant les échanges entre les participants ce qui peut aussi favoriser l'émergence d'un phénomène d'auto-organisation entre eux. Le spectateur détecté est traduit visuellement sous la forme d'un filet de pêche, faisant office d'obstacle aux poissons et directement intégré dans l'œuvre, ce qui lui permet de modifier l'expérience à sa guise et de la rendre totalement unique. L'œuvre est alors créée par les spectateurs, ce qui attise leur curiosité et les pousse à explorer les possibilités offertes par cette technologie.

Pour révéler le phénomène de surpêche, nous avons décidé de représenter le spectateur sous la forme d'un filet au milieu d'un banc de poissons lequel devient symbole d'une pêche excessive et destructrice s'il est en trop grand nombre ou disproportionné par rapport aux poissons. Dans notre simulation, les poissons vivent et se déplacent à l'écran. Le nombre de filets augmente proportionnellement au nombre de personnes détectées. Cela s'apparente dans la nature à la surpêche, c'est-à-dire un déséquilibre entre proies et prédateurs qui a pour effet de diminuer l'effet de dilution, habituellement important dans les bancs de poissons. Ceci conduit à une perturbation du rapport coût-bénéfice du fonctionnement grégaire et perturbe de ce fait l'écosystème marin comme expliqué dans la première partie de ce rapport. Cette dénonciation de la surpêche vise à générer une prise de conscience chez les spectateurs, les invitant à réfléchir aux conséquences de leurs actions sur les écosystèmes marins et à la nécessité de prendre des mesures pour préserver les populations de poissons. L'expérience devient alors éducative, en plus d'être immersive et ludique.

Afin d'enrichir l'expérience du spectateur et la rendre multi sensorielle, nous avons décidé d'y inclure un fond sonore. Notre projet étant intitulé *Valse Halieutique*, nous voulions initialement utiliser des musiques de valse afin d'inviter le public à danser et jouer avec notre installation. Cependant, pour une meilleure immersion dans notre monde aquatique, il a semblé plus intéressant d'intégrer les sonorités rappelant les fonds marins. Nous nous sommes alors intéressés à l'album « 60°43' Nord » de l'artiste Molécule, artiste évoqué précédemment. Cet album a tout particulièrement attiré notre attention car ses sonorités ont été enregistrées sur un chalutier dans l'Atlantique Nord. Il parvient à mêler musique électronique et sons de l'ambiance marine, créant une immersion totale au bord d'un bateau de pêche où il avait ramené l'ensemble de son matériel pour composer, durant 34 jours sans escale (Fatherubu, 2019). Etant donné que nous voulons créer un projet à destination du grand public, qui s'adresse à tout type de public, indépendamment de son âge, ses goûts musicaux, son attrait pour l'art, ses connaissances en informatique, technologies et en sciences, l'utilisation de la musique électronique ne nous a pas semblé être le meilleur choix. En effet, les sonorités des musiques électroniques sont particulièrement prenantes et donc les personnes n'appréciant pas ce genre de sonorités pourraient être dérangées durant l'exposition et ne pas parvenir à s'immerger dans notre installation. Nous avons donc choisi d'utiliser une bande sonore non musicale, c'est-à-dire sans intention ou autonomie esthétique, pouvant ainsi satisfaire le plus grand nombre et rendant l'expérience plus inclusive, pédagogique et scientifique. Le fait que l'on ne sache pas à quoi exactement le son fait référence (musique ou son naturel) est intrigant et suscite de la surprise sans perturber a priori son expérience. Cette bande sonore correspond à une ambiance en arctique de chants de baleines boréales et de bruit de la glace, qui est une donnée mise à

disposition gracieusement par l'institut de recherche CHORUS, provenant de campagnes de mesures soutenues notamment par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Pêche et Océans Canada, ISMER (UQAR, Canada) et la Fondation Sulubaaï. Nous avons envisagé de laisser le choix aux participants du fond sonore, cependant, comme vu précédemment, il paraît indispensable que le spectateur soit directement immergé dans une ambiance sonore et éviter qu'il découvre l'installation dans le silence. Pour ajouter une interactivité avec les poissons, nous avons aussi imaginé d'inclure un bruit lorsque le poisson touche le filet. Nous avons cependant abandonné cette idée car au vu du grand nombre de poissons, l'ambiance sonore serait devenue très vite chaotique et dissonante.

B. Conception de l'installation

1. Méthode et outils utilisés

Afin de réaliser ce projet et de mettre en œuvre ces différents objectifs, nous avons dû choisir un environnement de développement pour réaliser notre modèle. Notre choix s'est porté sur Processing, car il s'agit d'un environnement pensé pour la réalisation graphique intégrant par défaut des bibliothèques faciles d'utilisation nous permettant de réaliser un rendu visuel proche de ce que nous avons en tête.

Suite à cela, nous avons dû expérimenter la réalisation d'un code de flocking en Java fonctionnant sur Processing. N'ayant aucune base sur ce logiciel et encore à cette période de l'année aucune connaissance sur le programme informatique utilisé pour matérialiser le flocking, nous avons cherché des ressources sur la réalisation d'un code de flocking réalisé sur Processing en particulier. Nos recherches nous ont amenés sur le tutoriel de la chaîne de Stray Basilisk qui montre, étape par étape, la réalisation d'un code de flocking. Cette solution présente plusieurs avantages. Premièrement, cela nous donne une base fonctionnelle sur laquelle travailler, et avancer les autres facettes du projet. Deuxièmement, le code étant basé sur un tutoriel, nous avons donc suivi la réalisation de celui-ci pas à pas, ce qui nous a permis de comprendre le fonctionnement du code et du flocking en général. Troisièmement, même s'il présentait les fonctionnalités de base pour notre projet de flocking interactif, le code en fin de tutoriel étant incomplet, cela nous a obligé à l'enrichir, avec les connaissances que nous avons acquises entre temps.

2. Historique du développement du programme informatique

À ce code, nous avons commencé par ajouter une récupération de flux vidéo d'une Kinect via la bibliothèque OpenKinectForProcessing. Puis nous avons utilisé un code temporaire permettant, via la bibliothèque OpenCV, intégrée directement à Processing, de détecter les visages des personnes. Après la détection des visages, les coordonnées de ces derniers étaient récupérées, puis un obstacle était placé à ces coordonnées. Le code ainsi réalisé permet de changer facilement la méthode de détection des personnes, tant qu'il est possible d'en extraire les coordonnées. Deux versions de code existent selon que l'on souhaite utiliser une kinect ou une caméra (annexe 1).

L'étape suivante a consisté à intégrer au programme les sprites, images contenant les différentes étapes des animations des composants de notre simulation, créés par Andréa Dinquer, l'étudiant de l'ENSAD collaborant avec nous sur ce projet, afin de donner au programme l'aspect que nous souhaitions lui donner (figures 10 et 11)¹.



Figure 10: Sprites du poisson

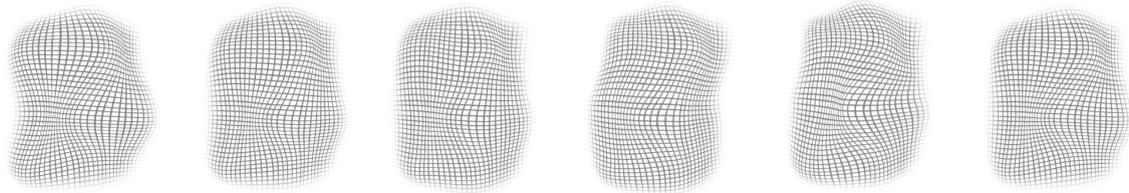


Figure 11: Sprites du filet

Cette étape a demandé quelques modifications dans la partie du code s'occupant du rendu, car cette dernière n'acceptait à la base qu'une seule taille de sprite, et qu'un seul nombre de frames d'animation. Un travail a donc été fait sur cette partie du code afin de lui permettre d'accepter des sprites avec différentes résolutions et un nombre variable d'étapes d'animation. La dernière étape de cette partie a été de modifier le code afin que ce dernier reste cohérent peu importe la résolution de l'écran sur lequel il est affiché (figure 12).



Figure 12 : Capture d'écran du programme en fonctionnement

¹ Pour plus de détails sur la démarche artistique de ce projet, voir les notes de Andréa Dinquer: <https://docs.google.com/document/d/16voI-i0Axvj5jNDgYZd-NO2mSYGouA5BNLx6cK3XIU/edit>

Afin de mieux percevoir la principe d'auto-organisation, on peut modifier les paramètres de séparation, cohésion ou d'alignement. On peut observer que sans séparation, les poissons se superposent et finissent par former des amas qui se déplacent ensemble (figure 13).



Figure 13 : Capture d'écran du programme sans paramètre de séparation

Si l'on supprime l'alignement, les poissons se déplacent alors de manière désordonnée (figure 14).



Figure 14 : Capture d'écran du programme sans paramètre d'alignement

La dernière étape du projet a été de remplacer la détection des visages de OpenCV par une détection des personnes avec la bibliothèque DeepVision. Cette bibliothèque possède une fonction permettant d'identifier les objets. Après avoir identifié tous les objets de l'image captée par la Kinect, nous ne gardons que les personnes, dont nous récupérons les coordonnées dans l'image, et nous plaçons l'obstacle à une position sur l'écran correspondant à ces coordonnées. Lors de cette étape, nous avons modifié le code afin qu'il y ait un nombre dynamique d'obstacles, et que ce nombre corresponde à celui des personnes détectées (figure 15)².

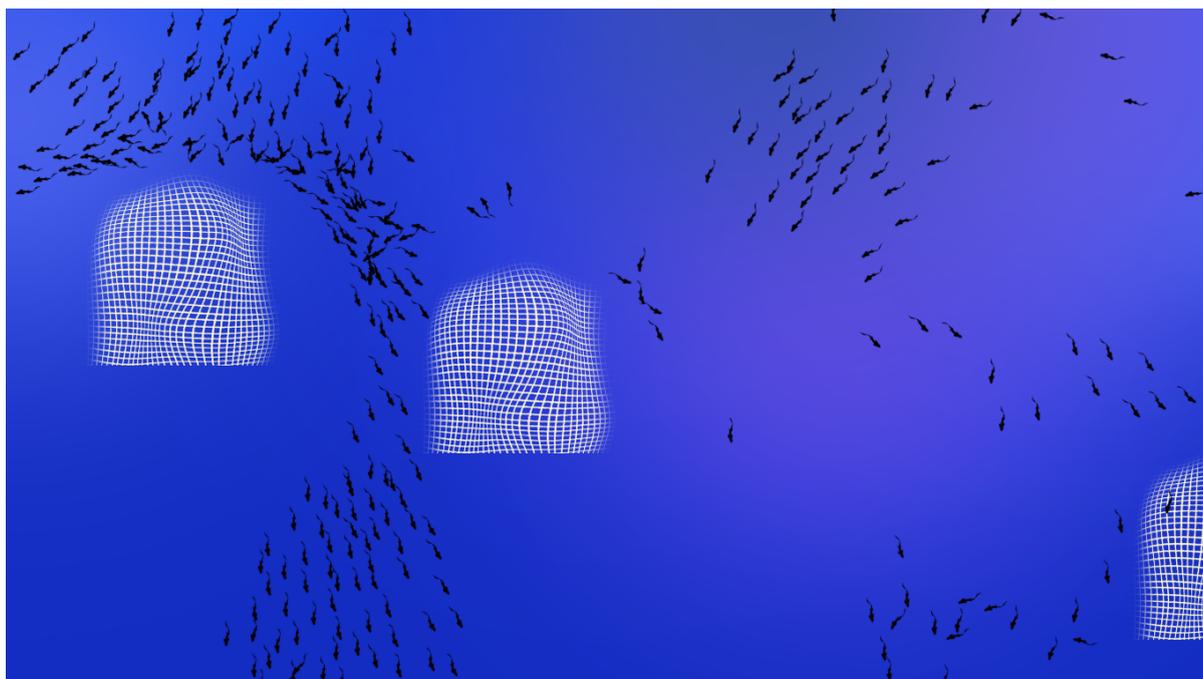


Figure 15 : Capture d'écran du programme avec plusieurs personnes

3. Présentation de la conception de l'installation

Ce projet demande, afin de fonctionner, une salle où les visiteurs pourront circuler et dotée d'un mur blanc sur lequel nous pourrions projeter l'image rendue par le programme en direct. De plus, Cette installation nécessite un vidéoprojecteur afin de projeter l'image, une kinect pour capter les mouvements des spectateurs, ainsi qu'un ordinateur afin d'exécuter le programme au centre du projet (figure 16)³.

² Lien d'une capture vidéo de l'écran du dispositif détectant une personne : <https://youtu.be/wGb9PHtzzxg>

³ Lien d'une vidéo montrant le dispositif en fonctionnement utilisé par deux personnes : <https://youtu.be/BKif45ze-eY>

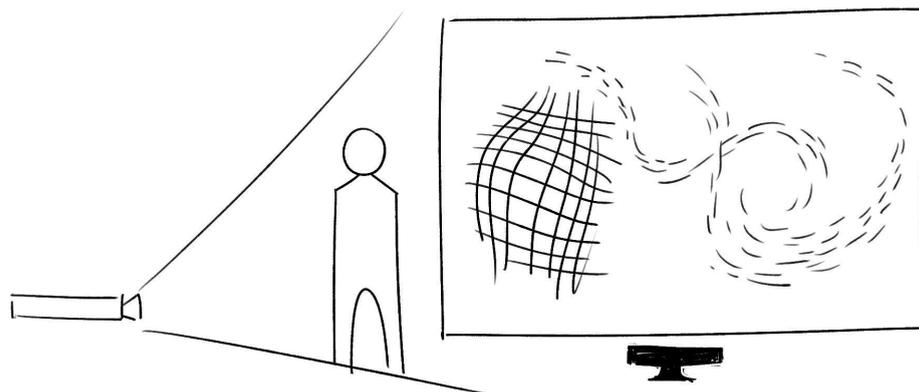


Figure 16 : Schéma de fonctionnement de l'installation Valse Halieutique

Afin que la détection se fasse dans les meilleures conditions, les spectateurs doivent se trouver à une distance entre 1 et 5 mètres de la kinect. Pour guider les spectateurs à rester dans cet espace, des incitations reposant sur l'affordance, en utilisant le sens de circulation dans la pièce, via la disposition de l'entrée et de la sortie, si possible, ainsi qu'un marquage au sol seront utilisées.

C. Pistes d'amélioration de l'installation proposée

La réalisation de notre installation nous a amenés à la réflexion sur les différentes pistes d'améliorations que nous pourrions envisager afin d'optimiser son fonctionnement et ses performances ainsi que l'immersivité et l'interactivité du public.

D'un point de vue esthétique, la création d'un fond d'écran mouvant aurait été intéressant afin de simuler de manière plus réelle les fonds marins. De plus, créer un filet avec des mouvements plus fluides représenterait mieux les déplacements véritables d'un filet dans l'océan. Avoir des poissons de différentes couleurs aurait permis un rendu plus percutant et mémorable pour le spectateur.

En ce qui concerne l'interactivité du public, la détection de mouvement pourrait être plus efficace en captant séparément les différentes parties du corps pour les associer chacune à une action particulière dans le système. Par exemple, le filet est associé au corps du participant et donc un obstacle aux poissons, mais ses mains pourraient être considérées comme un appât. Ou encore, le fait de lever la main droite pourrait signifier un changement de fond sonore, de fond d'écran, de type de poissons ou même de type de système dans sa globalité : remplacer complètement le monde sous-marin par un monde aérien avec des oiseaux comme agents. Cette interactivité supplémentaire pourrait être gérée par un nouveau dispositif plutôt que la détection de mouvement comme par exemple les Makey Makey vu précédemment. Ils seraient connectés à des objets rappelant les fonds marins et pourraient être utilisés pour changer le fond sonore afin de laisser davantage de liberté aux participants et leur permettre une meilleure immersion en choisissant un son leur correspondant au mieux.

Afin de mieux exposer la surpêche, nous aurions aussi pu considérer que lorsqu'un nombre n de participants est détecté et donc un nombre n de filets représentés à l'écran, le modèle

s'arrête et un message impactant s'affiche indiquant qu'il y a trop de filets (représentant la surpêche) pour que les poissons puissent continuer d'évoluer. Nous aurions aussi pu y inclure une jauge allant du vert au rouge en fonction du nombre de participants détectés, qui représenterait un indicateur sur la dangerosité d'un excès de pêcheurs et donc d'un risque de surpêche. Au lieu de représenter les filets individuellement lorsque plusieurs participants sont détectés, l'assemblage de ces filets pour créer un seul et même filet qui prendrait davantage de place à l'écran montrerait aussi mieux l'impact des gros chalutiers sur les écosystèmes marins.

Enfin, l'élaboration d'un questionnaire aurait été un bon moyen d'évaluer notre dispositif afin de connaître l'impact esthétique, émotionnel et didactique de l'installation sur les spectateurs. En effet, il est important de savoir si le message que nous voulons transmettre a été compris, si notre dispositif a permis de mieux appréhender les systèmes complexes et si le côté artistique a amélioré cette compréhension. Pour cela, nous pourrions proposer un questionnaire intégrant les informations et questions suivantes :

- Statut (du participant)
- Age (du participant)
- « Est-ce que la musique vous a plu ? » (en y incluant une réponse comme « N'a pas relevé l'aspect sonore de l'installation »)
- « Quelle(s) émotion(s) en retirez-vous ? » (question ouverte)
- « Qu'auriez-vous aimé voir en plus ? » (question ouverte)
- « Que retenir / Comment décrire cette exposition en un mot ? » (question ouverte)

Les pistes d'améliorations peuvent être nombreuses et variées, et nous ont également amenées à réfléchir sur comment nous pourrions adapter et étendre ce dispositif à des domaines d'applications en dehors d'Artex.

D. Exploration des possibilités d'adaptation et d'extension de l'installation

1. Dans le domaine artistique

Le projet a nécessité des compétences en programmation rarement accessibles aux artistes qui souhaitent créer des environnements immersifs. Rodrigues et al. (2013) ont proposé un outil, MotionDraw, accessible à des non-programmeurs. Les interviews qu'ils ont menées auprès des danseurs ont confirmé leur intérêt pour ce type de dispositif qui permet de créer en temps réel des effets visuels, c'est-à-dire des projections sur scène qui réagissent aux mouvements des danseurs et d'offrir des possibilités de post-traitement numériques. Le système MotionDraw est une installation avec une ou deux kinects qui enregistrent la position des articulations du corps d'une personne au fil du temps et dessine le tracé résultant sur un grand écran. Une kinect capte les mouvements des danseurs dont l'image est projetée sur l'écran et le flux est enregistré pour un post-traitement éventuel, tandis qu'une interface graphique permet à un autre utilisateur de modifier les paramètres du dessin projeté en temps réel soit en modifiant les couleurs et la largeur des tracés, soit en

modifiant l'angle de vue de la caméra, soit en activant ou désactivant la visualisation d'articulations spécifiques suivies. Dans le cas d'une configuration avec 2 kinects, la seconde kinect capte les mouvements d'un chef d'orchestre dénommé « kinector » qui peut interagir directement avec le système MotionDraw et modifier les paramètres de visualisation sans avoir à utiliser une interface informatique par des gestes comme le zoom avant/zoom arrière, rotation du point de vue et changement de couleur (figure 17). Le système a été utilisé avec deux danseurs et un chanteur d'opéra qui jouaient le rôle de chef d'orchestre et les retours des participants et du public ont été positifs. Les concepteurs souhaitent ajouter les fonctionnalités suivantes : l'interactivité tactile entre les danseurs comme déclencheur dans l'affichage et l'interaction tactile avec la projection réelle pour influencer la projection.

Dans le cadre de notre projet, l'utilisation d'une deuxième kinect pourrait permettre à un deuxième spectateur de modifier par ses gestes l'expérience du premier spectateur et endosser le rôle de chef d'orchestre. Ainsi une gamme de gestes pourrait être associée soit au choix de la musique dans une liste musicale présélectionnée, soit à différentes formes ou couleurs de l'image projetée par la première kinect. Une dernière option serait d'accorder à ce second spectateur le rôle de chercheur qui mène des expériences en modifiant les paramètres du programme informatique comme les coefficients de cohésion, alignement, séparation, la vitesse ou encore le nombre de poissons ce qui permettrait de saisir les règles du système de boïds et les principes sous-jacents à un système complexe.

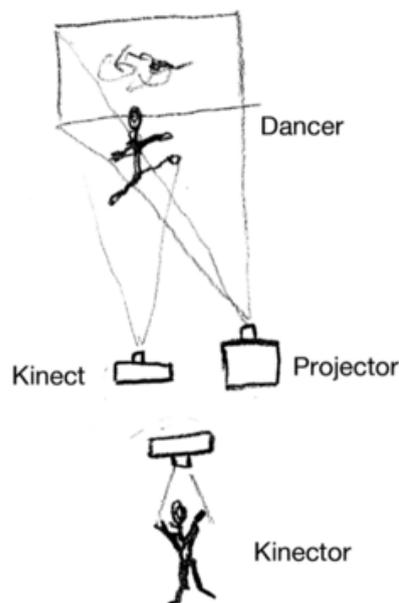


Figure 17 : Installation avec 2 kinects (Rodrigues et al. 2013)

Chen et al. (2012) ont quant à eux mis en place un système pour générer une musique dont le tempo est commandé par la main droite et le volume par la main gauche, le motif rythmique (tango, rumba, samba), la progression des accords et la synchronisation des pistes étant paramétrés au préalable par l'utilisateur. Ainsi ce procédé permettrait de créer en temps réel une musique adaptée à l'ambiance sonore que le spectateur souhaite avoir.

2. Dans le domaine de la santé

De nombreuses études ont montré l'intérêt de la kinect pour la réhabilitation motrice et cognitive notamment par le biais du jeu (Bravo et al. 2017). Le projet pourrait ainsi être utilisé notamment à destination de personnes âgées pour favoriser l'activité physique et contribuer à une amélioration de leur santé. Pyae et al. (2016) ont fait une revue des jeux vidéos existants et les ont testés auprès de personnes âgées et ont aussi analysé les facteurs de motivation qui caractérisent cette partie de la population. Ils ont mis en évidence que les jeux vidéos sont rarement adaptés à cette tranche d'âge : des mouvements demandés trop rapides et ne tenant pas compte de leurs limitations physiques, des interfaces utilisateurs trop chargées avec un excès d'informations visuelles, une proposition de sports qui ne leur sont pas familiers ou encore des règles de jeux trop longues et complexes. Ils ont aussi constaté que les jeux ont plutôt une connotation péjorative chez les personnes âgées, ces dernières considèrent le jeu comme un passe-temps pour personnes inactives et préfèrent généralement les jeux collectifs aux jeux solitaires. Ces différents éléments nous permettent de considérer que notre projet pourrait être utilisé dans ce cas avec quelques adaptations cependant. La musique devrait être adaptée à leur goût et leur culture musicale. On pourrait envisager de mettre des valses pour favoriser l'activité avec plusieurs participants. Aborder avec les personnes âgées les sciences et l'univers marin que ce projet évoque permettrait à la fois d'augmenter leur intérêt et leur implication mais aussi activer les fonctions de mémoire sémantique et épisodique en faisant appel à leurs souvenirs personnels. Des tests devraient être menés au préalable pour établir les bonnes proportions du filet ainsi que le nombre de poissons et leur vitesse de déplacement pour éviter de surcharger l'écran.

Bossavit et Parsons (2016) ont présenté un projet de création de jeu sérieux avec deux adolescents atteints d'autisme de haut niveau dans une école spécialisée pour jeunes handicapés. En tant que joueurs de jeux vidéo, ils ont apporté leur expérience comme utilisateur mais aussi concepteur et testeur pour la conception d'un jeu sérieux portant des compétences académiques en géographie. Une démarche similaire pourrait être envisagée avec des personnes autistes intéressées par la programmation pour faire évoluer le projet actuel à leur convenance.

Conclusion

La *Valse halieutique*, projet de création d'une installation artistique et multisensorielle mettant en évidence les conséquences de la surpêche, a suscité l'intérêt de l'équipe de Artex, manifestation culturelle et scientifique où les arts et les sciences dialoguent autour du concept de systèmes complexes et de leur implication dans notre société.

L'installation propose une expérience immersive où les spectateurs sont invités à interagir avec les mouvements de bancs de poissons. Via l'utilisation d'éléments visuels, sonores et interactifs tels que la technologie Kinect et l'algorithme des boîds de Craig Reynolds, les visiteurs sont plongés dans un environnement qui stimule leurs sens et vise à provoquer des émotions afin de les sensibiliser aux enjeux liés à la surpêche de manière tangible, didactique et ludique. Différentes émotions peuvent être suscitées, allant d'émotions positives telles que la sérénité ou le bien-être provoquées par le son envoûtant du chant des

baleines ou encore l'aspect harmonieux et fluide des motifs créés par le banc de poissons ou bien encore l'amusement et l'excitation liés au côté ludique de notre installation; aux émotions plus négatives telles que l'inquiétude, la tristesse ou la compassion, dûes à la prise de conscience de l'impact de la surpêche sur les espèces marines. En captant et en projetant les mouvements du spectateur sous la forme d'un filet de pêche au milieu de bancs de poissons, le projet crée une connexion entre l'individu et l'impact de ses actions sur l'environnement.

La complémentarité entre étudiants en art et en sciences cognitives apporte des perspectives enrichissantes sur la manière dont les spectateurs perçoivent et interagissent avec un environnement artistique et soulève des questions sur l'interaction homme-machine, l'engagement cognitif et la perception sensorielle. En faisant dialoguer l'esthétique et la technologie, ce projet vise à transcender les frontières disciplinaires et à montrer comment art et science peuvent s'enrichir mutuellement pour favoriser une prise de conscience et un engagement.

Ce projet s'inscrit modestement dans les pas du génie de la Renaissance qui a consacré sa vie à tenter de comprendre la nature du vivant. L'utilisation optimale des sens dans ses observations, la mise à profit de son talent prolifique d'artiste dans l'étude des formes naturelles et la mise à l'épreuve répétée de ses hypothèses par l'expérimentation ont contribué à faire de Léonard de Vinci le véritable pionnier de la démarche scientifique en même temps qu'un des plus grands artistes de tous les temps. L'initiative de la *Valse halieutique* s'inspire de l'approche holistique et du désir de comprendre et de représenter la nature dans toute sa complexité de ce visionnaire et témoigne de l'influence durable de la rencontre entre l'art et les sciences en nous invitant à continuer d'explorer les possibilités infinies de cette alliance créative.

Annexe

Pour utiliser et explorer le livrable final, produit au cours du projet :

- télécharger la version 4.2 du logiciel Processing à l'adresse <https://processing.org/download>
- télécharger les bibliothèques suivantes :
 - OpenKinectForProcessing
 - DeepVision
 - GifAnimation
 - OpenCV
 - SimpleOpenNI
 - Video Library for Processing 4
- télécharger le dossier comprenant les codes à l'adresse suivante (choisir le dossier "Kinect" ou "Webcam" en fonction du matériel à disposition) :
https://drive.google.com/drive/folders/1ErCDZr4wBgiKa8q1GpDaUnNc8B0cS-Uv?usp=drive_link

Vous avez la possibilité de modifier :

- l'arrière-plan sans contrainte de taille d'image en remplaçant le fichier *fond.png* (le programme prévoit de l'ajuster à la taille de de l'écran)
- les sprites des poissons et du filet en remplaçant respectivement les fichiers *poisson_frames.png* et *filet.png*

Bibliographie

- Aoki, I. (1982). A simulation study on the schooling mechanism in fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 48(8):1081–1088.
- AssociationADAN (2007). *Bubbles // Wolfgang Münch - Kiyoshi Furukawa* [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=19KN71tELL4>.
- Bacanin, N., Zivkovic, M., Stoean, C., Antonijevic, M., Janicijevic, S., Sarac, M., & Strumberger, I. (2022). Application of Natural Language Processing and Machine Learning Boosted with Swarm Intelligence for Spam Email Filtering. *Mathematics*, 10(22), 4173.
- Bedau, M. A. (1998) 'Philosophical Content and Method of Artificial Life.' In: Bynum, T. W. and Moor, J. H. (eds) *The Digital Phoenix: How Computers Are Changing Philosophy*. Blackwell, Oxford: 135–152.
- Belaën, F. (2003) *L'analyse de l'apparition d'un nouveau genre culturel dans les musées des sciences : les expositions d'immersion*. [communication par affiche]. X^e Colloque bilatéral franco-roumain. CIFSIC Université de Bucarest. https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00000734.
- Bossavit, B., & Parsons, S. (2016). " This is how I want to learn" High Functioning Autistic Teens Co-Designing a Serious Game. In *Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems*, 1294-1299.
- Bravo, C. B., Ojeda-Castelo, J. J., & Piedra-Fernandez, J. A. (2017). Art activities with Kinect to students with cognitive disabilities: Improving all motor skills. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 237, 1148-1151.
- Chen, S., Maeda, Y., & Takahashi, Y. (2012). Music conductor gesture recognized interactive music generation system. In *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems* (pp. 840-845). IEEE.
- Clay, J. (1971). *L'impressionnisme*. Réalités.
- Chaudet, B. (2017). *La musique et la transe*. SOS discernement. <https://sosdiscernement.org/la-musique-et-la-transe/>.
- Chevreur, M. E. (1839). *De la loi de contraste simultanée des couleurs, et de l'assortiment des objets colorés: considéré d'après cette loi dans ses rapports avec la peinture, les tapisseries des Gobelins, les tapisseries de Beauvais pour meubles, les tapis, la mosaïque, les vitraux colorés, l'impression des étoffes, l'imprimerie, l'enluminure, la décoration des édifices, l'habillement et l'horticulture*. Texte (Vol. 1). Pitois-Levrault.
- Constellations. *Brochure Festival international des arts numériques de Metz* (2022). https://metz.fr/fichiers/2022/06/08/C2022_BAT_Brochure_A5_WEB_planches.pdf.
- Couzin, I. D., & Krause, J. (2003). Self-organization and collective behavior in vertebrates.

- Advances in the Study of Behavior, 32(1), 10-1016.
- Cui, X., Gao, J., & Potok, T. E. (2006). A flocking based algorithm for document clustering analysis. *Journal of systems architecture*, 52(8-9), 505-515.
- Dewey, R. (2018). *Hack the Experience : Tools for Artists from Cognitive Science*. Brainstorm Books.
- Food and Agriculture Organization, (2022). La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome, FAO.
- Fatherubu (2019, 10 mai). *Molécule : Un son unique pour un artiste hors normes*. Weirdsound.net.
<https://weirdsound.net/molecule-un-son-unique-pour-un-artiste-hors-normes/>
- Fréon, P. (1984). La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons I: Observations et interprétation. *Oceanologica Acta*, 7(4), 457-468.
- Guo, K., Fan, A., Lehto, X., & Day, J. (2021). Immersive Digital Tourism: The Role of Multisensory Cues in Digital Museum Experiences. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 0(0).
- Greenfield, G., Machado, P. (s.d.). *Swarm Art*.
<https://cdv.dei.uc.pt/wp-content/uploads/2017/11/gm14b.pdf>.
- Jolles, J. W., Boogert, N. J., Sridhar, V. H., Couzin, I. D., & Manica, A. (2017). Consistent individual differences drive collective behavior and group functioning of schooling fish. *Current Biology*, 27(18), 2862-2868.
- Kinect. (2023, 15 juin). Dans *Wikipédia*. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Kinect>.
- Lebas, F. (2005). Essai sur le son : dispositif scénique et espace kinesthésique dans la musique électronique. *Sociétés*, 4(90), 99-108.
- Lopez, V. (2008). La création du Monde: La philosophie entre art et science: (Le Traité du Monde de Descartes lu à la lumière de la modernité artistique de Proust et Kubrick). *Revue de Métaphysique et de Morale*, (04), 517-533.
- Melin, A., Figueroa, Y et De Mattos, L. (2019, 17 janvier). *Quelle(s) expériences(s) les spectateurs retiennent-ils des expositions numériques immersives ?*. Les Mondes Numériques.
<https://www.lesmondesnumeriques.net/2019/01/17/quelles-experiences-les-spectateurs-retiennent-ils-des-expositions-numeriques-immersives/>.
- Pyae, A., Raitoharju, R., Luimula, M., Pitkäkangas, P., & Smed, J. (2016). Serious games and active healthy ageing: a pilot usability testing of existing games. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 16(1), 103-120.
- Reynolds, C. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In *Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 25-34.

- Reynolds, C. (2001). Boids background and update. <http://www.red3d.com/cwr/boids/>.
- Rodrigues, D. G., Grenader, E., Nos, F. D. S., Dall'Agnol, M. D. S., Hansen, T. E., & Weibel, N. (2013). MotionDraw: a tool for enhancing art and performance using kinect. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1197-1202.
- Rosenthal, S. B., Twomey, C. R., Hartnett, A. T., Wu, H. S., & Couzin, I. D. (2015). Revealing the hidden networks of interaction in mobile animal groups allows prediction of complex behavioral contagion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(15), 4690-4695.
- Sherman, C. S., Simpfendorfer, C. A., Pacoureau, N., Matsushiba, J. H., Yan, H. F., Walls, R. H., ... & Dulvy, N. K. (2023). Half a century of rising extinction risk of coral reef sharks and rays. *Nature Communications*, 14(1), 15.
- Sterelny, K. (1997). Universal biology. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 48(4), 587-601.
- The Absolut Company Creation (s.d.). *Brain Performance Mix*. <https://www.theabsolutcompanycreation.com/#intro>.
- Webster, M. M., & Ward, A. J. (2011). Personality and social context. *Biological reviews*, 86(4), 759-773.
- Wheeler, M., Bullock, S., Paolo, E. D., Noble, J., Bedau, M., Husbands, P., ... & Seth, A. (2002). The view from elsewhere: Perspectives on ALife modeling. *Artificial Life*, 8(1), 87-100.