



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

SEGAE : Un jeu sérieux pour enseigner l'agroécologie

J. Jouan¹, M. Carof¹, O. Godinot¹

L'apprentissage de l'agroécologie requiert d'acquérir des connaissances interdisciplinaires tout en développant une approche systémique. Le jeu sérieux SEGAE est conçu pour faciliter cet apprentissage. Il permet de comprendre de manière ludique les impacts de pratiques agroécologiques sur la durabilité d'une ferme de polyculture-élevage.

RESUME

Pour favoriser l'apprentissage de l'agroécologie, le jeu sérieux SEGAE (SErious Game for AgroEcology) a été construit. Ce jeu de simulation en ligne représente une ferme de polyculture-élevage dans laquelle le joueur (par exemple, un étudiant en formation agricole) peut mettre en œuvre des pratiques agroécologiques puis en analyser les impacts en termes de durabilité. Cet article donne une vue d'ensemble du jeu et analyse son intérêt sur le plan pédagogique. Pour cela, nous avons réalisé des tests sur une cohorte d'étudiants pour évaluer leurs connaissances en agroécologie avant et après avoir utilisé SEGAE. Les résultats montrent que les étudiants ont amélioré leurs connaissances, tout en appréciant jouer à SEGAE.

SUMMARY

SEGAE: A serious game to teach agroecology

Learning agroecology is challenging especially since most agricultural graduate programs in Europe do not develop enough a system approach. To improve agroecology learning, we built the online simulation game SEGAE (SErious Game for AgroEcology). This game represents an integrated crop-livestock farm where the player can introduce agroecological practices and analyze their impacts of the farm sustainability. This article gives an overview of the game and analyzes its pedagogical interest. To do so, we performed tests on a cohort of students to assess their knowledge in agroecology before and after using SEGAE. The results show that the students improved their knowledge while enjoying playing this game. SEGAE was designed to be scalable, the active contribution of users would allow this tool to be perfected and adapted to other European contexts and pedagogical objectives.

L'agroécologie représente un levier pertinent pour réconcilier les objectifs environnementaux, économiques et sociaux en matière de durabilité agricole (FAO 2019 ; Gliessman 2014a). Les pratiques relevant de l'agroécologie visent à **favoriser les services écosystémiques**, dont la production agricole, tout en limitant les impacts environnementaux à travers une **diminution de l'utilisation d'intrants** d'origine anthropique (Altieri et Farrell, 2018 ; Dumont *et al.*, 2013). Par exemple, le développement d'une grande diversité de fourrages, en particulier ceux intégrant des légumineuses, peut favoriser la biodiversité tout en limitant le recours aux intrants riches en azote comme les engrais ou les tourteaux de soja (Voisin *et al.*, 2014).

Cependant, l'apprentissage de l'agroécologie peut être difficile : la plupart des cursus d'études supérieures agricoles en Europe sont en effet peu adaptés pour l'enseigner, en raison d'une double faiblesse.

Premièrement, ces cursus sont généralement spécialisés en termes de disciplines, ce qui ne conduit pas les étudiants à développer des **approches interdisciplinaires** (Francis *et al.*, 2008). Deuxièmement, ces cursus ne sont pas suffisamment basés sur des **approches systémiques**, ce qui limite la représentation des relations complexes entre les pratiques, la production agricole et la durabilité de l'agriculture (Francis *et al.*, 2011).

Pour favoriser l'apprentissage de l'agroécologie et de ses pratiques, des **supports innovants comme les jeux sérieux** ont été identifiés (Duru *et al.*, 2015). Ces jeux sont conçus pour faciliter l'acquisition de connaissances tout en proposant des activités ludiques (Abt, 1970). En ce qui concerne les jeux sérieux relatifs à l'agriculture, la plupart d'entre eux sont des jeux de plateau (Couvreur *et al.*, 2018 ; Dumont *et al.*, 2020 ; Loriot et Gowthorpe, 2017 ; Vaulot *et al.*, 2018). Certains autres jeux se concentrent sur une partie restreinte des

AUTEURS

1 : SAS, INRAE, Institut Agro, 35042 Rennes, France ; olivier.godinot@agrocampus-ouest.fr

MOTS-CLES : Durabilité ; pratiques agroécologiques ; intégration culture-élevage ; approche système ; interdisciplinarité ; pédagogie

KEY-WORDS : Sustainability ; agroecological practices ; crop-livestock integration ; system approach ; interdisciplinarity ; teaching abilities

REFERENCE DE L'ARTICLE : Jouan J., Carof M., Godinot O., (2021). « SEGAE : un jeu sérieux pour enseigner l'agroécologie », Fourrages, 246, 1-9

systèmes agricoles, la production végétale ou animale, souvent sans intégrer les dimensions socio-économiques (Calsamiglia *et al.*, 2020 ; Dourmad *et al.*, 2013). En effet, représenter les différentes unités d'un système de production est une tâche délicate où les gestions des cultures et du bétail sont fortement intégrées, en particulier dans les systèmes agroécologiques (Dumont *et al.*, 2020). Enfin, à notre connaissance, il n'y a pas de jeu sérieux qui met en avant l'agroécologie comme un levier pour améliorer les trois piliers de la durabilité.

Pour **faciliter l'apprentissage de l'agroécologie**, nous avons construit le jeu sérieux SEGAE (SErious Game for AgroEcology learning ; <https://rebrand.ly/SEGAE>). Ce jeu est le principal livrable du projet Erasmus + SEGAE, qui a associé six universités européennes de Belgique, France, Italie et Pologne. SEGAE s'adresse particulièrement aux étudiants en cycles universitaires dans des domaines liés à l'agriculture (comme les écoles d'agronomie ou d'agriculture) mais peut également être utilisé par des étudiants en médecine vétérinaire, des élèves de lycées agricoles et des techniciens et conseillers en formation continue. Les objectifs de cet article sont (1) de présenter une vue d'ensemble de SEGAE, (2) de montrer ses intérêts et limites sur le plan pédagogique.

1. Méthode

1.1. Développement de SEGAE

◆ Vue d'ensemble

SEGAE est un **jeu de simulation agricole en ligne** qui représente une ferme de polyculture-élevage bovin laitier (Jouan *et al.*, Submitted). Ce type de ferme a été choisi en raison de son importance dans tous les pays partenaires et de la diversité des pratiques agroécologiques qui peuvent y être mises en place, notamment en faisant varier le degré d'intégration entre les cultures et l'élevage. SEGAE inclut un **ensemble de pratiques agroécologiques liées aux productions végétales et animales** et à la gestion paysagère de l'exploitation, et donne la possibilité au joueur d'évaluer les impacts de ces pratiques sur les trois piliers de la durabilité.

SEGAE a trois objectifs pédagogiques principaux. Premièrement, le joueur doit **acquérir des connaissances interdisciplinaires** sur un ensemble de pratiques agroécologiques en comprenant leurs impacts sur le système de production. Deuxièmement, le joueur doit **comprendre les intérêts d'une approche**

systémique en évaluant les impacts combinés de plusieurs pratiques sur l'ensemble du système de production. Troisièmement, le joueur doit améliorer ses compétences sur la **gestion des transitions** en testant plusieurs options pour atteindre des objectifs donnés avec des ressources limitées. Une caractéristique importante liée à ces trois objectifs est l'absence d'équilibre automatique dans le jeu : le joueur doit vérifier par lui-même la cohérence des pratiques agroécologiques qu'il choisit. Par exemple, les surfaces allouées aux prairies doivent permettre de répondre aux besoins du bétail en termes de pâturage et de fourrages conservés si les rations comprennent de l'herbe.

◆ Le modèle sous-jacent

SEGAE est basé sur un modèle spécifiquement créé pour ce jeu (Jouan *et al.*, Submitted). Le modèle comporte trois éléments : (i) une matrice, (ii) un module de calcul, et (iii) une interface graphique représentant la ferme. La matrice inclut les impacts de 124 pratiques sur 575 indicateurs. La plupart des pratiques agroécologiques sont issues de deux études (Dumont *et al.*, 2013 ; Wezel *et al.*, 2014). Elles ont trait à la **gestion des cultures, du bétail, du paysage ainsi qu'aux décisions stratégiques** comme la répartition des bénéfices agricoles ou une conversion à l'agriculture biologique. Les indicateurs reflètent les aspects techniques, économiques, environnementaux et sociaux de la ferme. Le joueur n'a accès qu'à une sélection d'indicateurs les plus utiles pour lui, le reste servant à des calculs internes. En particulier, 25 de ces indicateurs sont accessibles en permanence dans l'interface graphique et constituent un arbre de durabilité. Cette représentation permet d'avoir une vue détaillée de la durabilité du système de production tout en donnant un score de durabilité globale.

Le modèle ne simule pas de manière mécaniste les processus biologiques affectés par les pratiques mais représente directement leurs impacts sur les indicateurs appropriés. Ainsi, **chaque pratique influence un ou plusieurs indicateurs à travers des facteurs** multiplicatifs ou additifs inclus dans la matrice. Ces facteurs ont été déterminés à partir (i) d'une revue bibliographique d'articles scientifiques ou techniques, (ii) de méthodes de calcul spécifiques (comme la méthode « Bilan azote » du COMIFER), et (iii) de l'expertise des chercheurs participant au projet. Le tableau 1 représente un extrait de la matrice de SEGAE (la matrice complète est disponible dans le *data paper* de Jouan *et al.*, (Submitted)). Le pas de temps du modèle est annuel, ce qui signifie qu'un tour de jeu correspond à une année.

Catégorie de pratique	Nom de la pratique	Indicateur			
		Technique	Environnemental	Social	Economique
		Rendement du blé d'hiver	Quantité de pollinisateurs	Bien-être animal	Charges opérationnelles
Travail du sol	Labour	1,00	1,00		1,00
	Travail du sol réduit	1,00	1,01		0,90
	Pas de travail du sol	0,92	1,03		0,80
Rotation ^a	Maïs-blé		1,00		1,00
	Colza-blé-maïs-blé		1,02		1,00
	Féverole-blé-colza-maïs		1,04		1,10
	Prairie (3 ans)-maïs-blé		1,03		0,70
Prairie temporaire	100% graminées		1,00		
	Mélange simple légumineuses-graminées		1,02		
	Mélange complexe légumineuses-graminées		1,058		
Prairie permanente	Part limitée de la SAU (10%)		0,80		
	Part importante de la SAU (20%)		1,00		
Gestion des paysages ^a	Absence de surfaces d'intérêt écologique		0,89		
	Bandes enherbées ou fleuries		1,45		
	Haies		1,45		
	Agroforesterie		1,45		
Ration	Maïs, soja			1,00	
	4 mois de pâturage, soja			1,31	
	8 mois de pâturage, féverole			1,63	
	9 mois de pâturage, sans concentré			1,70	
Gestion du risque de mammite ^b	Traitement antibiotique systématique			1,00	
	Traitement antibiotique sélectif			1,00	
	Mesures préventives d'hygiène			0,98	

Dans cet extrait de la matrice, les impacts des pratiques sont représentés par des facteurs multiplicatifs qui modifient la valeur initiale des indicateurs associés. ^a Toutes les pratiques liées à cette catégorie ne sont pas représentées ; ^b Uniquement pendant la période de tarissement de la vache.

TABLEAU 1 : Extrait de la matrice SEGAE qui représente des impacts de pratiques agricoles sur quelques indicateurs
Table 1: Extract from SEGAE's matrix of impacts of farm practices on various farm indicators

1.2. Jouer à SEGAE

◆ Un jeu interactif

L'interface graphique représente une ferme de polyculture-élevage avec une habitation et des bâtiments professionnels (hangars, étable), des parcelles et des animaux, des machines agricoles (Figure 1) et des éléments paysagers. **Neuf icônes cliquables indiquent les dimensions stratégiques** dans lesquelles les pratiques sont rassemblées pour optimiser la jouabilité. Par exemple, dans la dimension « Système d'alimentation » sont regroupées les pratiques culturelles de gestion des systèmes de culture et les pratiques animales de gestion des rations : ceci pour aider le joueur à maintenir une cohérence entre productions végétale et animale lorsqu'il choisit ces pratiques. En cliquant sur l'une de ces neuf icônes, le joueur choisit les pratiques qu'il souhaite mettre en œuvre sur sa ferme. Chaque pratique est définie par un conseiller agricole virtuel qui explique également au joueur les principaux impacts potentiels des pratiques, ainsi que leurs conditions de mise en œuvre dans le jeu (par exemple, il n'est possible d'augmenter la surface des prairies permanentes qu'une seule fois dans le jeu,

sans retour en arrière). Une dixième icône appelée « Entrepôt » permet au joueur d'**analyser les principaux résultats technico-économiques** de la ferme : production et exportation de cultures, de lait et d'animaux, intrants achetés, calendrier de travail, résultats économiques. A chaque coin de l'image, des zones noires aident le joueur à se situer dans le jeu (par exemple, l'année en cours) et à évaluer ses choix. En particulier, un clic sur la zone « Rapport » ouvre une fenêtre avec une **description détaillée de l'évolution des scores de durabilité au fil des années**. En complément de ces zones, une jauge centrale toujours visible ainsi que trois jauges secondaires escamotables donnent un aperçu des scores de durabilité. De plus, pour renforcer le caractère ludique du jeu, le joueur obtient un score de jeu qui peut être comparé à ceux d'autres joueurs.

Le joueur peut changer **un maximum de 5 pratiques** par an (pour le mode solo, voir chapitre suivant). Puis, en cliquant sur la zone « Année suivante », ses choix sont validés et le jeu calcule les impacts sur les indicateurs, et affiche un ensemble d'indicateurs de durabilité ainsi que des indicateurs techniques. Le score du joueur commence à zéro et augmente chaque année en cumulant le plus bas des

trois scores de durabilité année après année. En fonction des pratiques choisies, **l'interface graphique évolue**. Par exemple, mettre en œuvre de l'agroforesterie et des haies ajoute des arbres et des haies ; diminuer l'érosion modifie la couleur de la rivière ; enfouir ses pailles fait disparaître les balles de paille dans les champs ; changer les bâtiments pour des logettes sur caillebotis transforme la fumière en une fosse à lisier ; convertir la ferme à l'agriculture biologique fait disparaître le tracteur portant le pulvérisateur.

L'interface graphique a été programmée par Succubus Interactive, une société française spécialisée dans l'élaboration de jeux sérieux numériques (<https://www.succubus.fr>).

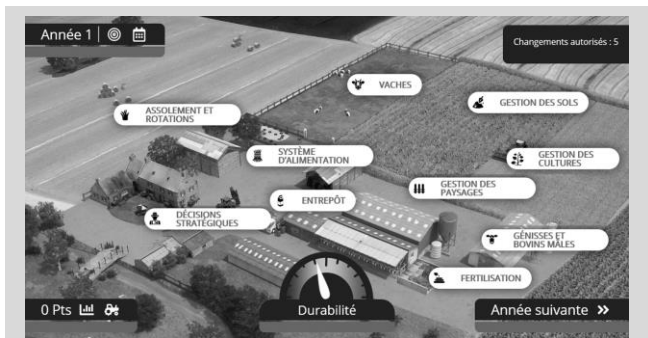


FIGURE 1 : L'interface graphique de SEGAE (SErious Game for AgroEcology) avec les dimensions stratégiques et le score de durabilité de la ferme

Figure 1: The graphical interface of SEGAE (SErious Game for AgroEcology) with its strategic dimensions and a sustainability score of a mixed crop and dairy farm

◆ Utilisation de SEGAE lors d'activités pédagogiques

Deux modes de jeu sont disponibles. Tout d'abord, un **mode « solo » où le joueur est autonome**, et doit atteindre le meilleur score de durabilité, en ayant au minimum une note de 0,6 sur 1 à chaque pilier de la durabilité à la fin de la partie (*i.e.*, au bout de 10 ans ou 10 tours de jeu). Des **aléas prédéfinis** (par exemple, une sécheresse, des variations du prix du lait ou des intrants) surviennent avec des probabilités d'occurrence fixées par les concepteurs. À la fin de la partie, si le joueur a gagné (*i.e.*, il a eu au minimum une note de 0,6 à chaque pilier de la durabilité) et qu'il est connecté avec son login / mot de passe, alors son score final est enregistré dans le tableau de bord publié sur le site web du jeu. Deuxièmement, un **mode « salle de classe » où le joueur rejoint une partie de jeu créée par un enseignant**. L'enseignant peut définir (i) les principaux paramètres de la ferme, (ii) les objectifs spécifiques à atteindre, et (iii) le type et le risque d'apparition des aléas. En fin de partie, le suivi des scores permet à l'enseignant d'analyser les différentes stratégies des joueurs et d'échanger avec eux, (par exemple, en demandant à un joueur d'expliquer les étapes qui l'ont conduit à obtenir tel ou tel score).

Le mode de jeu « salle de classe » est particulièrement conçu pour être utilisé dans le cadre d'activités pédagogiques qui doivent inclure (i) une **présentation des objectifs d'apprentissage** et un aperçu du jeu, (ii) **une ou plusieurs sessions de jeu** avec un ou plusieurs scénarios adaptés à l'objectif pédagogique et au niveau des élèves, et (iii) **une discussion sur les résultats**, la méthodologie et les limites du jeu avec l'enseignant. En raison de la grande capacité de personnalisation de SEGAE, les enseignants peuvent développer un grand nombre de scénarios pédagogiques. A titre d'exemple, les concepteurs ont imaginé quatre scénarios pour atteindre différents objectifs pédagogiques :

- ❖ **Le scénario « Découvrir »** : le joueur explore les dimensions stratégiques du jeu et les pratiques associées, avec un objectif simple qui est d'améliorer la durabilité globale. Ce scénario aide les joueurs à prendre en main le jeu et à comprendre petit à petit les impacts des pratiques sur la durabilité.
- ❖ **Le scénario « Penser système »** : le joueur doit améliorer la durabilité globale en modifiant les pratiques liées aux productions végétale et animale. Ce scénario aide le joueur à mieux comprendre les interconnexions étroites des productions végétale et animale.
- ❖ **Le scénario « Maximiser un indicateur »** : le joueur doit améliorer un indicateur spécifique de la ferme (par exemple, le bien-être des animaux) en développant une stratégie étape par étape. Ce scénario est particulièrement adapté à l'apprentissage en groupe, car il permet aux joueurs d'échanger des points de vue et des connaissances ; il peut être particulièrement intéressant de le mettre en place avec un groupe réunissant des étudiants de différentes disciplines.
- ❖ **Le scénario « Réaliser des compromis »** : le joueur doit améliorer un indicateur sans dégrader un autre indicateur en dessous d'un certain seuil (par exemple, réduire l'utilisation des pesticides sans diminuer le revenu). Ce scénario aide le joueur à mieux comprendre les compromis potentiels et les synergies entre les différents aspects de la durabilité. Il peut être joué seul ou par de petits groupes de joueurs.

1.3. Evaluation d'usage de SEGAE

◆ Description de l'atelier pédagogique servant à l'évaluation

Un atelier pédagogique d'une semaine a été organisé en février 2020 avec des étudiants et des enseignants des universités partenaires du projet SEGAE. Son objectif était d'évaluer **l'intérêt de SEGAE en tant qu'outil d'apprentissage**, en particulier sa

capacité à (i) aider les étudiants à apprendre l'agroécologie, et (ii) à les mettre en flux d'apprentissage (i.e., sa capacité à intégrer les étudiants-joueurs dans un processus cognitif d'apprentissage, continu et interactif) (Csikszentmihalyi, 1990).

L'atelier se composait de trois sessions complémentaires. Tout d'abord, une visite d'une demi-journée d'une ferme a été organisée pour découvrir et s'interroger avec des agriculteurs sur la mise en œuvre de pratiques agroécologiques sur le terrain. Deuxièmement, six heures de conférences ont été dispensées sur les principaux aspects de l'agroécologie (sous l'angle des disciplines suivantes : agronomie, zootechnie, écologie, économie et sociologie), ainsi que sur l'évaluation de la durabilité. Troisièmement, six heures de jeu ont été organisées autour des quatre scénarios présentés plus haut.

L'atelier a réuni 52 étudiants, de différents niveaux (du master 1 au doctorat) et différents cursus (Tableau 2). En fonction des cursus, les étudiants étaient plus ou moins spécialisés dans leur domaine, avec par exemple des étudiants vétérinaires très spécialisés ou des étudiants agronomes plus généralistes.

◆ Analyse d'enquêtes auprès des étudiants

Deux enquêtes ont été réalisées au cours de l'atelier. Une première enquête, dite de connaissances, avait pour objectif d'évaluer les connaissances individuelles en agroécologie des étudiants. Cette évaluation était basée sur un test « avant/après », une approche courante pour tester les effets des nouvelles méthodes d'enseignement (Dugard et Todman, 1995). Ainsi, les étudiants ont répondu deux fois au même questionnaire, une première fois en début de semaine, avant toute visite, conférence ou session de jeu (ci-après, « évaluation initiale ») ; une seconde fois, à la fin de la semaine, après toutes les visites, conférences et sessions de jeu (ci-après, « évaluation finale »). Seuls quatre étudiants français n'ont pas répondu à l'enquête puisqu'ils avaient contribué à son élaboration. Le questionnaire comportait 21 questions à choix multiple ou ouvertes : 10 spécifiques à la production végétale, 4

spécifiques à la production animale et 7 questions générales. Pour faciliter l'interprétation des résultats, les notes des étudiants ont été converties en un pourcentage de la note maximale, qui était de 39 points.

La seconde enquête, dite de perception, avait pour objectif d'évaluer la perception par les étudiants du jeu et de l'atelier dans son ensemble. En particulier, cela devait permettre de caractériser les états de flux d'apprentissage vécus grâce au jeu, en utilisant les huit facteurs d'EgameFlow de Fu *et al.*, (2009) :

- **Concentration** : le jeu doit proposer des activités qui encouragent la concentration du joueur tout en minimisant le stress dû à la surcharge d'apprentissage.
- **Objectif clair** : les tâches doivent être clairement définies au début des sessions de jeu.
- **Rétroaction** : une rétroaction régulière doit être donnée pour permettre au joueur de déterminer l'écart entre leur stade actuel de connaissances et le stade cible.
- **Défi** : le jeu doit proposer des défis qui correspondent aux niveaux de compétence du joueur.
- **Autonomie** : le joueur doit prendre plaisir à prendre des initiatives lors des sessions de jeu et à exercer un contrôle total sur ses choix.
- **Immersion** : le jeu doit conduire le joueur dans un état d'immersion, qui se caractérise notamment par une altération du sens du temps.
- **Interaction sociale** : les actions du jeu doivent favoriser les interactions sociales du joueur avec d'autres.
- **Acquisition de connaissances** : le jeu doit accroître les connaissances du joueur.

Les étudiants ont répondu à l'enquête à la fin de l'atelier. Deux étudiants n'ont pu participer en raison de problèmes techniques. L'enquête contenait quatre questions ouvertes sur l'atelier et un inventaire, de type Likert, de 45 énoncés : 2 à 5 énoncés pour évaluer

Université	Pays	Formation d'ingénieur (ou multidisciplinaire)					Mécatronique	Vétérinaire	Sciences du végétal
		Agro-écologie	Sciences animales	Agronomie	Economie	Sciences de l'environnement			
ESA	France		3	6					
Institut Agro	France	4		2	3				
Oniris	France						8		
ULiège	Belgique	2		4		3			
UAK	Pologne		3				4	1	
UNIBO	Italie							9	
TOTAL		6	6	12	3	3	4	9	

Notes: ESA = Ecole Supérieure d'Agricultures ; Institut Agro = Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement ; Oniris = Ecole nationale vétérinaire, agroalimentaire et de l'alimentation de Nantes-Atlantique ; ULiège = Université de Liège ; UAK = Université d'agriculture de Cracovie, UNIBO = Université de Bologne.

TABLEAU 2 : Cursus et discipline de spécialisation des 52 étudiants qui ont participé à l'atelier

Table 2 : Curriculum and field of specialization of the 52 students who took part in the intensive one-week training session.

chacun des huit facteurs de flux cités précédemment (exemple d'énoncé : « les objectifs généraux du jeu ont été présentés clairement »). Chaque énoncé était noté sur quatre points (de 1 = pas du tout d'accord à 4 = tout à fait d'accord).

2. Résultats

2.1. L'acquisition de connaissances grâce à SEGAE

Lors de l'évaluation initiale, les étudiants ont obtenu une note moyenne de 43%. Les notes différaient grandement d'un cursus de formation à l'autre : les étudiants formés aux sciences du végétal et agronomie (Tableau 2) avaient les notes les plus élevées (51%), tandis que ceux formés en mécanique avaient les plus faibles (14%). Lors de l'évaluation finale, la note moyenne des étudiants était significativement plus élevée qu'à l'évaluation initiale (corrélation de Pearson, $p < 0,001$), avec une note moyenne finale de 51%. **Les étudiants ont ainsi acquis de nouvelles connaissances grâce aux sessions de jeu, aux conférences et à la visite.** 33 étudiants sur 48 ont amélioré leur note, 6 ont eu la même note et 9 ont obtenu une note plus faible (Figure 2). Les notes des évaluations initiale et finale étaient corrélées positivement (corrélation de Pearson, $r = 0,69$;

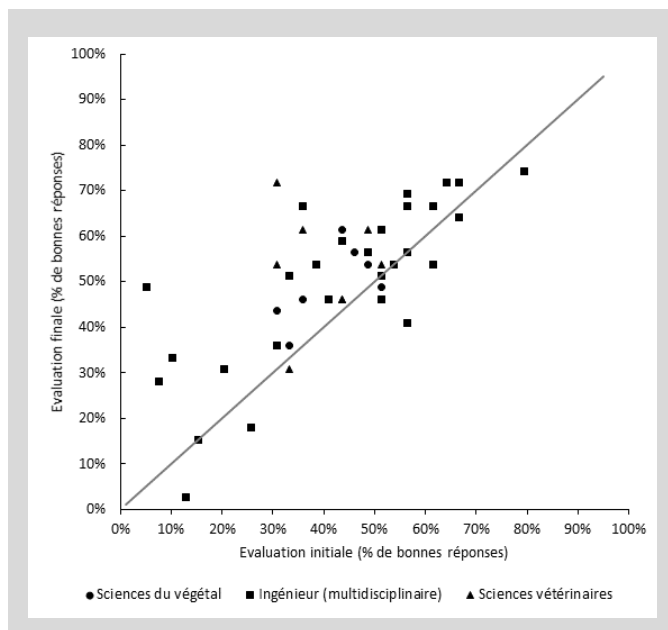


FIGURE 2 : Comparaison des notes moyennes des étudiants aux évaluations initiale et finale de connaissances, regroupées selon leur discipline de formation : sciences du végétal (UNIBO), multidisciplinaires (tous les élèves ingénieurs) et sciences vétérinaires (Oniris et UAK).

Figure 2: *Comparison of students' mean scores on the pre-test and post-test knowledge surveys, by their curriculum: Crop science (UNIBO), multidisciplinary (all engineering students), and veterinary sciences (Oniris and UAK).*

$p < 0,001$) : les étudiants qui avaient les notes les plus élevées en début d'atelier ont également eu les notes les plus élevées en fin d'atelier.

2.2. Perception de SEGAE par les étudiants et son évaluation à travers l'analyse des facteurs de flux

Les étudiants ont apprécié SEGAE puisque lors de l'enquête de perception, 86% des étudiants étaient « d'accord » ou « tout à fait d'accord » avec les affirmations « J'ai aimé jouer à ce jeu » et « Je conseillerais aux étudiants de mon université de jouer à ce jeu de simulation ». Plus précisément, les étudiants ont évalué positivement le rôle de SEGAE sur l'ensemble des facteurs de flux, avec une note moyenne globale de 2,96 points sur 4,00. Les étudiants ont particulièrement bien évalué le jeu concernant son intérêt pour l'acquisition de connaissances, l'interaction sociale qu'il permet et la rétroaction qu'il offre au joueur (Figure 3).

Les notes des évaluations de connaissances n'étaient pas significativement corrélées à celles de l'enquête de perception. Ainsi, certains étudiants ont apprécié SEGAE même s'ils ne semblent pas avoir considérablement amélioré leurs connaissances.

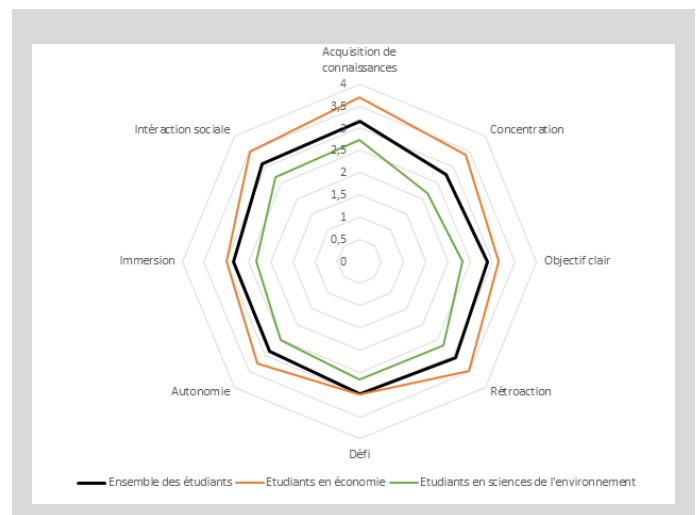


FIGURE 3 : Notes moyennes des huit facteurs de flux obtenues lors de l'enquête de perception par l'ensemble des étudiants, ainsi que par les deux groupes d'étudiants avec les notes les plus élevées et les plus faibles (en économie et en sciences de l'environnement, respectivement).

Figure 3: *Mean scores of the eight flow factors by students on the feedback survey, including those of the two groups of students that gave the highest and lowest scores (in economics and environmental sciences, respectively).*

3. Discussion

SEGAE est un outil innovant pour apprendre l'agroécologie. Il est basé sur un modèle représentant les impacts de pratiques agroécologiques sur un ensemble d'indicateurs qui permettent de caractériser la durabilité d'une ferme. Ce jeu aborde trois principaux

objectifs pédagogiques pour le joueur. Le premier, l'apprentissage des connaissances sur les pratiques agroécologiques, a été analysé grâce à une évaluation de connaissances avant puis après avoir utilisé SEGAE. Les scores obtenus par les étudiants illustrent que cet objectif d'apprentissage semble atteint (Jouan *et al.*, 2020). Par ailleurs, les retours des étudiants lors de cette activité pédagogique, mais également les retours d'enseignants et d'étudiants qui ont utilisé le jeu durant l'année 2020, confortent le côté pédagogique de SEGAE. Le deuxième objectif, acquérir une approche systémique, est plus délicat à évaluer, d'autant que la plupart des étudiants ingénieurs participant à l'atelier pédagogique avaient été préalablement formés à cette approche dans leur cursus. Enfin, le troisième objectif pédagogique, améliorer ses compétences en gestion des transitions, a été illustré dans un **autre article en prenant l'exemple d'une conversion à l'agriculture biologique** issue de deux combinaisons de pratiques différentes (Jouan *et al.*, Submitted). Même si ce troisième objectif n'a pas encore été évalué auprès de joueurs, SEGAE semble être un outil pertinent pour y contribuer car ce jeu propose un apprentissage par « essais/erreurs » où le joueur teste plusieurs combinaisons de pratiques et recherche des indices dans les indicateurs techniques pour améliorer la durabilité (Couvreur *et al.*, 2018). Les résultats de l'enquête de perception démontrent, de plus, que ce mode d'apprentissage, intuitif et libre, est motivant pour les joueurs.

SEGAE possède plusieurs caractéristiques qui font de ce jeu un **outil particulièrement intéressant pour aider les étudiants à apprendre l'agroécologie**. Premièrement, en permettant au joueur d'appliquer des pratiques agroécologiques directement sur une ferme virtuelle puis d'analyser leurs impacts, ce jeu s'insère dans « l'apprentissage par l'action *in silico* ». Cette caractéristique est particulièrement intéressante car elle permet de surmonter le fossé entre les connaissances et l'action, qui est identifiée comme une compétence essentielle pour l'apprentissage de l'agroécologie (Østergaard *et al.*, 2010). Deuxièmement, SEGAE inclut les productions animales, en particulier le lien à la terre, comme un élément central de l'agroécologie, ce qui est peu fait dans la pensée agroécologique (Gliessman, 2014b). Le large éventail de pratiques disponibles dans le jeu, qui met en évidence les interactions entre les différents éléments de la ferme, ainsi que les trois piliers de la durabilité (environnement, économie, aspects sociaux) montre que SEGAE s'insère dans une approche interdisciplinaire. Troisièmement, l'accès en ligne, gratuit et en six langues, ainsi que les documents pédagogiques associés, sont également des atouts pour toucher un large public. Cet aspect a intéressé des enseignants dont les cours ont dû être réalisés à distance pendant la pandémie de COVID19.

En ce qui concerne les limites du jeu, le modèle ayant été élaboré à des fins éducatives, **la représentation des impacts a été simplifiée grâce à**

une approche axée sur les indicateurs. Ce choix conduit à omettre certains impacts liés à des processus complexes et indirects (par exemple, l'effet de la flore prairiale sur la qualité du lait) ou difficiles à évaluer (par exemple, la contribution des pratiques à la valeur esthétique du paysage). Il est donc important de préciser que SEGAE ne s'apparente pas à un modèle de recherche (comme STICS (Brisson *et al.*, 2003)), ni à un outil d'aide à la décision (Rose *et al.*, 2016). Par ailleurs, cette approche par indicateurs peut focaliser les discussions et limiter les discussions sur une approche plus systémique, ou sur certains aspects non renseignés par les indicateurs retenus (Ryschawy *et al.*, 2019). De plus, **le jeu se concentre uniquement sur l'échelle du système de production** : les impacts des pratiques en dehors de la ferme ne sont pas pris en compte (par exemple, les émissions provenant de la production d'intrants ou du changement d'utilisation des terres). Une amélioration possible serait donc d'inclure des données issues d'analyses de cycle de vie dans l'évaluation des pratiques agroécologiques (van der Werf *et al.*, 2020). En outre, l'évaluation de la durabilité globale est basée sur un ensemble d'indicateurs associés à des poids différents. L'équilibre entre ces indicateurs et les trois piliers de la durabilité représente une question importante, qui mérite d'être discutée avec les joueurs. En particulier, **les défis en termes de durabilité sociale devraient être approfondis**, tels que l'augmentation de la charge de travail et la diminution du potentiel de production alimentaire qui peuvent être induites par les pratiques agroécologiques. Enfin, la version actuelle de SEGAE représente seulement une part limitée de la diversité des systèmes de production en Europe, avec quatre systèmes de production réalistes mais non représentatifs de la diversité existant dans chacun des pays concernés (Belgique, France, Italie, Pologne) et un nombre restreint de races bovines et de cultures. Puisque le jeu a été conçu pour être évolutif, il est possible de l'adapter à d'autres systèmes de production de climat tempéré en élaborant de nouvelles fermes avec de nouvelles pratiques et indicateurs. Par contre, adapter le jeu à des contextes très différents, comme les systèmes de production de climat tropical, représenterait un effort considérable (révision de tous les paramètres et coefficients du jeu, modification de la plupart des cultures, modification de certaines équations). Par ailleurs, la nécessité d'un accès à Internet et à du matériel informatique (ordinateurs ou tablettes, les téléphones portables n'ayant pas la taille d'écran requise) peut également être limitante dans certains contextes.

SEGAE a été conçu pour renforcer la formation européenne en agroécologie en proposant **un outil ludique pour acquérir des connaissances sur les pratiques agroécologiques**. Ces pratiques, généralement considérées comme non rentables et sous-optimisées, sont ici représentées de manière interdisciplinaire afin de rendre compte au mieux de leurs intérêts environnementaux, sociaux et

économiques. Une telle approche représente un levier important pour **démocratiser l'agroécologie aussi bien au niveau de futurs professionnels du secteur agricole que de conseillers en activité** (Pflimlin et Faverdin, 2014). De plus, une contribution active des utilisateurs permettra de perfectionner l'outil, de créer de nouveaux scénarios et de tisser des liens au sein de la communauté des enseignants travaillant sur l'agroécologie. Cette communauté s'organise progressivement en proposant des séminaires, cursus internationaux et des ressources en lignes. Par exemple, un MOOC sur l'agroécologie est déjà disponible et complète SEGAE car il propose un contenu plus structuré et théorique sur les pratiques agroécologiques (De Tourdonnet, 2020). Le Dictionnaire de l'Agroécologie est aussi intéressant car il contient des définitions simples de termes liés à l'agroécologie, qui sont souvent mal compris (Batifol-Garandel et al., 2020). Enfin, de nombreuses associations et organismes de développement agricole proposent des formations en présentiel sur l'agroécologie tant pour les novices que pour les agriculteurs. Ces initiatives, qu'elles soient numériques ou non, contribuent grandement à la transition agroécologique de l'agriculture européenne et devraient devenir plus étroitement liées pour accroître leur efficacité.

Conclusion

Pour favoriser l'apprentissage de l'agroécologie, nous avons construit le jeu de simulation en ligne SEGAE (<https://rebrand.ly/SEGAE>). Ce jeu représente une **ferme de polyculture-élevage** au sein de laquelle le joueur peut **introduire des pratiques agroécologiques et analyser leurs impacts sur les trois piliers de la durabilité**. Cet article donne une vue d'ensemble du jeu et de ses intérêts et limites sur le plan pédagogique. SEGAE s'adresse principalement aux élèves de l'enseignement supérieur mais peut également être utilisé dans le secondaire ou en formation continue. Ce jeu a été conçu comme un **outil collaboratif et évolutif** pour que les enseignants qui l'utilisent puissent le transposer à leur propre contexte.

Remerciements : Cette recherche a été financée par la Commission européenne dans le cadre du programme Erasmus + (projet n°2017-1-FR01-KA203-037254) et par la Chaire française d'agroécologie. Cette publication n'engage que ses auteurs et la Commission n'est pas responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Les auteurs remercient les partenaires du projet SEGAE qui ont contribué à la création du jeu : Rim Baccar, Nathalie Bareille, Suzanne Bastian, Delphine Brogna, Giovanni Burgio, Sébastien Couvreur, Michał Cupiał, Marc Dufrière, Benjamin Dumont, Philippe Gontier, Anne-Lise Jacquot, Jarosław Kański, Serena Magagnoli, Joanna Makulska, Guénola Pérès, Aude Ridier, Thibault Salou, Fabio Sgolastra, Anna Szeląg-Sikora, Sylwester Tabor, Barbara Tombarkiewicz et Andrzej Węglarz. Les auteurs remercient également l'informaticien en charge du projet au sein de la société Succubus Interactive : Gildas Pierre.

Article accepté pour publication le 03 mars 2021.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abt C. C., (1970). *Serious Games*, Viking, New York, U.S., 176 p.
- Altieri M. A., Farrell J. G., (2018). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, USA., 433 p.
- Batifol-Garandel V., Couix N., Giuliano S., Hazard L., Magrini M.-B., Sarthou J.-P., (2020). « Dictionnaire de l'Agroécologie », Disponible sur : <https://dicagroecologie.fr>. Site consulté le 1^{er} septembre 2020.
- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussièrre F., Cabidoche Y. M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillère J. P., Hénault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., (2003). « An overview of the crop model stics », *European Journal of Agronomy*, 18(3), 309–332.
- Calsamiglia S., Espinosa G., Vera G., Ferret A., Castillejos L., (2020). « A virtual dairy herd as a tool to teach dairy production and management », *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2896–2905.
- Couvreur S., Hebrard V., Defois J., Potier G., Piva G., Cortés C., Baccar R., (2018). « Utilisation du Rami fourrager© en formation d'ingénieur pour l'acquisition des notions de base du pilotage d'un système fourrager », *Fourrages*, (233), 61–71.
- Csikszentmihalyi M., (1990). « Flow: The psychology of optimal experience », Harper Perennial, New York, U.S., 303 p.
- De Tourdonnet S., (2020). « MOOC Agroécologie », Montpellier SupAgro - FUN MOOC
- Dourmad J.-Y., Adji K., Boulestreau-Boulay A. L., Emeraud L., Espagnol S., (2013). « A 3D-serious game for teaching the environmental sustainability of pig farming systems », *Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAAP)*, Nantes, France, 660 p.
- Dugard P., Todman J., (1995). « Analysis of pre-test-post-test control group designs in educational research », *Educational Psychology*, Routledge, 15(2), 181–198.
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Joven M., Thomas M., Tichit M., (2013). « Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century », *Animal*, 7(6), 1028–1043.
- Dumont B., Modernel P., Benoit M., Ruggia A., Soca P., Dernas S., Tournadre H., Dogliotti S., Rossing W. A. H., (2020). « Mobilizing Ecological Processes for Herbivore Production: Farmers and Researchers Learning Together », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 544828.
- Duru M., Therond O., Martin G., Martin-Clouaire R., Magne M.-A., Justes E., Journet E.-P., Aubertot J.-N., Savary S., Bergez J.-E., Sarthou J. P., (2015). « How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review », *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281.
- FAO, (2019). « Scaling Up Agroecology - Guiding the transition to more sustainable, efficient, equitable and inclusive food systems », 2 p.
- Francis C. A., Jordan N., Porter P., Breland T. A., Lieblein G., Salomonsson L., Sriskandarajah N., Wiedenhoef M., DeHaan R., Braden I., Langer V., (2011). « Innovative education in agroecology: experiential learning for a sustainable agriculture », *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1–2), 226–237.
- Francis C. A., Lieblein G., Breland T. A., Salomonsson L., Geber U., Sriskandarajah N., Langer V., (2008). « Transdisciplinary research for a sustainable agriculture and food sector », *Agronomy Journal*, American Society of Agronomy, 100(3), 771–776.
- Fu F.-L., Su R.-C., Yu S.-C., (2009). « EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games », *Computers & Education*, 52(1), 101–112.
- Gliessman S. R., (2014a). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press, Boca Raton, USA., 406 p.
- Gliessman S. R., (2014b). « Animals in Agroecosystems », *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, CRC Press, Boca Raton, USA, 203–220.
- Jouan J., Carof M., Baccar R., Bareille N., Bastian S., Brogna D., Burgio G., Couvreur S., Cupiał M., Dufrière M., Dumont B., Gontier P., Jacquot A.-L., Kański J., Magagnoli S., Makulska J., Pérès G., Ridier A., Salou T., Sgolastra F., Szeląg-Sikora A., Tabor S., Tombarkiewicz B., Węglarz A., Godinot O., (Submitted). « SEGAE: a serious game to learn agroecology », *Agricultural Systems*.
- Jouan J., Carof M., Baccar R., Bareille N., Bastian S., Brogna D., Burgio G., Couvreur S., Cupiał M., Dufrière M., Dumont B., Gontier P., Jacquot A.-L.,

- Kański J., Magagnoli S., Makulska J., Peres G., Ridier A., Salou T., Sgolastra F., Szeląg-Sikora A., Tabor S., Tombarkiewicz B., Węglarz A., Godinot O., (Submitted). « A dataset for sustainability assessment of agroecological practices in a crop-livestock farming system », *Data in Brief*.
- Jouan J., De Graeuwe M., Carof M., Baccar R., Bareille N., Bastian S., Brogna D., Burgio G., Couvreur S., Cupiał M., Dumont B., Jacquot A.-L., Magagnoli S., Makulska J., Maréchal K., Pérès G., Ridier A., Salou T., Tombarkiewicz B., Sgolastra F., Godinot O., (2020). « Learning interdisciplinarity and systems approaches in agroecology: experience with the serious game SEGAE », *Sustainability*, 12(11), 4351.
- Loriot M., Gowthorpe J., (2017). *Jeu Ruralis*. ACTA éditions/ RMT Biodiversité et Agriculture, Paris, France.
- Østergaard E., Lieblein G., Breland T. A., Francis C., (2010). « Students learning agroecology: phenomenon-based education for responsible action », *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 16(1), 23–37.
- Pflimlin A., Faverdin P., (2014). « Les nouveaux enjeux du couple vache - prairie à la lumière de l'agroécologie », *Fourrages*, 217, 23-35
- Rose D. C., Sutherland W. J., Parker C., Lobley M., Winter M., Morris C., Twining S., Ffoulkes C., Amano T., Dicks L. V., (2016). « Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery », *Agricultural Systems*, 149, 165–174.
- Ryschawy J., Dumont B., Therond O., Donnars C., Hendrickson J., Benoit M., Duru M., (2019). « Review: An integrated graphical tool for analysing impacts and services provided by livestock farming », *Animal*, 13(8), 1760–1772.
- Vaulot Q., Rzewuki D., Rousval V., (2018). *Agro Challenges*. Educagri Editions, Dijon, France.
- Voisin A.-S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-H., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E., (2014). « Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review », *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 361–380.
- Van der Werf H. M. G., Knudsen M. T., Cederberg C., (2020). « Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment », *Nature Sustainability*, Nature Publishing Group, 3(6), 419–425.
- Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A., Peigné J., (2014). « Agroecological practices for sustainable agriculture. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1–20.