



Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

49-50 | 2022
Zones Ateliers & VARIA

Exp'Eau, un jeu sérieux pour explorer les trajectoires d'amélioration de la qualité de l'eau dans les bassins versants ruraux

Exp'Eau, a serious challenge to explore water quality improvement trajectories in rural watersheds

Olivier Barreteau, Isabelle Charpentier, Hélène Blanchoud, Mathieu Bonnefond, Véronique Gouy, Christophe Piscart, Marie-Noëlle Pons, Mélanie Raimonet, Anne Royer et Sébastien Salvador-Blanes



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/7208>

DOI : 10.4000/dynenviron.7208

ISSN : 2534-4358

Éditeur

Université d'Orléans

Édition imprimée

Date de publication : 1 janvier 2022

Pagination : 27-53

ISBN : 978-2-9576053-1-6

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Olivier Barreteau, Isabelle Charpentier, Hélène Blanchoud, Mathieu Bonnefond, Véronique Gouy, Christophe Piscart, Marie-Noëlle Pons, Mélanie Raimonet, Anne Royer et Sébastien Salvador-Blanes, « Exp'Eau, un jeu sérieux pour explorer les trajectoires d'amélioration de la qualité de l'eau dans les bassins versants ruraux », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 49-50 | 2022, mis en ligne le 01 juin 2022, consulté le 16 février 2024. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/7208> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.7208>

Ce document a été généré automatiquement le 16 février 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Exp'Eau, un jeu sérieux pour explorer les trajectoires d'amélioration de la qualité de l'eau dans les bassins versants ruraux

Exp'Eau, a serious challenge to explore water quality improvement trajectories in rural watersheds

Olivier Barreteau, Isabelle Charpentier, Hélène Blanchoud, Mathieu Bonnefond, Véronique Gouy, Christophe Piscart, Marie-Noëlle Pons, Mélanie Raimonet, Anne Royer et Sébastien Salvador-Blanes

Introduction

- 1 Qualité de l'eau et agriculture dans les bassins versants ruraux sont régulièrement mises en opposition (Le Cor, 2021). Selon les représentants majoritaires du secteur agricole, la préservation simultanée de la qualité chimique de l'eau et d'une agriculture viable nécessitera une mise en œuvre longue, difficile et contradictoire (Bonny, 1994). Ce positionnement est cependant mis en débat avec des propositions de pratiques agricoles tenant mieux en compte des enjeux de qualité de l'eau (Leenhardt *et al.*, 2020). En zone rurale, la qualité de l'eau dépend des pratiques agricoles, et aussi des caractéristiques du milieu entre les points d'émission des polluants et le réseau hydrographique, favorisant ou ralentissant les transferts, et permettant ou non la dégradation des molécules de polluants. Les pratiques agricoles à l'échelle des parcelles et les actions à l'échelle du paysage, telles que l'enherbement de fossés ou la mise en place de haies, sont contraintes par des considérations économiques, du fait de leurs coûts ou des manques à gagner qu'elles peuvent générer pour les exploitants. Elles sont aussi contraintes par des considérations politiques, via des réglementations spécifiques, ou par la mise en place d'infrastructures permettant de faciliter les pratiques agricoles, telles que des coopératives de partage de matériel. Ainsi, l'enjeu de la qualité de l'eau

dans les bassins versants agricoles nécessite non seulement des actions des agriculteurs prises individuellement mais aussi celles d'autres acteurs de ces bassins, que ce soit au niveau des collectivités locales ou du bassin.

- 2 Nous faisons l'hypothèse que la qualité de l'eau dans les bassins versants ruraux n'est pas la somme de comportements individuels mais le produit d'un ensemble de comportements individuels et collectifs à l'échelle du territoire, dont les interactions ont également des effets.
- 3 Pour explorer les conséquences de cette hypothèse nous avons élaboré un simulateur sous la forme d'un jeu sérieux afin de pouvoir comparer des trajectoires d'évolution du territoire, puis d'accompagner une prise de conscience éventuelle et une mise en débat d'actions collectives envisageables à l'échelle d'un bassin versant rural. Nous voulons explorer cet outil comme un support d'expérimentation socio-écologique qui permette de concentrer dans le temps et l'espace les effets de choix individuels et collectifs et donc de pouvoir mettre ces choix en discussion sur la base d'une observation partagée de leurs effets. Ce type de dispositif d'expérimentation socio-écologique, mobile et transposable, a aussi l'intérêt de rendre possible des comparaisons entre territoires ruraux, notamment pour comprendre si des trajectoires vers une meilleure qualité de l'eau possibles dans un bassin pourraient l'être aussi dans un autre. Pour cela, nous nous sommes appuyés dans sa conception sur des experts scientifiques de sept zones ateliers (ZA Armorique, Bassin du Rhône, Brest Iroise, Loire, Moselle, Seine, Environnement Urbain) et nous avons impliqué des membres d'autres zones ateliers dans des tests de mise en œuvre. Ce panel de sites permet d'intégrer des problématiques de territoires variées et d'inclure des approches reposant sur une diversité de pratiques agricoles locales.
- 4 Dans un premier temps, nous replaçons ce travail parmi les différentes expériences de jeu sérieux existantes sur la qualité de l'eau et l'agriculture. Dans un deuxième temps nous présentons le jeu Exp'Eau et sa construction. Enfin, nous faisons un retour sur les premières sessions test.

État de l'art : jeux sérieux et qualité de l'eau

- 5 Dans le domaine environnemental, les jeux sérieux connaissent un fort développement depuis une vingtaine d'années. Ils sont notamment utilisés comme outils de simulation des dynamiques propres à des systèmes sociaux et écologiques pour lesquels l'expérimentation physique n'est pas pertinente, pour des questions d'échelles et de conséquences potentielles (Barreteau *et al.*, 2021). Nous revenons sur l'utilisation des jeux sérieux comme outil de simulation, puis sur les quelques usages sur la question de la qualité de l'eau.

Les jeux sérieux comme outils de simulation

- 6 Les jeux sérieux sont apparus en tant que tels en 1974 (Abt, 1974), mais ont réellement émergé comme forme d'implémentation de modèles dans les années 2000. Ils font le lien avec d'autres formes de dispositifs permettant une expérimentation sociale : l'économie expérimentale (Schelling, 1961 ; Friedman & Sunder, 1994) et les exercices de simulation de politique (Toth, 1988 ; Duke & Geurts, 2004). Ces derniers sont les plus anciens, prenant leurs racines dans les « jeux de guerre » déjà connus dans la Chine

Antique (Mermet, 1993) et ayant évolué vers la famille des jeux de stratégie en entreprise.

- 7 Même si des jeux sérieux individuels existent, nous nous limitons ici à ceux impliquant un collectif de joueurs permettant de travailler sur leurs interactions et comportant une représentation explicite du temps. Ils s'appuient essentiellement sur la composante « *simulacre* » des jeux et sur leur caractère séparé des autres activités et circonscrit dans le temps et dans l'espace (Huizinga, 1951 ; Caillois, 1967). Ils constituent ainsi une arène sécurisée pour explorer les conséquences de comportements individuels et/ou collectifs sur l'évolution d'un système social et écologique et de ses composantes.
- 8 Leur principe est de représenter, pour un enjeu collectif identifié, les acteurs les plus concernés, les ressources, les règles régissant leur évolution et les interactions entre acteurs, entre acteurs et ressources, et entre ressources (Etienne, 2011). Les joueurs endossent alors la représentation d'acteurs ou de groupes d'acteurs (voire dans certains cas de ressources) dont ils vont simuler le comportement dans les situations du jeu en fonction de leurs fiches de rôle et de leur interprétation de celles-ci. La résultante de l'ensemble de ces comportements génère une nouvelle situation de jeu. Pour des contraintes de mise en œuvre, le nombre de joueurs est limité. La sélection des acteurs représentés se focalise sur ceux qui sont à la fois impactant et impactés de manière significative. Ceux qui sont seulement impactant sont intégrés dans les *scenarii*, par exemple via des événements pseudo-aléatoires, tels que la mise en place de contrôles selon un *scenario* prédéfini. Dans ce cas, seule la possibilité de contrôles est connue des joueurs à l'avance. Ceux qui sont seulement impactés conduisent à la création d'indicateurs, tels que des nombres de jour d'interdiction de baignade.
- 9 L'évolution du jeu réside ainsi dans la succession de choix sous contrainte faits par les joueurs et la réaction du système qui en résulte. Cette réaction du système concerne toujours les ressources et parfois également les acteurs, notamment quand les joueurs représentent des collectifs ou des institutions (Bonte *et al.*, 2020). La représentation du changement doit répondre à une contrainte de temps afin que les joueurs ne s'ennuient pas. Le passage par un ordinateur permet de représenter ces dynamiques de manière plus réaliste, mais induit de nombreux biais, tel que la capture de l'attention des joueurs ou la moindre manipulation des artefacts du jeu (Becu, 2021). Des interfaces hybrides intégrant le contrôle de l'interface numérique dans la conception du jeu commencent à se développer pour contrebalancer ce phénomène.

Les jeux sérieux pour explorer la qualité de l'eau

- 10 Les jeux sérieux, et notamment les jeux de rôles, ont très rapidement été utilisés sur les enjeux environnementaux dans des démarches visant à explorer l'évolution de systèmes sociaux et écologiques (Mermet, 1993 ; Barreteau *et al.*, 2007 ; Barreteau *et al.*, 2021). Nous nous focalisons ici sur les jeux de simulation permettant de représenter une dynamique du territoire. Nous n'intégrons pas dans cette revue toutes les formes de « *gamification* » (Groh 2012) apparues plus récemment, permettant par exemple de mobiliser des interfaces ludiques pour des enquêtes, sans mobiliser d'effet dynamique des actions dans le jeu. Dans notre domaine, il s'agirait par exemple de l'outil développé par Barataud sur les aires d'alimentation de captage (Barataud *et al.*, 2015). La qualité et la disponibilité de l'eau sont souvent présents comme facteurs explicatifs de l'évolution de ces systèmes, par exemple pour des enjeux de conservation de la biodiversité,

comme c'est le cas dans des jeux tels que ButorStar (Mathevet *et al.*, 2007) ou NewDistrict (Becu *et al.*, 2015) ; ou comme contraintes, par exemple pour la conception de systèmes d'élevage avec le jeu Dynamix (Ryschawy *et al.*, 2022). Très peu abordent la qualité de l'eau comme enjeu central. Parmi ceux-ci, Powell et ses collègues s'intéressent à la qualité de l'eau de la mer Baltique (Powell *et al.*, 2021). Avec SELECT ECOTECH, ils ont développé un jeu à un niveau stratégique, avec seulement 2 joueurs qui gèrent des systèmes d'occupation du sol. Il n'est ainsi pas fait référence de manière explicite à des pratiques d'usagers ni à leurs contraintes. Le jeu vise plutôt à amener deux autorités publiques à comprendre leurs interactions dans l'élaboration d'actions menant à l'amélioration de la qualité de l'eau de la mer Baltique via leurs choix de politique d'occupation du sol dans les bassins versants côtiers. Ce jeu n'aborde pas les possibilités d'évolution de la qualité de l'eau à l'exutoire d'un bassin versant dont l'emprise agricole resterait identique mais dont les pratiques agricoles seraient modifiées.

- 11 Le jeu CAPIPP affiche lui explicitement l'objectif d'améliorer la qualité de l'eau en diminuant l'usage de pesticides sur la vigne (Hossard *et al.*, 2022). Ce jeu cible le niveau de l'exploitation, voire du bloc de parcelles. De ce fait, il prend en compte le détail des pratiques permettant d'intégrer des apprentissages des viticulteurs sur des pratiques spécifiques. Ici, le viticulteur est la cause des pollutions, mais aussi à l'origine de la solution. Ce jeu ne permet pas d'envisager des solutions collectives. Par ailleurs, le niveau de détail retenu pour rendre compte de la complexité opérationnelle d'une exploitation viticole rend compliquée la mise en œuvre d'un tour de jeu et ne permet pas de dépasser le second tour lors d'un atelier.
- 12 Le jeu WATPPASS a aussi l'exploitation comme échelle d'action (Della Rossa *et al.*, 2022). Il se focalise sur des pratiques de gestion des adventices à un pas de temps hebdomadaire. Là encore, l'échelle spatio-temporelle a l'avantage de s'accorder finement aux pratiques des agriculteurs pour engager le dialogue sur des actions ponctuelles. Par contre, elle ne permet pas un horizon de simulation de plusieurs années, nécessaire si on veut inclure des changements structurels dans les systèmes de production.
- 13 Cette échelle des changements structurels des systèmes de production est abordée, mais toujours à l'échelle de l'exploitation dans le jeu SEGAE (Jouan *et al.*, 2021). Ce jeu destiné à un usage d'apprentissage prend la forme d'un « simulateur de vol » permettant à un joueur unique de se rendre compte des différents leviers d'action à sa disposition et de leurs interactions. De fait, il ne permet pas de prendre en compte les interactions entre les joueurs.
- 14 Enfin le jeu RES'EAULUTION DIFFUSE (Seguin *et al.*, 2018) est une solution intermédiaire simulant l'évolution de quelques exploitations dans un territoire de grandes cultures intensives, dans un contexte d'attente d'une plus grande protection des ressources en eau (en Brie). Il simule des rotations de cultures, permettant de disposer d'un horizon temporel de simulation plus long et d'intégrer les contraintes et leviers opérationnels qui limitent les possibilités de changement à court terme. Il rend ainsi compte de stratégies globales tout en intégrant des interactions entre les joueurs pour explorer des changements de pratiques.
- 15 À part ce dernier jeu dont nous reprenons le choix de représentation du temps, les quelques exemples de jeu ciblant la qualité de l'eau en territoire agricole comme enjeu central permettent peu de travailler sur la diversité des interactions au sein de bassins

versants. En conséquence, ils laissent peu de place aux complémentarités éventuelles entre les pratiques individuelles et les stratégies collectives dans le cadre d'une simulation dynamique.

Enjeux de qualité de l'eau dans les territoires ruraux

- 16 Les causes de la pollution des masses d'eau (au sens administratif) sont multiples. En milieu rural, les principaux enjeux de la préservation de la qualité de l'eau concernent les nitrates et les pesticides qui contaminent tant les eaux de surfaces que souterraines. Ces intrants agricoles sont à l'origine du déclassement de l'état chimique des masses d'eau. D'autres contaminants sont également d'intérêt comme les antibiotiques à usage vétérinaire ou les micropolluants domestiques apportés par l'épandage de boues de stations d'épuration. Enfin la pollution peut aussi concerner des pathogènes telles que des bactéries, des virus et des protozoaires (Houot *et al.*, 2016). Parmi ces différentes sources de pollution, nous nous concentrons ici sur celles venant de pratiques agricoles visant à sécuriser une production via des amendements et des traitements contre les maladies et parasites.

Mesures agissant sur le transfert de contaminants

- 17 Les activités agricoles modifient fortement la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Si les pratiques de fertilisation, de protection des cultures ou l'élevage hors sol sont rapidement identifiées comme sources de pollution potentielles (Le Cor *et al.*, 2021), l'évolution des couverts végétaux (Ceschia *et al.*, 2017), le travail du sol, la modification et la simplification des paysages (Piscart *et al.*, 2009 ; Lazrak *et al.*, 2010) ont également des impacts sur les transferts de contaminants et la qualité de l'eau (Gascuel-Oudoux *et al.*, 2009). Ainsi, la croissance de la production agricole au moyen de l'agrochimie et de la mécanisation à partir des années 1960 a entraîné une dégradation des eaux en France et dans de nombreuses régions d'Europe. La pollution des eaux superficielles et souterraines par les nitrates et les produits phytosanitaires, considérée comme une cause majeure de la pollution des ressources en eau (Villey-Desmeseret & Ballay, 2001) est un problème d'actualité depuis les années 1990 (Blanchoud *et al.*, 2019 ; Lapworth *et al.*, 2015).
- 18 Pour limiter le transfert de ces contaminants vers les eaux de surface, des espaces végétalisés (haies, bandes enherbées) sont proposés (Haddaway *et al.*, 2018). En France, la mise en place de bandes enherbées est obligatoire le long des cultures depuis 2010 (JO, 2010). Des zones tampons humides végétalisées peuvent aussi être installées en sortie de drains quand ceux-ci s'avèrent nécessaires pour l'exploitation de sols à tendance hydromorphe (Gauillier, 2018). Les phénomènes contribuant à la transformation, la persistance ou au transfert des polluants sont nombreux et plusieurs paramètres comme la taille de la parcelle ou de l'îlot cultivé, la nature et la couverture du sol, la pente, la direction des sillons du labour, les espèces végétales, jouent un rôle. En ce qui concerne les nitrates, leur piégeage au sein de zones tampons humides (Gauillier, 2018 ; Marin *et al.*, 2022) et la dénitrification sont souvent recherchés, mais la possibilité d'émission de N₂O, puissant gaz à effet de serre, ne doit pas être négligée. Pour le phosphore, nécessaire aux plantes, l'enjeu se pose avec l'érosion et le lessivage de sols saturés menant à un accroissement de son transport jusqu'au cours d'eau

(Dorioz, 2007 ; Romero *et al.*, 2022). Pour les pesticides, leur mobilité et la limitation de leur transfert dépendent fortement de leurs propriétés physicochimiques qui déterminent leur capacité d'adsorption/désorption à la surface des particules de sol, de dissolution et de (bio)dégradation (Prosser *et al.*, 2020 ; Lorenz *et al.*, 2022).

Contraintes à l'évolution de l'agriculture et leviers d'action

- 19 Ces différents travaux montrent le poids des pratiques agricoles et de leur évolution sur la qualité de l'eau en France. Si la pollution agricole varie en fonction des formes et du niveau d'intensification agricole et en fonction du contexte pédo-climatique (François, 2015), des mesures sont prises aux niveaux local, national et européen pour lutter contre ce type de pollutions diffuses. À partir des années 1980-1990, les pouvoirs publics, tant au niveau national qu'europpéen, ont élaboré des politiques publiques dans l'objectif de limiter les impacts négatifs de l'agriculture sur la qualité de l'eau. Il est apparu dès le début que la lutte contre la pollution des eaux d'origine agricole nécessite des changements de pratiques agricoles (Larrue, 1992 ; Gafsi, 1999). Ces politiques de lutte contre la pollution agricole se construisent au travers de différents textes législatifs : directive nitrate de 1991 et directive cadre sur l'eau (DCE) en 2000 au niveau Européen, loi sur l'eau de 1992, loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 et lois « Grenelle de l'environnement » 2009-10 au niveau national, etc. Ces politiques mettent en place une variété d'instruments dans des cadres de planification dédiés tels que les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), retranscrits localement dans les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) et animés par les commissions locales de l'eau (CLE). Si ces instruments sont économiques (redevances prélèvement et pollutions, subvention, mesures agro-environnementales, etc.), réglementaires et prescriptifs (périmètres de protection des captages, zones vulnérables, etc.), ils sont également informationnels.
- 20 Ces instruments visent à inciter les agriculteurs, groupe cible de ces politiques, à adopter des pratiques agricoles compatibles avec la protection des eaux à l'échelle de l'exploitation ou via l'instauration de périmètres de protection autour des captages d'eau souterraine. Ces mesures, plus ou moins coercitives, se sont renforcées également avec les évolutions de la Politique Agricole Commune (PAC) et notamment avec la réforme de la PAC en 2003 qui met en place « une conditionnalité des aides » au respect des directives européennes et à de « bonnes pratiques » définies nationalement. Leur dimension économique est forte via des instruments incitatifs ou pour sécuriser les revenus sur du moyen terme.
- 21 Cependant, ces mesures nationales comme européennes demeurent limitées dans leur efficacité du fait de la diversité de pratiques, du caractère diffus et de la complexité des phénomènes de transfert de pollution, très variables selon le contexte pédo-climatique. Elles pâtissent surtout des difficultés de mise en œuvre doublées d'un manque d'adhésion voire d'une opposition forte des exploitants et des organisations professionnelles agricoles qui les considèrent comme inadaptées à leurs contraintes de production (Bourblanc & Brives, 2009).
- 22 Face au manque d'adhésion, notamment, plusieurs expérimentations sont mises en œuvre dans le cadre de programmes nationaux ou régionaux par les organisations professionnelles agricoles comme le programme Fertimieux dans les années 1990 ou les plans Ecophyto depuis 2008. Si leur efficacité a été questionnée (Cour des Comptes,

2019), ces programmes, qui ont impliqué des organismes de recherche, ont montré que l'adhésion des agriculteurs était un levier déterminant. À une échelle plus locale, des expérimentations ont été conduites dans différents bassins versants avec un engagement des agriculteurs. Par exemple l'analyse du cas du bassin de l'Oudon (dans le bassin de la Loire) montre « *que la réduction des pollutions d'origine agricole est un processus long qui demande la participation des acteurs du monde agricole et l'adhésion du plus grand nombre d'exploitants pour que les actions se traduisent au niveau de la qualité de l'eau du bassin. La diffusion des techniques respectueuses de l'environnement prend du temps, la dynamique de leurs effets sur le milieu également. La restauration de la qualité de l'eau est un processus qui n'offre ses fruits qu'à moyen ou long terme* » (Laurent, 2015). Les zones ateliers ont aussi pu montrer la pertinence d'arrangements adaptés au contexte local (Billen & Garnier, 2000 ; Billen *et al.*, 2007 ; Thieu *et al.*, 2010), certains s'appuyant sur du partenariat avec des entreprises (Benoit & Papy, 1997). Leur mise en œuvre dépend aussi de la présence de filières structurées permettant un débouché à des productions diversifiées ou à plus haute valeur ajoutée.

- 23 Dans une certaine mesure, les objectifs de réduction des pollutions agricoles peuvent converger avec un raisonnement économique, notamment à l'heure de la hausse des prix de l'énergie et, par effet cascade, de ceux des engrais et produits de synthèse, mais aussi du coût de leur épandage. Leur utilisation est de plus en plus conditionnée à un raisonnement coût/avantage et à une estimation plus précise des besoins des cultures, une meilleure connaissance de la valeur fertilisante des effluents animaux ou des couverts végétaux en interculture, ou encore une meilleure répartition dans le cycle de culture des fertilisants. Dans ce cadre, certaines mesures qui apparaissaient comme des contraintes, représentent au fil du temps un intérêt agronomique et économique (plan d'épandage, couverts végétaux, rotation des cultures, etc.) en conduisant les agriculteurs à réduire leur consommation de fertilisants et de produits phytosanitaires, tout en limitant les pertes de rendement. Cependant, si des agriculteurs exploitent bien ces changements de pratiques, il demeure des marges de manœuvre importantes chez le plus grand nombre. Le développement du raisonnement agronomique nécessaire pour mieux prendre en compte le potentiel de ces pratiques nécessite un renforcement du conseil technique et de la formation agronomique des exploitants (Cerf *et al.*, 2013).

Cahier des charges d'un jeu sérieux pour explorer des trajectoires de qualité de l'eau en bassin versant rural

Contexte

- 24 La diversité des processus en jeu dans la dispersion, le ralentissement et/ou la dégradation des polluants, l'aspect territorialisé des pratiques ainsi que la diversité des acteurs et des leviers possibles pour limiter ces processus, conduisent vers l'élaboration d'un outil de type jeu sérieux pour pouvoir expérimenter différentes combinaisons d'actions individuelles et collectives sur la qualité de l'eau.
- 25 Le choix de l'outil jeu vise à compenser l'impossibilité d'expérimenter sur le terrain. Il s'agit en effet de pouvoir évaluer les effets de politiques territoriales en fonction de contraintes individuelles au niveau des exploitations, ce qui implique une approche temporelle sur un horizon de plusieurs cycles cultureux (et donc au minimum une dizaine d'années).

Acteurs et actions

- 26 Pour explorer une diversité de moyens d'action et décrire la diversité des processus de production et de transfert des polluants, le jeu doit être capable de prendre en compte les différentes échelles depuis la parcelle jusqu'au bassin versant, et les rôles associés d'agriculteurs, de syndicat de bassin versant et d'élus à l'échelle de la commune pour leurs rôles cadrant les possibilités d'action des agriculteurs par les incitations, les réglementations et l'information.
- 27 Du point de vue des actions, il s'agit de pouvoir explorer des possibilités d'évolution des pratiques pour une culture donnée tout en évitant l'opposition entre agriculture traditionnelle et agriculture biologique. Cependant, d'autres dimensions d'action individuelles et collectives doivent être proposées, à l'échelle d'une exploitation, induisant possiblement des modifications sur les cultures (par exemple allongement des rotations, diversification), ou à l'échelle collective (commune, bassin versant).
- 28 La question des niveaux de compétences des agriculteurs et les échanges d'expérience sont des éléments à intégrer. Enfin, le jeu doit être capable de rendre compte d'une estimation de la qualité de l'eau afin de pouvoir comparer différents *scenarii* d'évolution.
- 29 Le rôle intermédiaire des élus locaux ajoute au caractère réglementaire de la gestion de l'eau la prise en compte d'un choix politique de maintien et de soutien de l'agriculture sur le territoire.

Objectifs

- 30 Le jeu permet de simuler l'évolution des pratiques sur une génération (20 ans) et favorise les interactions entre les agriculteurs, le territoire et ses acteurs. Outre l'expérimentation, le jeu développé devra aussi permettre de rendre compte des multiples contraintes aux transformations des territoires ruraux, afin de rendre accessible une meilleure qualité de l'eau dans des territoires restant à finalité agricole.
- 31 En termes d'audience, ExpEau vise d'abord un public d'étudiants de l'enseignement supérieur général ou agricole, dans les domaines de la gestion de l'environnement ou de l'aménagement, afin de pouvoir répéter des expérimentations dans des conditions comparables. Outre l'accroissement de la robustesse du dispositif, l'objectif avec ce public est de constituer une base de données de trajectoires possibles. Dans un second temps, un public d'acteurs locaux est aussi pertinent, notamment pour explorer des pistes d'actions possibles à l'échelle d'un territoire, à affiner ensuite avec d'autres outils.

ExpEau

- 32 Le jeu ExpEau vise à répondre au cahier des charges explicité ci-dessus. Nous détaillons ici sa conception et en présentons l'organisation et les différents éléments.

Méthode de conception

- 33 La conception du jeu s'est dans un premier temps faite selon une démarche collaborative rassemblant des représentants de sept zones ateliers afin de garantir sa

généricité. Sur la base d'un atelier de type Acteurs-Ressources-Dynamiques-Interactions (Etienne *et al.*, 2008) organisé au sein de ce groupe de chercheurs, nous avons élaboré une structure de jeu centrée sur les modalités d'évolution de l'agriculture dans des territoires afin de limiter les pollutions de l'eau. La conception s'est alors orientée vers l'élaboration de contenus pour mettre en œuvre cette structure selon trois aspects : (1) une composante générique pour assurer la dynamique de jeu, (2) la constitution d'une démarche de représentation de bassin versant support du jeu, et (3) l'élaboration de contenus permettant de spécialiser le jeu pour le rendre pertinent dans différents contextes.

- 34 L'élaboration de la composante générique s'est appuyée sur l'expertise de spécialistes de jeux apportant leurs conseils sur les représentations du temps et de l'espace notamment. Même si le jeu doit pouvoir être adapté en fonction des contextes où il est mobilisé, il comporte une composante générique qui organise les différents éléments mobilisés, spécifie la gestion du temps et fournit les méta-éléments à spécifier. Par exemple, les cartes de pratiques suivent un patron déterminé inspiré de Ini-WAG (Ferrand *et al.*, 2021), transformant des ressources (temps et moyens financiers), en revenus et en pollutions, en fonction d'évènements aléatoires externes. Les autres actions peuvent intervenir sur ces paramétrages ou sur leurs conséquences agrégées. Le jeu peut ainsi facilement être adapté à de nouveaux contextes en sélectionnant ou adaptant le paramétrage des cartes existantes, voire en rajoutant des cartes par exemple pour d'autres cultures, à condition de respecter le même format.
- 35 La démarche de représentation de bassin versant s'est développée à partir de l'exemple du bassin versant rural mosellan du Moderbach (Charpentier & Viviani, 2022). Elle consiste à passer de données spatialisées finement (modèle numérique de terrain et couverture/usage des sols) à une représentation de l'espace via des tuiles hexagonales. Le réseau hydrographique est alors réorganisé en un réseau d'écoulement explicite orienté vers un exutoire unique (Charpentier, 2021). À chaque tuile correspond un usage du sol (Nature, Agriculture, Urbain), attribué en fonction de l'usage dominant (figure 1). De petites modifications peuvent être effectuées à la marge.

Figure 1 A - Occupation des sols du bassin versant. Gauche : Corine Land Cover 2012, niveau 3.
(Conception I. Charpentier)

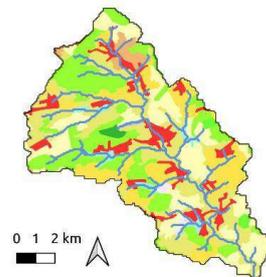
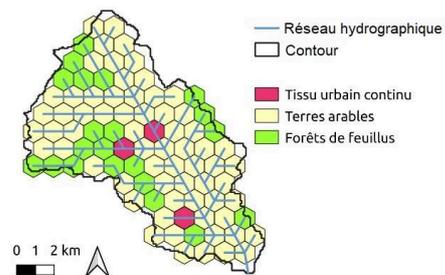


Figure 1 B - Pavage hexagonal des données Corine Land Cover niveau 1. (Conception I. Charpentier)



- 36 Cette méthode n'est pas spécifique à un bassin versant et peut être utilisée avec tout bassin quelle qu'en soit la surface, à partir du moment où 9 rôles d'agriculteur sont identifiables. La taille réelle de la cellule a longtemps fait débat au sein des participants. Celui-ci s'est soldé par un compromis : d'une part la cellule n'a pas d'aire chiffrée,

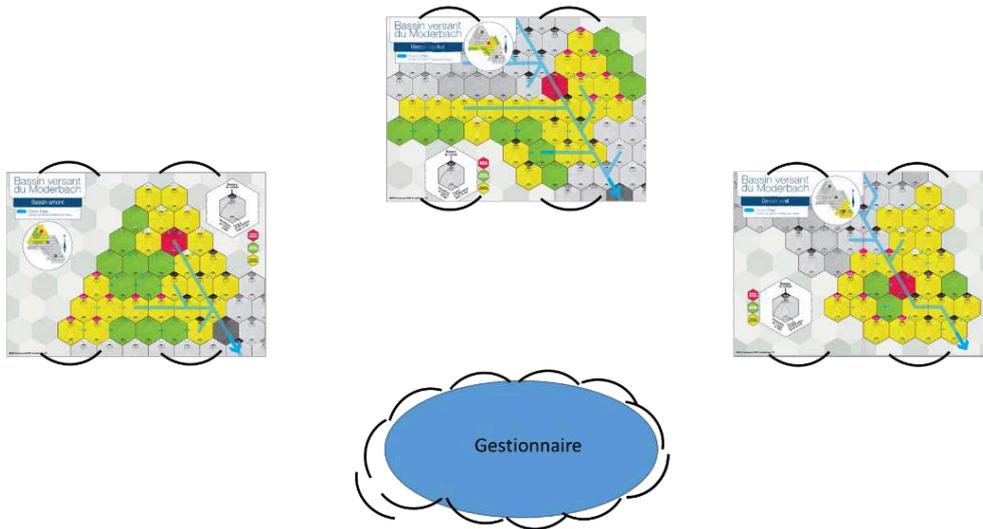
d'autre part chaque joueur représente un ensemble plus ou moins grand d'exploitants agricoles.

- 37 Le choix d'une représentation spatiale avec une centaine de tuiles a été fait par souci de jouabilité, les tuiles devant être sous le contrôle d'une douzaine de joueurs, chacun ayant à faire des choix sur un nombre de tuiles limité (retenu à 7).
- 38 Enfin l'élaboration des contenus visant à permettre la contextualisation s'est principalement orientée vers la représentation des cultures possibles sur un territoire donné. Les représentants de chaque ZA ont alors caractérisé les systèmes de culture les plus fréquents dans leur région selon un même patron (figure 2). Le jeu est conçu pour pouvoir sélectionner un ensemble de cultures localement pertinent parmi un catalogue existant (grandes cultures, maraîchage, bovin viande, bovin laitier, vigne, etc.), ce catalogue pouvant être complété.
- 39 Enfin nous avons procédé à des tests, tout d'abord au sein du groupe de conception, puis avec des collègues du réseau des zones ateliers (RZA) n'ayant pas participé à la conception, puis avec des collègues en partie hors RZA en lien avec l'agriculture. Ces tests ont permis de simplifier les éléments de jeu et de tester des modalités d'interaction analogique ou numérique.

Structure du jeu

- 40 Le jeu est structuré en trois niveaux d'organisation tant au niveau spatial (cellule, territoire communal, bassin versant) que social (agriculteur, élu, gestionnaire de bassin versant). Il s'appuie sur trois types d'actions liées (1) aux pratiques agricoles, (2) aux pratiques limitant le transfert des polluants, soit directement, soit par des règles ou des incitations, (3) à une meilleure valorisation de l'agriculture. Ces trois niveaux d'organisation correspondent à la fois à un découpage hydrographique (sous bassin-versant) et institutionnel (commune).
- 41 Le bassin discrétisé en hexagones est ainsi divisé en trois sous bassins indépendants (cf. figure 2) représentés par des plateaux placés sur des tables différentes afin de créer un effet de distance concentrant les interactions entre les joueurs d'une même table, hors des temps dédiés aux interactions collectives. Chaque plateau correspond au territoire d'une commune et comporte une indication sur son amont et son aval. Les plateaux représentent les cellules avec un code couleur pour l'occupation du sol (jaune = agricole, rouge = urbain et vert = espace naturel) et un numéro pour indiquer aux joueurs agriculteurs quelles sont les cellules qu'ils exploitent. Le réseau hydrographique y est également représenté pour identifier la position des cellules par rapport à celui-ci.

Figure 2 - Plateaux de jeu et configuration spatiale lors d'une session test : chaque plateau correspond à une commune (amont, milieu, aval) et regroupe trois joueurs « agriculteur » et un joueur « élu ». la table « gestionnaire » correspond à la fois à la localisation du joueur « gestionnaire » et au lieu de réunion de tous les joueurs (Conception O. Barreateau).



- 42 Au niveau physique, dans le jeu, seules les cellules avec une occupation agricole sont susceptibles de générer une pollution. Celle-ci dépend du type de culture et de la pratique agricole, ainsi que de la présence d'infrastructures agroécologiques sur la parcelle limitant la propagation des polluants.

Modalités d'action

- 43 Les actions de pratique agricole ont toutes la même structure. Elles sont spécifiées au niveau de la pratique pour une culture donnée. Ainsi, chaque culture est décrite selon deux à trois niveaux de pratiques, plus ou moins intensives, nécessitant différents niveaux d'intrants générateurs de plus ou moins de pollution. Ces niveaux de pratiques sont précisés et encodés dans différentes cartes (figure 3). Les pratiques sont paramétrées par un niveau de technicité minimum, un niveau d'effort (mesuré en unités de temps de travail) et d'investissement, en particulier en intrants (mesuré en unités de bien), par un niveau de production (mesuré en unités de bien) et par un niveau d'émission de polluants. Tous ces paramètres sont positionnés sur une échelle allant de 0 à 5. Dans la partie basse de la carte figurent les bonus/malus engendrés par les écarts à la « normale » dus aux aléas météorologiques et d'occurrence de maladies (voir figure 3).

Figure 3 - Exemple de cartes actions « pratique agricole ». Les lignes Météo M1, M2 et M3 correspondent respectivement à des tendances d'écart à la normale de type hiver froid et humide, été frais et humide (M1), hiver doux et humide, été chaud et humide (M2), hiver froid et sec, été chaud et sec (M3). (Conception collective, Réalisation Ere de Jeux)



- 44 Chacune des autres modalités d'action (formation, mise en place d'infrastructure, accès à un marché de producteur, etc.) est aussi comptabilisée en unité de temps (UT) et en unité de biens (UB) lors de sa mobilisation et pour leur maintien. L'effet éventuel de ces actions sur le niveau de production de la parcelle et l'émission de polluants est également comptabilisé. Un court texte sur la carte décrit leurs autres conséquences éventuelles. Ces actions peuvent, par exemple, modifier les pratiques accessibles au joueur *via* le niveau de technicité (action de formation), le seuil de pollution admissible (révision de règlement, bonus pour pratique environnementale), ou le revenu associé à une action (accès à un marché de producteurs, bonus pour pratique environnementale).
- 45 La connaissance du niveau de pollution est accessible pour le gestionnaire et les élus à partir des informations fournies par les joueurs : à l'exutoire de chaque sous-bassin pour l'élu en charge de ce territoire, et à tous les exutoires pour le gestionnaire.

Interface et supports

- 46 Le matériel permettant la mise en œuvre est constitué de plateaux représentant les trois sous-bassins du territoire, de fiches de rôles permettant de guider les joueurs dans la prise en main de leur rôle, de cartes et de jetons représentant les actions et de fiches de saisie permettant de matérialiser l'évolution des ressources de chacun et de la pollution. Une version « *print and play* » sera mise à disposition sur data.indores.fr (Barreteau *et al.*, 2023). La spécification du territoire étant possible grâce à XGeoTiles, plusieurs plateaux de jeu seront proposés.
- 47 Les actions possibles sont présentées sous forme de cartes et de planches mémo. La figure 4 ci-dessous présente celles pour le joueur ayant le rôle de gestionnaire. Les autres joueurs ont le même type de support. Les actions (pratique agricole, mise en place d'infrastructure) sont localisées et matérialisées sur le plateau par des jetons. Cette représentation physique du jeu permet de partager une information partiellement visible sur un territoire réel, mais aussi d'inciter au partage d'expérience entre les joueurs d'une même table.

Figure 4 - Planche mémo des actions possibles pour un joueur avec un rôle de gestionnaire. (Conception collective, Réalisation Ere de Jeux)

RÉUNION CLE
 Organisation d'une réunion CLE
DESCRIPTION
 Organise une discussion avec l'ensemble des différents usagers.
TEMPORALITÉ
 Effet immédiat.
 À jouer obligatoirement au moins une fois par tour.

INVESTISSEMENT INFRASTRUCTURE
 Investissement dans des capacités de traitement/protection des milieux
DESCRIPTION
 Incrémente la qualité de l'eau à l'aval du lieu d'implémentation.
TEMPORALITÉ
 Effet au deuxième tour consacré à cet investissement.
 Mise en place nécessitant 2 tours.

RENATURATION COURS D'EAU
 Renaturation du cours d'eau
DESCRIPTION
 Chaque élément de linéaire en bon état capture X unités de polluants (ou %).
TEMPORALITÉ
 Effet au deuxième tour consacré à cet investissement.
 Mise en place nécessitant 2 tours.

INFRASTRUCTURE AGROÉCOLOGIQUE
 Mise en place d'infrastructure agroécologique en parcelle
DESCRIPTION
 Permet la réalisation d'une infrastructure dans une parcelle si le joueur qui l'exploite joue la carte « mise en place d'une infrastructure agroécologique ».

Gestionnaire de bassin versant

RÉVISION RÉGLEMENT
 Révision de la réglementation d'usage
DESCRIPTION
 Mise en place de restrictions aux pratiques sur un ensemble de parcelles. Exprimer cette restriction selon une pollution max pour cet ensemble de cellules. Nécessité d'obtenir l'accord des 3 élus. Les choix de production non conformes à cette règle ne sont pas activés.

BONUS PRATIQUE ENVIRONNEMENTALE
 Paiement pour pratique environnementale
DESCRIPTION
 Se mettre d'accord avec un agriculteur sur une cellule spécifique impliquant de ne jouer que des pratiques dont la pollution est inférieure ou égale à 1 et verse 1 UB en contrepartie, plus 1 UB de frais. Ceci nécessite l'accord explicite de l'agriculteur.
TEMPORALITÉ
 Tant que les coûts récurrents sont payés à chaque tour, la carte est activée, sinon il faut reprendre le processus à zéro.

MISE EN PLACE SUIVI
 Mise en place suivi des pratiques
DESCRIPTION
 Identifie un lot de 3 cellules sur le territoire pour lesquels vous pourrez obtenir des informations à chaque tour sur la qualité en plus de celles auxquelles vous avez accès par votre statut.
TEMPORALITÉ
 Si les coûts récurrents ne sont pas payés un tour il faut reprendre le processus à zéro.

48 Chaque joueur a une fiche lui signifiant les grandes lignes de son rôle, incluant une description des actions possibles sous forme de texte court. Ces fiches offrent le moyen au joueur de se projeter dans son rôle, en lui donnant une histoire, un contexte de vie et un objectif. Cette contextualisation est particulièrement utile pour les joueurs sans expérience de l'activité qu'ils ont à mener. Pour les joueurs avec un rôle d'agriculteur, la fiche de rôle présente les compétences initiales ainsi que les pratiques agricoles en place au démarrage (Figure 5 par exemple).

Figure 5 - Exemple de fiche de rôle recto/verso pour un des rôles d'agriculteur (Conception : collective, Réalisation Ere de Jeux).

Agri Pratique

RÔLE

Vous avez le système d'exploitation typique de la région. Formé à l'ancienne par votre père dont vous avez à l'époque repris l'exploitation. Vos compétences sont minimales mais vous considérez que se former ce n'est plus de votre âge ! Sur vos 7 cellules, dont vous appréciez l'implantement autour du Bourg d'Aumont, 4 sont cultivées de manière intensive en grande culture et 3 sont en prairie pour des bovins viande élevés entièrement au pâturage. Aucune cellule n'est irriguée, cela n'était pas nécessaire jusqu'à présent et aurait nécessité des emprunts.

Dans l'agriculture intensive la mobilisation d'intrants est indispensable pour assurer un bon rendement de manière certaine. Cela implique des coûts supplémentaires et malheureusement un risque de pollution du cours d'eau, en particulier pour les cellules à proximité du cours d'eau. Vous préférez que ce ne soit pas le cas mais vous considérez que vous n'avez pas le choix. Vous savez qu'il existe d'autres façons de faire mais elles nécessitent des compétences et du matériel spécifique et sont plus risquées en cas d'attaque de ravageurs des cultures.

VOS CELLULES : A11 à A17

DÉMARRAGE

Type de culture	Niveau de compétences initiales	N° Cellule	Choix de culture
Grande Culture	3	11	GC1
Vergers	0	12	GC1
Bovins viande	2	13	GC1
Viticulture	0	14	GC1
Bovins laitiers	0	15	BV3
Cannavère	0	16	BV3
Marachage	0	17	BV3
Légume plein champ	0		
Parcis	0		

ACTIONS POSSIBLES NON AGRICOLES

Formation
Vous pouvez vous former pour augmenter votre niveau de technicité pour une culture donnée. Cela prend du temps et coûte un peu d'UB. C'est indispensable si vous voulez faire évoluer votre exploitation. Des aides sont possibles auprès de l'élu de votre commune.

Paiement pour pratique environnementale
Vous pouvez vous engager à faire évoluer vos pratiques pour limiter votre émission de polluants au maximum à une unité par tour. Vous gagnez 1 UB en compensation pour chaque cellule pour laquelle vous êtes engagé. Cette action ne peut être jouée que simultanément avec le gestionnaire ou l'élu qui met en place cette compensation. Cela vous prend 1 UT par tour pour l'aspect administratif du suivi de ces contrats.

Investissement équipement
Chaque culture a ses propres contraintes en termes d'équipement technique et biologique. Vous utilisez cette carte pour investir dans ces équipements, vous coûtent 3 UB et 1 UT. Vous obtenez la carte de niveau technique pour cette culture en commençant au niveau de technicité 1, qui pourra progresser par la suite en jouant la carte formation.

Investissement infrastructure agroécologique
Le gestionnaire du bassin versant ou l'élu de votre commune peut vous proposer d'investir dans une infrastructure agro-écologique sur une de vos parcelles pour retenir les polluants avant qu'ils ne rejoignent le réseau hydrographique, comme par exemple une haie. L'investissement est à la charge de la commune ou du syndicat de bassin. Vous devez donner votre accord car ces infrastructures diminuent de 0,5 UB le revenu de la parcelle. Par ailleurs, vous devez vous engager à maintenir l'infrastructure ce qui prend 1 UT par tour. Vous devez préciser la cellule sur laquelle est installée l'infrastructure.

Mobilisation Marché
Si votre commune ou une commune voisine a mis en place un marché de producteurs, vous pouvez en bénéficier pour vos cultures avec un engagement environnemental, autres que les grandes cultures (=> cartes IX2 et XX1, sauf GC2 et GC3). Cela vous rapporte 1 UB supplémentaire par cellule valorisée, et vous prend 1 UT (quel que soit le nombre de parcelles concernées) pour vous occuper de votre étal sur le marché.

- 49 Enfin chaque joueur a une fiche de saisie permettant d'enregistrer les actions choisies à chaque tour, mais aussi de faciliter le calcul des conséquences des actions selon les règles d'évolution décrites ci-dessous.

Dynamique du jeu

- 50 Le tour de jeu représente une durée de 3 ans, temps caractéristique minimum d'une rotation de cultures dans un itinéraire technique ou d'arrivée à la production d'une culture pérenne. Cela permet de représenter des horizons temporels suffisamment longs pour tenir compte des inerties propres à la conduite de systèmes d'exploitation. Un tour débute par les choix d'action des joueurs de manière individuelle ou en interaction au sein de la commune. Les joueurs élus et gestionnaires peuvent interagir avec les joueurs de leur niveau d'organisation pendant cette période, en leur proposant des aides, changeant leur cadre ou les contraignant. Une réunion au niveau du bassin versant a lieu et en même temps les aléas, communs à l'ensemble du bassin versant sont générés. Enfin les conséquences pour les revenus de chacun et la qualité de la rivière sont calculées.
- 51 Chaque rôle et chaque cellule ont leur propre dynamique par tour de jeu. Tous les joueurs, quel que soit leur rôle, reçoivent une quantité fixe d'unités de temps par tour, non capitalisable d'un tour à l'autre. La dotation en unités de bien, capitalisable, n'est fixe que pour le rôle de gestionnaire. Ces deux ressources leur permettent de réaliser des actions selon les cartes qui leur sont ouvertes. Ces actions ont un effet immédiat.
- 52 À la fin du tour, le joueur agriculteur reçoit une quantité d'unités de biens intégralement dépendante de ses propres actions. Il s'agit de la somme des productions des cultures diminuées des dépenses pour les intrants sur chacune des parcelles, corrigées des aléas, augmentée des autres sources éventuelles (bonus pour pratique

environnementale, accès à un marché de producteurs). Son capital est simultanément diminué des investissements (formation, diversification, infrastructure).

- 53 Le joueur élu reçoit une quantité variable d'unités de bien à chaque tour ne dépendant pas uniquement directement de ses choix. Celle-ci est composée (1) d'une part fixe, (2) d'une part dépendant de la richesse produite, (3) d'une part dépendant de la satisfaction ressentie par les habitants, et (4) d'une part correspondant à l'attractivité du territoire. La satisfaction des habitants est la somme des niveaux de satisfaction exprimés par chaque joueur à la fin du tour. L'attractivité est mesurée par la somme d'indicateurs de qualité de l'eau et la présence d'aménités comme un marché de producteurs.
- 54 Au niveau des entités physiques, chaque cellule agricole génère la quantité de polluants spécifiée sur la carte action pratique agricole jouée par l'agriculteur qui l'exploite, déduction faite de la part de pollution retenue par la présence d'une infrastructure agroécologique et ajout du surplus de pollution engendré par une météo défavorable. Pour renforcer les interactions entre joueurs, les pollutions individuelles des trois agriculteurs d'un sous-territoire sont collectées par leur élu. Ces informations sont alors communiquées au gestionnaire du bassin versant.

Retour d'expérience sur les premiers tests

- 55 Plusieurs tests ont été réalisés afin d'affiner le paramétrage et la fluidité du jeu. Le nombre de cellules et d'actions possibles et les variations de la météo font que la saisie des informations et le calcul des impacts ont très tôt été identifiés comme des verrous. Les résultats des modes de jeu hybride et de plateau se sont révélés très différents en termes d'échanges entre les joueurs.
- 56 Si ces premiers tests ont été réalisés exclusivement avec les développeurs du jeu, les trois tests suivants ont intégré neuf à treize participants chacun avec une participation croissante de personnes ne connaissant pas le jeu (~20 %, ~50 %, ~80%).

Jeu hybride

- 57 Les premiers tests ont été menés en intégrant simultanément le jeu de plateau et un environnement numérique pour faciliter (1) la saisie des actions et (2) le calcul des gains et de la pollution. Ce choix avait été fait pour simplifier la diffusion des résultats entre chaque tour de jeu et permettre la discussion entre les joueurs à partir des indicateurs lors du débriefing final.
- 58 Cependant, la présence de deux supports simultanés (jeu physique et virtuel), qui se voulaient complémentaires, n'a pas permis une bonne interaction entre les joueurs, chacun étant focalisé sur ses propres indicateurs. Le choix a été fait d'un test sans environnement numérique, ce qui a permis de faciliter et d'amplifier les interactions entre les joueurs autour du plateau de jeu. Les tests suivants ont été réalisés sans support numérique.

Jeu de plateau

- 59 Les premières tentatives ont mis en avant la complexité et le manque de fluidité du jeu, la difficulté à comprendre les multiples cartes et le rôle de chacun, mais aussi à réaliser les 6 tours de jeu prévus pour couvrir une période de 20 ans pendant un temps raisonnable de jeu. De plus, les calculs initialement réalisés par l'interface numérique se sont révélés trop complexes à réaliser par chaque joueur, les unités de bien ainsi que les indicateurs de pollution et de satisfaction étant à ajuster en fonction de la météorologie et des nouvelles infrastructures installées sur le bassin.
- 60 Les cartes action ont donc progressivement été simplifiées afin de réduire la quantité d'informations à assimiler en début de partie et la complexité des calculs à la fin de chaque tour.
- 61 Les cartes action des élus et gestionnaires étaient initialement très restreintes et ne permettaient pas un positionnement clair de ces acteurs. Elles ont été complétées, tout en gardant une capacité d'action conforme, dans la mesure du possible, à la réalité de terrain.
- 62 Une fiche de saisie a été créée pour organiser et faciliter les calculs à chaque tour de jeu. Finalement, une calculatrice numérique (<https://www.za-inee.org/fr/eau-environnement/>) vient d'être développée pour effectuer plus rapidement les calculs complexes, et tester l'influence des scénarii météorologiques, d'ajouts d'infrastructures agroécologiques, de changement de pratiques.
- 63 Ces différentes modifications ont permis une meilleure fluidité de jeu, une bonne dynamique collective lors des trois derniers tests, ainsi qu'une plus grande implication des joueurs, avec une bonne interactivité.
- 64 En fonction de la zone atelier de chacun, certaines pratiques agricoles ont été suggérées comme par exemple la culture fourragère ou l'élevage porcin. Des alternatives supplémentaires ont été proposées au niveau des exploitations telles que la mise en place de jachères ou de méthaniseurs sans toutefois déboucher sur la mobilisation de terres pour la production d'énergie (<http://www.senat.fr/rap/r19-646/r19-6467.html>).
- 65 La situation de départ peut être adaptée à la zone atelier. Chaque joueur agriculteur démarre avec des parcelles mises en culture pour des types de culture prédéfinies. Ils ont aussi un niveau de compétence initial prédéterminé pour chacune de ces cultures, défini en cohérence avec le texte de présentation du rôle. Ce niveau de compétence détermine l'itinéraire technique suivi antérieurement au premier tour. L'initialisation des joueurs élu et gestionnaire de bassin se fait seulement sur la lecture du rôle. Il n'y a pas d'infrastructures installées au départ.

Retour sur une session de jeu

- 66 Nous rendons compte ici de la dernière session test. La collecte des fiches de saisie permet a posteriori de revenir sur la trajectoire simulée au niveau de chaque joueur et au niveau d'indicateurs agrégés. Ceci permet d'une part d'animer le débriefing à la suite du jeu et d'autre part de constituer une base de comparaison entre sessions de jeu. Nous donnons ici à titre d'exemple les trajectoires individuelles en termes d'usage d'unités de biens, d'unités de temps et de contribution à la pollution (figure 6), l'évolution comparée des revenus (figure 7) et le niveau de pollution agrégé (figure 8).

La comparaison des trajectoires individuelles montre une hétérogénéité entre des joueurs qui accroissent leur activité (et également les trois indicateurs) et d'autres qui au contraire la réduisent. Il faudra plusieurs sessions pour tester si ces évolutions de comportements dépendent des fiches de rôle ou de la motivation des joueurs.

- 67 Cette session avait été marquée par un joueur gestionnaire de bassin particulièrement investi dans la mise en place d'une action collective. Plusieurs joueurs ont perçu une impression de saturation de leur capacité d'action du fait des événements météorologiques aléatoires impliquant une augmentation du temps de travail en cours de saison. Le jeu leur a aussi révélé la nécessité de planifier sur plusieurs tours les transitions qu'ils voulaient mettre en place afin d'en avoir les moyens et d'éviter une faillite. Pour certains, une réduction du nombre de cellules exploitées a été une autre stratégie pour pouvoir investir dans des formations et des équipements pour de nouvelles pratiques. Cette hétérogénéité se retrouve dans les écarts de revenus qui s'accroissent. Là encore une répétition de sessions permettra d'identifier si certains rôles sont plus ou moins prompts à se mettre sur une trajectoire d'accroissement ou de maintien de revenus, et/ou à viser des compromis pour contribuer à la qualité de l'eau. Enfin le niveau de pollution agrégé montre que, malgré un engagement certain des joueurs pour améliorer la qualité de l'eau du fait des incitations proposées par le joueur gestionnaire, il a fallu 3 tours pour commencer à identifier un signal de baisse de pollution.

Figure 6 - Evolutions individuelles des joueurs avec en abscisse les tours de jeu, en ordonnée les quantités d'Unité de Temps (UT) et d'Unités de bien (UB tot) mobilisées et d'Unités de pollution produites (conception O. Barreteau).



Figure 7 - Comparaison des évolutions de revenus, avec en abscisse les tours de jeu, en ordonnée le bilan en Unités de Bien gagnées et dépensées.

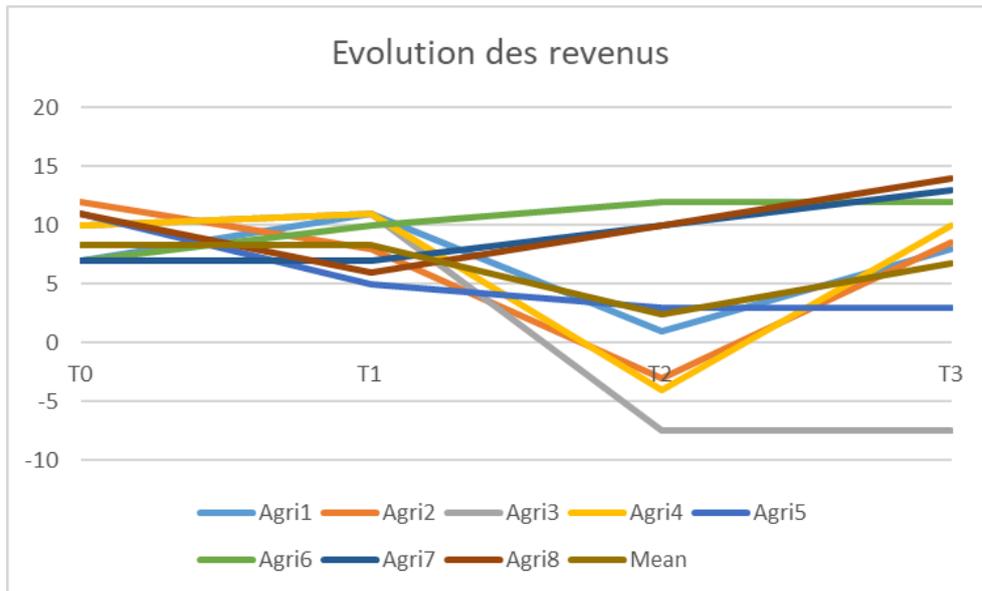
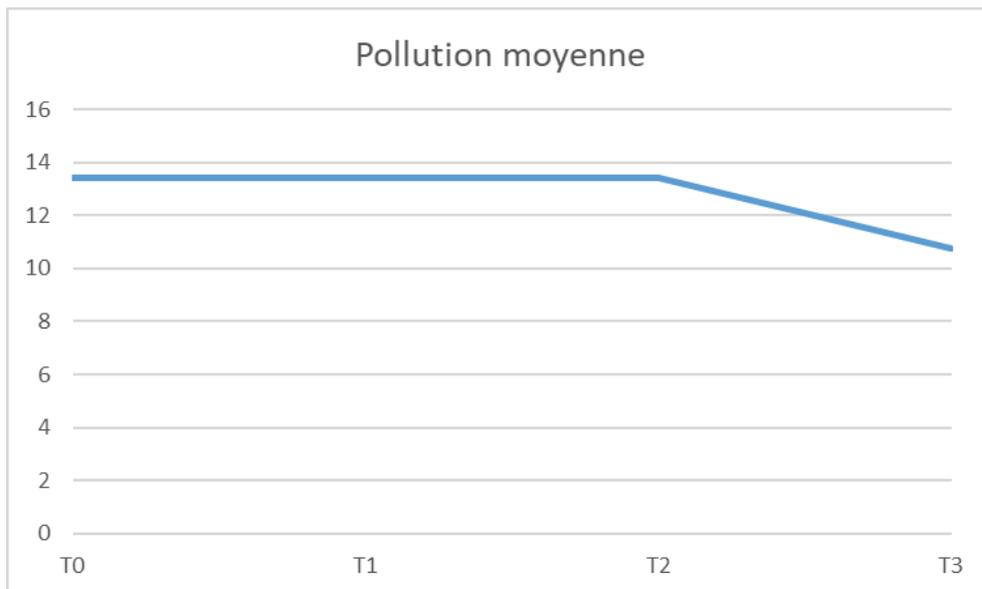


Figure 8 - Evolution agrégée de la pollution avec en abscisse les tours de jeu, et en ordonnée le nombre moyen d'unités de pollution émises à chaque tour (conception O. Barreteau).



Ce qui fonctionne/ce qui est important dans le jeu

- 68 Plusieurs aspects du jeu se sont révélés essentiels à l'issue des tests.
- 69 L'animateur a un rôle central dans la dynamique du jeu. Un support lui est nécessaire pour présenter le jeu et faciliter l'immersion rapide des joueurs.
- 70 La séparation physique en 3 tables représentant trois sous-bassins versants est un succès et permet de séparer les interactions directes entre joueurs de l'amont, du milieu et de l'aval du bassin versant. Elle exprime physiquement le besoin de se déplacer pour communiquer avec les joueurs des autres secteurs géographiques.

- 71 Les cartes de rôle permettent bien aux joueurs d'incarner leurs rôles et d'interagir en conséquence selon leur interprétation. L'initialisation, faisant figure de « *tour 0* » aide également les joueurs à s'approprier leur rôle. Bien que leurs capacités d'action soient a priori restreintes, il ressort aussi que les rôles d'élus et de gestionnaires se sont avérés centraux dans le jeu. En particulier, le rôle du gestionnaire semble avoir une influence forte sur la dynamique du jeu. Le déroulé d'une simulation est donc sensible au choix du joueur devant l'incarner, notamment à sa capacité à animer des réunions.
- 72 Il s'est avéré préférable d'utiliser des textes minimalistes pour la description des cartes acteur, permettant néanmoins de bien illustrer la complexité du rôle et des actions.

Conclusion et perspectives

- 73 L'enjeu premier a été de réussir à développer un jeu « *jouable* » c'est-à-dire facile à prendre en main, dynamique et fluide tout en rendant compte de la complexité du système et des contraintes des acteurs (diversité d'agriculteurs, d'élus et de gestionnaires).
- 74 Au cours de ces premiers tests les discussions restaient principalement centrées sur l'outil : la fluidité de jeu, sa complexité, son réalisme, le dispositif, ses supports, etc. Le développement du jeu en est aujourd'hui à une étape où il est possible de questionner le ressenti des joueurs pour rendre compte des prises de conscience s'opérant au cours de la partie.
- 75 Des sessions de jeu avec des publics scolaires (lycéens, BTS) et étudiants (Master) se mettent maintenant en place. Leur premier objectif est de constituer une banque de trajectoires simulées permettant de comparer les solutions retenues par les joueurs dans différents contextes. Un deuxième objectif est d'explorer le potentiel pédagogique de cet outil à différents niveaux de formation. *In fine*, ce jeu pourra être joué avec les acteurs du territoire d'un bassin versant. Tester le jeu dans différents contextes avec différents publics permettra de bénéficier de l'expérience des joueurs pour faire éventuellement évoluer les cartes afin par exemple de rendre compte de la spécificité des contextes. Cela permettra également de capitaliser d'une part sur les trajectoires suivies au cours de chaque session de jeu, avec une diversité de contextes, et d'autre part les éléments de discussion que ces sessions auront suscité auprès d'une diversité de publics sur les problématiques de qualité de l'eau au sein d'un bassin versant.

BIBLIOGRAPHIE

Abrami G., Ferrand N., Morardet S., Murgue C., Popova A., De Fooij H., Farolfi S., Aquae-Gaudi W. (2012). Wat-A-Game, a toolkit for building role-playing games about integrated water management. In. *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS) 2012, Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting*, R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.), Leipzig, Germany, <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>

- Abt C. (1974). *Serious Games*, New York, Viking.
- Barataud F., Arrighi A. et Durpoix A. (2015). Mettre cartes sur table et parler de son territoire de l'eau: un (en) jeu pour les acteurs?, *VertigO*, 15(3).
- Barreteau O., Abrami G., Bonté B., Bousquet F., Mathevet R. (2021). Serious games. Dans R. Biggs, A. de Vos, R. Preiser, H. Clements, K. Maciejewski, M. Schlüter (dir.), *The Routledge handbook of research methods for social-ecological systems* (p. 176-188). <https://doi.org/10.4324/9781003021339-15>
- Barreteau O., Charpentier I., Blanchoud H., Bonnefond M., Piscart C., Pons M.-N., Ragueneau O., Raimonet M., Salvador-Blanes S. (2023). "Supports "Print&Play" du jeu sérieux Exp'Eau pour explorer les trajectoires d'amélioration de la qualité de l'eau dans les bassins versants ruraux", <https://doi.org/10.48579/PRO/DOCKDI>, data.InDoRES, V1
- Barreteau O., Le Page C. et Perez P. (2007). Contribution of simulation and gaming to natural resource management issues: an introduction. *Simulation and gaming*, 38(2), 185-194. <https://doi.org/10.1177/1046878107300660>
- Becu N. (2022). Usability of Computerised Gaming Simulation for Experiential Learning. In L.M. Castro, D. Cabrero, R. Heimgärtner (dir), *Software Usability*, intechopen. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.97303>
- Becu N., Frascaria-Lacoste N. et Latune J. (2015). Experiential learning based on the NewDistrict asymmetric simulation game: results of a dozen gameplay sessions. *Hybrid Simulation & Gaming in the Networked Society*. <https://hal.science/hal-01253024>
- Benoit M. et Papy F. (1997). Pratique agricole et qualité de l'eau sur le territoire alimentant un captage, in *L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau*. F. Papy ed.. Paris, INRA Éditions, p. 323-338.
- Billen G. et Garnier J. (2000). Nitrogen transfers through the Seine drainage network : a budget based on the application of the RIVERSTRAHLER model, *Hydrobiologia*, 410., 139-150.
- Billen G., Garnier J., Nemery J., Sebilo M., Sferratore A., Barles S., Benoit M. (2007). A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum, *Science of the Total Environment*, 375, (1-3), p. 80-97.
- Blanchoud H., Schott C., Tallec G., Queyrel W., Gallois N., Habets F., Viennot P., Ansart P., Desportes A., Puech T. (2020). How should agricultural practices be integrated to understand and simulate long-term pesticide contamination in the Seine River basin? Dans N. Flipo, P. Labadie, L. Lestel (dir.), *The Seine River basin, The Handbook of Environmental* (vol. 90, p.141-162).
- Bonny S. (1994). Les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture, le cas de la France. *Les courriers de l'INRA*, 23, 5-15. <https://hal.science/hal-01206253/file/C23Bonny.pdf>
- Bonté B., Therville C., Bousquet F., Abrami G., Dhenain S., Mathevet R. (2019). Analyzing coastal coupled infrastructure systems through multi-scale serious games in Languedoc, France. *Regional Environmental Change*, 19, 1879-1889. DOI: 10.1007/s10113-019-01523-6
- Bourblanc M. et Brives H. (2009). La construction du caractère « diffus » des pollutions agricoles, *Études rurales*, 183. <http://journals.openedition.org/etudesrurales/8988>
- Caillois R. (1967). *Les jeux et les hommes*. Gallimard.
- Ceschia E., Mary B., Ferlicq M., Pique G., Carrer D., Dejoux J.F., Dedieu G. (2017) Potentiel d'atténuation des changements climatiques par les couverts intermédiaires. *Innovations Agronomiques*, 62, 43-58

- Charpentier I. (2021). XGeoTiles: Tiling watersheds with hexagons for serious games. <https://hal.science/hal-03154090>
- Charpentier I. et Viviani C. (2022). Trajectoire des socio-écosystèmes et représentation logicielle – Regards croisés sur le socio-hydrosystème de la Ligne Maginot Aquatique. *Dynamiques Environnementales* (50), numéro spécial dédié à la ZAL
- Cour des comptes (2020, 4 février) : *Le bilan des plans ecophyto*. <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/le-bilan-des-plans-ecophyto>
- Della Rossa P., Mottes C., Cattani P., Le Bail M. (2022). A new method to co-design agricultural systems at the territorial scale - Application to reduce herbicide pollution in Martinique. *Agricultural Systems*, 196, 103337. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103337>
- Dorioz J.M. (2007). Effets des dispositifs enherbés sur les transferts diffus de phosphore dans les bassins versants agricoles. Analyse critique des données bibliographiques et conséquences opérationnelles. *Etude et Gestion des Sols*, 14 (4), 249-265.
- Duke R.D. et Geurts J.L.A. (2004). *Policy games for strategic management*. Dutch University Press.
- Etienne M., Du Toit D.R. et Pollard S. (2011). ARDI: a co-construction method for participatory modeling in natural resources management. *Ecology and Society*, 16(1),44. <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art44/>
- Ferrand N., Hassenforder E. et Aquae-Gaudi W. (2021). Quand les acteurs modélisent ensemble leur situation, principes ou plans pour décider et changer durablement, en autonomie. *Sciences Eaux & Territoires*, 35, 14-23, DOI 10.3917/set.035.0014
- François L. (2015). L'évolution des pratiques agricoles face aux enjeux de la qualité de l'eau : le bassin de l'Oudon (France). *Territoire en mouvement. Revue de Géographie et d'Aménagement*, 25-26.
- Friedman D. et Sunder S. (1994). *Experimental methods, a primer for economists*. Cambridge University Press.
- Gafsi M. (1999). *Aider les agriculteurs à modifier leurs pratiques. Éléments pour une ingénierie du changement*. FacSADe, 3, p.1-4. hal-02698204
- Gascuel-Oudoux C, Massa F, Durand P, Merot P, Troccaz O, Baudry J, Thenail C. (2009). Framework and tools for agricultural landscape assessment relating to water quality protection. *Environmental Management*, 43, 5:921-35. doi: 10.1007/s00267-008-9244-x.
- Gaullier C. (2018). *Influence de l'hydraulique sur l'efficacité des zones tampons végétalisées à réduire les teneurs en pesticides et métabolites en sortie des drains agricoles* [thèse de doctorat, Université de Lorraine]. HAL. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02130078>
- Groh F. (2012), *Gamification: State of the art definition and utilization*, Institute of Media Informatics Ulm University, 39, 31.
- Haddaway N.R., Brown C., Eales J., Eggers S., Josefsson J., Kronvang B., Randall N.P., Uusi-Kämpä J. (2018). The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. *Environmental Evidence*, 7, 14. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0126-2>
- Hossard L., Schneider C. et Voltz M. (2022). A role-playing game to stimulate thinking about vineyard management practices to limit pesticide use and impacts. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134913>
- Houot S., Pons M.N., Pradel M., Tibi A. (dir). (2016). *Recyclage de déchets organiques en agriculture. Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage*. Editions Quae, Collection Matière à débattre et décider.

Huizinga J. (1951). *Homo Ludens*. Gallimard.

Journal Officiel (2010, 13 juillet) Arrêté du 13 juillet 2010 relatif aux règles de bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE).

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., Kanski J., Magagnoli S., Makulska J., Pérès G., Ridier A., Salou T.,... Godinot O.(2021). SEGAE: An online serious game to learn agroecology. *Agricultural Systems*, 191, 103145. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103145>

Lapworth D.J., Baran N., Stuart M.E., Manamsa K., Talbot J. (2015). Persistent and emerging micro-organic contaminants in Chalk groundwater of England and France. *Environmental pollution*, 203, 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.030>

Larrue C. (1992). Le comportement des agriculteurs face aux mesures de protection de l'eau, *Économie rurale*, 208-209, p. 42-49.

Laurent F. (2015). L'évolution des pratiques agricoles face aux enjeux de la qualité de l'eau : le bassin de l'Oudon (France). *Territoire en mouvement. Revue de Géographie et d'Aménagement*, 25-26

Lazrak E., Mari J.F. et Benoît M. (2010). Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture. *Landscape Ecology*, 25, 169-183. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9399-8>.

Le Cor F. (2021). Étangs et qualité des cours d'eau de têtes de bassins versants agricoles : impact sur le devenir des pesticides et leurs produits de transformation. Thèse de l'Université de Lorraine. http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2021_0195_LE_COR.pdf

Le Cor F., Slaby S., Dufour V., Iuretig A., Feidt C., Dauchy X., Banas D. (2021). Occurrence of pesticides and their transformation products in headwater streams: Contamination status and effect of ponds on contaminant concentrations. *Science of the Total Environment*, 788, 147715. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147715>

Leenhardt D., Voltz M. et Barreteau O. (2020) *L'eau en milieu agricole, Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale*. Éditions Quæ. <https://books.openedition.org/quæ/37215>

Lorenz S., Raja Dominic A., Heinz M., Süß A., Stähler M., Strassemeyer J. (2022) Effect of buffer strips on pesticide risks in freshwater. *Crop Protection*, 154, 105891. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105891>

Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Lefebvre G., Poulin B. Gigot G., Proréol F., Mauchamp A. (2007). BUTORSTAR: A role-playing game for collective awareness of wise reedbed use. *Simulation and gaming*, 38(2), 233-262. <https://doi.org/10.1177/1046878107300665>

Mermet L. (1993). Une méthode de prospective : les exercices de simulation de politiques. *Nature Sciences Sociétés* 1(1), 34-46. <https://doi.org/10.1051/nss/19930101034>

Piscart C., Genoel, R., Dolédec, S., Chauvet, E., Marmonier, P. (2009). Effects of intense agricultural practices on heterotrophic processes in streams. *Environmental Pollution* 157: 1011-1018

Powell N., Do T., Bachelder S., Tattari S., Koskiaho J., Hjerpe T., Väisänen S., Gielczewski M., Piniewski M., Księżniak M.(2021). Rethinking Decision Support Under Conditions of Irreducible Uncertainty: Co-Designing a Serious Game to Navigate Baltic Sea Nutrient Enrichment. *Society and Natural Resources*, 34(8),1075-1092. <https://doi.org/10.1080/08941920.2021.1934930>

Prosser R.S., Hoekstra P.F., Gene S., Truman C., White M., Hanson M.L. (2020). A review of the effectiveness of vegetated buffers to mitigate pesticide and nutrient transport into surface

waters from agricultural areas. *Journal of environmental management*, 261, 110210. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110210>

Romero E., Garnier J., Billen G., Ramarson A., Riou P., Le Gendre R. (2022). Assessing the water quality of the Seine land-to-sea continuum for three agro-food system scenarios. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1010887. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1010887>

Ryschawy J., Grillot M., Charmeau A., Pelletier A., Moraine M., Martin G. (2022). A participatory approach based on the serious game Dynamix to co-design scenarios of crop-livestock integration among farms. *Agricultural Systems*, 201, 103414. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103414>

Schelling T.C. (1961). Experimental games and bargaining theory. *World politics*, 14(1), 47-68. <https://doi.org/10.2307/2009555>

Seguin L., Birmant F., Letournel G., Bonifazi M., Barataud F., Arrighi A., Guichard L., Bouarfa S., Roger L., Royer L (2018). Projet BRIE'EAU: une démarche participative pour repenser ensemble un territoire de grandes cultures. *Agronomie, Environnement & Sociétés* 8 (2), 157-169

Toth F.L. (1988). Policy exercises: objectives and design elements. *Simulation and games*, 19(3), 235-255. <https://doi.org/10.1177/0037550088193001>

Villey-Desmeserets F. et Ballay D. (2001). *La politique de préservation de la ressource en eau destinée à la consommation humaine: rapport d'évaluation*. Documentation française

RÉSUMÉS

Le jeu sérieux ExpEau conçu au sein du réseau des zones ateliers vise à appuyer l'exploration de trajectoires vers une meilleure qualité de l'eau dans des bassins versants agricoles. Il met en scène de manière générique les activités et les relations entre un panel d'acteurs (agriculteurs, élus et gestionnaire) sur un bassin virtuel. Des jeux de données réelles peuvent être utilisés pour représenter une situation spécifique. Nous décrivons ici ses composants et rendons compte de son processus de conception ainsi que des premières simulations entre chercheurs.

The French LTSER network has designed the serious game ExpEau in order to explore pathways towards a better water quality in agricultural catchments. It provides a generic overview of activities and interactions among stakeholders (farmers, elected people, and basin manager) on a virtual catchment. Real data may be used to generate a specific instance that fits a given situation. We describe here the game's components and discuss its design process as well as the outcome of initial simulations with scientists.

INDEX

Keywords : Serious game, water quality, agroecological transition, social-ecological system, simulation

Mots-clés : Jeu sérieux, qualité de l'eau, transition agroécologique, territoire, simulation

AUTEURS

OLIVIER BARRETEAU

UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages
LTSER-FR Zone Atelier Bassin du Rhône

ISABELLE CHARPENTIER

LTSER-FR Zone Atelier Environnementale Urbaine
ICube - Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie

HÉLÈNE BLANCHOUD

LTSER-FR Zone Atelier Seine
METIS - Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols

MATHIEU BONNEFOND

LTSER-FR Zone Atelier Loire
GeF - Laboratoire Géomatique et foncier

VÉRONIQUE GOUY

LTSER-FR Zone Atelier Bassin du Rhône
INRAE RiverLy

CHRISTOPHE PISCART

LTSER-FR Zone Atelier Armorique
ECOBIO - Ecosystèmes, biodiversité, évolution

MARIE-NOËLLE PONS

LTSER-FR Zone Atelier Moselle
LRGP - Laboratoire Réactions et Génie des Procédés

MÉLANIE RAIMONET

LTSER-FR Zone Atelier Brest Iroise
LEMAR - Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin

ANNE ROYER

LTSER-FR Zone Atelier Brest Iroise
LEMAR - Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin

SÉBASTIEN SALVADOR-BLANES

LTSER-FR Zone Atelier Loire
GéHCO - GéoHydrosystèmes CONTinentaux