HAL
open science

# L'enaction pour explorer des problèmes subtils en laboratoire virtuel ?

Parenthoen Marc

## To cite this version:

Parenthoen Marc. L'enaction pour explorer des problèmes subtils en laboratoire virtuel ?. J.Enaction 2018 : Journée sur l'enaction en animation, simulation et réalité virtuelle, Nov 2018, Poitiers, France. hal-02089360

**HAL Id: hal-02089360**

**https://hal.science/hal-02089360v1**

Submitted on 3 Apr 2019

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

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

# L'enaction pour explorer des problèmes subtils en laboratoire virtuel ?

Marc Parenthoën[(1)]
(1) CNRS, Univ. Poitiers, XLIM, UMR 7252, F-86000, Poitiers, France

---

**Contexte.** L'étude et la compréhension du couplage entre l'humain et son environnement est un des défis pour les sciences du XXI-ième siècle. Certains problèmes dits *subtils* ne peuvent pas être résolus par une seule discipline et demandent une approche interdisciplinaire.

**Problème.** Comment faire pour étudier scientifiquement un problème dans un contexte interdisciplinaire pour lequel il n'existe pas de formalisme partagé, voire des idées d'apparence contradictoire ?

**Méthode.** Susciter une posture enactive sur la connaissance à expliciter ou à imaginer. Modéliser chaque phénomène étudié comme une entité autonome définie par ses interactions avec les autres phénomènes. Proposer un formalisme minimaliste pour l'informatisation de ces modèles. Explorer ces modèles par la méthode expérimentale, en les animant au sein d'un système informatique incluant l'humain dans la boucle.

**Résultats.** Appliquée à l'étude de divers problèmes plutôt biophysiques et/ou géophysiques pendant plus d'une dizaine d'années, cette méthode a toujours généré des objets à fort potentiel pédagogique. Dans certains cas, elle a permis de lever des verrous scientifiques disciplinaires, dans d'autres situations elle a révélé des lacunes dans le champ des connaissances des parties prenantes.

**Conséquences.** En s'appuyant sur le paradigme de l'enaction pour la construction de connaissances interdisciplinaires, cette méthode semble suffisamment mûre pour aborder des problèmes plus subtils comme, par exemple, la compréhension de la ressource durable en eau potable en fonction de l'activité anthropique.

**Lien avec l'enaction.** Quelques principes de l'enaction sont respectés par les modèles qui sont vus comme des entités autonomes co-construisant le milieu supportant leurs interactions. Aussi, la construction des connaissances explicitées dans les modèles provient d'un couplage entre les parties prenantes et les modèles expérimentés.

**Mots clés :** méthode expérimentale, problème subtil, virtuoscope, réalité virtuelle, enaction.

---

# 1 Posture enactive pour élaborer des virtuoscopes

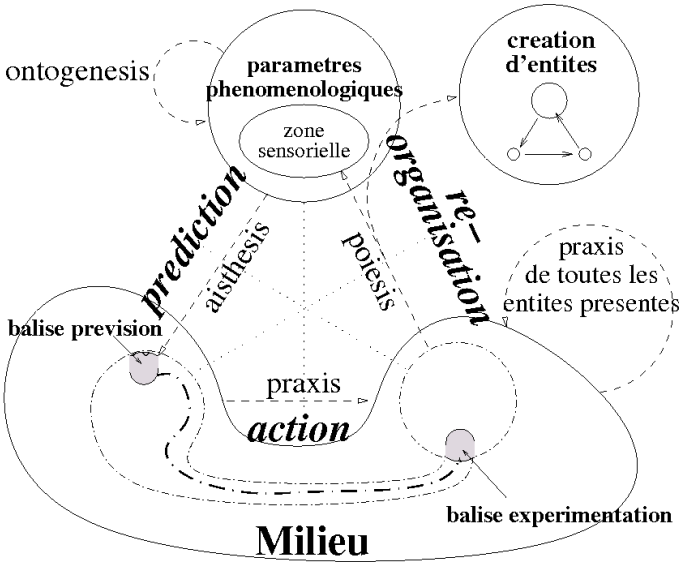
L'expérimentation *in virtuo* consiste à considérer la réalité virtuelle comme un univers de modèles en interaction entre eux et avec des êtres humains. Ces derniers peuvent alors mettre en œuvre les méthodes des sciences expérimentales pour étudier et comprendre différents modèles de phénomènes impliqués dans un système complexe. Jacques Tisseau utilise le terme *virtuoscope* pour désigner un tel laboratoire virtuel permettant d'explorer cette complexité.

Pour élaborer un *virtuoscope* dans un cadre interdisciplinaire, le paradigme de l'enaction est appliqué aux modèles impliqués dans la simulation ; c'est à dire que chaque phénomène est modélisé comme une entité autonome définie par ses interactions avec les autres processus. Cette posture épistémologique apporterait une certaine équité des connaissances entre les différentes disciplines.

Selon cette méthode, les phénomènes n'ont pas tous besoin d'être décrits par des lois analytiques comme c'est le cas dans les approches plus classiques des systèmes dynamiques à base d'équations différentielles [1]. Ainsi, chaque spécialiste peut potentiellement intégrer ses connaissances dans le système, qu'elles soient, par exemple, analytiques, empiriques ou artistiques.

Cette méthode que j'appelle l'*enactique* est associée à un modèle formel pragmatique. Dans ce modèle sont formalisés de manière cohérente les notions d'objet actif, d'entité autonome et d'organisation enactive (voir Figure1). La formalisation incite à suivre les principes de l'enactique et favorise l'instrumentation des modèles imagninés au sein du virtuoscope. Ces principes consistent en 3 hypothèses inspirées par l'enaction : toute

1. L'équipe des mathématiciens du Centre Européen de Réalité Virtuelle a pu proposer des schémas numériques permettant d'utiliser ces approches classiques à bases de résolution d'équations différentielles si cela s'avère nécessaire, même dans le cas où les itérations ne sont qu'asynchrones chaotiques.




Une entité est constituée de trois objets actifs : l'action qui traduit la présence modélisée du phénomène avec des méthodes de type praxis, la prédiction qui prépare sa perception en exécutant les aithesis et la réorganisation qui transforme l'entité ou crée de nouvelles entités en fonction de ce qui est perçu par l'exécution des poiesis.
Le milieu supportant les interactions entre entités est construit dynamiquement par les entités en présence et le système informatique résout des problèmes de topologie spatio-temporelle.
Pragmatiquement, la construction de ces connaissances s'appuie sur une expertise formelle des phénomènes pour les praxis, sur une expertise empirique pour les aisthesis et sur une expertise phénoménologique pour les poiesis.

FIGURE 1 – Triangle formel d'une entité selon le modèle enactique

connaissance modélisée provient d'une intention humaine explicitée, tout phénomène est modélisé comme une entité autonome, en interaction à travers un milieu construit dynamiquement par les entités elles-mêmes.

L'instrumentation informatique permet alors aux concepteurs d'expérimenter en réalité virtuelle le système multi-modèles à tout moment de son élaboration.

Le système informatique anime les activités des modèles en résolvant des problèmes topologiques de voisinages spatio-temporels aux différentes échelles intriquées dans la simulation. Parfois, malgré l'apport des informaticiens, la complexité numérique des calculs nécessaires à la simulation demande de réviser le modèle par une approche moins gourmande en énergie calculatoire. Ces transformations des modèles traduisent généralement un passage de descriptions plutôt microscopiques ou matérialistes vers des connaissances souvent plus explicites en terme de connaissance phénoménologique macroscopique ou systémique.

# 2 Applications réalisées

Nous avons déjà mise en œuvre l'enactique de manière prometteuse pour les états de mer en collaboration avec l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, pour les ondes électromagnétiques en environnement urbain en collaboration avec le Laboratoire d'Électronique et Systèmes de Télécommunications, pour la modélisation de l'observation à distance de la mer avec notamment Télécom Bretagne et l'IFREMER, pour la modélisation de la géodynamique terrestre avec le Laboratoire Domaines Océanique ou pour l'étude de la pompe biologique avec notamment le Laboratoire des sciences de l'Environnement Marin.

Pérenniser cette méthode passe par le développement des outils informatiques facilitant la conception, l'expérimentation et la validation des modèles issus d'une telle approche et rejoint les propositions conceptuelles comme l'expérimentation *in virtuo* avec les Systèmes Multi-Interaction de G. Desmeules ou les plate-formes open-source réalisées, par exemple, autour des approches multi-agent comme Net-Bio-Dyn [2] pour des simulation en microbiologie, NetLogo [3] pour des grilles et pas de temps fixe ou GAMA [4] supportant les GIS.

Le contexte interdisciplinaire de cette posture méthodologique se traduit par des résultats obtenus en pédagogie, en océanographie, en électromagnétisme, en bio-géophysique, et en informatique :

**Pédagogie.** Une caractéristique commune de ces expériences est le potentiel pédagogique des modèles obtenus qui a été souligné systématiquement par les différents protagonistes, et effectivement utilisés en enseignement à Telecom Bretagne pour l'enseignement de l'observation radar de la mer et à l'IUEM pour la tectonique des plaques.

**Océanographie.** Concernant l'océanographie, nous avons prouvé que notre modèle à base de groupes de vagues pour décrire une surface de mer permet de contrôler jusqu'aux moments spectraux d'ordre 4 (skewness et kurtosis), alors que seuls les moments d'ordres 1 et 2 étaient contrôlables par les modèles classiques.

2. Net-Bio-Dyn : http://netbiodyn.tuxfamily.org/NetBioDyn/Accueil.html
3. NetLogo : https://ccl.northwestern.edu/netlogo/
4. GAMA : https://github.com/gama-platform/gama/wiki

**Ondes EM.** Concernant la propagation des micro-ondes en environnement urbain, nous avons un modèle tout aussi précis que les modèles à base de lancés de rayons, mais d'une complexité algorithmique moindre (un seul groupe d'onde contre des milliers de rayons) et bien plus explicite en terme de phénoménologie électromagnétique.

**Tectonique.** Concernant la tectonique des plaques, nous avons pu répondre à un problème trentenaire : la convection mantellique seule ne peut rendre compte de la complexité du refroidissement du manteau à différentes échelles de temps ; ce sont les processus tectoniques de surface qui contrôlent l'évolution thermique de la Terre. Si nous ajoutions un modèle volcanique simple au modèle cylindrique actuel, nous obtiendrions le premier modèle géophysique avec croissance continentale.

**Radar.** Concernant l'observation à distance d'une scène maritime, nous avons pour la première fois obtenu un simulateur intriquant de manière cohérente pendant 20 minutes sur une centaine de kilomètres carré avec une précision à la milliseconde et au centimètre près, les états de mer avec déferlements, une hydrodynamique simple des navires avec leurs sillages et les mécanismes d'acquisition radar propres au SAR.

**Biogéophysique.** Concernant la pompe biologique, après avoir identifié, formalisé et implémenté les processus d'assimilation des micro-plastiques dans les agrégats qui sédimentent, nous avons commencé à pouvoir quantifier leur rôle dans le processus d'export du carbone vers les zones profondes de l'océan en fonction des types de phytoplancton constitutifs des agrégats.

**Méthodologie informatique.** Informatiquement, pour toutes ces organisations, le cœur du moteur de simulation est le même. Les spécialisations sont associées à la topologie des interactions qui est très différente selon le problème abordé. Un bilan de l'expérimentation des modèles *in virtuo* pour la validation multidisciplinaire et interdisciplinaire des laboratoires virtuels ainsi élaborés est en cours.

Après la description de quelques thématiques abordées selon cette approche enactiviste, nous avons pu mettre en évidence son potentiel pour la construction de sens dans un contexte interdisciplinaire.

# 3 Objectif eau potable

Examinons en guise de perspective comment cette méthode peut ou pourrait s'appliquer au problème subtil de la gestion durable des ressources en eau potable en fonction de l'activité anthropique.

La méthode propose de commencer par identifier les phénomènes et leurs interactions impliqués dans l'objet de l'étude.

Les nappe phréatiques – les aquifères – sont des sortes d'éponges rocheuses gorgées d'eau dans laquelle on puise en fonction de nos besoins en eau, et qui sont rechargées lentement pendant les périodes humides.

La réponse d'un aquifère de surface à un changement de politique sur la gestion de l'eau est de plusieurs décennies. Cela correspond au temps d'une génération humaine et une modélisation pertinente pour une gestion durable de l'eau inclut donc forcément une part d'éducation à cette gestion de l'eau dans l'étude réalisée.

En ce qui concerne les aquifères profonds ou fossiles, leurs temps de réponse est de l'ordre du millénaire. L'eau pouvant être utilisée de manière durable ne se trouve donc que dans les aquifères de surface.

Il s'agit donc de pouvoir expérimenter des politiques de société intégrant une gestion durable de la ressource en eau potable, en jouant avec un modèle capable de supporter la complexité des aquifères et leurs réponses en fonction des activités anthropiques engagées, que l'approche soit intensive, par exemple avec un usage immodéré de l'agrochimie, ou extensive par exemple avec un point de vue permacole.

L'identification des phénomènes en jeu pour la gestion de l'eau proposée ci-après n'est pas terminée et la construction d'un consortium est en cours de réalisation. Les disciplines concernées sont, de manière non exhaustive, l'hydrogéologie, l'édaphologie (science du sol) ou l'agriculture, la climatologie, la médecine, l'économie et l'éducation. Les phénomènes concernent les interactions entre l'eau, la roche (sous-sol), le sol, la flore, la faune et l'activité anthropique, dont les pratiques agricoles, la consommation et le traitement de l'eau. Cela doit aller jusqu'à tenir compte de l'ensemble de ce système dans une vision économique incluant notamment la santé publique et l'éducation, afin de pouvoir choisir une politique pertinente parmi plusieurs pour une gestion durable de la ressource en eau potable.

Les interactions entre les différents phénomènes se déclinent au moins pour chaque couple. Par exemple, les interactions entre l'eau et la roche impliquent la présence de spécialistes en hydrogéologie et en mathématiques des équations complexes d'écoulements fluides en milieu poreux, les interactions entre l'eau et le sol demande des spécialites en microbiologie et en faune endogène (interne), épigène (à la surface) et anécique (migrante) qui agissent sur le sol en l'aérant et en rendant assimilables certains composés chimiques essentiels au développement de la flore. La flore modifie les caractéristiques du sol et la vitesse d'évaporation de l'eau tout en filtrant, nettoyant et guidant l'eau vers l'aquifère. Les pratiques agricoles vont venir modifier les caractéristiques du sol, les types de flore/faune qui vont s'y installer, et indirectement la manière dont l'eau et le sol interagissent. De la qualité de l'eau dans l'aquifère dépendra le coût de son traitement et son effet sur la santé publique. Les pratiques agricoles identifiées comme favorables devront être intégrées aux formations en agronomie. Ces transformations politiques demanderont une réorganisation décidée en partie sur ce que la construction du modèle et son expérimentation auront pu mettre en évidence.

Pour bien faire, il faudra constituer un consortium avec au moins un hydrogéologue, un mathématicien, plusieurs spécialistes du sol (microbiologiste, éthologiste, botaniste, agriculteur...), un ingénieur en traitement des eaux, un économiste, un pédagogue, un informaticien et un spécialiste en enactique, pour permettre à chacun d'exprimer ses différents phénomènes et leurs interactions avec ceux des autres. Parallèlement à ce travail d'explicitation phénoménologique qui va permettre de construire le modèle, il s'agit d'exposer les expériences qu'il faudra réaliser d'une part pour valider le système partiel obtenu tout au long de son invention et donner confiance dans l'objet ainsi élaboré, mais aussi les expériences destinées à répondre au problème initialement posé, comme par exemple mesurer les effets d'une pratique agricole sur la qualité de l'eau exportée vers l'aquifère.

Ce projet est certainement un peu fou et je suis conscient qu'il s'agit là d'un pari, mais je suis convaincu qu'il faut un petit grain de folie pour accélérer la transition vers des politiques durables des organisations humaines. J'espère que l'enactique comme méthode de construction d'un virtuoscope aidera à réaliser cette tâche.