

Modéliser et simuler avec les globes virtuels pour apprendre la géologie et la géographie

E. Sanchez
Institut National de Recherche Pédagogique
LEPS – Université de Lyon
eric.sanchez@inrp.fr

Introduction

Recueillir des données sur le terrain et sur Internet, les mutualiser et les intégrer dans une application informatique pour étudier un contexte géologique local, réaliser un modèle de bassin versant pour simuler différents scénarios de gestion de l'eau ou s'appuyer sur une argumentation fondée sur des cartes numériques pour discuter des choix d'aménagements du territoire ne sont plus des activités réservées à des professionnels. Des enseignants innovent pour construire de telles situations avec leurs élèves.

Ces innovations sont en partie liées à des évolutions technologiques. Outils destinés au grand public, les globes virtuels rencontrent un succès important probablement lié au fait qu'il permettent à tout un chacun d'accéder de manière relativement aisée à une information géographique à la fois personnelle et universelle. De plus en plus nombreux, les enseignants s'emparent de ces outils et les intègrent dans leur enseignement. Nous nous proposons ici d'examiner comment les enseignants, qui souhaitent améliorer leur enseignement, se saisissent de ces technologies et innovent dans leurs classes, en particulier en demandant à leurs élèves de s'engager dans des activités de modélisation et de simulation.

La première partie sera consacrée à préciser ce que nous entendons par modélisation et simulation. Elle nous permettra d'examiner quelques exemples de pratiques de classe dans l'enseignement des sciences de la Terre et de la géographie et d'identifier en quoi ces pratiques permettent un renouvellement de l'enseignement de ces disciplines. Les dernières parties aborderont la question des limites et des enjeux de l'usage des globes virtuels pour modéliser et simuler.

La modélisation et la simulation : des pratiques de chercheur et d'ingénieur

L'activité scientifique est généralement considérée comme la mise en relation d'idées théoriques et de faits d'observation ou d'expérience dans le cadre de la résolution d'un problème. De nombreux travaux d'épistémologues montrent que cette mise en relation n'est pas directe. Les chercheurs élaborent des modèles conceptuels qu'ils confrontent au réel (Bunge, 1975). Ces modèles sont alors des outils de connaissance qui permettent d'interpréter le réel. La modélisation est ainsi une démarche partagée par l'ensemble de la communauté scientifique, y compris par les géographes (Durand-Dastès, 1992). Les modèles qui sont élaborés peuvent conduire à la réalisation de modèles analogiques (des maquettes) ou numériques (images ou cartes numériques, environnements de simulation), et l'ordinateur permet de concevoir des applications dans lesquelles ont été implémentées un certain nombre de contraintes et de propriétés du modèle de référence. Elles se traduisent par des règles de fonctionnement du modèle.

Selon ce point de vue, la simulation apparaît comme un processus qui conduit à produire des résultats qui proviennent du fonctionnement du modèle. En conséquence, un modèle numérique du cycle du carbone pourra être utilisé pour simuler l'évolution de la température du globe. Ces résultats peuvent être utilisés de deux manières. Ils peuvent être confrontés aux températures effectivement relevées ou permettre de faire des prévisions sur l'évolution future de cette température. Par ailleurs un tel modèle peut également être couplé avec des modèles de développement économique et la simulation permet alors de faire jouer différents scénarios sur les changements climatiques et leurs conséquences sur l'environnement ou le développement. Les modèles du groupe international d'experts sur le climat (GIEC) qui permettent d'établir des prévisions sur les conséquences du dérèglement climatique sur la biosphère et les systèmes socio-économiques en sont des exemples largement médiatisés.

La simulation, pour le chercheur ou l'ingénieur, peut donc avoir deux fonctions principales. Elle produit des résultats qui peuvent être confrontés à des données empiriques. Le niveau d'adéquation de ces données avec les résultats de la simulation permet alors de juger de la pertinence du modèle utilisé et de définir son domaine de validité. La simulation produit également des résultats qui peuvent être utilisés pour prévoir le comportement d'un système modélisé. Dans ce cas, les résultats permettent une gestion prévisionnelle de ce système. Il faut ajouter que l'interface des applications utilisées peut avoir une grande importance car la simulation peut aider à la visualisation de certains phénomènes et en faciliter la compréhension. Les représentations produites peuvent aussi jouer un grand rôle dans la communication entre chercheurs mais également entre les ingénieurs et les responsables politiques qui peuvent visualiser les conséquences de leurs décisions.

Chercheurs et ingénieurs utilisent des outils spécifiques de modélisation et de simulation. Dans le domaine de la géomatique, c'est à dire dans le domaine des technologies numériques appliquées à la géographie, ce sont principalement les Systèmes d'Information Géographique (SIG) qui sont utilisés. Ces applications informatiques d'agrégation, de visualisation et de traitement de données géolocalisées permettent de réaliser des modèles de systèmes géologiques ou géographiques en sélectionnant un ensemble de données jugées pertinentes pour les décrire. Il est alors possible de produire une représentation de ces systèmes facilitant leur visualisation. Il est également possible de jouer sur les valeurs des paramètres retenus pour simuler un événement et juger de l'impact de tel ou tel choix. Les exemples de telles pratiques sont nombreux et en plein développement. Ils concernent une multitude de domaines d'application. A titre d'exemple on peut citer la gestion de l'eau (Lachassagne & Wymys, 2005), la gestion prévisionnelle des risques liées à l'implantation d'une centrale nucléaire (Habchi, 2007) ou la prédiction de l'implantation optimale d'un magasin (Jensen, 2007). La simulation permet l'anticipation, la gestion prévisionnelle et la prise de décision.

Des pratiques enseignantes : l'usage des globes virtuels plutôt que des SIG spécialisés

Une enquête récente que nous avons conduite (Sanchez, 2008) montre que la majorité des enseignants qui introduisent des pratiques géomatiques dans leurs classes utilisent un globe virtuel plutôt qu'un SIG spécialisé. La plupart d'entre eux n'a pas été formée aux concepts et outils de la géomatique et l'achat d'une licence pour un SIG peut par ailleurs s'avérer trop onéreux pour le budget d'un établissement scolaire. Les globes virtuels sont, quant à eux, des applications destinées au grand public et dont la prise en main est relativement aisée. Ils permettent, via Internet, de consulter une représentation tridimensionnelle du globe et à travers cette représentation, des informations scientifiques, économiques et culturelles (Gervais, 2007). Les globes virtuels tels que Google Earth ou le Géoportail de l'IGN permettent généralement à l'utilisateur d'ajouter ses propres données. On observe ainsi que

les fonctionnalités de ces outils, libres de droits, et facilement accessibles sur Internet sont de plus en plus proches des SIG spécialisés. Dans le cas de Google Earth, ces fonctionnalités ne sont pas uniquement liées aux évolutions de l'application. Elles sont également en lien avec l'existence d'une communauté d'utilisateurs/développeurs qui produit des applications (de type *mashups*) permettant d'enrichir ce globe virtuel.

Les pratiques déclarées par les enseignants (Sanchez, Prieur, & Fontanieu, 2007) montrent également que, dans la classe, les modèles n'ont pas les mêmes fonctions que dans le laboratoire du chercheur. Ce sont des substituts du réel plutôt que des outils pour penser. Ainsi, les modèles que les élèves sont conduits à utiliser sont le plus souvent des boîtes noires. N'ayant pas accès aux éléments constitutifs des modèles qui leur sont donnés à manipuler, au règles qui ont été implémentées, ils ne peuvent visualiser que les événements générés à l'interface. La simulation prend alors un sens plus trivial. C'est un artifice qui vient remplacer une réalité inaccessible dans un contexte d'enseignement et les modèles qui permettent de simuler sont implicites pour l'élève qui les utilise. Cela se traduit par l'emploi de maquettes ou de logiciels dont on demande aux élèves d'observer le fonctionnement en fonction des paramètres qu'ils choisissent et d'inférer les propriétés du modèle qui a permis de les construire. Les exemples de tels logiciels sont très nombreux. A titre d'exemple on peut citer le jeu en ligne *Ecoville*¹, disponible sur le site de l'ADEME, qui consiste à créer une ville respectant certains critères environnementaux. Il est attendu du joueur qu'il découvre ces critères en prenant conscience du résultat des choix d'aménagement qu'il fait.

Des pratiques enseignantes : modéliser pour visualiser

Les globes virtuels semblent le plus souvent employés par les enseignants pour aider à la visualisation d'objets ou d'événements difficiles à observer. Il s'agit alors de donner à voir aux élèves ce qui n'est pas aisément observable. On emploie parfois le terme de géovisualisation pour désigner les pratiques qui permettent la représentation et l'exploration visuelle de l'information géologique ou géographique. Les exemples de tels usages avec les globes virtuels sont très nombreux.

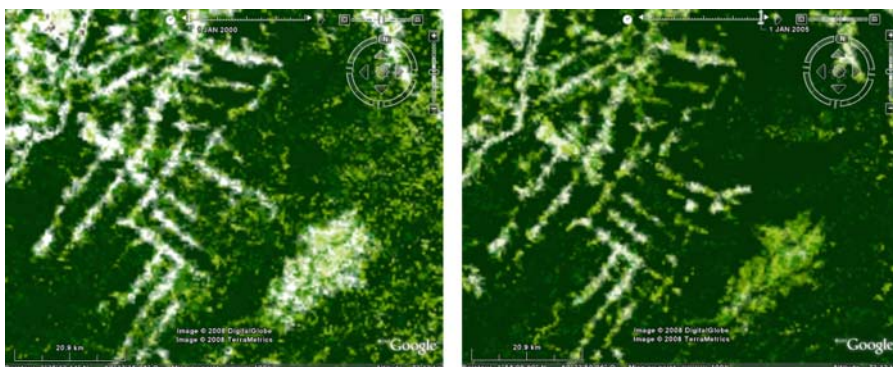


Fig. 1. Suivi de l'évolution du couvert forestier avec Google Earth

¹ <http://www.ademe.fr/particuliers/jeu2/ADEME/ECOVILLE/index.htm>

Le site Google Earth Outreach² propose ainsi au téléchargement un ensemble de simulations qui permettent de mieux appréhender certains phénomènes géologiques ou géographiques. L'utilisateur peut télécharger un fichier et l'ouvrir avec Google Earth. Ce type de pratique tend à se diffuser et le format utilisé à s'imposer en tant que standard. On peut citer, parmi les exemples proposés, une animation permettant de visualiser l'évolution du couvert forestier (fig. 1). L'utilisateur peut choisir la zone qu'il veut étudier, l'échelle à laquelle il souhaite conduire cette étude et les fonctions vidéo de l'application lui permettent d'afficher l'évolution de la végétation au cours du temps. D'autres exemples sont disponibles dans les domaines des sciences, de la culture, de la santé ou du développement.

L'emploi de telles simulations dans un contexte scolaire permet de s'abstraire, au moins partiellement, de difficultés liées aux dimensions spatiale ou temporelle des phénomènes étudiés. Les fonctions « retour arrière », « arrêt sur image » permettent de rejouer la simulation ou de visualiser un instant donné. Les fonctions « ralenti » ou « accéléré » autorisent la dilatation ou la contraction du temps pour les phénomènes trop rapides ou trop lents pour être observés directement. Le zoom permet quant à lui l'étude de ces phénomènes à différentes échelles. C'est, en somme, la possibilité d'étudier des phénomènes complexes qui est donnée. Et cette étude est facilitée par l'emploi d'une représentation du phénomène étudié, par le fait que l'application qui est utilisée autorise de « jouer » avec cette représentation et également par le fait qu'elle prenne en compte les dimensions spatiale et temporelle de ce phénomène.

Des pratiques enseignantes : modéliser à l'aide d'un globe virtuel

Les séances de classe au cours desquelles les élèves sont eux-mêmes conduits à élaborer le modèle qu'ils utilisent semblent plus rares. Le travail que Ludovic Delorme³ a conduit avec ses élèves dans le cadre de travaux personnels encadrés (TPE) est une bonne illustration de ce type de pratique.



fig 2. Étude d'un bassin versant avec Google Earth²

Le travail qui a été mené a consisté à développer un projet sur la question de la prévision des inondations. L'étude comprend l'analyse des caractéristiques d'un bassin versant (longueur, superficie, pente moyenne, affluents...) et l'utilisation d'un logiciel de simulation afin d'estimer les risques de crues en fonction des précipitations. Les outils qui sont utilisés sont le globe virtuel Google Earth et en

particulier les fonctionnalités « Mesure » et « Polygone ». Les élèves ont également créé des repères sur le modèle numérique de terrain afin de caler les cartes topographiques et ont

² <http://earth.google.com/outreach>

³ <http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article187>

utilisé Google Graph pour mesurer la superficie du bassin versant (fig. 2). L'intérêt de l'utilisation d'un globe virtuel réside ici dans le fait que l'application permet aux élèves de travailler une question relative au contexte local. Les raisonnements mis en œuvre permettent de comprendre les fondements et les enjeux de la gestion prévisionnelle des risques naturels dans une optique d'enseignement au développement durable.

Il faut également noter que le projet qui a été conduit par les élèves comprend un travail de terrain. Ces derniers sont amenés à fonder le modèle qu'ils élaborent sur des données dont ils ont, pour partie, effectué le recueil. C'est donc un travail de modélisation qui s'appuie sur une étude du réel. Mais il faut aussi souligner que le modèle qui est mobilisé ici est un modèle élémentaire qui ne prend pas en compte un grand nombre de paramètres dont un hydrogéologue ne pourrait pas faire abstraction.

Des pratiques enseignantes : modéliser et éprouver un modèle

Les activités décrites par le site canadien du RECIT⁴ pour l'enseignement de la géographie sont une illustration intéressante de pratiques de modélisation dans la classe. Dans un premier temps, les élèves sont conduits à élaborer un modèle de métropole en analysant les différents quartiers de Montréal avec Google Maps. L'application aide ainsi à l'identification de l'organisation de l'espace de la ville. Les élèves identifient les principales caractéristiques de ce modèle : organisation concentrique et péri-urbanisation, voies de transport... Dans un second temps, il est demandé aux élèves d'étudier la ville du Caire et de juger de la pertinence du modèle précédemment réalisé pour décrire l'organisation de l'espace de la métropole d'un pays en voie de développement. Les élèves sont alors conduits à réviser leur modèle de métropole pour tenir compte des nouvelles données recueillies. L'exemple est un peu caricatural car il se réfère des modèles de métropoles très différents. Néanmoins, il permet de mettre en œuvre une démarche peu commune dans l'enseignement secondaire.

En effet, si le globe virtuel n'est pas utilisé comme logiciel de modélisation ou de simulation mais comme le moyen de consulter des données utiles, il faut signaler ici une certaine similitude entre la démarche qui est demandée aux élèves et celle du chercheur. Élaborer un modèle pour décrire un contexte donné, le faire évoluer pour l'adapter à un autre contexte consiste dans des allers et retours entre un modèle explicite et une réalité à investiguer. C'est donc la possibilité donnée aux élèves, de s'engager dans un travail d'investigation qui laisse une large part à l'autonomie, c'est à dire à la liberté de la stratégie qui est employée. Le modèle utilisé n'est alors pas un but en soit mais un outil pour penser, des lunettes conceptuelles qui guident les investigations qui sont conduites.

Des pratiques enseignantes : simuler pour établir des prévisions

Les globes virtuels ne sont pas à proprement parler des environnements de simulation et les situations de classe au cours desquelles les élèves sont amenés à s'engager dans ce type d'activité sont rares. Un travail, conduit en sciences de la vie et de la Terre par Ludovic Delorme⁵ sur le thème de la prévention des risques technologiques en classe de cinquième, s'apparente néanmoins à ce type de démarche. Ce travail consiste à demander aux élèves de s'interroger sur les conséquences du projet de loi qui définit le périmètre de sécurité autour

⁴ Réseau pour le développement des Compétences par l'Intégration des Technologies <http://www.recitus.qc.ca>

⁵ <http://pedagogie.ac-montpellier.fr:8080/disciplines/svt/spip/spip.php?article190>

des usines classées Séveso II sur le site Sète-Balaruc-Frontignan. Les élèves sont ainsi amenés à s'interroger sur les conséquences de la valeur choisie pour définir le rayon du périmètre à l'intérieur duquel il n'est pas possible de construire une nouvelle habitation ou tout établissement recevant du public. L'activité réalisée par les élèves consiste à tracer des périmètres de sécurité de rayons différents à l'aide du logiciel GE Path (fig. 3).



Fig. 3 : définition de périmètres de sécurité dans Google Earth à l'aide de GE Path

Des pratiques enseignantes : simulation et jeu de rôle

Ce bref tableau des usages de la modélisation et de la simulation à l'aide de globes virtuels serait incomplet s'il ne faisait pas mention de l'utilisation de jeux de rôles. On peut en particulier citer le travail de Caroline Jouneau-Sion (2008) qui utilise Google Earth avec ses élèves de quatrième pour organiser un jeu de rôle sur le thème de l'aménagement du territoire et de la reconversion du Nord-Pas de Calais (la boucle d'essais ferroviaires à grande vitesse du Valenciennois). Les élèves utilisent le globe virtuel pour défendre leur point de vue lors de la « réunion publique » et pour élaborer le tracé qui sera retenu lors de la « réunion de concertation ».

Chaque élève est ainsi engagé dans un travail autonome et collaboratif au cours duquel il doit construire l'argumentation qui doit être défendue par le personnage qu'il joue (sous-préfet, chef d'entreprise ou simple riverain de la zone aménagée). Ce faisant, il doit mobiliser des savoirs géographiques étayés par les données de la situation. C'est en jouant une situation simulée correspondant à un problème d'aménagement du territoire que les élèves sont amenés à s'impliquer. La simulation s'exprime donc ici à deux niveaux. La situation de classe qui a été élaborée permet de simuler une situation proche du réel de nature à engager les élèves dans un travail d'argumentation. La simulation est également présente au travers des outils qui sont utilisés et qui permettent de simuler les conséquences des différents types d'aménagements qui peuvent être envisagés.

Comme le relève Caroline Jouneau-Sion, c'est également le statut de l'outil qui est modifié. « Les images accessibles par Google Earth ne sont plus une vision incontestable de la Terre, mais une représentation de l'espace utilisée pour convaincre ». C'est donc également à l'utilisation raisonnée de ce type d'outil que vise la séance.

Les risques et limites de l'usage de la simulation avec les globes virtuels

On entend parfois chez les scientifiques l'expression de la crainte que l'utilisation de globes virtuels ou plus généralement de l'ordinateur en classe ne conduise les enseignants à délaisser l'étude du réel pour lui substituer un travail sur ordinateur basé sur l'emploi de simulations (Brezin, 2007). Pourtant, nos propres observations, et les exemples que nous avons utilisé plus haut, tendent à montrer que c'est plutôt l'inverse qui se produit. Dans le domaine des sorties pédagogiques ou classes de terrain on constate ainsi un renouvellement des pratiques lié à l'utilisation de globes virtuels. Des enseignants organisent des classes de terrain qui permettent à leurs élèves de recueillir des données et de les éditer dans un globe virtuel. Les technologies permettent alors de concevoir des situations d'apprentissage d'une grande richesse au cours desquelles les élèves sont amenés à s'engager dans des activités qui les conduisent à s'interroger sur la signification des données qu'ils recueillent et sur les concepts géologiques ou géographiques qui permette de leur donner du sens. Il s'agit de tisser des liens entre les aspects théoriques et empiriques d'une connaissance.

Néanmoins, l'utilisation des globes virtuels pose la question de la validité des modèles qui sont utilisés dans un cadre scolaire. En effet, il faut relever que l'information disponible est parfois peu fiable. A titre d'exemple, la figure 4 montre des copies d'écran du Cap Canaille obtenues avec le Géoportail et Google Earth. On voit que, du fait que le modèle numérique de terrain disponible dans Google Earth manque de précision, l'affichage produit un artefact. Le tracé de la route qui longe la falaise est pour le moins acrobatique lorsqu'il est affiché à l'aide de Google Earth.

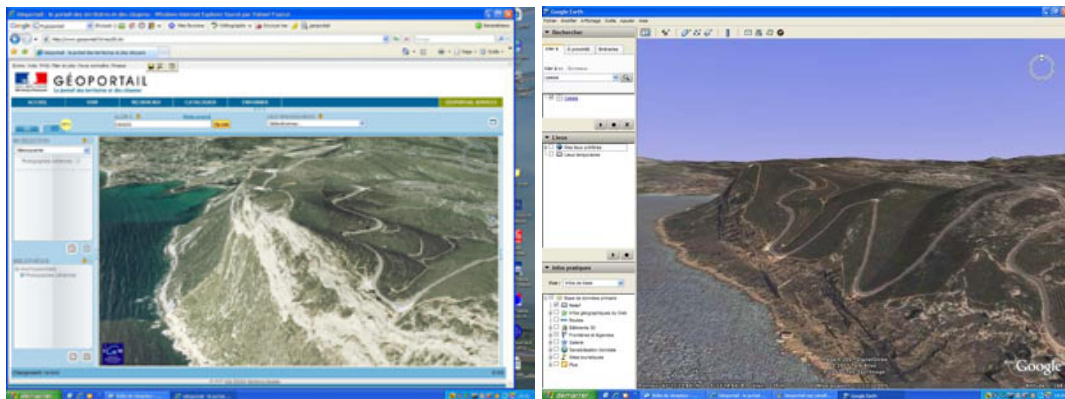


fig. 4. Le cap Canaille sur Géoportail et Google Earth

Le manque de précision du modèle numérique d'élévation peut alors rendre caduques les démarches qui sont employées. Les informations d'une image produite en superposant une carte géologique sur un modèle numérique d'élévation peu précis ou erroné peut conduire à modifier les informations de pendage apportées par la carte. Ce type de pratique pose également problème lorsque les systèmes de projection des différentes cartes sont différents et l'image produite par superposition de ces cartes peut présenter des anomalies qui en modifient le sens.

Dans un registre proche, Pascal Buch signale sur son site que la simulation de la montée des eaux qu'il décrit pour évaluer les conséquences d'un réchauffement climatique à Marseille (fig. 5) est une simulation grossière. Il signale également les limites du domaine de

l'emploi de ce type de simulation qui ne peut être réalisée que pour des étendues d'eaux « planes ». Il est donc nécessaire que les enseignants soient en mesure de faire preuve d'une grande prudence dans l'utilisation des globes virtuels. Cela renvoie à la question de leur formation. Outre la maîtrise des concepts géographiques nécessaires pour réaliser ce travail, il est en effet nécessaire de maîtriser certains concepts informatiques, notamment dans le domaine de la visualisation et du traitement de l'image ou de la carte numérique, pour utiliser de manière raisonnée les globes virtuels et les SIG.

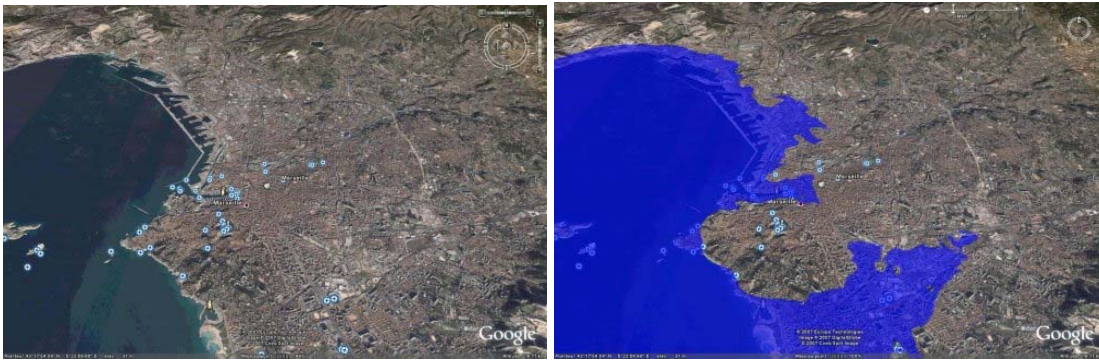


fig. 5. Marseille aujourd'hui et Marseille avec une montée des eaux de 20 mètres

Une autre limite à l'emploi des globes virtuels pour modéliser et simuler porte sur la question de l'implicite des codes employés pour construire les interfaces. Les images qui sont données à voir peuvent ne pas avoir la même signification pour le professeur qui connaît la sémiologie employée, et l'élève qui n'a pas nécessairement accès à cette sémiologie. L'illusion qu'il suffit de donner à voir pour faire comprendre peut conduire à des situations de grande incompréhension entre le professeur et ses élèves qui n'ont pas les mêmes grilles de lecture et d'interprétation des images.

Les enjeux de la pratique de la modélisation et de la simulation dans l'enseignement

Au delà ces précautions nécessaires dans l'emploi des globes virtuels, ces outils recèlent un potentiel intéressant dans la mesure où ils permettent d'accéder relativement facilement à un volume très important de données intéressantes d'un point de vue pédagogique. Riches et actualisées, ces données offrent aux enseignants la possibilité de personnaliser les thèmes qu'ils travaillent avec leurs élèves (Genevois & Joliveau, 2005). Il est ainsi possible de travailler sur le global comme sur le local, de replacer des questions proches et quotidiennes dans un contexte plus large. Cette richesse permet également de travailler sur des questions complexes relatives à des situations plus authentiques. Cet aspect peut se révéler très motivant pour les élèves qui, on l'a vu à travers les exemples décrits plus hauts, peuvent s'engager dans la résolution de questions « concrètes ». La possibilité de travailler sur des phénomènes en n'occultant pas leur complexité nous paraît également être un point très important. Edgard Morin en avait fait un des « sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur » (Morin, 2000). Il s'agit de former des citoyens qui seront en mesure d'apprécier les questions de société dans leur globalité et leur aspect multidimensionnel plutôt que de manière étroite et réductrice.

Il découle de ces remarques que les activités de modélisation et de simulation à l'aide de globes virtuels semblent en mesure de favoriser l'implication des élèves dans un travail d'investigation conduit de manière autonome en donnant du sens à ces activités. Les modèles

qu'ils utilisent peuvent constituer des grilles de lecture de la réalité qui leur est donnée à étudier. Il y a, du point de vue de leur formation scientifique, probablement une grande importance à ce que le processus de construction des connaissances scientifiques soit vécu par les élèves comme une démarche fondée sur la confrontation argumentée d'idées que les scientifiques ont sur le monde avec les données qu'il est possible de recueillir. Imposer un « modèle solution » plutôt qu'un « modèle outil » conduirait à tomber dans le piège du dogmatisme. Néanmoins, il serait illusoire de vouloir reconstruire, dans l'enseignement, les conditions pour que les élèves puissent conduire des investigations comparables à celles des chercheurs. Il s'agit plutôt d'examiner les conditions de transposition (c'est à dire de reconstruction), dans un contexte scolaire, des concepts, outils et démarches du géographe et du géologue.

Lorsqu'ils permettent à l'utilisateur d'ajouter ses propres données, les globes virtuels constituent de véritables agrégateurs d'information dont les données peuvent être enrichies et mutualisées. Certains auteurs soulignent ainsi qu'on assiste à la naissance d'une néogéographie (Turner, 2006). Joliveau⁶ préfère quant à lui retenir le terme de Web 2.0 proposé dans Wikipédia pour souligner que la nouvelle génération des applications en ligne se caractérise par l'importance du contenu apporté par l'utilisateur. Dans un contexte scolaire, ces propriétés permettent aux enseignants de construire des situations d'apprentissage qui favorisent le travail collaboratif. Les élèves peuvent être amenés à participer à toute la chaîne de traitement de l'information, de sa collecte jusqu'à son intégration et diffusion dans le globe virtuel. La phase de traitement est certes limitée du fait que les fonctionnalités de ce type sont généralement peu nombreuses dans un globe virtuel. La coopération et les échanges sont valorisés. Ce sont donc les rapports aux savoirs géographiques et géologiques eux mêmes qui sont modifiés car les rôles de producteur et de consommateur d'information sont confondus.

La question de la modélisation et des modèles nous paraît être une question qui dépasse largement les aspects qui concernent l'enseignement de la géologie ou de la géographie *sensu stricto*. On utilise parfois le terme « *digital native* » parfois traduit par « natif numérique » pour souligner que les adolescents d'aujourd'hui baignent dans un bain technologique depuis leur naissance et ont de grandes facilités dans l'emploi des technologies numériques. Cette manière de voir les choses est probablement trop superficielle et il est nécessaire de s'interroger sur la manière d'éduquer à une utilisation raisonnée de ces outils. Le développement des technologies se traduit en effet par la multiplication d'outils numériques qui font appel à des modèles. Ces modèles tendent parfois à être confondus avec le réel lui-même et le réalisme des interfaces tend à renforcer cette confusion. Il s'agit donc de développer la capacité des adolescents à distinguer les éléments qui relèvent de ces deux registres et à comprendre les relations qui les articulent. Ce point nous paraît constituer un enjeu éducatif majeur et il nous paraît légitime de formuler l'hypothèse que l'engagement d'élèves dans des activités de modélisation et de simulation pour lesquelles ils sont amenés à problématiser cette articulation est de nature à les aider à accéder à cette compréhension.

Conclusion

La conjonction d'évolutions technologiques, de la mise à disposition d'une information géographique jusqu'alors réservée aux professionnels et de la volonté d'enseignants de renouveler leurs pratiques professionnelles se traduit par des innovations pédagogiques d'une grande richesse. Ces innovations permettent le développement de pédagogies actives qui font

⁶ <http://mondegeonumerique.wordpress.com/2007/11/13/geomatique-20/>

une part importante à l'initiative et aux productions des élèves eux mêmes. Ce sont ainsi de nouveaux rapports aux savoirs géographiques et géologiques qui se construisent dans la classe ou chaque élève peut mettre en œuvre des stratégies qui lui sont propres pour résoudre des problèmes proches du réel en s'engageant dans des activités de modélisation et de simulation.

Ces innovations se heurtent néanmoins à des difficultés liées aux outils qui sont utilisés, grand public plutôt que disciplinaires, et à la fiabilité des données qu'ils permettent de consulter. Ces innovations se heurtent également à la difficulté de certains concepts qu'il est nécessaire de maîtriser pour utiliser ces outils de manière raisonnée. En ce sens ces innovations nécessitent un accompagnement qui passe notamment et nécessairement par la formation des enseignants.

Chaque adolescent devrait pouvoir quitter l'enseignement secondaire en étant en mesure de porter un regard critique sur l'information diffusée par Internet et être capable d'avoir un usage raisonné des outils numériques de consultation et de traitement de l'information géographique. Au delà de la capacité d'utiliser les fonctionnalités d'un GPS ou d'un site de calcul d'itinéraire routier, il s'agit de posséder les clefs d'interprétation de cette information c'est-à-dire de s'interroger sur sa nature et son origine, de distinguer ce qui relève des modèles élaborés et du réel. L'enjeu réside dans la formation du jeune citoyen à une utilisation raisonnée est responsable des technologies et de l'élaboration de sa culture numérique.

Références

- Brezin, E. (2007, 4 décembre 2007). Installer un enseignement qui fasse place à l'observation. *Le Monde*.
- Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris: Editions du Seuil.
- Durand-Dastès, F. (1992). Les modèles en géographie. In A. Bailly & R. Ferras & D. Pumain (Eds.), *Encyclopédie de la géographie* (pp. 311-325). Paris.
- Genevois, S., & Joliveau, T. (2005). Etudier un fait d'actualité : le cyclone Katrina. Traiter l'information géographique avec des outils géomatiques. *Les Dossiers de l'Ingénierie Educative* (52), 34-37.
- Gervais, J.-F. (2007). *Web 2.0, les internautes au pouvoir*. Paris: Dunod.
- Habchi, V. (2007). SIG et risques nucléaires. *Géomatique Expert* (48).
- Jensen, P. (2007). Prédiction des catégories commerciales et des implantations optimales des magasins. *Géomatique Expert* (56), 56-60.
- Jouneau-Sion, C. (2008). Jouer au citoyen avec Google Earth. *Les Cahiers Pédagogiques* (460).
- Lachassagne, P., & Wymys, R. (2005). Aquifères de socle : nouveau concepts. *Géosciences* (2), 32-36.
- Morin, E. (2000). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. Paris: Seuil.

- Sanchez, E. (2008). Integrating Geomatics into the Curriculum: Inquiry-Based-Learning during a Fieldwork Course. In T. Jekel & A. Koller & K. Donert (Eds.), *Learning with Geoinformation III* (pp. 78-87). Heidelberg: Wichmann.
- Sanchez, E., Prieur, M., & Fontanieu, V. (2007). *Modèles et modélisation dans l'enseignement des sciences de la Terre au lycée : Points de vue et pratiques d'enseignants*. Communication présentée à la conférence Vèmes rencontres de l'ARDIST, La Grande Motte, pp. 345-351.
- Turner, A. (2006). *Introduction to neogeography*. Short Cut. Consultable sur: <http://www.oreilly.com/catalog/neogeography/>.