



GI-Pedagogy : Pédagogies innovantes pour l'enseignement de la géoinformation

REF. 2019-1-BE02-KA201-060212

Intellectual Output 1

Un modèle pédagogique innovant pour l'enseignement avec les SIG

Élaboré par EUROGEO

www.eurogeography.eu

Version finale : 18 novembre 2020

Contribution de tous les partenaires du projet

Mots-clés :

pédagogies, SIG, compétences numériques, enseignement et apprentissage, formation des enseignants

Résumé :

Ce résultat consiste en un examen, une analyse et une évaluation des pratiques d'enseignement existantes et dominantes qui intègrent les SIG dans les écoles et une exploration des preuves liées aux approches pédagogiques alternatives et innovantes de l'enseignement avec les SIG.

À la suite de l'examen et de l'analyse des résultats, une série de recommandations est fournie pour informer le développement du cours de développement professionnel des enseignants et de la boîte à outils des approches pédagogiques innovantes pour l'enseignement avec les SIG et se connecter aux études de cas des résultats.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Ce document reflète les opinions des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'il contient.

Table des matières

1. Le projet de GI-Pédagogie	3
2. Introduction.....	5
3. Compétences numériques.....	7
4. Enseigner avec les SIG	9
4.1 Technologie de l'enseignement.....	10
4.2 e-learning, travail de terrain et SIG mobile	11
4.3 Web-based SIG	14
4.4 GéoMentorat	16
4.5 L'apprentissage personnalisé.....	16
4.6 Rosenshine et l'enseignement efficace.....	18
5. Approches de l'enseignement avec les SIG.....	20
5.1 Pensée spatiale	20
5.2 Questionnement géographique, enquête et raisonnement spatial	21
5.3 TPCK et G-TPCK.....	24
5.4 Concepts seuils et connaissances puissantes	27
5.5 Géomédia, citoyenneté spatiale et SIG participatif	30
5.6 La technique du storytelling et les cartes web.....	32
6. Pédagogies.....	33
6.1 Pensée spatiale critique	34
6.2 Pédagogies actives et apprentissage par l'enquête	35
6.3 Apprentissage par les problèmes et apprentissage contextuel.....	38
6.4 Approches basées sur des projets	39
6.5 Progression de l'apprentissage, trajectoires et lignes d'apprentissage.....	40
6.6 La théorie de la charge cognitive	43
7 Formation des enseignants aux SIG.....	50
8 Conclusions	56
8.1 Recommandations pour la pédagogie de l'IG	56
Références	59



1. Le projet de GI-Pédagogie

GI-Pédagogie (2019-2022) est un projet d'enseignement scolaire financé dans le cadre de l'action KA2 coopération pour l'innovation du programme Erasmus Plus (Commission européenne, 2019), qui vise à consolider dans un concept, une structure et un ensemble de résultats cohérents, les trois éléments majeurs suivants, considérés comme essentiels pour intégrer l'utilisation des SIG et l'apprentissage spatial à l'échelle paneuropéenne :

1) Thème : Le projet se concentre directement sur la pédagogie innovante appliquée spécifiquement aux programmes d'études nationaux. Il répond à la nécessité de former les enseignants à l'intégration de la pédagogie innovante de l'IG dans leurs cours. Il cherche à le faire en développant des ressources essentielles pour la formation des enseignants. Le projet vise à transformer les connaissances, les matériaux, les concepts et les idées disponibles en une véritable formation des jeunes enseignants, avec la possibilité d'un développement professionnel des enseignants en place. Pour ce faire, GI- Pedagogy s'appuie sur des travaux innovants antérieurs et intègre également les derniers outils et technologies basés sur le web.

2) Outils, données et ressources : GI-Pédagogie propose de tirer parti du monde passionnant et innovant des données ouvertes et de la science ouverte, offrant ainsi un accès facile aux sources pour les écoles et reliant le monde scolaire au monde réel (en utilisant des données officielles et des résultats scientifiques) et sensibilisant les élèves aux questions de citoyenneté et de données. Le projet tirera parti du nombre croissant de technologies web faciles à utiliser qui deviennent disponibles en ligne. GI-Pedagogy utilisera les technologies innovantes mises à disposition par l'initiative de la Coalition pour les compétences numériques et l'emploi de la Commission européenne (<https://www.esri.com/en-us/school-program-europe/overview>) et l'engagement pris par la société ESRI, leader des logiciels SIG, de soutenir les écoles à travers l'Europe (Esri, 2016).

3) Objectif géographique et initiatives précédentes : Du matériel a déjà été produit pour aider à enseigner les SIG dans les écoles ; cependant, il n'a pas été orienté vers la formation initiale des enseignants, ni vers les nouveaux enseignants, avec une pertinence européenne. En outre, le projet GI-Pedagogy permettra de créer des ressources à vocation européenne et liées à la promesse de compétences numériques et d'emplois. Il s'appuie sur ce qui a déjà été réalisé par divers projets européens :

- le réseau thématique Herodot pour la géographie (2000-2009) a attiré l'attention de beaucoup sur l'IG et la pensée spatiale (Attard, 2010 ; Donert et Charzyński, 2005). À la suite de ce projet, de nombreuses autres initiatives ont été prises, l'une d'entre elles menant au projet iGuess, coordonné en Flandre.
- Le projet iGuess (2007-2010) a formé les enseignants à l'utilisation des SIG (Zwartjes, 2009) et au développement de leur propre matériel didactique utilisant les SIG. Bien que ce projet ait été couronné de succès (des activités de diffusion sont en cours), les partenaires impliqués ont remarqué que, pour de nombreux enseignants, le manque de conseils sur les programmes scolaires, y compris de matériel sur les SIG, rend difficile l'intégration complète des SIG dans l'enseignement.
- Le réseau digital-earth.eu (2009-2013) s'est concentré sur le développement d'une communauté d'apprenants en géomédia (Donert, 2013 ; Lindner-Fally et Zwartjes, 2012 ; De Miguel et Donert, 2014), mais il n'a touché qu'un groupe spécifique d'enseignants, d'éducateurs et de responsables de l'éducation.
- le projet GI-Learner (2015-2018) a créé un modèle de compétence en matière de pensée spatiale (Donert et al., 2016) et une ligne d'apprentissage avec des leçons prêtes à l'emploi

(Zwartjes et Lazaro y Torres, 2019) pour les écoles secondaires.

- le projet MYGEO (2018-2021) vise à favoriser l'employabilité des étudiants de l'enseignement supérieur en encourageant l'acquisition de compétences clés liées à l'utilisation des outils des systèmes d'information géographique (SIG).

4) Méthodes éducatives : Si nous voulons combler le fossé entre les premiers adeptes des SIG et l'ensemble de la communauté éducative, la seule stratégie efficace est d'explorer et d'encourager les approches innovantes. et, en outre, de les intégrer dans le processus de formation initiale des enseignants. La promotion d'une cohérence plus forte dans les programmes d'enseignement à l'aide des SIG est l'un des tremplins qui permettront à davantage d'élèves d'obtenir des emplois dans l'industrie géospatiale en pleine expansion, qui a connu une croissance de plus de 12 % par an au cours de la dernière décennie et prévoit une croissance encore plus forte dans les années à venir (GeoBuiz, 2018), de sorte que l'éducation et la formation ne peuvent pas suivre le rythme de la demande, ce qui entraîne des pénuries de compétences et des emplois non pourvus.

Le développement du projet GI-Pedagogy a été dérivé : a) des résultats du projet de réseau School on the Cloud - Connecting Education to the Cloud for Digital Citizenship, qui a exploré comment l'éducation devrait répondre aux développements du Cloud Computing et comment les services basés sur le Cloud peuvent être utilisés pour améliorer la qualité de l'éducation et transformer l'apprentissage et l'enseignement dans les écoles (Koutsopoulos et Papoutsis, 2016) ; et b) du projet GI-Learner, qui a établi un modèle et un cadre de compétences (Zwartjes, 2018). Ces projets ont également démontré qu'un leadership pour le changement est nécessaire, comme le décrivent Camburn et al. (2013), car le principal problème aujourd'hui n'est plus d'obtenir l'accès à la technologie, mais la capacité à établir des approches d'apprentissage et d'enseignement significatives basées sur le web.

Le projet GI-Pédagogie vise à explorer l'apprentissage et l'enseignement en développant des formations et des ressources pour les enseignants de géographie. Le groupe cible le plus prioritaire pour les ressources est celui des enseignants encore en formation initiale, des enseignants nouvellement qualifiés et de ceux qui sont dans leur première année complète d'enseignement, qui, selon Christensen et Knezek (2017), sont en train de faire la transition entre les environnements éducatifs - une étape critique pour l'intégration des technologies.



2. Introduction

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont une technologie innovante qui utilise le Cloud Computing pour fournir une grande variété de services informatiques différents liés aux informations géospatiales, aux données et même au multimédia (Lu et al., 2019). Le Cloud est devenu un outil omniprésent permettant des systèmes administratifs et opérationnels numériques qui peuvent être établis et utilisés en temps réel. L'utilisation d'applications web sur les appareils mobiles se développe, et comprend des services tels que la messagerie électronique, le stockage d'informations, le partage de fichiers, les outils collaboratifs, la communication numérique et d'autres services. Sur la base des orientations récemment publiées (Education Endowment Foundation, 2019), la question n'est plus de savoir si la technologie a ou non sa place dans la salle de classe, mais plutôt de savoir comment intégrer la technologie dans le programme d'études et surtout dans la formation des enseignants (Curtis, 2019 ; Hohnle et al., 2016) et faire en sorte que les personnes formées pour enseigner aux élèves reconnaissent l'importance des services basés sur le web dans le monde en général et dans les activités économiques et sociales.

Les progrès technologiques ont donné naissance à de nouveaux paradigmes et à des outils de plus en plus puissants pour explorer les relations spatiales, mais les méthodes et stratégies utilisées pour enseigner ont fait l'objet de beaucoup moins d'attention.

"le processus d'acquisition de connaissances et de compétences dans le cadre des processus d'apprentissage ne devrait pas produire des connaissances passives et des compétences et aptitudes isolées, mais devrait plutôt déboucher sur des connaissances applicables et des compétences et aptitudes intégrées dans un contexte réel" (Hartig et Klieme, 2007, p. 13).

Petras et al. (2015) décrivent l'utilisation de logiciels libres et ouverts, qui a été considérée comme une priorité élevée (et souvent déclarée comme obligatoire par les organismes de financement), car elle est totalement transparente et plus accessible pour les institutions, les étudiants individuels et les scientifiques. Les logiciels ouverts, les données ouvertes, les normes ouvertes et l'éducation ouverte sont les éléments clés du cadre des SIG ouverts. Ils suggèrent que l'application des concepts géospatiaux devrait être mise en avant dans l'éducation bien plus que les tâches spécifiques aux logiciels. Si les enseignants comprennent non seulement la mise en œuvre, mais aussi la science et la technologie sous-jacentes, ils seront en mesure de développer des solutions d'apprentissage meilleures et plus flexibles.

Le Web-based SIG est un moyen très pratique, actif et pertinent d'inclure la technologie numérique dans l'enseignement scolaire et la formation des enseignants (Hong et Stonier 2015), cependant, à mesure que la technologie progresse, il devient de plus en plus difficile de décider quand et comment le faire. Les précédents projets européens d'enseignement de la géotechnique avaient démontré que la période la plus difficile pour l'intégration de la technologie est d'amener les enseignants à reconnaître la valeur des outils afin qu'ils soient préparés à aborder les problèmes en classe. Il a été démontré que la formation est essentielle (Zwartjes et Lazaro y Torres, 2019) afin que les enseignants soient en mesure de développer des aptitudes et des compétences de base en matière de SIG et un cadre solide pour impliquer l'utilisation de la technologie dans leurs classes et avec les élèves. Mathews et Wikle (2019) traitent de l'enseignement de la technologie SIG et de ses applications dans l'enseignement supérieur.

La Commission européenne reconnaît que l'Europe doit devenir beaucoup plus "active dans le domaine du cloud" pour rester compétitive dans l'économie mondiale, et s'est attaquée aux principaux obstacles entourant les questions juridiques, la sécurité des données et les droits d'auteur. Les attentes des apprenants évoluent également. Ils doivent pouvoir accéder facilement à des outils et à des contenus en ligne pertinents, ainsi qu'à des réseaux sécurisés et fiables permettant de créer et de partager des contenus sur n'importe quel appareil. Les systèmes informatiques appliqués tels que les SIG basés sur le

Web offrent un service rapide, fiable et disponible 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, qui est conforme à ce nouveau modèle de service différent (De Miguel González et De Lázaro Torres, 2020).

L'adoption des SIG dans l'enseignement scolaire reste fragmentée (Jackson et Kibetu, 2019) car si le Cloud Computing offre de nombreux avantages, les enseignants ignorent largement les grands besoins du secteur et les avantages potentiels pour l'apprentissage et l'enseignement. Une formation améliorée et des systèmes de soutien renforcés /les outils pédagogiques sont nécessaires pour aider les nouveaux enseignants à intégrer en classe l'environnement SIG du Cloud Computing, qui évolue rapidement (Mitchell et al., 2018). Un changement pédagogique innovant est nécessaire dans la formation des enseignants, sinon les éducateurs continueront le paradoxe d'utiliser les anciennes méthodes d'enseignement mais avec de nouveaux outils.

Peu de recherches ont été entreprises pour démontrer l'intégration des SIG et des applications géospatiales dans le programme scolaire. Roosaare et Liiber (2013) ont présenté un modèle d'intégration nationale des géomédias et des SIG dans l'enseignement secondaire général, où la géoinformatique a été développée comme un cours facultatif pour les élèves du secondaire en Estonie. Ce cours a été utilisé comme une occasion d'appliquer l'utilisation d'outils géomédias, de mettre l'accent sur les compétences en TIC et sur les compétences de réflexion géospatiale des élèves.

Baker et al. (2015) font remarquer que la recherche sur l'enseignement des SIG semble avoir eu un impact limité. Elle s'est largement concentrée sur les défis éducatifs et techniques qui ont affecté sa mise en œuvre dans les environnements d'apprentissage formels et informels. Bednarz (2004) suggère que ces défis sont en grande partie liés à la vitesse et à la capacité des ordinateurs, à l'utilisation et à la complexité des logiciels, à la pénurie de ressources et de leçons, aux liens avec les programmes et les normes, au soutien administratif et technique et au temps nécessaire pour mettre en œuvre les méthodes basées sur les SIG.

Rickles, Ellul et Hacklay (2017) se concentrent sur les résultats d'une enquête sur les ressources et les plateformes utilisées dans l'enseignement interdisciplinaire des SIG, puis explorent les théories d'apprentissage constructivistes possibles. Ils ont proposé un cadre pour agir comme la structure basée sur l'éducation sur laquelle les concepts SIG peuvent se concentrer et définissent l'interdisciplinarité comme "entre les disciplines", suggérant que les éléments de base d'au moins deux collaborateurs, d'au moins deux disciplines et d'un engagement à travailler ensemble d'une certaine manière dans un domaine quelconque sont nécessaires. Cependant, l'introduction de la technologie dans les programmes d'études est encore compliquée par la rapidité du changement, la variété et la diversité des contextes. Selon Stringer et al. (2019), l'intégration de la technologie dans la classe pour améliorer l'apprentissage nécessite d'aborder à la fois la pédagogie et la mise en œuvre.

3. Compétences numériques

Dans la formation des enseignants, les compétences professionnelles dépendent des connaissances et des aptitudes spécifiques à une matière dans des domaines pédagogiques spécifiques. Les compétences servent de base à la mise en œuvre d'une approche éducative de la pratique de l'enseignement et de l'apprentissage et, selon Schultz et al. (2012), elles sont étroitement liées au développement du programme d'études.

Les compétences numériques sont une compétence transversale essentielle que les citoyens doivent de plus en plus acquérir. Elles sont considérées comme une nécessité pour atteindre un degré d'alphabétisation adapté aux besoins de la société actuelle. DigiComp est le cadre de la Commission européenne conçu pour aider à comprendre la compétence numérique. Il comprend des questions telles que le stockage d'informations, l'identité numérique, le développement de contenus numériques et le comportement en ligne, dans la vie quotidienne comme le travail, les achats et la participation à la société. Kluzer et al. (2018) fournissent un guide d'utilisation avec un large éventail d'exemples de ceux qui utilisent le cadre DigComp.

Un cadre DigCompEdu a été élaboré pour soutenir la profession d'enseignant dans tous les secteurs de l'éducation. Il implique d'être capable d'utiliser les technologies numériques de manière critique, collaborative et créative. DigiCompEdu concerne l'utilisation et la transmission de compétences numériques spécifiques à l'éducateur pour une utilisation à l'école et en classe (Rubio et al., 2019). DigiCompEdu propose 22 compétences élémentaires organisées en 6 domaines (figure 1). Le domaine 1 concerne l'utilisation des technologies numériques dans les interactions professionnelles. Le domaine 2 s'intéresse aux compétences nécessaires pour utiliser, créer et partager efficacement et de manière responsable des ressources numériques pour l'apprentissage. Le domaine 3 est consacré à la gestion et à l'orchestration de l'utilisation des technologies numériques dans l'enseignement et l'apprentissage. Le domaine 4 traite de l'utilisation des stratégies numériques pour améliorer l'évaluation. Le domaine 5 se concentre sur le potentiel des technologies numériques pour les stratégies centrées sur l'apprenant et le domaine 6 détaille les compétences pédagogiques spécifiques requises pour faciliter les compétences numériques des étudiants.

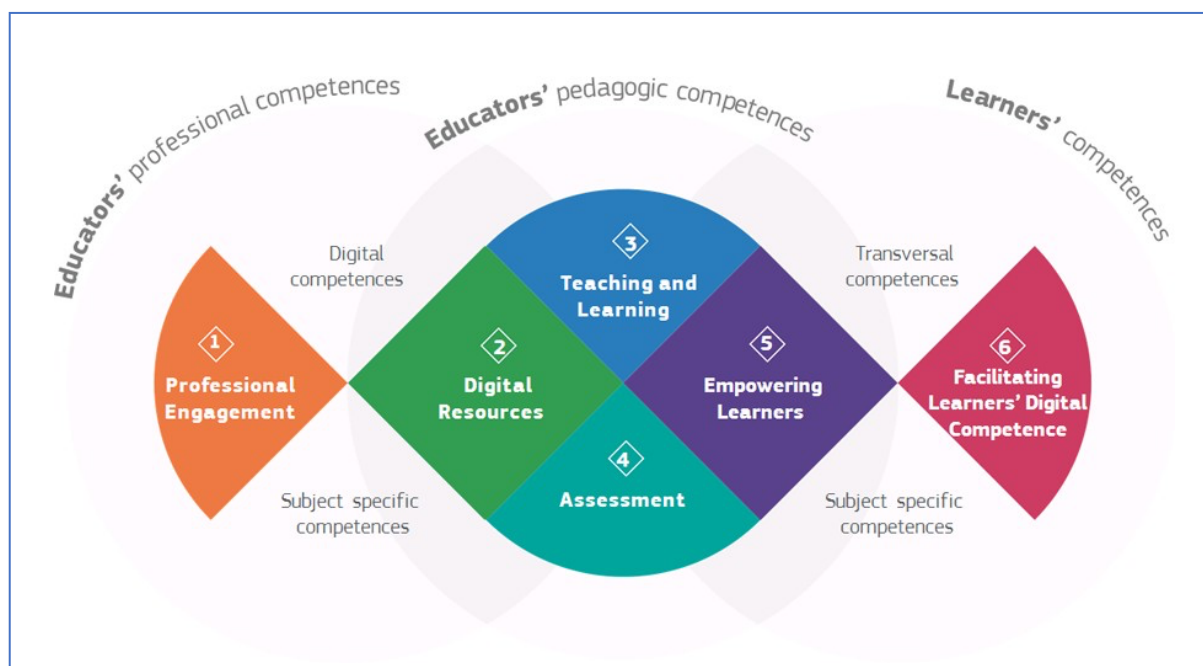


Figure 1 : Le cadre européen DigiCompEdu pour les enseignants (Vuorikari et al, 2017)

Le cadre décrit six étapes différentes par lesquelles la compétence numérique d'un éducateur se développe généralement, afin d'aider les éducateurs à identifier et à décider des mesures spécifiques à prendre pour renforcer leur compétence numérique au stade où ils se trouvent. Aux stades les plus élevés, appelés "Leader" et "Pionnier", les enseignants sont capables de transmettre leurs connaissances, de critiquer les pratiques existantes et de développer leurs propres pratiques nouvelles.

Schultz et al. (2013) commentent trois compétences fondamentales pour travailler avec les SIG : Les connaissances et les compétences liées aux SIG, la pensée spatiale et les compétences en matière de résolution de problèmes " (Schultz et al., 2013). Jakab et al. (2016) ont décrit comment le caractère fortement transdisciplinaire des SIG nécessite l'application d'un large éventail de compétences clés qui aident les enseignants à façonner et à développer leur identité professionnelle. Bearman et al. (2016) ont noté comment une grande partie de la formation tend à être basée sur le développement des compétences SIG, plutôt que sur les problèmes spatiaux, ou la compréhension de l'utilité des données, ou les besoins des apprenants. En raison de cette focalisation sur la technologie, les cours attirent des enseignants plus compétents sur le plan technologique et numérique que ceux qui ne le sont pas. Ceci est lié aux compétences techniques plutôt qu'à la pensée spatiale critique.

Dans le cadre du projet GI-Learner, Donert et al. (2016) ont proposé aux élèves un ensemble de compétences basées sur la pensée spatiale, la pensée spatiale étant une forme distincte de pensée, qui aide les gens à visualiser les relations entre et parmi les phénomènes spatiaux (Stoltman et De Chano, 2003), celles-ci ont été décrites comme suit :

1. Lire et interpréter de manière critique les visualisations cartographiques et autres dans différents médias.
2. Connaître l'information géographique et sa représentation à travers l'IG et le SIG
3. Communiquer visuellement des informations géographiques
4. décrire et utiliser des exemples d'applications de l'IG dans la vie quotidienne et dans la société
5. Utiliser les interfaces IG (librement disponibles)
6. Effectuer sa propre saisie de données (primaires)
7. être capable d'identifier et d'évaluer les données (secondaires)
8. Examiner les interrelations
9. Synthétiser le sens de l'analyse
10. Réfléchir et agir sur la base des connaissances.

Ils ont été utilisés pour créer des objectifs de progression de l'apprentissage que les enseignants traduiraient en objectifs d'apprentissage, en matériel d'enseignement et d'apprentissage pour l'ensemble du programme scolaire (K7 à K12) augmentant ainsi les activités d'éducation à la pensée spatiale pour les élèves du secondaire (Zwartjes, 2018).

4. Enseigner avec les SIG

Donert et al. (2016) définissent et décrivent l'enseignement avec les SIG comme un contexte complexe de pensée géospatiale et d'apprentissage géospatial, explorant l'intégration de la littératie spatiale, de la pensée spatiale et des SIG dans les écoles comme un résultat proposé dans le projet KA2 Erasmus Plus GI-Learner. Roosaare et Liiber (2013) suggèrent qu'il existe une diversité considérable dans la compréhension de ce que, quand et comment enseigner avec les SIG dans l'enseignement de la géographie. Selon Favier et van der Schee (2014), ce n'est pas la technologie en soi qui produit l'apprentissage, mais l'ensemble complexe d'objectifs d'apprentissage clairs et appropriés, de technologies éducatives solides, de tâches bien conçues et d'un enseignement, d'un encadrement et d'une réflexion de qualité fournis par l'enseignant.

Kerski et al (2013) analysent le statut des SIG dans les écoles de trente-trois pays et proposent des recommandations pour faire progresser la mise en œuvre et l'efficacité des SIG dans l'enseignement secondaire. Leur étude a révélé que l'utilisation des SIG dans l'enseignement secondaire restait faible ; cependant, ils suggèrent que la convergence de la science citoyenne, l'accent mis sur la pensée spatiale, les appareils mobiles, les données ouvertes et les services cartographiques basés sur le Web pourraient entraîner une augmentation significative du nombre d'écoles, d'éducateurs et d'étudiants qui enseignent et apprennent avec les SIG. Malgré les défis liés au matériel et aux logiciels mentionnés à plusieurs reprises par les éducateurs, les questions sociétales semblent constituer la plus grande contrainte pour que les SIG deviennent un outil intégré et obligatoire dans l'ensemble de l'éducation. Le manque de sensibilisation à la pensée et à l'analyse spatiales et à leur importance dans l'éducation et la société semble être d'une importance majeure.

Favier (2013) présente une vue schématique de 5 façons d'aborder la technologie de la géoinformation (Figure 2). L'enseignement et l'apprentissage des SIG se concentrent davantage sur les aspects théoriques des SIG (connaissance des SIG, structure de la technologie), tandis que les autres façons utilisent la technologie pour développer et utiliser les compétences de réflexion spatiale. Il suggère que les éducateurs en géographie se sont principalement concentrés sur l'utilisation de la technologie de la géoinformation pour apprendre les connaissances du sujet et les compétences spécifiques au domaine, plutôt que de se concentrer sur l'apprentissage de l'utilisation du logiciel. Cependant, si la technologie de la géo-information est appliquée dans des leçons où les élèves sont assis derrière l'ordinateur et participent activement à la technologie, vous ne pouvez pas éviter de leur enseigner d'abord les caractéristiques de la géoinformation numérique et le fonctionnement de la technologie. Il suggère qu'il est donc judicieux de commencer par des cours sur les SIG et les globes virtuels basés sur le Web, suivis de cours sur les SIG de bureau, et enfin d'appliquer les SIG dans de petits travaux pratiques. Il s'agirait d'une belle élaboration d'une piste d'apprentissage pour l'enseignement (de la géographie) avec la technologie de la géo-information.

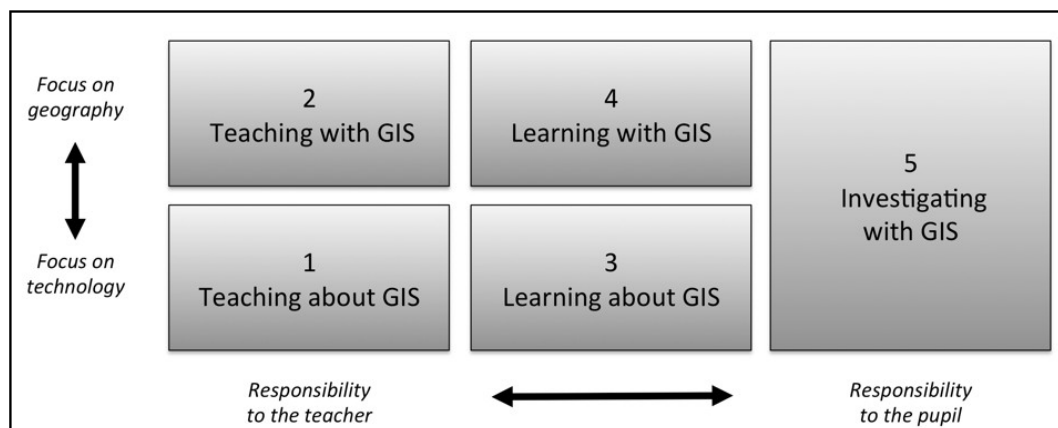


Figure 2 : Cinq manières d'intégrer les SIG dans l'enseignement de la géographie (Favier, 2013).

4.1 Technologie de l'enseignement

La technologie pédagogique, souvent utilisée de manière interchangeable avec le terme technologie éducative, est un domaine technologique spécifique qui traite de la création de ressources pour soutenir l'apprentissage (Caldwell, 2019). Colvin et Tomayko (2015) suggèrent que les enseignants d'aujourd'hui doivent maîtriser la technologie pédagogique pour préparer les apprenants à un monde de haute technologie et de plus en plus interdépendant où les outils professionnels sont intégrés dans la classe.

Stringer et al. (2019) ont examiné comment la technologie peut améliorer l'enseignement et l'apprentissage, par le biais d'un processus de progression de la mise en œuvre en 4 étapes (Figure 3) résumant comment la mise en œuvre de la technologie dans l'apprentissage et l'enseignement peut être décrite comme une série d'étapes relatives à la réflexion, à la préparation, à la réalisation, puis au maintien du changement. Considérer l'impact pour savoir si elle peut compléter, améliorer ou remplacer l'enseignement existant.

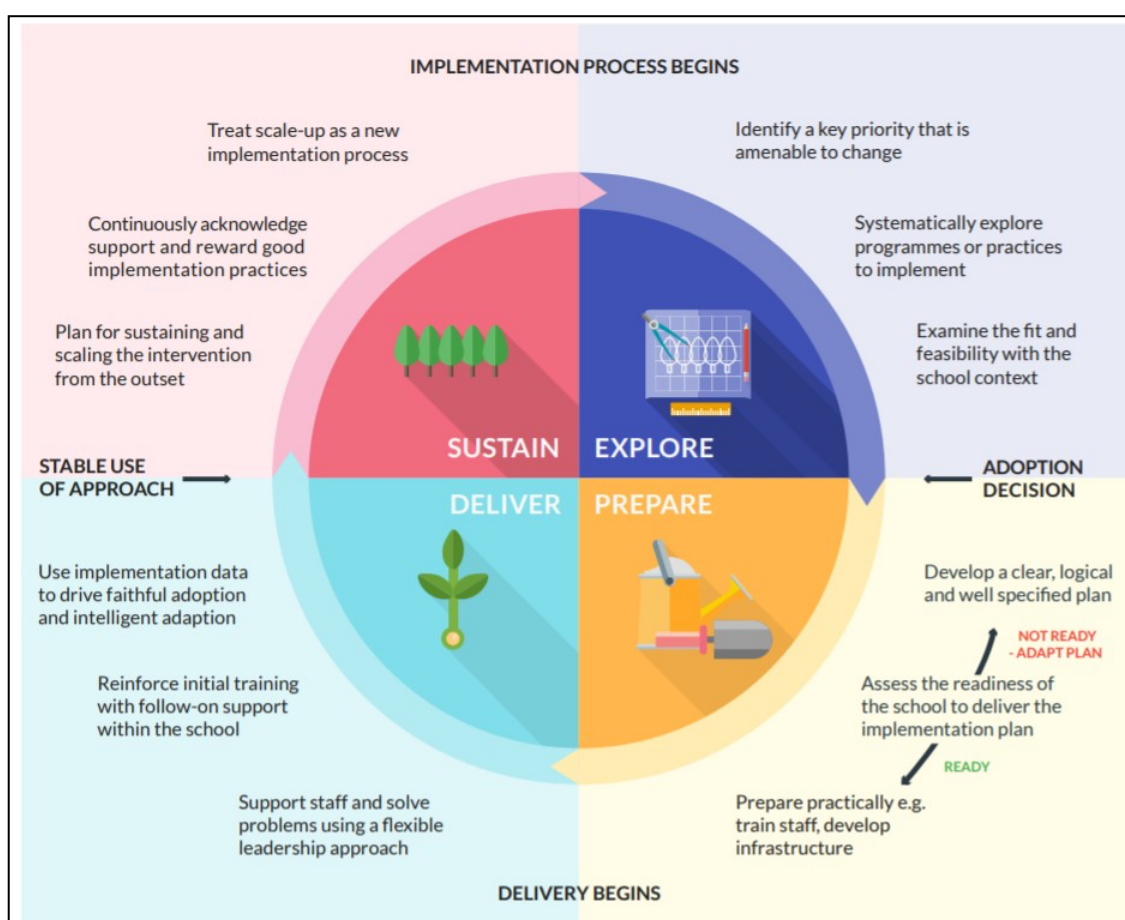


Figure 3 : Le processus d'avancement de la mise en œuvre

Une recherche récente de Mayer (2019) s'est penchée sur le potentiel de l'enseignement multimédia pour améliorer l'apprentissage en classe, où les données de recherche montrent que les gens apprennent davantage lorsque des images sont ajoutées au texte, car elles travaillent ensemble pour présenter un message pédagogique qui conduit à une compréhension plus profonde, que les mots seuls, qu'ils soient présentés dans un livre ou sur un ordinateur. L'utilisation d'images peut inclure des photos statiques, des tableaux, des graphiques et des illustrations ou des vidéos et animations dynamiques, et les mots peuvent être parlés ou imprimés. Selon Mayer, cette théorie cognitive repose sur trois idées clés des sciences cognitives : le principe du double canal, selon lequel le traitement des informations verbales et picturales est séparé (Baddeley, 1992), le principe de la capacité limitée, qui signifie que seuls quelques éléments peuvent être traités à la fois (ibid.) et le principe du traitement actif, qui signifie que tout apprentissage significatif doit être organisée cohérent et intégrée aux connaissances antérieures, de sorte que les mots et les images



pertinents puissent être sélectionnés dans la mémoire de travail, afin de guider le traitement cognitif de l'apprenant. (Mayer 2009)

Mayer (2019) propose que dans l'enseignement multimédia, la mémoire de travail organise mentalement les mots en un modèle verbal et les images en un modèle pictural, qui se combinent avec les connaissances antérieures, en veillant à ce que la mémoire de travail ne soit pas surchargée.

Un ensemble de 11 principes de conception multimédia fondés sur des données probantes sont présentés afin d'améliorer l'apprentissage des étudiants (tableau 1).

Tableau 1 : Conception de l'enseignement multimédia

Traitement superflu - traitement cognitif qui ne soutient pas les objectifs pédagogiques - c'est-à-dire inutile
- Cohérence - le message pédagogique doit rester simple et éviter les détails inutiles.
- Signalisation - mettre en évidence les éléments essentiels
- Continuité spatiale - intégrer le texte à la partie pertinente des graphiques.
- Continuité temporelle - présenter les paroles simultanément sous forme de graphiques, de dessins ou d'animations.
- Redondance - ne pas dupliquer les graphiques narratifs avec du texte imprimé également. Gérez les traitements essentiels
- Segmentation - décomposer l'apprentissage en parties
- Préformation - donnez une vue d'ensemble des éléments et des mots clés avant d'introduire les détails du diagramme.
- Modalité - le mot parlé favorise davantage l'apprentissage que si les mots sont imprimés Encouragez le traitement génératif
- Personnalisation - utilisation de conversations informelles pour présenter des informations

Alibrandi et Palmer-Moloney (2001) ont confirmé qu'en tant que technologie, le SIG offre de nouvelles façons de voir, de représenter et d'analyser l'information en vue d'un apprentissage et d'un enseignement transformateurs, mais que son utilisation implique de se lancer dans l'inconnu, de prendre des risques, de créer des voies et d'expérimenter. Baker (2005) a noté l'émergence des SIG en tant que technologie pédagogique pour soutenir un apprentissage des élèves riche en contexte dans le programme d'études K12. Fagin et Wikle (2011) ont fait remarquer que les enseignants qui utilisent les SIG ont bénéficié d'avancées significatives en matière de technologie pédagogique.

4.2 e-learning, travail de terrain et SIG mobile

L'apprentissage en ligne est un ensemble de modèles, de technologies et de processus pour l'acquisition et l'utilisation de connaissances par le biais de l'information et des technologies informatiques. Il a principalement été utilisé pour l'enseignement avec les SIG en incorporant un certain nombre d'outils et de techniques géospatiales. Dans leur article, Karolčík et al. (2019) analysent un environnement d'apprentissage en ligne pour la géographie afin de mettre en œuvre un apprentissage actif personnalisé dans l'enseignement et l'apprentissage de la géographie. Les exigences d'un outil adaptatif pour l'enseignement et l'apprentissage de la géographie sont discutées et un cadre théorique pour un environnement d'apprentissage en ligne personnalisé est proposé. Les TIC peuvent être utilisées comme un outil de recherche pour aider les étudiants à appréhender des notions et à analyser des informations. Cela permet de poser une série de questions telles que : où ? quoi ? et des aspects organisationnels tels que : pourquoi ? comment ? et les relations. L'enjeu d'un processus didactique est d'organiser et de soutenir les questions des élèves. Ainsi, selon Zwartjes et al. (2015) il est nécessaire de modéliser le traitement de l'information dans un contexte éducatif en 4 étapes, le problème, la recherche de données, la construction d'une argumentation et la production de résultats et .

Bearman et al. (2016) suggèrent que la présence d'un environnement d'apprentissage en ligne est importante car elle aide les étudiants à être en mesure d'accéder aux (géo)informations et de leur donner un sens. Ils suggèrent que les SIG ont été freinés en raison de l'accent mis sur la technologie plutôt que sur les données spatiales, soulignant l'accent mis sur les compétences informatiques plutôt que sur la culture



spatiale. En conséquence, les étudiants ne recevront pas les compétences dont ils ont besoin pour interpréter de manière critique les cartes et les données. Ils considèrent également que les sessions techniques pratiques dominées les programmes SIG d'études. En termes pédagogiques, l'étudiant recevait souvent un ensemble de données et des instructions sur la manière d'utiliser le SIG pour traiter les données et obtenir le résultat final de l'analyse. Cette approche développe la capacité de l'étudiant à utiliser le logiciel en question, mais elle n'a pas beaucoup ajouté à ses connaissances sur les types de questions auxquelles un SIG peut répondre. L'analyse et la sortie du SIG étaient beaucoup plus faciles à utiliser que l'exécution de l'ensemble du processus de résolution de problèmes.

Roosaare et Liiber (2013) rendent compte du développement d'un cours facultatif basé sur le web (Moodle) qui ouvre la porte à des solutions d'enseignement/apprentissage flexibles et individualisées. Les auteurs font également état des enseignements tirés de la Géo-Olympiade où, depuis 2005, les exercices sur ordinateur et les SIG font partie des tâches écrites pour les écoles secondaires. Les élèves doivent trouver, interpréter et analyser des informations géographiques provenant de portails Internet et résoudre des problèmes de la vie réelle.

Selon Feddern et al. (2018), un logiciel d'apprentissage a été développé pour soutenir l'apprentissage indépendant, basé sur des techniques de récupération, d'entrelacement, d'espacement et de repères visuels, qu'ils ont testé sous forme d'essai contrôlé randomisé avec des écoliers. Leur plateforme d'apprentissage indépendant pouvait être utilisée avec une variété de contenus tout en ne nécessitant pas une grande formation du personnel. Les modules qui introduisent le matériel ou testent les étudiants sont courts et utilisent un algorithme pour entrelacer et espacer l'apprentissage en utilisant un mélange de texte, d'images et de différents types de questions, qui sont conçus pour promouvoir la pratique de la récupération.

Grunwald et al. (2005) rendent compte de la construction d'un environnement d'apprentissage modulaire virtuel basé sur le concept d'objets d'apprentissage réutilisables afin d'évaluer l'efficacité de différents outils d'apprentissage en ligne pour les étudiants sur le campus (OC) et à distance (DE) dans le contexte des résultats d'apprentissage. Ils ont conclu qu'un cours SIG virtuel a le potentiel de générer des résultats d'apprentissage comparables à ceux des cours SIG sur le campus, à condition que les étudiants soient motivés pour étudier le matériel de cours et capables de gérer leur temps de manière appropriée/efficace.

Belgiu et al. (2015) évaluent les initiatives d'éducation ouverte dans le domaine géospatial et le mouvement MOOC. L'article se concentre sur les technologies basées sur le Web, favorisant les cours et les programmes en ligne. Les ressources éducatives ouvertes (REL) sont devenues la norme, car les REL impliquent une licence de contenu légalement ouverte sous une licence Creative Commons (CC). L'utilisation des MOOC (Massive Open Online Courses) est devenue un modèle d'éducation ouverte populaire pour l'enseignement supérieur.

Caeiro et al (2011) ont évalué l'efficacité de l'utilisation de vidéos dans les résultats d'apprentissage des étudiants dans un cours d'apprentissage en ligne sur les SIG. Les étudiants de l'enseignement supérieur ont été guidés par un plan d'unité curriculaire, des ressources numériques, des activités formatives et une évaluation continue. L'efficacité des vidéos a été évaluée en analysant les travaux écrits des étudiants (e-folios). Leur recherche a confirmé que les vidéos ont le potentiel d'être utilisées comme un outil important dans l'enseignement des SIG dans un système d'apprentissage en ligne, car elles sont un support visuel avec le potentiel de soutenir l'apprentissage de différentes manières que d'autres technologies, y compris le potentiel pour les démonstrations et par l'utilisation de la technologie de capture d'écran.

Michel et Hof (2013) se sont intéressés à l'introduction de l'apprentissage en ligne et des SIG sur le terrain. Ils explorent l'utilisation des appareils mobiles et spatiaux sur le terrain et la combinaison de la pédagogie de l'aventure et des médias avec l'éducation environnementale multimédia. Ils examinent comment les ressources d'apprentissage et les activités de plein air sont combinées pour obtenir des expériences originales de la nature avec ses dimensions spatiales et temporelles variées. Les auteurs fournissent la



conceptualisation d'une approche basée sur le jeu appelée eGeo-Riddle (figure 4).

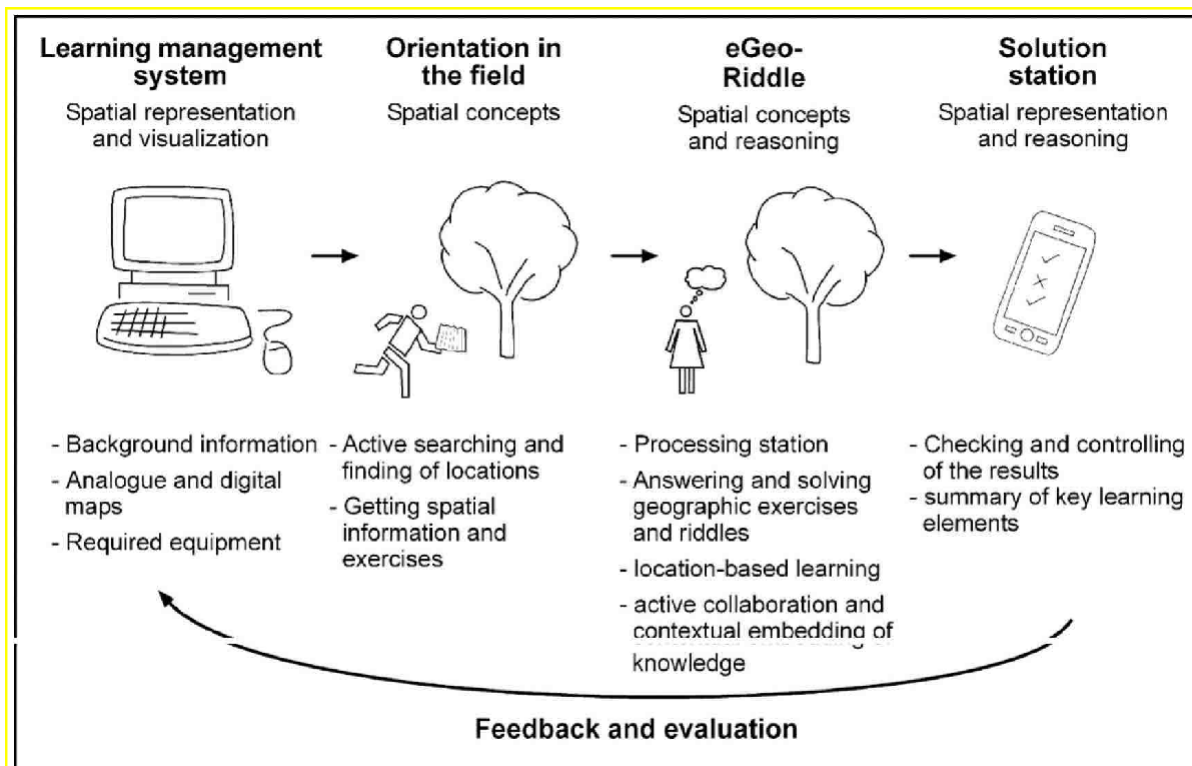


Figure 4 : L'approche de l'énigme eGeo

L'excursion mobile était basée sur trois unités d'apprentissage : une introduction multimédia avec des informations de base pour le transfert de connaissances ; l'eGeo-Riddle avec des exercices interactifs et des énigmes sur le terrain ; et la station de solution et d'évaluation pour le post-traitement et la consolidation des connaissances. Dans ce cadre, la sortie sur le terrain favorise le raisonnement spatial et l'interprétation, qui invite les élèves à détecter et à cartographier différents types et structures sur une carte interactive. Mais surtout, en allant à l'extérieur, les élèves font leurs propres observations et collectent des échantillons. Ils sont donc formés de manière pratique et théorique à penser avec et sur l'espace et acquièrent une imagination tangible des caractéristiques et des différences spatiales.

Le travail sur le terrain fait partie intégrante de l'enseignement dans les disciplines à forte composante spatiale. Kolvoord et al. (2019) affirment que l'importance croissante des données et des technologies géospatiales soutient les initiatives éducatives qui enseignent les SIG de manière pratique et les appliquent à des problèmes locaux. Les SIG sont donc précieux pour l'éducation car ils peuvent aider les étudiants à identifier et à analyser les modèles spatiaux. De Lázaro y Torres et al. (2016) ont suggéré que l'apprentissage en plein air de la géographie, l'utilisation d'appareils mobiles et la réflexion spatiale associée serviront aux étudiants pour l'emploi.

Pánek et Glass (2018) ont appliqué des méthodes SIG mobiles dans des situations de travail sur le terrain où le travail des étudiants comprenait l'accumulation et l'évaluation de différents types de données pour construire un sens du lieu qu'ils étudiaient. Ils ont suggéré que les étudiants devaient apprendre à s'engager avec un quartier de manière à donner un sens aux différentes couches d'histoire du site de recherche. Lambrinos et Asiklari (2014) ont créé une chasse au trésor sur le terrain à l'aide d'une boussole, d'un GPS et de cartes générées par un SIG avec de jeunes élèves à partir de 10 ans. Ils suggèrent que les applications technologiques, comme le SIG et le GPS, peuvent être plus facilement mises en œuvre dans le cadre de matières interdisciplinaires.

Brooks (2018) décrit les processus et les décisions prises lors du développement d'une application

d'apprentissage mobile. Les utilisateurs visés par cette application étaient des apprenants adultes qui souhaitent se familiariser avec les concepts et les compétences des SIG. Il suggère qu'une pédagogie active devrait impliquer "des activités kinesthésiques, l'analyse conscient de données spatiales et la réflexion sur l'apprentissage". L'intégration de l'apprentissage actif dans le programme d'études peut apporter de nombreux avantages, notamment l'affirmation selon laquelle les étudiants apprennent davantage grâce à la métacognition fournie par l'apprentissage actif et que les étudiants apprennent davantage par rapport aux méthodes de cours traditionnelles. L'application décrite dans cette thèse utilise essentiellement des mashups de cartes où les étudiants peuvent interagir avec des couches, des caractéristiques, des attributs, des outils d'analyse et d'autres fonctions SIG&T pour apprendre le concept de la leçon. L'incorporation de ces mashups comme éléments centraux des leçons et l'évitement d'exercices très structurés, permettent une plus grande flexibilité et personnalisation du contenu, ce qui est l'un des principaux avantages des mashups de cartes.

Michel et Hof (2013) mettent toutefois en garde contre le fait que, malgré l'importance de l'apprentissage basé sur la localisation et la demande des étudiants pour davantage d'exemples pratiques, la quantité de jours pour les visites sur le terrain et les travaux pratiques sur le terrain est réduite. Pour remédier à cette situation, plusieurs cours d'apprentissage en ligne sur Internet ainsi qu'un large éventail de possibilités d'apprentissage et d'aventure basées sur le GPS ont été mis en place ces dernières années.

4.3 Web-based SIG

L'internet devient de plus en plus important pour la fourniture, le transfert et l'analyse des géodonnées. En conséquence, les fonctionnalités des SIG sont intégrées et mises en œuvre dans des systèmes d'information basés sur le Web. Il s'agit de systèmes d'information géographique basés sur le Web ou SIG basés sur le Web. L'augmentation considérable du nombre d'applications web qui utilisent des techniques dérivées des systèmes d'information géographique (SIG) est basée sur la demande de visualisation de données géographiques sur le web.

Afin d'examiner le potentiel associé à l'utilisation de SIG basés sur le Web dans les cours de géographie, Arslan (2015) analyse la facilité d'utilisation et les résultats d'apprentissage des étudiants en utilisant des logiciels SIG de bureau et basés sur le Web avec les écoles (Figure 5).

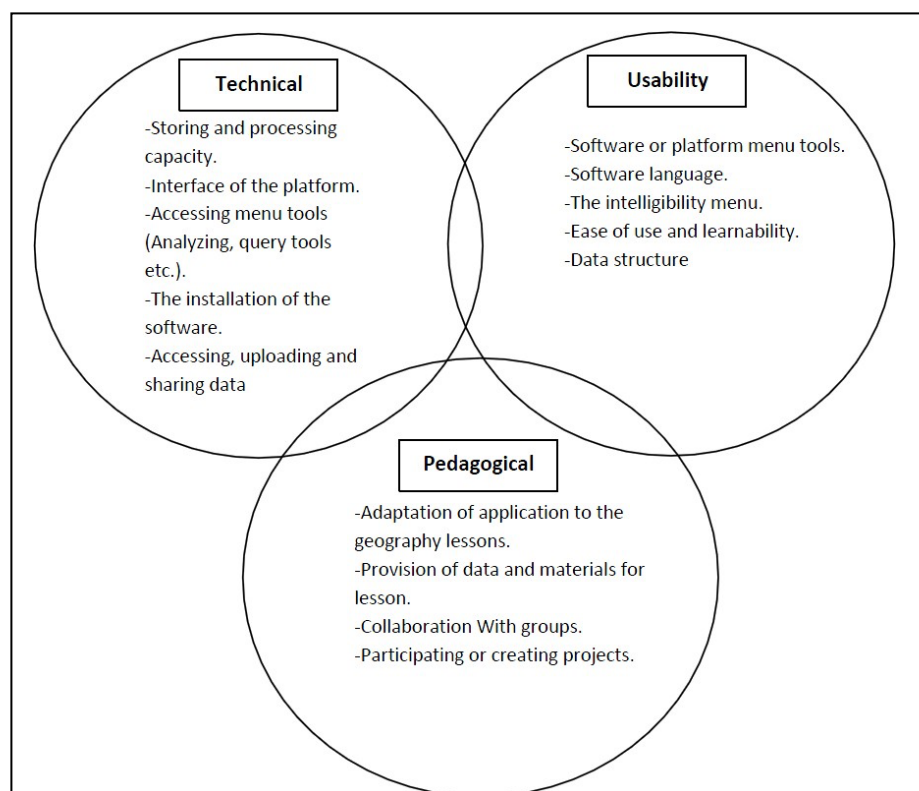


Figure 5 : Critères utilisés pour analyser les plateformes SIG basées sur le Web (Arslan, 2015).

Le Web-based SIG, principalement, a été perçu comme ayant un impact positif sur les résultats des élèves. Le potentiel réel du SIG basé sur le Web pour les cours de géographie peut être mieux compris si l'on considère les autres avantages que la plate-forme basée sur le Web offre aux étudiants, aux cours et aux enseignants. Le cours était centré sur l'étudiant, et de nombreuses compétences ont été développées, comme l'analyse spatiale, la réflexion spatiale, la recherche de relations de cause à effet, l'interrogation et la création de questions. Le SIG en ligne était un outil d'enseignement efficace, facilement utilisable par les enseignants dans leurs cours sans problèmes techniques. Les étudiants ont considéré qu'il s'agissait d'un outil d'apprentissage efficace, qui les aidait à saisir les idées facilement.

Milson et Earle (2008) ont étudié l'utilisation d'un SIG basé sur Internet comme outil d'intégration des technologies géospatiales dans le programme et l'enseignement de la géographie en neuvième année dans un environnement d'apprentissage inductif. Les résultats de l'étude ont indiqué que les élèves étaient capables d'accéder aux données géospatiales et de les utiliser pour construire leur compréhension de la géographie.

Kerski et Baker (2019) suggèrent que l'utilisation d'un système SIG Web implique un changement dans la façon dont les SIG sont perçus et enseignés. Fargher (2018) affirme qu'en s'appuyant sur une approche GeoCapabilities, l'utilisation du WebSIG par l'enseignant peut être améliorée en approfondissant les capacités de leurs élèves à penser et à raisonner avec des connaissances et des idées géographiques. L'approche GeoCapabilities met l'accent sur une approche progressive de l'enseignement de la géographie à l'école, axée sur la matière, notamment par le développement de connaissances disciplinaires puissantes (PDK). Les connaissances de la matière scolaire ne peuvent être puissantes que si elles permettent aux jeunes de penser au-delà de leur expérience directe (figure 6).

Type	Characteristic
1. Knowledge that provides students with 'new ways of thinking about the world.'	Using 'big ideas' such as: <ul style="list-style-type: none"> • Place • Space • Environment • Interconnection These are meta-concepts that are distinguished from substantive concepts, like 'city' or 'climate'.
2. Knowledge that provides students with powerful ways of analysing, explaining and understanding.	Using ideas to: <ul style="list-style-type: none"> • Analyse e.g., place; spatial distribution • Explain e.g., hierarchy; agglomeration • Generalise e.g., models (push-pull models of migration; demographic transition)
3. Knowledge that gives students some power over their own knowledge.	To do this, students need to know something about the ways knowledge has been, and continues to be developed and tested in the discipline. This is about having an answer to the question: 'how do you know?' This is an underdeveloped area of geographical education, but is a crucial aspect of 'epistemic quality' (Hudson, 2016).
4. Knowledge that enables young people to follow and participate in debates on significant local, national and global issues.	School geography has a good record in teaching this knowledge, partly because it combines the natural and social sciences, and the humanities. It also examines significant 'nexus' issues such as: food, water and energy security; climate change; development.
5. Knowledge of the World	This takes students beyond their own experience—the world's diversity of environments, cultures societies and economies. In a sense, this knowledge is closest to how geography is perceived in the popular imagination. It contributes strongly to a student's 'general knowledge'.

Figure 6 : Une typologie des connaissances puissantes de la géographie

GeoCapabilities adopte une approche sous-tendue par la conviction que le développement des



connaissances dans les écoles devrait être dirigé par des spécialistes de la matière qui sont les mieux placés pour fournir aux jeunes un enseignement de la géographie de la plus haute qualité.

4.4 GéoMentorat

Aux États-Unis, le programme GeoMentor (<http://www.geomentors.net>), mis en place par Esri et l'Association américaine des géographes, rassemble des personnes (experts) désireuses d'aider au déploiement des SIG dans l'enseignement. (DeMers, 2016) suggère que le mentorat professionnel des éducateurs en matière de SIG améliore rapidement la probabilité que les SIG atteignent les enseignants du primaire et du secondaire.

Healey et al. (2018) rendent compte d'un programme visant à aider les enseignants à introduire les SIG en ligne dans les écoles du Royaume-Uni. Pour aider à l'utilisation efficace d'ArcGIS Online dans les salles de classe, une équipe éducative dédiée - dont un ancien enseignant en classe - et 300 utilisateurs professionnels de SIG se sont inscrits en tant que GeoMentors bénévoles. Ces experts du secteur donnent de leur temps aux écoles pour les aider à utiliser les SIG. Ils aident les enseignants à se familiariser avec la plateforme ArcGIS Online, créent de nouvelles ressources en collaboration avec le personnel et incitent les élèves à poursuivre leur propre carrière dans les SIG en leur parlant de leurs expériences. Healey et Walshe (2019) se concentrent sur la façon dont l'apprentissage auprès de géographes du monde réel, y compris des experts de l'industrie, à la fois dans des contextes locaux et dans le réseau GeoMentors mis en place par Esri UK, sur les SIG qu'ils utilisent dans leur travail quotidien, peut engager les étudiants.

Healey et Walshe (2020) explorent l'utilisation des SIG dans les écoles britanniques dans le contexte du croisement des écoles et des universités. Les auteurs sont particulièrement intéressés par le lien avec la réflexion sur le programme scolaire. Ils signalent une réticence des enseignants à s'engager dans les SIG et explorent l'utilisation d'experts du monde réel pour influencer les perceptions des étudiants sur la pertinence des SIG et des applications du monde réel, ce qui influence ensuite l'acquisition ultérieure des connaissances des étudiants. Une étude longitudinale explore le programme GeoMentors de l'ESRI/RGS-IBG au Royaume-Uni, qui se concentre sur la façon dont l'utilisation de l'expertise d'experts de l'industrie en situation réelle peut influencer la perception des étudiants sur la pertinence des SIG en géographie et favoriser leur acquisition de connaissances géographiques. Leurs résultats suggèrent que l'engagement avec des experts de l'industrie augmente la compréhension des étudiants de ce qu'est le SIG, leur permettant de développer une appréciation plus nuancée de ses applications dans le monde réel ; ceci semble alors jouer un rôle à la fois direct et indirect dans le développement ultérieur des connaissances géographiques des étudiants.

4.5 L'apprentissage personnalisé

Alors que l'éducation connaît actuellement des changements significatifs dus aux réformes émergentes en matière de pédagogie et de technologie, des efforts ont été déployés pour combler le fossé entre les technologies en tant qu'additif éducatif et leur intégration efficace en tant que moyen de promouvoir et de cultiver un apprentissage centré sur l'étudiant, basé sur l'enquête et le projet.

Les SIG se sont fortement personnalisés avec l'évolution des services géodépendants, des interfaces utilisateur personnalisées et des communications mobiles accessibles. Le développement de SIG personnalisés a été signalé dans de nombreux domaines, par exemple le tourisme (Poslad et al., 2001), la cartographie communautaire (Ardissono et al., 2017), l'information sur le patrimoine (Mac Aoidh et al., 2006), l'éducation (de Lázaro et al., 2017) et la navigation 3D (Doulamis et al., 2013). Dans l'éducation, la personnalisation des SIG cherche à intégrer les étudiants dans leur environnement et à améliorer leur compréhension.

Bien qu'il existe des différences dans la définition de l'apprentissage personnalisé, toutes les définitions et recherches s'accordent sur ces principes :



- L'apprentissage personnalisé commence avec l'apprenant et l'apprenant est au centre.
- L'apprenant participe activement à la conception de ses objectifs et processus d'apprentissage.
- L'apprenant décide comment accéder à l'information et l'acquérir,
- L'apprenant s'approprie et assume la responsabilité de son apprentissage, il est donc plus motivé et engagé dans le processus d'apprentissage,
- L'apprenant possède la capacité d'effectuer un suivi critique des résultats d'apprentissage.
- Un enseignement de haute qualité, adapté aux différentes façons dont les élèves donnent le meilleur d'eux-mêmes.
- Créer un parcours éducatif qui tienne compte des besoins, des intérêts et des aspirations de l'apprenant.
- Apporter une forte contribution à l'équité et à la justice sociale (Zwartjes et al., 2015).

L'apprentissage personnalisé décrit des situations où l'apprentissage a été personnalisé en fonction des préférences et des capacités d'apprenants individuels ou de groupes d'apprenants. Il fait passer le rôle des étudiants du statut de simple consommateur d'éducation à celui de coproducteur et de créateur de leur propre parcours d'apprentissage, ce qui implique activement les étudiants dans le processus d'apprentissage (Bartle, 2015). Du point de vue des enseignants, on dit qu'il s'agit d'un processus en trois parties, qui comprend une planification favorisant un apprentissage plus approfondi des élèves, la compréhension des besoins et des intérêts de chaque élève en matière d'apprentissage et la fourniture d'expériences d'apprentissage appropriées qui correspondent au profil d'apprentissage unique de chaque élève.

Les environnements d'apprentissage numériques personnalisés sont généralement des systèmes basés sur le Web et utilisent souvent des appareils mobiles offrant une plateforme unique et personnelle pour développer des expériences éducatives centrées sur l'apprenant qui pour améliorer l'engagement d'apprentissage des étudiants via des informations et des services personnalisés (Masselena et al., 2018). Les environnements d'apprentissage personnalisés placent l'étudiant dans un rôle plus central et actif dans son propre apprentissage, où les apprenants peuvent accéder à des informations pertinentes et contextuelles en fonction de leurs différentes tâches et besoins. Les apprenants peuvent apprendre des matériaux fournis par les systèmes d'apprentissage en fonction de leur propre rythme d'apprentissage et de leurs préférences. Cela encourage la responsabilisation des apprenants vis-à-vis de leur propre processus d'apprentissage et de leurs progrès.

Le concept d'environnement d'apprentissage personnalisé met l'accent sur l'appropriation de différents outils et ressources par l'apprenant, ce dernier étant situé dans un contexte social qui influence la manière dont il utilise les médias, participe à des activités et s'engage dans des communautés. Cette perspective est le théorème de base de la théorie de l'activité (Engeström 2001). Le modèle du triangle d'activité qui représente un système d'activité combine les différents composants en un tout unifié. Dans cette perspective, se concentrer sur les trois aspects - personnel ("sujet"), apprentissage ("outils") et environnement ("objet") - revient à négliger la "base sociale" du système d'activité (règles, communauté et division du travail) qui situe les activités humaines dans un contexte plus large. (Zwartjes et al., 2015).

Dans le cas des SIG, la personnalisation peut conduire à des activités qui combinent des situations authentiques, contextualisées et locales et utilisent des services géodépendants. Zwartjes et al. (ibid) décrivent les éléments d'une approche pédagogique de l'enseignement personnalisé (figure 7) et la relie à l'utilisation des technologies géospatiales et des TIC pour l'enseignement du paysage (de Lázaro y Torres et al., 2017). Ils soulignent l'importance des méthodes pédagogiques pour encourager l'apprentissage individuel guidé à distance, où les étudiants prennent leurs propres décisions et sont responsables de leur apprentissage en fonction de leurs intérêts et de leurs compétences. Dans ce contexte, l'article souligne que le rôle de l'enseignant est encore plus important que jamais, car il contribue à personnaliser la conception de l'apprentissage de ses étudiants. Cependant, Prain et al (2013) présentent une forte critique de l'apprentissage personnalisé, car il dépend à la fois d'une différenciation efficace par l'enseignant d'un programme d'études fixe pour répondre à la diversité des besoins de l'apprenant, et du développement des

capacités de l'apprenant indépendant.

Karolčík et al. (2019) abordent le développement d'un environnement d'apprentissage en ligne pour la géographie, basé sur la personnalisation du contenu et des activités des étudiants également. Ils envisagent l'apprentissage personnalisé comme l'adaptation de l'enseignement pour répondre aux différents besoins des étudiants, tels que les différences de niveaux de connaissances, de compétences, d'âge, etc. Il faut encourager l'apprentissage actif, dans lequel l'étudiant participe ou interagit avec le processus d'apprentissage. À l'avenir, selon Nikolov et al. (2016), il est probable que de nombreuses avancées dans le domaine de l'éducation seront réalisées grâce à une intégration plus poussée de l'apprentissage personnalisé dans les environnements d'apprentissage intelligents.

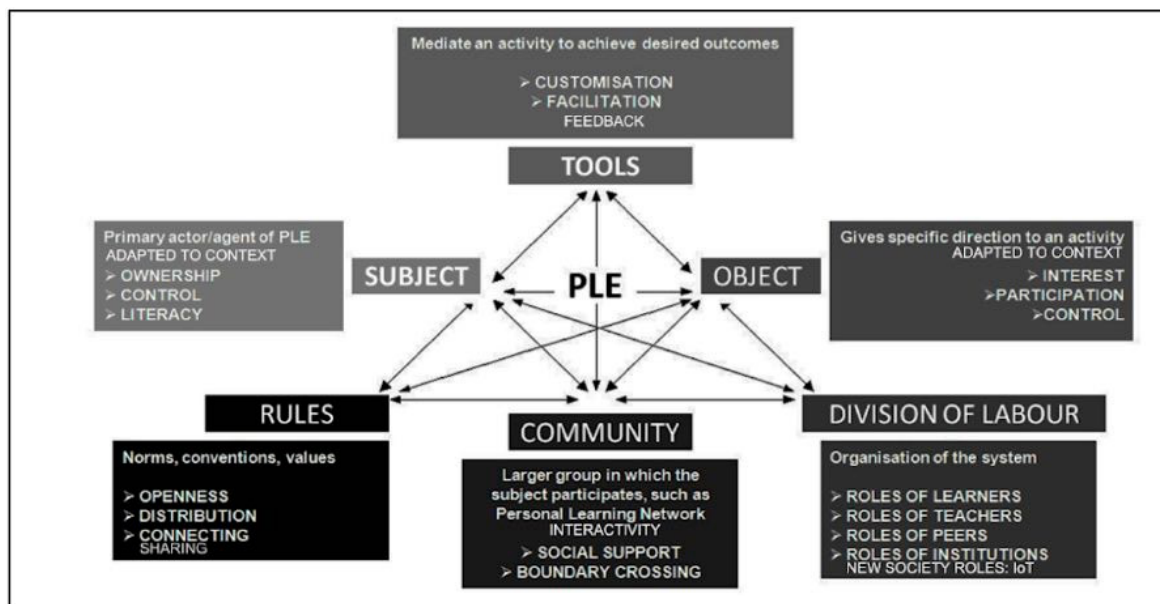


Figure 7 : Éléments d'un système d'apprentissage personnalisé

4.6 Rosenshine et l'enseignement efficace

Rosenshine (2012) a développé dix principes d'instruction (tableau 2) dérivés de preuves basées sur la recherche en sciences cognitives et de la façon dont le cerveau acquiert et utilise l'information, de la pratique en classe d'enseignants experts et de méthodes d'instruction cognitives pour aider à apprendre des tâches complexes. Il recommande que les activités expérientielles soient toujours utilisées après l'apprentissage des connaissances de base.



Tableau 2 : Les dix principes d'enseignement de Rosenshine

1. **Révision quotidienne** - des faits et des compétences pour renforcer les liens entre le matériel appris afin que le rappel devienne automatique, mais nécessite beaucoup de pratique (5-8 minutes). Peut inclure la correction des devoirs, l'identification des difficultés et des erreurs commises, ainsi que tout ce qui nécessite un " sur-apprentissage ".
2. **Utilisez de petites étapes pour présenter le nouveau matériel** - guidez les élèves pour qu'ils s'entraînent à se souvenir des idées apprises en utilisant des stratégies et en modélisant en " pensant à voix haute ".
3. **Posez des questions** - vérifiez le niveau d'apprentissage de la matière en demandant aux élèves d'expliquer les processus et la manière dont ils ont trouvé les réponses.
4. **Fournir des modèles et des exemples de travail** - en utilisant des instructions étape par étape indiquant qui, où, pourquoi et comment développer des questions.
5. **Guider la pratique des élèves** - traiter l'information en reformulant, en élaborant et en résumant de petites quantités de matériel, en s'assurant que tous les élèves expliquent leurs idées et posent des questions, en donnant et en recevant un retour d'information, pour aider à développer la compréhension et à transférer les idées dans la mémoire à long terme.
6. **Vérifiez la compréhension de l'élève** - une vérification fréquente permet de renforcer les liens avec l'apprentissage précédent.
7. **Taux de réussite élevé** - pour une réussite optimale, l'enseignement et les activités pratiques doivent atteindre un taux de réussite de 80 % pour tous les élèves, tant pour les réponses orales que pour le travail individuel.
8. **Fournir des échafaudages pour les tâches difficiles** - fournir un soutien temporaire qui est progressivement retiré pour permettre aux "apprenants novices" d'observer la "pensée experte", les étudiants sont aidés par le coaching pour devenir plus indépendants.
9. **Pratique indépendante** - il faut beaucoup de pratique (sur-apprentissage) pour devenir "fluide et automatique dans une compétence", les élèves commencent à travailler de manière

Sherrington (2019) a proposé de regrouper les principes de Rosenshine en 4 volets qui combinent des principes connectés qui peuvent être ordonnés dans le flux de travail d'une leçon. Il s'agissait des concepts de séquençage et le modelage (présenter la nouvelle matière par étapes, fournir des modèles et un échafaudage), le questionnement (demander et vérifier la compréhension), la révision de la matière (quotidienne, hebdomadaire et mensuelle) et les étapes de la pratique (pratique guidée et indépendante, obtention de taux de réussite élevés). Il suggère que les principes d'instruction de Rosenshine fournissent des conseils clairs aux enseignants sur la façon de poser des questions, de mettre en pratique et de séquencer les concepts, ainsi qu'un outil de réflexion utile pour évaluer la qualité de l'enseignement.

5. Approches de l'enseignement avec les SIG

Les approches de l'enseignement et de l'apprentissage sont définies comme les stratégies que les enseignants adoptent pour leur pratique pédagogique. Une approche centrée sur l'étudiant est généralement considérée comme nécessaire pour une intégration réussie des technologies éducatives dans l'enseignement et l'apprentissage (Somekh, 2008 ; De Miguel, 2016). Voici des exemples d'approches développées dans l'enseignement avec les SIG.

5.1 Pensée spatiale

Ces dernières années, la pensée spatiale a attiré l'attention de nombreux chercheurs, traitant des composantes de la pensée spatiale (Figure 8) et des compétences et capacités des penseurs spatiaux critiques (De Miguel, 2016).

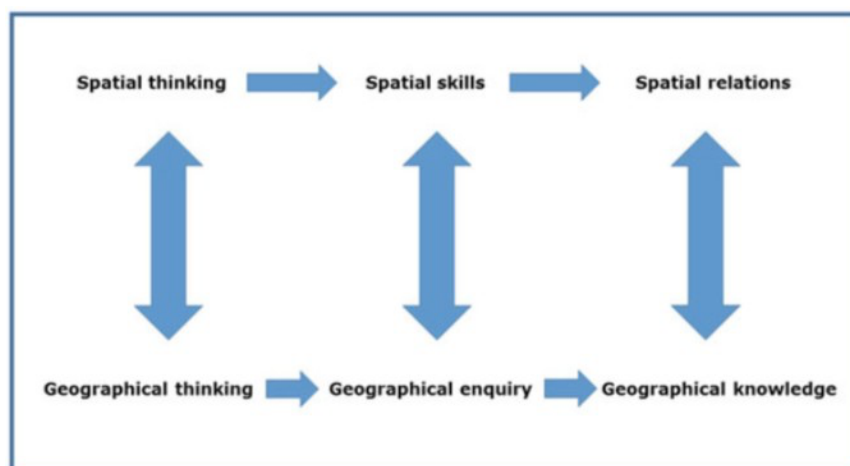


Figure 8. Séquence de réflexion spatiale et géographique pour l'enseignement et l'apprentissage avec le SIG (De Miguel, 2016).

Michel et Hof (2013) affirment que la pensée spatiale décrit non seulement la compréhension des processus spatiaux spécialisés, mais elle inclut des éléments de concepts spatiaux, des outils et des méthodes de représentation spatiale, ainsi que le processus de raisonnement spatial (figure 9).

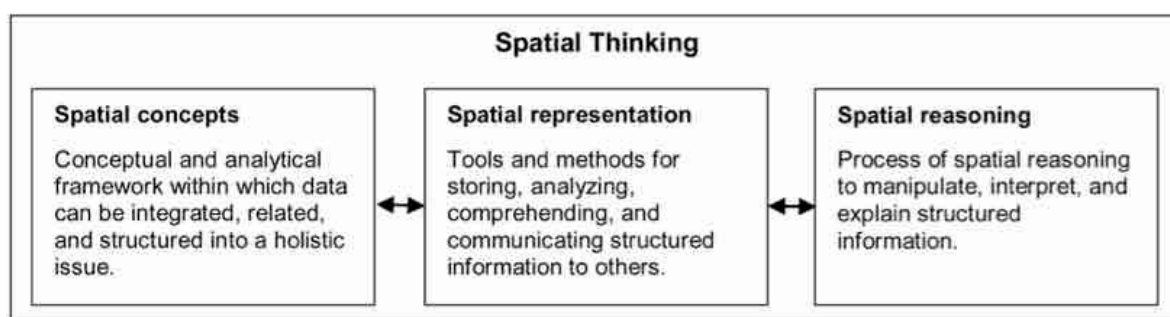


Figure 9 : Éléments de la pensée spatiale (Michel et Hof, 2013)

Goodchild et al. (2010) défendent l'idée que la pensée spatiale critique devrait être un thème central de l'éducation pour un monde où les informations sont de plus en plus perçues à travers des filtres géographiques. Selon Bearman et al. (2016), les penseurs spatiaux critiques devraient être capables de comprendre l'effet d'échelle et d'évaluer de manière critique la qualité des données spatiales utilisées et de



comprendre leurs implications. Cela implique que les processus de manipulation, d'analyse et de modélisation des données provoqueront et exigeront une réflexion critique.

Nguyen et al. (2019) se concentrent sur la pensée spatiale en tant que fonction essentielle et fondamentale d'un programme d'éducation axé sur les compétences dans les écoles, Ils soulignent la nécessité de prendre en compte les trois éléments fondamentaux (concepts d'espace, outils de représentation et processus de raisonnement), dans la création du programme d'études de géographie ; et fournissent " des exemples de questions contenant la pensée spatiale de niveau faible à très élevé et des questions de pensée non spatiale dans les manuels de géographie ". Ils suggèrent la formulation d'une taxonomie du traitement cognitif - Structure of Observed Learning Outcome (SOLO) - pour évaluer le processus de raisonnement.

De Lázaro y Torres et al. (2018) montrent comment il est possible de tirer parti des outils basés sur le Cloud pour permettre la réflexion spatiale et le développement de compétences numériques. Ils se sont attachés à expliquer comment, en utilisant l'enseignement flippé et le travail collaboratif, l'apprentissage des étudiants peut être amélioré. Les résultats de cette activité d'apprentissage de l'enseignement inversé étaient une collection de différentes cartes d'histoires axées sur des sujets spécifiques démontrant un apprentissage basé sur l'enquête en collectant et en utilisant des géodonnées et une application de cartographie Web sur WebGIS. D'autres aspects innovants proposés étaient la manière d'intégrer une carte Web à la narration numérique, l'utilisation de géodonnées ouvertes et l'apprentissage collaboratif centré sur l'étudiant sur le sujet.

5.2 Questionnement géographique, enquête et raisonnement spatial

Plusieurs chercheurs ont signalé l'efficacité de l'utilisation des SIG dans l'apprentissage fondé sur l'enquête en raison de leur capacité à promouvoir les compétences de réflexion supérieures des élèves, à relier la salle de classe aux problèmes du monde réel et à construire du sens et des connaissances par le biais du processus d'enquête (Kerski, Demirci et Milson 2013 ; Jadallah et al. 2017 ; Metoyer et Bednarz 2017).

Hong et Melville (2018) ont confirmé que la pensée spatiale était fondamentale pour le processus d'enquête géographique. En tant que collection d'aptitudes cognitives comprenant la connaissance des concepts de l'espace, l'utilisation d'outils de représentation et les processus de raisonnement, le SIG offre un outil disciplinaire avec un grand potentiel pour l'apprentissage basé sur l'enquête. Cependant, ils confirment qu'il y a un manque de ressources pédagogiques pour les SIG à mettre en œuvre dans les classes de la maternelle à la 12e année (Millsaps et Harrington 2017). Ils ont introduit une approche basée sur l'enquête pour concevoir un développement professionnel efficace en matière de SIG, qui a le potentiel d'habiliter les enseignants et les élèves dans l'apprentissage basé sur l'enquête avec les technologies SIG et, en fin de compte, d'augmenter l'engagement des élèves et... leur compréhension d'un monde en mutation rapide.

Favier (2011) examine les processus et les étapes du questionnement géographique (Figure 10), établissant l'utilisation des SIG dans le cadre d'une problématique plus large et permettant aux étudiants de voir comment les SIG s'intègrent dans le cadre du cycle plus large de la boucle problème - évaluation - solution. Il définit six étapes : poser des questions géographiques, acquérir des ressources géographiques, visualiser des géodonnées, traiter cognitivement les connaissances sur le monde qui nous entoure, répondre à des questions géographiques et présenter les résultats de l'enquête géographique. Il conclut que la pensée spatiale critique exige de l'élève qu'il réfléchisse à toutes les étapes de ce processus.

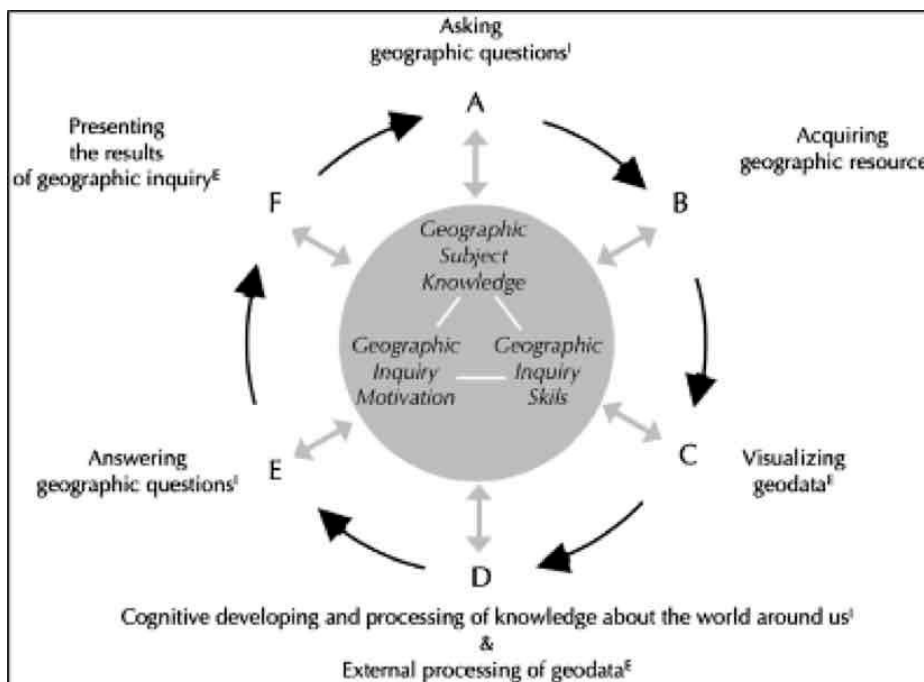


Figure 10 : Les processus adoptés pour répondre aux questions géographiques (Favier, 2011)

Selon Favier (2013), lors de l'utilisation des SIG, nous ne devrions pas seulement nous concentrer sur l'apprentissage des connaissances du sujet et des compétences spécifiques au domaine, mais aussi sur les idées de base sur les SIG. Il explique cela à l'aide d'un cadre (Figure 11) pour l'enquête géographique utilisant la recherche en Géo-TIC, où l'apprentissage peut être considéré comme un processus cyclique.

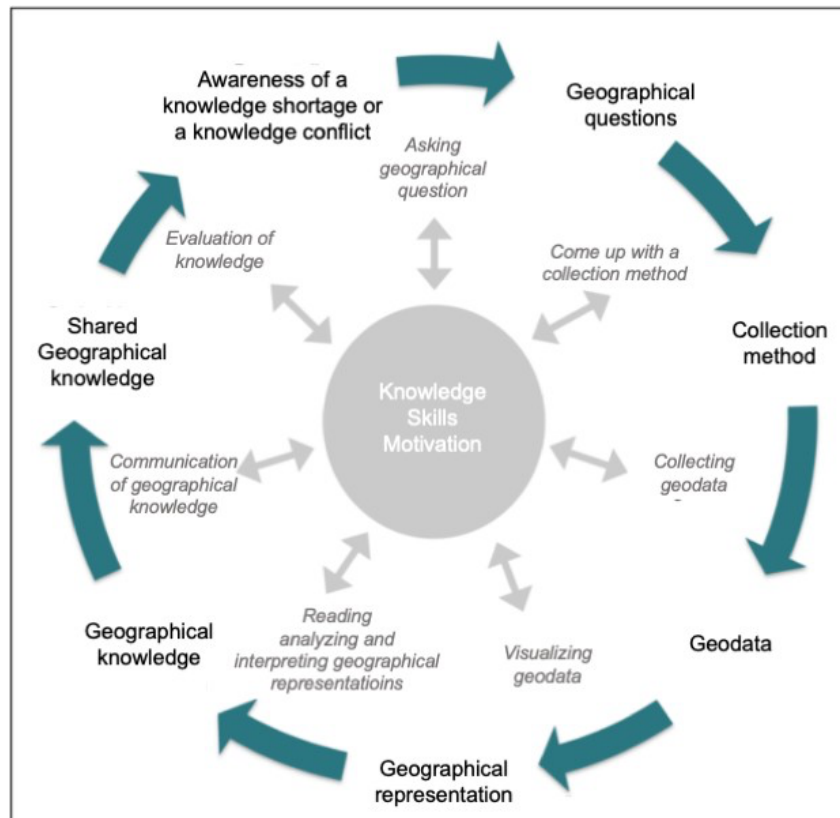


Figure 11 : Un cadre de recherche géographique utilisant les Géo-TIC (Favier, 2013)

Favier et van der Schee (2014) traitent de la question de savoir si les cours de géographie avec les technologies géospatiales ont réellement contribué au développement de la pensée géospatiale des élèves, et en particulier de la pensée relationnelle géospatiale. L'utilisation de technologies géospatiales comme les SIG devrait permettre aux enseignants de développer des méthodes d'enseignement visant à stimuler les compétences de la pensée relationnelle géospatiale qui sont souvent difficiles à aborder.

La pensée relationnelle géospatiale est liée à la pensée systémique, qui est une approche holistique axée sur l'association spatiale et la façon dont les éléments constitutifs d'un système sont reliés entre eux, comment ces systèmes réagissent aux changements et comment les systèmes fonctionnent dans le contexte de systèmes plus vastes. Leur recherche visait à identifier les effets sur la pensée relationnelle géospatiale d'une série de leçons utilisant des technologies géospatiales sur des élèves du secondaire, en comparaison avec une série de leçons conventionnelles. Ils ont constaté que l'utilisation des technologies géospatiales avait des effets positifs sur la pensée relationnelle géospatiale, que les élèves étaient également plus positifs quant aux effets sur les résultats d'apprentissage et qu'une plus grande attention était accordée à la pensée relationnelle géospatiale systématique. Cependant, les étudiants ne pouvaient identifier que certaines des relations et leurs connaissances étaient mal structurées en termes de systèmes géospatiaux, car ils ne pouvaient prendre en compte que certains des facteurs pertinents lorsqu'ils élaboraient des solutions aux défis spatiaux.

Hwang (2013) se concentre sur le rôle des SIG dans la promotion de l'éducation à la durabilité et souligne que les SIG sont un mode d'observation positiviste, ou un outil d'enquête et de recherche quantitative. Il propose une hiérarchie de cinq enquêtes géospatiales que les étudiants peuvent effectuer pour explorer les questions de durabilité à l'aide des SIG (Figure 12). Il s'agit de la distribution spatiale (SD), c'est-à-dire où se trouvent les choses ; des interactions spatiales (SI), c'est-à-dire comment les choses interagissent entre les régions ; des relations spatiales (SR), c'est-à-dire comment les choses sont liées entre les domaines ; des comparaisons spatiales (SC), c'est-à-dire comment les choses interagissent entre les régions ; des relations spatiales (SR), c'est-à-dire comment les choses sont liées entre les domaines ; des comparaisons spatiales (SC), c'est-à-dire comment les choses sont différentes entre les régions et des relations temporelles (TR), c'est-à-dire comment les choses évoluent dans le temps. Il conclut que ces types de questions peuvent aider les élèves à explorer les modèles, les relations et les changements spatiaux, et à découvrir des processus spécifiques à un lieu.

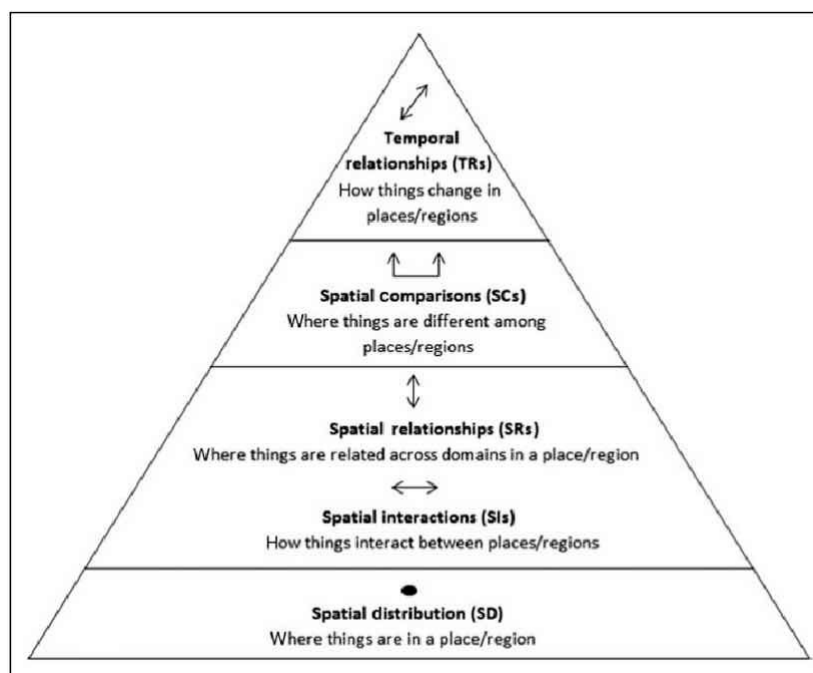


Figure 12 : Définition et hiérarchie des cinq enquêtes géospatiales

Jant et al. (2020) explorent le raisonnement spatial et le rôle de la pensée spatiale dans l'enseignement des STEM. Ils souhaitent étendre l'importance de la pensée spatiale dans l'enseignement des STEM au-delà de ce qui est généralement mesuré par les tests d'aptitude spatiale et l'aligner sur les approches qui mettent l'accent sur les pratiques de la pensée des STEM. Leurs résultats suggèrent que l'enseignement basé sur les SIG peut être utilisé pour améliorer l'utilisation du raisonnement spatial par les étudiants lors de la résolution de problèmes liés aux STEM. Ils indiquent que la formation aux SIG aide les élèves à envisager, comprendre et mettre en œuvre des solutions spatiales. Les auteurs recommandent donc que la réflexion spatiale puisse et doit être au cœur du raisonnement scientifique, au même titre que la modélisation et l'argumentation fondée sur des preuves.

Perdue et Lobben (2013) proposent un cadre de réflexion spatiale et ont émis l'hypothèse que certaines compétences de réflexion spatiale sont d'ordre supérieur à d'autres et s'appuient sur des compétences antérieures moins complexes (figure 13). Ainsi, dans l'exemple présenté, l'identification régionale est conceptualisée comme une compétence de haut niveau, obtenue par l'accumulation des compétences de proximité, de frontière, de regroupement et de classification.

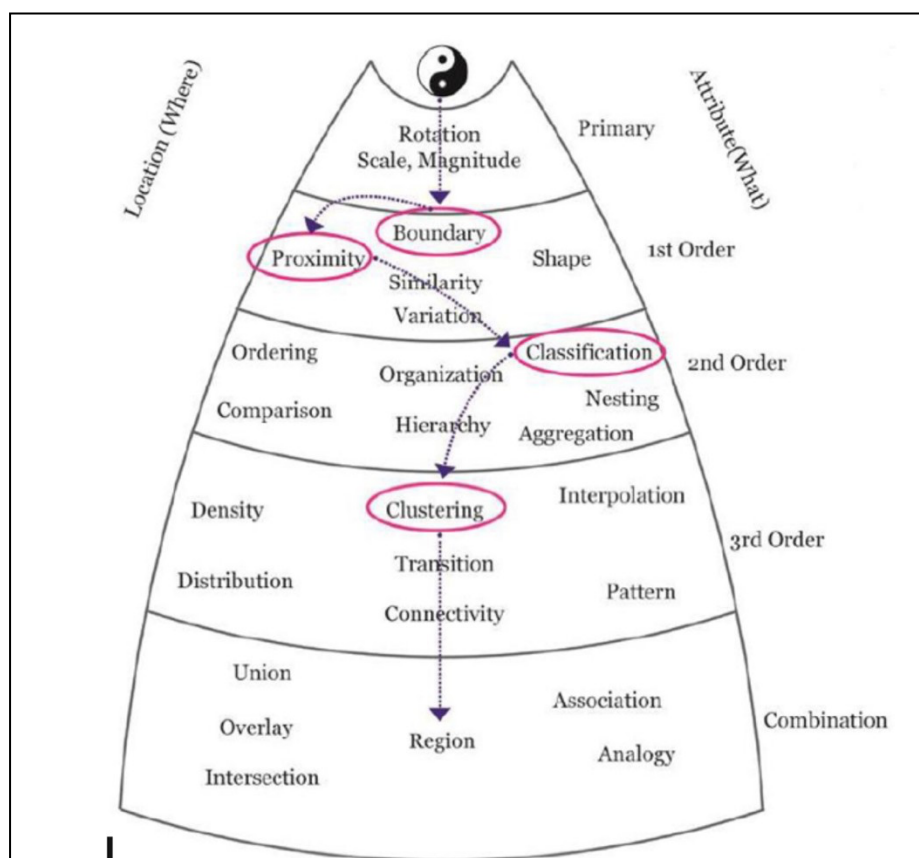


Figure 13 : Un cadre de réflexion spatiale (Perdue et al., 2013)

5.3 TPCK et G-TPCK

Le cadre Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK) a fourni une perspective théorique pour l'intégration de la technologie dans l'enseignement à l'école (figure 14). Il conceptualise trois domaines de connaissances pour les enseignants, la matière ou le contenu disciplinaire, l'utilisation des technologies et des ressources numériques et les processus d'apprentissage et d'enseignement (pédagogie). Kerski et al. (2013) suggèrent que le développement professionnel dans la formation des enseignants doit être élargi et qu'il doit englober la connaissance du contenu pédagogique technologique qui saisit l'interaction complexe entre le contenu, la pédagogie et la technologie.

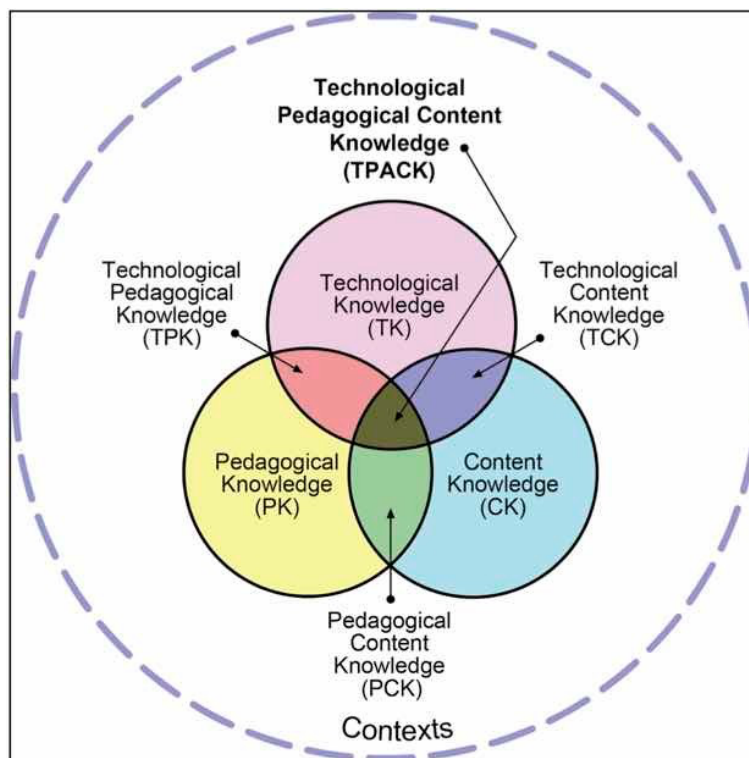


Figure 14 : Le cadre des connaissances du contenu pédagogique technologique (TPCK) (d'après Mishra, 2019)

Walsh (2017) affirme que les enseignants évitent souvent de s'engager dans les SIG, la recherche suggérant que le manque de formation aux SIG dans la formation initiale des enseignants en est partiellement responsable. Elle affirme que "l'utilisation réussie des SIG dans l'éducation exige que les enseignants aient une solide compréhension du contenu géographique, des applications logicielles géospatiales, des techniques d'analyse des données et des stratégies pédagogiques (Coulter, 2014) ; à ce titre, le développement professionnel dans la formation des enseignants devrait être élargi pour englober le contenu technologique et pédagogique (TPCK)" (Walshe, 2017;619).

Hammond et al. (2018) ont exploré la relation dynamique des TPCK et ont constaté que le développement des TPCK géospatiales des enseignants est primordial pour une intégration solide de ces technologies dans l'enseignement. S'engager simplement avec la technologie n'améliorera pas l'apprentissage des élèves, les éducateurs doivent considérer quelles pédagogies seront les plus efficaces (Hicks et al. 2014). Pour ce faire, l'approche TPCK recommande aux enseignants de disposer également de connaissances en matière de contenu technologique et géographique. En développant le TPCK, Mishra et Koehler (2006) intègrent l'utilisation efficace des technologies dans le programme d'études, en fonction de la force des connaissances pédagogiques et de contenu (PCK) des enseignants.

Roig et Flores (2014) soulignent que si les " connaissances en matière de contenu " peuvent être élevées chez les enseignants, il n'en va pas de même pour les " connaissances technologiques ". Les nouveaux enseignants évaluent souvent leurs connaissances technologiques comme étant plus élevées que leurs connaissances en matière / pédagogie, ce qui démontre peut-être un manque de confiance (Álvarez-Otero et de Lázaro y Torres, 2018).

Gómez Trigueros (2018) explore l'utilisation du modèle TPACK pour introduire les SIG. Il suggère que les connaissances disciplinaires de l'enseignant et ses connaissances pédagogiques doivent être prises en compte simultanément. Le modèle propose que pour que les enseignants aient une formation pour intégrer les TIC en classe, ils ne doivent pas seulement posséder " les connaissances de base " de manière isolée et indépendante, mais aussi les posséder en interaction avec l'approche. Il propose que ce n'est que de cette

manière que la technologie sera intégrée au processus de formation de manière appropriée et qu'elle atteindra les objectifs d'enseignement et d'apprentissage visés par l'étudiant.

Curtis (2019) utilise le cadre de connaissances technologiques, pédagogiques et de contenu (TPCK) de Mishra et Koehler (2006) pour examiner l'influence des connaissances pédagogiques sur la prise de décision des enseignants lorsqu'ils enseignent la géographie. Elle examine l'enseignement qui intègre des outils professionnels dans la salle de classe et suggère que cela est soutenu par des normes d'apprentissage et des études bien documentées. Elle décrit comment un enseignement qui reflète les actions des besoins professionnels permettra aux enseignants de géographie de préparer des élèves du XXI^e siècle bien informés et dotés d'un esprit critique, grâce à des contextes géographiques authentiques qui favorisent la collaboration et l'application des connaissances à des scénarios réalistes (Charles et Kolvoord, 2016). Cependant, la recherche a montré que les enseignants en géographie doivent découvrir des méthodes par eux-mêmes, car on ne leur enseigne pas de stratégies pédagogiques pour enseigner avec les technologies géospatiales.

Doering et al. (2009) recommandent aux enseignants de développer des connaissances géographiques, technologiques et pédagogiques (G-TPCK). L'accent n'est plus mis sur ce que les enseignants doivent savoir pour intégrer efficacement la technologie dans leurs classes, mais sur la manière dont leurs connaissances géographiques doivent être utilisées en classe pour obtenir les meilleurs résultats. Les auteurs proposent un cours de formation GeoThentic axé sur les problèmes, dans lequel les enseignants développent leurs connaissances technologiques à l'aide des technologies géospatiales, leurs connaissances pédagogiques en étudiant la pédagogie optimale pour la résolution de problèmes géographiques à l'aide des technologies géospatiales, et leurs connaissances du contenu en développant le domaine de contenu géographique spécifique nécessaire pour enseigner efficacement les modules de résolution de problèmes.

Rickles, Ellul et Hacklay (2017) ont identifié les éléments théoriques des concepts SIG et les ont reliés aux approches pédagogiques dans le cadre du TPCK (figure 15). Ils indiquent que l'apprentissage basé sur le contexte est l'approche d'apprentissage ou la connaissance pédagogique recommandée. L'utilisation du contexte fait référence à la fois à l'environnement d'apprentissage local et au contexte du domaine problématique de l'activité d'apprentissage.

L'identification des plateformes à utiliser fournit les connaissances technologiques et les connaissances de contenu seraient basées sur la matière du programme d'études ou, dans l'enseignement supérieur, sur le corps de connaissances SIG&T (Prager, 2012).

La recherche de Curtis (2019) a révélé une relation possible entre les connaissances pédagogiques et la fréquence d'utilisation et la profondeur de l'intégration de la technologie IG dans l'enseignement de la géographie. Elle a déclaré qu'il était important de développer les G-TPCK des enseignants pour qu'ils acceptent la technologie et la mettent en œuvre dans les classes de géographie.

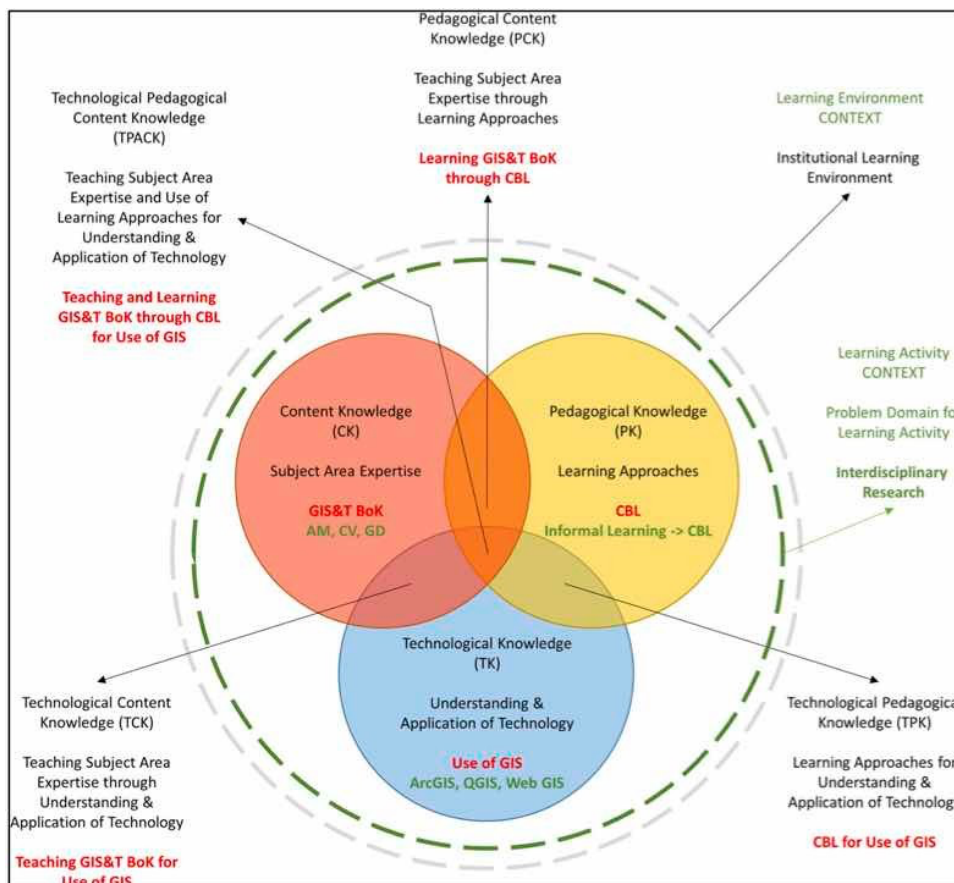


Figure 15 : Le SIG et le cadre du TPACK (Rickles, Ellul et Hacklay, 2017)

Hong, et Stonier (2015) ont suggéré que les leçons basées sur l'enquête utilisant les technologies SIG seraient un moyen d'intégrer les technologies en utilisant le modèle TPACK. Leur recherche a suggéré quatre méthodes utiles différentes pour présenter les SIG aux étudiants pour la première fois :

1. faire en sorte que la première activité soit en rapport avec les élèves (par exemple, "intéresser d'abord les élèves au SIG" et "se familiariser avec le SIG", par exemple en demandant aux élèves de faire une carte individuelle pour organiser leur vie, comme l'emplacement de leur maison et de leur école),
2. Exposer les étudiants aux SIG un peu à la fois, les introduire progressivement afin que les étudiants ne se sentent pas intimidés ou dépassés lorsqu'ils commencent à utiliser les SIG.
3. l'utilisation de pairs leaders, la création d'une aide et d'un soutien entre eux et le suivi par les enseignants et les responsables de l'éducation.
4. fournir des vidéos tutorielles.

5.4 Concepts seuils et connaissances puissantes

Les concepts de seuil trouvent leur origine dans les travaux de Meyer et Land (2003) qui évaluent certains aspects de l'apprentissage des élèves. Ils sont décrits comme des concepts qui, une fois saisis, conduisent à une vision transformée de la matière (figure 16). Le processus de saisie des concepts seuils implique le franchissement d'une passerelle conceptuelle qui peut résulter du dépassement d'une connaissance problématique.

Meyer et Land (2006) décrivent les caractéristiques des concepts seuils comme étant transformatives, changeant la façon dont vous voyez le monde ; troublantes lorsqu'elles peuvent sembler contre-intuitives, irréversibles, ce qui signifie qu'une fois qu'elles sont apprises, il est peu probable qu'elles soient oubliées ;

intégrées, car elles révèlent des connexions entre les différentes parties de la discipline, délimitées, car le concept a des paramètres définis dans lesquels il s'applique et discursives, car elles conduisent au développement d'un nouveau langage. Enser (2017) suggère que les concepts de seuil sont des éléments importants de la vérification de l'apprentissage, et pourraient être un point de mire pour aider à débloquer une nouvelle compréhension du monde..

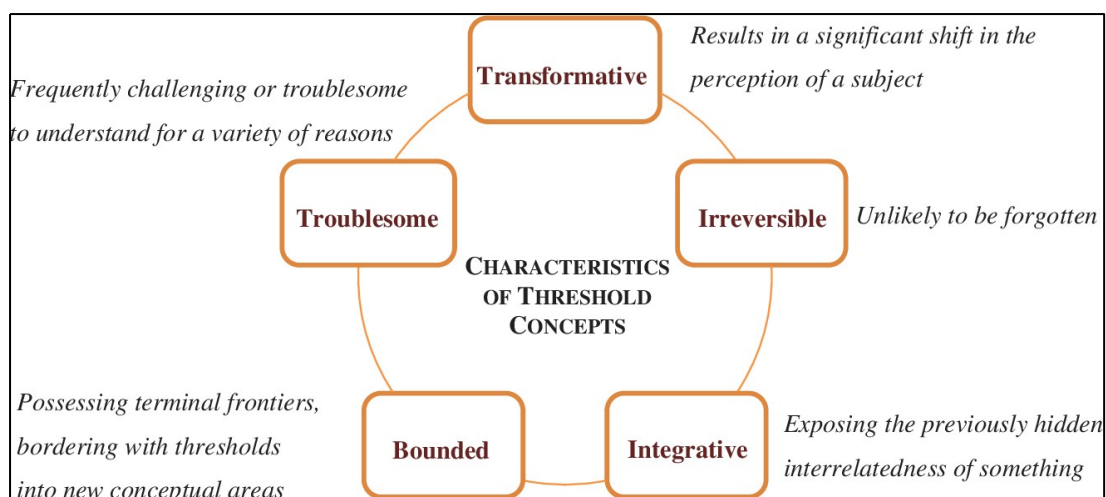


Figure 16 : Caractéristiques clés des concepts de seuil (d'après Hamm, 2016)

Srivastava et Tait (2010) présentent la mise en œuvre des principes de conception des programmes d'études pour l'enseignement, ils affirment que la pédagogie adoptée devrait utiliser les connaissances pédagogiques existantes pour le matériel de cours, identifier les concepts de base de la discipline, impliquer les étudiants dans un apprentissage actif et authentique, ainsi que fournir une expérience de l'apprentissage par problèmes, et prendre en compte les antécédents des étudiants en offrant des possibilités d'apprentissage flexibles. Leur étude présente un modèle d'apprentissage-évaluation-rétroaction impliquant plusieurs principes de conception de programmes d'études. Les auteurs recommandent que l'enseignement soit basé sur les développements récents de la recherche en éducation. Les principes de conception du programme d'études commencent par la définition des objectifs et des résultats du cours, suivie d'une organisation séquentielle des activités d'apprentissage, menant à une évaluation appropriée. Le résultat a été la création d'une approche centrée sur l'étudiant, avec des opportunités d'autodirection, de responsabilité guidée de leur apprentissage et des opportunités d'apprentissage/évaluation offertes dans des contextes réels (Figure 17).

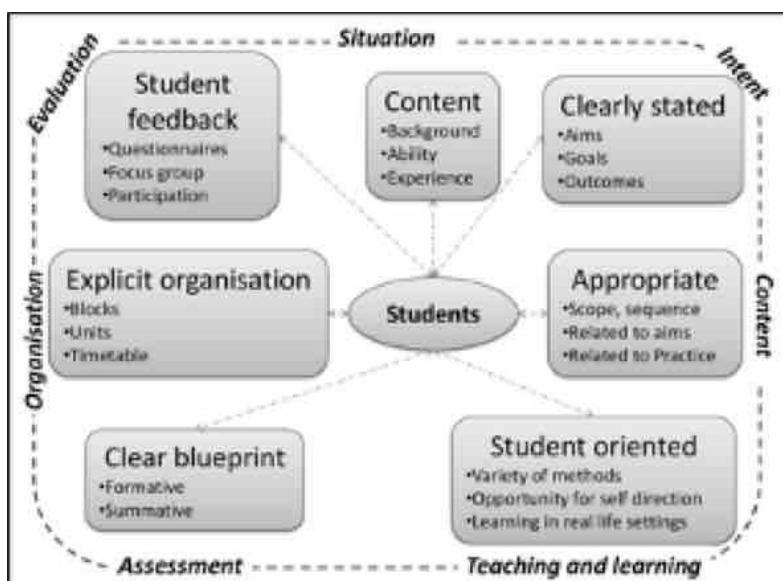


Figure 17 : Un modèle de pédagogie SIG en cours d'utilisation

L'évaluation a été conçue pour évoluer à partir de simples concepts de connaissance et passer à l'analyse, à la pensée critique et à un examen plus approfondi, démontrant comment les SIG peuvent être appliqués dans leurs domaines de discipline. Ainsi, les étudiants passent de la compréhension des concepts théoriques à la mise en relation directe de la technologie et de la discipline dans une compréhension de l'application pratique des SIG dans le monde réel.

Srivastava et Tait (2010) proposent un résumé des barrières seuils à franchir pour apprendre à utiliser les SIG (figure 18). Ils suggèrent que la maîtrise des concepts seuils clés fera passer un étudiant d'un utilisateur général de cartes à un professionnel des SIG. L'identification de ces concepts seuils clés devrait permettre d'identifier tout élément de connaissance gênant, qui peut constituer une barrière à l'apprentissage. Un résumé similaire pourrait être utile aux enseignants pour la sélection des sujets lors de l'apprentissage avec les SIG.

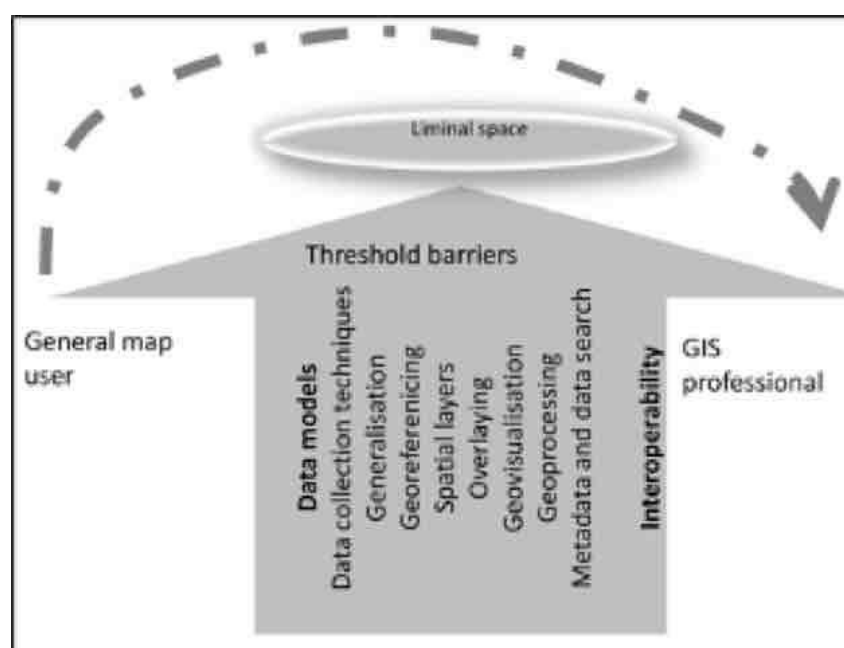


Figure 18 : concepts de seuil pour l'apprentissage des SIG

Walshe (2018) met en garde contre le danger de réduire les SIG à un simple mécanisme permettant de compléter un ensemble de compétences et s'appuie sur la typologie d'Alaric Maude (2018) pour développer des connaissances géographiques puissantes, en se référant au projet GeoCapabilities avec son utilisation des artefacts du programme scolaire. Le SIG permet aux étudiants de s'engager dans des opportunités de créer, tester et évaluer des connaissances.

La typologie de Maude (tableau 3) a été utilisée par Fargher (2018) pour illustrer comment un artefact de programme, défini comme "la "clé" d'une série de leçons sur un sujet donné", peut être créé dans ArcGIS Online pour construire des connaissances géographiques solides. L'exemple développé du tremblement de terre et du tsunami de l'océan Indien en 2004 démontre la nécessité pour les enseignants de diriger avec leur connaissance experte de la matière pour s'assurer que l'engagement avec le SIG est sous-tendu par les concepts clés de la matière et soutient le développement de la pensée géographique des élèves.



Tableau 3 : Typologie des connaissances géographiques puissantes (d'après Maude, 2018).

Type de puissant connaissance géographique	Description
Type 1	Des connaissances qui offrent aux étudiants de "nouvelles façons de penser à l'environnement". monde
Type 2	Des connaissances qui fournissent aux étudiants des moyens puissants d'analyse, expliquer et comprendre
Type 3	Des connaissances qui donnent aux élèves un certain pouvoir sur leur propre géographie connaissance
Type 4	Des connaissances qui permettent aux jeunes de suivre et de participer à des débats sur des questions locales, nationales et mondiales importantes
Type 5	La connaissance du monde

5.5 Géomédia, citoyenneté spatiale et SIG participatif

Selon Gryl et al. (2010), la citoyenneté spatiale est un amalgame de trois principaux domaines de recherche contributifs, l'éducation à la citoyenneté, l'appropriation de l'espace et les liens entre l'IG et la société. La citoyenneté spatiale a ainsi été définie comme la capacité à s'approprier l'espace de manière critique par des moyens démocratiques. L'éducation à la citoyenneté spatiale consiste donc à apprendre à naviguer dans le monde en tenant compte du monde physique, des significations attachées aux objets physiques et à l'environnement et des relations de pouvoir impliquées dans la production de sens. Trois principaux domaines de compétence ont été identifiés (figure 19). Ils suggèrent que des stratégies spécifiques doivent être développées pour travailler avec les SIG qui vont au-delà des compétences techniques largement reproduites dans de nombreux programmes d'enseignement.

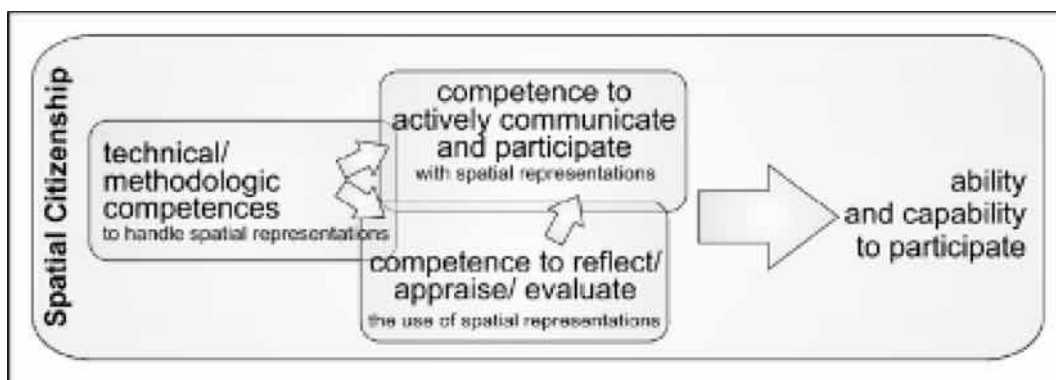


Figure 19 : Compétences en matière de citoyenneté spatiale

Le géomédia est un média constitué d'informations localisées dans l'espace, il est devenu un élément essentiel de la vie quotidienne. Les développements technologiques ont permis aux citoyens ordinaires de participer et de collaborer en utilisant un nombre croissant d'applications web et d'appareils mobiles pour recueillir, traiter et visualiser des géoinformations, puis partager et distribuer leurs propres informations. Felgenhauer et Quade (2012) explorent les implications des géomédias pour l'éducation, soulevant des questions associées aux types de styles d'apprentissage nécessaires pour adresser les jeunes à s'engager dans des activités de citoyenneté et l'utilisation réflexive et réfléchie des IG et des géomédias. Gryl (2016) suggère que la compétence géomédiatique réflexive et la citoyenneté spatiale sont



basées sur la réflexion et la réflexivité. La réflexion signifie être critique à l'égard d'un certain sujet, la réflexivité implique d'être critique à l'égard de sa propre pensée et de son action dans ce domaine. La citoyenneté spatiale et la compétence géomédiatique réflexive rendent compte de la construction sociale des espaces à partir des approches de la pensée spatiale à partir des géomédias (Gryl et Jekel, 2012).

Roosaare et Liiber (2013) présentent la situation en Estonie où les géomédias et les SIG ont été intégrés dans l'enseignement scolaire, où une liste de travaux pratiques obligatoires basés sur les TIC a été ajoutée au programme de géographie. Gryl (2016) a cherché à identifier les différentes capacités de base des enseignants et leur volonté de faire progresser la réflexivité et les approches géomédiatiques à l'école, et à identifier des idées pour faire progresser les capacités et la volonté des enseignants. Des entretiens avec des enseignants ont été menés afin de construire une typologie de la capacité et de la volonté des enseignants à développer les compétences géomédiatiques réflexives et les compétences de citoyenneté spatiale chez leurs élèves.

Sinha et al. (2016) explorent l'utilisation des SIG participatifs (PGIS) comme une plateforme puissante pour l'enseignement de la géographie. Le PGIS résulte des réponses de l'engagement communautaire aux développements technologiques des SIG et de l'autonomisation. PGIS produit des médias utiles pour la défense des intérêts des citoyens et la prise de décision. Mais les avantages pédagogiques des projets PGIS n'ont reçu qu'une attention directe limitée dans la littérature, ce qui est compréhensible puisque les projets PGIS sont conçus pour être dirigés par les communautés et que l'accent doit rester sur le développement et l'autonomisation de la communauté, et non sur la façon dont les étudiants et les chercheurs peuvent bénéficier du processus.

Bien que le PGIS ne soit pas la seule approche pour enseigner la géographie aux étudiants sur le terrain, il offre l'une des options les plus flexibles et les plus évolutives pour permettre aux étudiants de travailler avec les communautés. Les projets PGIS sont naturellement adaptés pour compléter la formation en classe, car les étudiants participants doivent travailler au-delà de la classe et dans une communauté d'accueil, ils doivent acquérir des compétences en matière de collaboration et de développement communautaire, réfléchir à leur propre situation et aux circonstances tout en s'efforçant de sauvegarder et de promouvoir les intérêts de la communauté ; démontrer l'application des connaissances géographiques humaines, physiques et géospatiales sur le terrain et encourager la réflexivité critique chez les étudiants.

Les approches SIGP peuvent aider à atteindre divers objectifs d'apprentissage liés aux connaissances locales et à la réflexion axée sur le lieu, à la compréhension des relations entre les personnes et les paysages par le biais de l'engagement communautaire, à la formation pratique aux méthodes de terrain pour la collecte, la gestion, le traitement et la visualisation des informations géographiques et à l'introduction expérimentale et pratique aux méthodologies qualitatives et quantitatives.

Gordon et al. (2016) examinent la cartographie participative interactive pour l'enseignement et la pratique de la pensée spatiale critique. Ils proposent que la pensée spatiale critique soit fondatrice de l'engagement civique et que les pédagogies géographiques numériques constituent une arène importante dans laquelle les jeunes peuvent développer ces aptitudes. Ils montrent comment les pédagogies de cartographie numérique interactive offrent aux élèves l'opportunité de développer une conscience de ce qui se passe dans leurs géographies urbaines et de guider et informer l'engagement civique. Ils illustrent la manière dont l'apprentissage civique critique se produit à la suite d'un processus exploratoire guidé par les élèves, d'un travail collaboratif, d'un partage avec leurs pairs et de l'apprentissage de ces derniers.

5.6 La technique du storytelling et les cartes web

Kerski (2015) inclut le storytelling comme l'une des cinq tendances mondiales convergentes qui exercent un grand impact sur la géographie. L'évolution des outils géographiques, des données et du multimédia sur le web élargit la capacité et l'audience de la narration par les cartes. Il décrit l'importance d'éduquer une population géolittéraire capable d'évaluer et d'utiliser les informations géographiques pour prendre des décisions judicieuses.

Motala et Musungu (2013) examinent les effets sur l'apprentissage des étudiants de l'introduction de la narration dans les activités d'enseignement et d'apprentissage des SIG. L'incorporation de la narration dans l'analyse et la cartographie SIG a aidé les étudiants à visualiser des concepts complexes. Ils suggèrent que la narration multimédia était une méthode d'apprentissage puissante, car les étudiants avaient la possibilité de raconter leurs propres histoires et d'avoir de l'empathie pour la géographie. Leurs récits personnels ont aidé les étudiants à intérioriser l'apprentissage.

Sherrington (2018) résume l'explication de Daniel Willingham (2009) sur l'importance des connexions narratives dans la fabrication de la mémoire. Il dit que les histoires ont quatre caractéristiques, la causalité, le conflit, les complications et le personnage. Il est probable que les pédagogies innovantes devraient examiner comment les ressources SIG peuvent utiliser les principes des histoires pour aider les étudiants à reconnaître et à comprendre les modèles, processus et concepts géographiques (par exemple, l'ajout de couches par étapes cohérentes ; les cartes d'histoires) et comment les étapes de l'apprentissage d'une technique SIG pourraient être enseignées plus efficacement en suivant les principes des histoires.

Les cartes d'histoires intègrent généralement des fonctions textuelles, multimédia et interactives pour informer, éduquer, divertir et inspirer les gens. Marta et Osso (2015) décrivent leur initiative de projet "Story Maps at school : enseigner et apprendre des histoires avec des cartes". En travaillant avec des groupes d'enseignants et leurs classes, ils ont constaté que raconter des histoires avec des cartes motivait les élèves et établissait une attitude positive envers l'apprentissage. Les élèves ont participé activement au processus de storymapping, en faisant preuve de créativité pour raconter leurs propres histoires et en les encourageant à poser des questions.

Sui (2015) réfléchit aux utilisations des histoires de cartes ou des récits basés sur l'emplacement. Il affirme que les cartes d'aujourd'hui ne sont donc pas simplement utilisées comme illustrations, mais qu'elles sont de plus en plus utilisées comme un moyen de raconter des histoires et d'aider les apprenants à acquérir un sens plus profond à travers leurs activités éducatives avec les SIG et se concentrent sur le cadre de Pink (2006) des six sens du nouvel esprit, le design, l'histoire, la symphonie, l'empathie, le jeu et le sens.



6. Pédagogies

Peu de recherches ont été consacrées aux questions pédagogiques liées à l'utilisation des SIG (Donert, 2007 ; Bednarz, 2001). Pourtant, selon Mathews et Wikle (2017), les enquêtes menées auprès des employeurs suggèrent qu'il est nécessaire d'améliorer les approches pédagogiques de l'enseignement des SIG&T, car la main-d'œuvre est souvent mal préparée à affronter les problèmes du monde réel. Roosaare et Liiber (2013) confirment que la principale influence sur l'enseignement dans les écoles est le processus d'enseignement-apprentissage en classe, qui dépend du professionnalisme des enseignants et de leur enthousiasme à mettre en œuvre de nouvelles technologies et méthodes d'enseignement. Stringer et al. (2019) affirment que pour améliorer l'apprentissage, la technologie doit être utilisée d'une manière qui s'appuie sur une pédagogie efficace.

Sanchez (2009) a évalué la manière dont les géotechnologies sont intégrées dans le programme de géographie de l'enseignement secondaire, et les effets qu'elles ont en termes de cadre pédagogique et d'objectifs éducatifs. Les preuves qu'il a recueillies suggèrent que les géotechnologies sont utilisées dans différents contextes pédagogiques : avec toute la classe grâce à l'utilisation d'un projecteur de données, avec de petits groupes d'étudiants ou en utilisation individuelle lorsqu'un étudiant est seul devant un ordinateur.

Mathews et Wikle (2019) se sont intéressés à la façon dont les cours sur les SIG peuvent être conçus pour répondre à des objectifs d'apprentissage qui favorisent la pensée créative, font progresser les compétences en résolution de problèmes et encouragent la collaboration. Leur objectif est d'évaluer les approches pédagogiques utilisées pour enseigner les cours, ainsi que d'identifier les défis associés à cet enseignement, sur la base d'une enquête menée sur Internet auprès de 318 professeurs de collèges et d'universités. Ils ont constaté que les méthodes d'apprentissage actif n'étaient pas bien intégrées dans les cours et ont noté que les étudiants devaient recevoir un cadre conceptuel solide et que les stratégies d'enseignement bénéficieraient de davantage d'approches d'apprentissage actif et d'autres innovations pédagogiques. Ils ont suggéré que les cours soient conçus pour répondre à des objectifs d'apprentissage qui encouragent la pensée créative, des compétences avancées en matière de résolution de problèmes et qui favorisent la collaboration.

Muijs (2020) souligne l'importance croissante de l'utilisation de la "science de l'apprentissage" pour informer la pratique en classe. Il existe une prise de conscience croissante de l'aide potentielle que l'autorégulation et les stratégies métacognitives peuvent apporter à l'apprentissage. Muijs soutient l'idée que l'autorégulation est liée à la conscience qu'a l'apprenant de ses propres forces et faiblesses, et qu'elle est liée à sa motivation à développer ses propres stratégies d'apprentissage. Il considère que cela est lié à trois fonctions plus larges : la cognition, qui est le traitement de l'information et la pratique ; la métacognition, qui sont les stratégies qui contrôlent la cognition ; et l'apprentissage. et la motivation, qui est liée à l'intérêt et à la confiance en soi.

Coe et al. (2020) font un rapport sur le Great Teaching Toolkit et constatent que l'une des principales caractéristiques d'un enseignement de qualité est que les enseignants comprennent le contenu qu'ils enseignent et la manière dont il est appris. Ils suggèrent aux enseignants qui souhaitent améliorer leur efficacité de se concentrer sur quatre domaines prioritaires : i) comprendre le contenu qu'ils enseignent et la manière dont il est appris, ii) créer un environnement propice à l'apprentissage, iii) gérer la classe pour maximiser les possibilités d'apprentissage et iv) présenter un contenu, des activités et des interactions qui stimulent la réflexion des élèves. Allier-Gagneur et al. (2020) suggèrent que ces principes donnent une indication du type de pratiques qui pourraient être partagées avec les enseignants lors des sessions de développement des enseignants.

6.1 Pensée spatiale critique

Selon Goodchild et Janelle (2010), les approches éducatives doivent reconnaître la nécessité de transmettre des compétences en matière d'application critique et efficace de ces concepts spatiaux fondamentaux, si les étudiants doivent tirer parti de l'accès croissant aux quantités grandissantes d'informations spatiales et aux technologies de traitement des données. Le terme " critique " implique une réflexion ou une analyse des perspectives spatiales, ainsi qu'un questionnement et un examen actifs des données, des techniques et du contexte. Le défi pour l'éducation consiste à développer des techniques de réflexion spatiale critique, afin que les étudiants soient mieux préparés à utiliser les technologies en évolution et mieux équipés pour exploiter le flot croissant de données à référence spatiale.

Les auteurs suggèrent que les étudiants soient formés aux normes d'un penseur spatial critique, y compris le potentiel de contribuer à la compréhension spatiale critique de l'information à l'interface entre les disciplines ; de travailler en équipe ; d'expliquer le contexte spatio-temporel à des non-experts ; la capacité de développer des idées spatiales nouvelles et très originales ; de permettre un dialogue soutenu et fructueux au sein d'une communauté internationale de scientifiques sensibilisés à l'espace ; de diffuser la compréhension spatiale par l'enseignement et le développement de programmes d'études aux niveaux K-12 et undergraduate ; et de transférer les technologies spatiales et les concepts spatiaux dans différents domaines de connaissances et ensembles de problèmes.

Willingham (2007) se demande si la pensée critique peut réellement être enseignée, suggérant qu'il n'existe pas d'ensemble de compétences de pensée critique pouvant être acquises et déployées indépendamment du contexte. Il suggère qu'il existe des stratégies métacognitives qui, une fois apprises, rendent la pensée critique plus probable et que la capacité à penser de manière critique dépend de la connaissance du domaine et de la pratique. Il propose donc que l'enseignement de la pensée critique aux étudiants consiste probablement en grande partie à leur permettre de déployer le bon type de pensée au bon moment. Kaminske (2020) confirme que la pensée critique dépend du contexte et que les gens peuvent donc être bons dans un domaine, mais mauvais dans d'autres.

La pensée spatiale critique fait généralement référence à une compréhension plus approfondie des relations telles que la dépendance spatiale ou l'hétérogénéité spatiale (National Research Council 2006), ou à la réflexivité dans l'utilisation des données et des technologies spatiales (par exemple, l'évaluation de la fiabilité des données spatiales numériques et des représentations géospatiales ou la formulation et l'évaluation d'arguments à l'aide de données spatiales et de cartes).

Kim et Bednarz (2013) suggèrent que la pensée spatiale critique est une aptitude clé pour l'engagement civique via les géotechnologies numériques. Ils ont mis au point un test oral de pensée spatiale critique basé sur des entretiens (A Critical Spatial Thinking Oral Test - CSTOT) pour tester la résolution de problèmes par eux-mêmes et ont utilisé ce test pour étudier les effets de l'apprentissage du système d'information géographique (SIG) sur trois composantes de la pensée spatiale critique : l'évaluation de la fiabilité des données, l'exercice du raisonnement spatial et l'évaluation de la validité de la résolution de problèmes (Golledge et al., 2008). Leur étude a démontré que suivre un cours sur les SIG était bénéfique pour améliorer la pensée spatiale critique des étudiants, identifiée comme la capacité d'évaluer la fiabilité des données, d'utiliser un raisonnement spatial solide et d'évaluer la validité de la résolution de problèmes. Selon eux, cela pourrait s'expliquer par la nature de l'apprentissage de l'utilisation des SIG, car le raisonnement spatial est nécessaire pour que les étudiants soient capables d'appliquer des idées dans la pratique et de résoudre des problèmes.

Milson et Curtis (2009) ont constaté que l'apprentissage à l'aide de SIG était un moyen efficace d'améliorer la pensée spatiale critique des étudiants. Ces chercheurs ont demandé aux étudiants de sélectionner un emplacement approprié pour une nouvelle entreprise.

Les élèves ont dû déterminer des critères sur lesquels fonder leur décision, trouver des données pour étayer

ces critères et enfin défendre leur processus de réflexion, autant d'éléments qui ont favorisé le développement d'une pensée spatiale critique. Liu et al. (2010) ont indiqué que l'apprentissage basé sur les problèmes à l'aide d'un SIG développait la pensée supérieure des élèves, comme les compétences d'analyse et d'évaluation.

La plupart des concepts de pensée spatiale critique sont soit fortement orientés vers la représentation géospatiale, soit concernent la façon dont les données spatiales numériques sont créées et diffusées. En se concentrant sur les données et la représentation géospatiales, ces notions de pensée spatiale critique ne sont pas liées à ce que les jeunes doivent savoir ou comprendre du monde qui les entoure et de leur engagement civique. Or, il est nécessaire d'apprendre à partir de sources fiables de première main et de représenter les données pour permettre une interprétation claire et réelle des inégalités. L'éducation des élèves doit inclure la compréhension de la manière dont les inégalités dans la société sont générées et comment eux-mêmes et d'autres acteurs sociaux pourraient intervenir pour les remettre en question.

6.2 Pédagogies actives et apprentissage par l'enquête

L'utilisation des géotechnologies dans les écoles facilite la mise en œuvre d'un apprentissage basé sur l'enquête (Sanchez, 2008a) et de projets ouverts pour l'enseignement (Kerski, 2008). Cela est probablement dû en partie au fait que les SIG permettent des procédures en classe proches des procédures professionnelles, notamment la modélisation ou la simulation (Sanchez, 2008b). Les développements pédagogiques ont fait écho à l'accent mis sur le côté pratique dans une grande partie de l'enseignement de la géographie, caractérisé par un apprentissage actif sur le terrain et en laboratoire, et l'adoption de la théorie de l'apprentissage par l'expérience de Kolb (Healey et Jenkins, 2000).

Mathews et Wikle (2019) ont constaté que les pédagogies d'apprentissage actif s'affirment, complétant ou remplaçant les approches pédagogiques traditionnelles. Les stratégies qui encouragent l'apprentissage actif sont basées sur l'interactivité dans l'apprentissage par la pratique (Scheyvens et al., 2008). En plus de faciliter l'engagement des étudiants, l'apprentissage actif encourage les éléments de pensée critique par la réflexion des étudiants (Scheyvens et al., 2008) et la résolution de problèmes par les étudiants, qui peut impliquer des données du monde réel (Connors et al., 1998). Chen (1997) a appliqué la résolution de problèmes aux activités d'apprentissage actif du SIG (figure 20). Ces approches centrées sur l'étudiant sont également bien documentées en dehors de l'utilisation des SIG (Park, 2018).

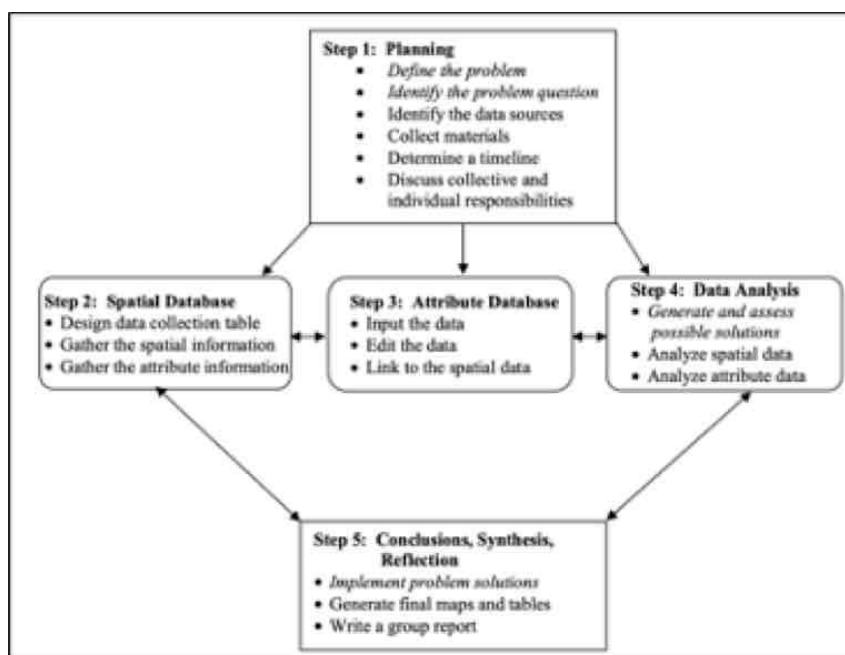


Figure 20 : Résolution de problèmes et apprentissage actif avec le SIG (d'après Chen, 1997)



En termes de portée, l'apprentissage actif comprend un éventail de stratégies avec des niveaux variables d'engagement des étudiants, comme les classes "flippées" où les temps de réunion sont réorganisés pour remplacer les cours magistraux traditionnels par des activités centrées sur les étudiants. Les élèves des classes inversées examinent d'autres documents avant les réunions de classe, ce qui permet de concentrer le temps de classe sur des discussions ouvertes productives ou des activités d'apprentissage collaboratif (Reidsema et al., 2017). Parmi les méthodes d'apprentissage actif similaires qui ont été notées, citons la méthode "penser-pair-partager", qui peut être introduite à l'aide d'un travail de lecture ou d'une présentation suivie d'une série de questions posées par l'enseignant. Par la suite, les étudiants rédigent des énoncés de réflexion, puis travaillent en paires ou en petits groupes pour discuter et compléter les travaux. Bien qu'elles ne soient pas axées sur les SIG, plusieurs autres études ont démontré l'efficacité de l'apprentissage actif pour accroître l'engagement et la performance des élèves (Lee et Shahrill, 2018). Certains inconvénients des stratégies d'apprentissage actif ont également été notés comme le temps supplémentaire nécessaire à la préparation du matériel et les défis posés par les classes nombreuses.

Malgré les avantages associés aux approches pédagogiques actives, une enquête récente sur les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM) a démontré que la majorité des enseignants des collèges continuent de s'appuyer sur des méthodes d'enseignement passives, basées sur des cours magistraux (Stains et al., 2018). Comme l'ont noté Şeremet et Chalkley (2015), les cours sur les SIG ne font pas exception. Il est communément admis que lorsque la théorie est combinée à la pratique, le résultat pédagogique devient bénéfique pour l'apprentissage des étudiants. Les méthodes d'enseignement traditionnelles sont complétées par d'autres approches, telles que l'apprentissage basé sur l'enquête, qui implique des problèmes et des scénarios complexes avec des travaux sur le terrain et des études de cas. Par conséquent, lorsqu'elle est utilisée à son plein potentiel, l'utilisation de SIG dans les écoles peut fournir un environnement d'apprentissage avec un potentiel prouvé pour les activités basées sur l'enquête, avec des étudiants apprenant sur les problèmes géographiques, les questions et les événements de la pertinence du monde réel (Fargher et Rayner, 2012).

L'apprentissage basé sur l'enquête implique l'exploration, l'analyse et l'action sur les connaissances géographiques. Les enseignants doivent avoir une conscience plus critique des types de réflexion géographique qui peuvent et ne peuvent pas être améliorés par les SIG. L'apprentissage par enquête comprend des compétences telles que l'observation, la classification, la mesure, la prédiction, la déduction, la synthèse, la communication, la collecte et l'analyse de données, la formulation de conclusions, la construction de modèles, l'interprétation de preuves et l'expérimentation. Grâce à l'apprentissage par l'enquête, des stratégies de résolution de problèmes sont utilisées pour identifier les hypothèses et envisager d'autres explications.

L'enquête SIG est généralement basée sur cinq étapes (tableau 4), les élèves étant encouragés à explorer les relations spatiales et les modèles parmi les données et à tirer des explications sensées des observations.

Tableau 4 : Étapes de l'enquête avec le SIG (d'après Fargher, 2018)

Étape	Ce qu'il faut faire	Type de construction de la connaissance
Demandez à un géographe question	Posez des questions sur le monde qui vous entoure	Demande de renseignements
Acquérir des données géographiques	Identifiez les données et les informations dont vous avez besoin pour répondre à vos questions.	Inventaire
Explorer les données géographiques	Transformez les données en cartes, tableaux et graphiques et recherchez des modèles et des relations.	Traitement et analyse spatiaux
Analyser l'information géographique	Tester une hypothèse, réaliser une carte, analyse statistique, écrite, utilisant des preuves	Analyse spatiale, modélisation,
Agir avec des connaissances géographiques	Prendre les résultats et les preuves et entreprendre des actions pour les faire progresser	Prise de décision, diffusion

Ces étapes visent à enseigner le contenu disciplinaire par le biais du développement de compétences d'ordre supérieur, liées au processus de recherche (c'est-à-dire la formulation de questions de recherche, la conception ou la mise en œuvre d'une collecte systématique de données, l'analyse et la synthèse des données, etc.) Ces activités basées sur l'enquête sont essentielles au développement des compétences en matière de résolution de problèmes, qui, comme le monde l'a vu, doivent être mises en avant dans l'éducation afin que les élèves soient préparés à résoudre de manière efficace et efficiente les défis du monde réel.

Bonnstetter (1998) a décrit l'enquête comme un processus d'apprentissage évolutif dans lequel les rôles de l'enseignant et de l'élève changent, comme le montre le tableau 5. L'apprentissage par la recherche peut être défini comme l'exploration par l'élève d'un problème authentique en utilisant les processus et les outils de la discipline ou du contenu. Les compétences liées aux processus peuvent inclure l'observation, la classification, la mesure, la prédiction, la déduction, le résumé, la communication, la collecte de données, l'analyse de données, la formulation de conclusions, la construction de modèles, l'interprétation de preuves et l'expérimentation. Cette approche a le potentiel de changer l'enseignement de la géographie pour le mieux, car elle peut être utilisée pour fournir des moyens d'accéder et d'analyser les données géographiques qui peuvent soutenir une compréhension géographique plus profonde.

Tableau 5 : Evolution de l'enquête (d'après Bonnstetter, 1998)

	Traditional Hands-on	Structured Inquiry	Guided Inquiry	Student Directed Inquiry	Student Research
Topic	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/ Student
Question	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/ Student	Student
Materials	Teacher	Teacher	Teacher	Student	Student
Procedure/ Design	Teacher	Teacher	Teacher/ Student	Student	Student
Result/Analysis	Teacher	Teacher/Student	Student	Student	Student
Conclusions	Teacher	Student	Student	Student	Student

Teacher Controlled-----Student Controlled
 Exogenous-----Cognitive Development-----Endogenous
 Focus on Teaching-----Focus on Learning

Walshe (2017), dans son rapport sur les enseignants stagiaires et leur utilisation des SIG, a confirmé qu'avec une utilisation régulière, ils ont développé une compréhension plus nuancée de la nature des SIG, passant de la vision d'une méthode d'affichage des données à la reconnaissance de sa valeur pour soutenir l'apprentissage centré sur l'élève, basé sur l'enquête et le développement de la pensée géospatiale. Leur exposition répétée à des SIG de plus en plus complexes a favorisé le développement de leur pratique, car elle leur a donné l'occasion de s'engager à leur propre rythme, en leur permettant de "tester" des idées à l'école, puis de partager leurs idées avec leurs pairs et d'intégrer l'utilisation des SIG dans leur enseignement. L'apprentissage basé sur l'enquête peut également intégrer de nombreuses autres techniques, telles que l'apprentissage par paires égales et l'apprentissage collaboratif (figure 21).

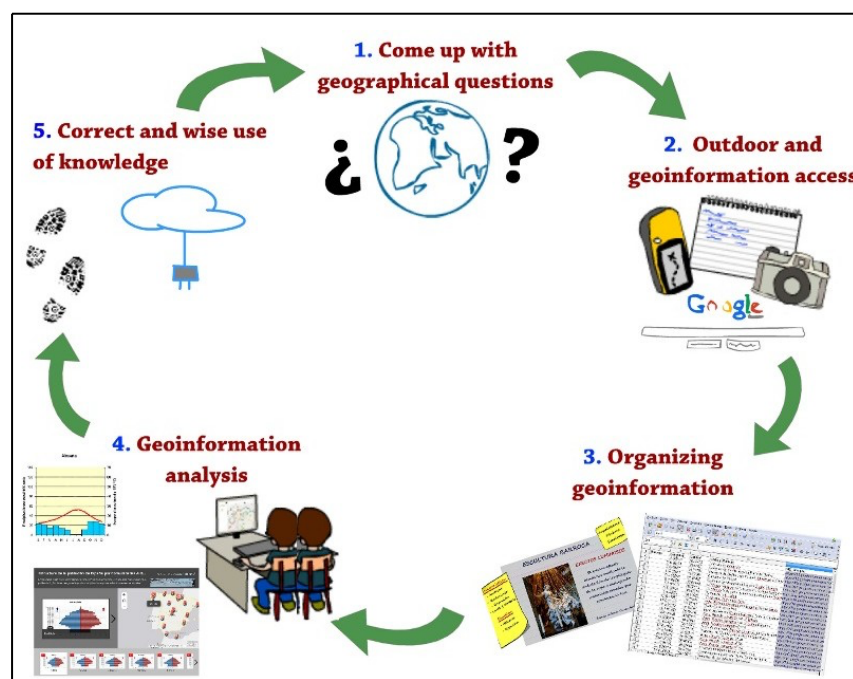


Figure 21 : Étapes d'une enquête SIG (Source : De Lázaro, De Miguel et Buzo, 2016)

Une enquête récente menée auprès de la communauté de la géoéducation a révélé que les pédagogies d'apprentissage actif sont plus solidement établies, complétant ou remplaçant les approches pédagogiques traditionnelles (Mathews et Wikle 2019). Ceci est cohérent avec l'idée que le processus d'apprentissage vécu par les étudiants est dynamique et actif, et que les approches des instructeurs qui sont inefficaces peuvent être contre-productives (DiBiase 2018). L'apprentissage par projet et l'apprentissage par problème étaient les approches les plus populaires, car elles imitent le plus fidèlement les expériences authentiques du monde réel (Bowlick et al. 2016, Howarth et Sinton, 2011).

6.3 Apprentissage par les problèmes et apprentissage contextuel

Les éducateurs en SIG ont largement adopté des approches innovantes telles que l'apprentissage basé sur les problèmes (Drennon, 2005) et l'action participative (Elwood, 2009) dans les cours. L'apprentissage basé sur les problèmes (PBL) est désormais considéré comme un format efficace et populaire pour l'apprentissage des SIG. La résolution de problèmes à l'aide d'opérations SIG imite l'application des SIG à des questions du "monde réel". Dans le cadre de l'apprentissage participatif, les résultats de l'apprentissage sont souvent non structurés, les étudiants contrôlant le processus par lequel les solutions seront identifiées et atteintes. Dans cette forme, on présente aux élèves une situation et ils organisent ensuite les stratégies et les méthodes pour recueillir des informations et atteindre un résultat. Un problème authentique est au cœur de l'expérience, reflétant les incertitudes, le désordre, les tensions et les politiques du monde réel.



En classe, selon Howarth et Sinton (2011), l'APP est plus structuré et peut prendre de multiples formes avec des degrés variables de complexité des problèmes et d'implication de l'enseignant. Cependant, le temps imparti peut dicter que les problèmes eux-mêmes soient simplifiés, avec des données préparées et des résultats attendus. La charge de la conception et de la préparation incombe à l'enseignant et les activités sont très contrôlées. Sanchez (2009) a suggéré que les caractéristiques pédagogiques d'une approche d'apprentissage par problèmes semblaient avoir un impact positif sur l'utilisation des géotechnologies par les étudiants dans les écoles.

Hubeau et al. (2011) ont introduit une approche pédagogique d'auto-apprentissage supervisé (SSS) dans les parties pratiques des cours de SIG et de technologie à la KU Leuven en Belgique. Les étudiants résolvent et rendent compte d'un ensemble d'exercices utilisant des systèmes de logiciels libres et open source (FOSS), tout en ayant la possibilité de recevoir une supervision et un retour d'information. Les étudiants utilisent des "exercices conceptuels" pour résoudre des problèmes indépendamment des outils logiciels SIG utilisés. Les principaux avantages de cette approche pédagogique résident dans l'efficacité temporelle et dans le fait qu'elle incite les étudiants à traiter activement le matériel d'apprentissage. Leur recherche a révélé que si le soutien humain, les conseils et le retour d'information sont insuffisants, les étudiants peuvent perdre leur intérêt et leur motivation.

Rickles . Ellul et Hacklay (2017), se concentrent sur la façon d'améliorer les SIG d'apprentissage dans un contexte de recherche interdisciplinaire. L'apprentissage basé sur le contexte (CBL) est décrit comme une méthodologie pédagogique qui, dans toutes ses formes disparates, est centrée sur la conviction que le contexte social de l'environnement d'apprentissage et le contexte réel et concret de la connaissance sont tous deux essentiels à l'acquisition et au traitement des connaissances. Cela concerne donc l'environnement d'apprentissage et le contexte réel et concret de l'activité d'apprentissage pour l'acquisition des connaissances. L'authenticité (c'est-à-dire la pertinence par rapport aux problèmes du monde réel) est essentielle pour engager les apprenants et leur permettre de réfléchir au processus d'apprentissage lorsqu'ils apprennent avec les SIG.

6.4 Approches basées sur des projets

De nombreuses approches de l'utilisation des SIG dans l'enseignement scolaire ont été liées aux pédagogies par projet (Milson et Earle, 2007 ; Kerski, 2008 ; Favier, et al., 2009 ; Demirci et al., 2011). De Lázaro y Torres et al. (2016) soulèvent la nécessité d'intégrer les technologies d'apprentissage de la géographie dans les écoles. Pour cela, il est nécessaire de former les futurs enseignants en proposant des expériences pédagogiques pertinentes. Ils proposent une méthodologie active et des techniques de groupe, dont beaucoup sont utilisées dans le monde professionnel, comme l'apprentissage par problème et l'apprentissage par projet.

Demirci et al (2010) présentent un projet financé à l'échelle nationale, conçu pour utiliser les SIG afin de développer la sensibilité sociale des étudiants par la mise en œuvre de projets basés sur les SIG dans les leçons de géographie dans une école secondaire. Le projet implique les élèves dans différentes activités allant de la réalisation d'une enquête auprès du public à l'identification des principaux problèmes sociaux, économiques et environnementaux de la société, en passant par le développement de projets visant à résoudre certains des problèmes actuels en coopération avec des agences gouvernementales, l'utilisation de SIG pour collecter, stocker, manipuler et analyser des données, et l'information du public et des institutions concernées sur les résultats de leurs projets. Ils développent l'apprentissage par projet, avec l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, et le développement de la sensibilité sociale des étudiants et peuvent également être qualifiés d'apprentissage par le service.

Esteves et Rocha (2015) analysent comment l'enseignement de la géographie au Portugal a abordé l'enseignement avec les SIG. Ils présentent certains projets qui ont été développés afin d'améliorer

l'utilisation des SIG en classe. Ils suggèrent à l'enseignant de créer des procédures qui amèneraient les élèves à réaliser qu'il peut y avoir plusieurs hypothèses dans la résolution de problèmes réels. Par conséquent, les processus d'identification et l'apprentissage de la transformation spatio-temporelle seraient facilités, ce qui est fondamental pour la compréhension des phénomènes géographiques.

Esteves et Rocha (2015) décrivent un projet d'école secondaire appelé "We Propose !", dans lequel les écoles identifient des problèmes locaux, créent des solutions et les présentent à l'Université de Lisbonne, puis aux autorités locales. En termes de programme scolaire, les élèves de K11 impliqués sont tenus de développer une étude de cas au cours de l'année scolaire. Les élèves font des recherches sur les problèmes locaux (dans le cadre du programme de géographie), contactent les autorités locales pour en savoir plus sur les problèmes et ce qui se passe en termes de planification à l'échelle locale. Ils reçoivent une formation SIG afin de pouvoir utiliser la géotechnique pour présenter des propositions de solutions et présenter des propositions basées sur la recherche pour résoudre les problèmes identifiés. Les élèves s'engagent ainsi dans une citoyenneté active : une compétence importante acquise dans l'enseignement de la géographie. Ils développent et utilisent des compétences SIG, travaillent sur des problèmes de la vie réelle et présentent les recherches qu'ils ont effectuées aux autorités locales. En outre, les autorités municipales mettront en œuvre le projet de recherche des élèves dans la ville.

Huei-Tse et al. (2016) analysent l'utilisation d'un outil mental de carte web créé pour la planification de circuits afin d'aider l'apprentissage par projet des apprenants. L'évaluation des étudiants a démontré une attitude positive envers l'apprentissage collaboratif de résolution de problèmes et une amélioration sur leurs compétences cognitives. Ils ont confirmé les travaux de Jo et Bednarz (2009), qui ont suggéré que les processus cognitifs de la pensée spatiale comprenaient trois niveaux : premièrement, la description, la spécification et l'observation d'un élément d'information (réflexion). Deuxièmement, le traitement de l'information où l'analyse, la classification et l'interprétation ont lieu pour acquérir la compréhension. Le troisième niveau est celui où l'information est évaluée et intégrée pour créer de nouvelles connaissances.

6.5 Progression de l'apprentissage, trajectoires et lignes d'apprentissage

Les progressions d'apprentissage (LP) constituent une approche permettant d'étudier la manière dont les élèves font progresser leurs connaissances sur un sujet au fur et à mesure que leurs idées intellectuelles et leur capacité à communiquer se développent. Il s'agit d'une méthode utilisée par les chercheurs en éducation pour mieux comprendre et documenter les capacités des élèves à mesure qu'ils avancent sur un chemin vers une meilleure compréhension. Pour développer une progression de l'apprentissage, la chercheuse se plonge dans l'essai de comprendre les multiples voies que les élèves empruntent pour atteindre différents points de passage de la connaissance sur un sujet (Huynh et al., 2015).

Une compréhension des progressions d'apprentissage peut aider à comprendre comment la pensée géospatiale des apprenants évolue avec le temps. L'élaboration d'une progression d'apprentissage pour la pensée géospatiale comprendrait un ordre des concepts géospatiaux qui mène à des compréhensions géospatiales et à des compétences de raisonnement plus sophistiquées, tout en fournissant des stratégies et des expériences d'apprentissage pour soutenir le développement des élèves tout au long de la progression. Il faudra également prévoir des mesures d'évaluation pour définir les progrès des élèves dans la progression de l'apprentissage.

Les trajectoires d'apprentissage (LT) sont définies comme des hypothèses étayées par des données empiriques sur les niveaux ou les points de passage de la pensée, des connaissances et des compétences d'utilisation des connaissances, que les élèves sont susceptibles de traverser au fur et à mesure qu'ils apprennent et atteignent ou dépassent les objectifs communs fixés pour leur apprentissage (Solem et al., 2014). Les LP et les LT déplacent l'accent du point final vers la compréhension de la manière dont les idées se construisent les unes sur les autres à mesure que les élèves développent les connaissances, les compétences et les pratiques souhaitées dans une discipline.

Cela n'implique pas qu'il n'y ait qu'un seul chemin dans la progression, de multiples chemins sont probables.

Une progression d'apprentissage est une feuille de route permettant de tracer la manière dont différents élèves passent au niveau de compréhension suivant ou plus sophistiqué (Larsen et al., 2018). Les progressions d'apprentissage comportent une ancre supérieure et inférieure et des niveaux de compréhension (figure 22). L'ancre inférieure représente les connaissances émergentes que les élèves ont en tant qu'apprenants novices d'un construit ou d'une pratique et l'ancre supérieure est une représentation de ce que les apprenants devraient savoir et être capables de faire après l'apprentissage.

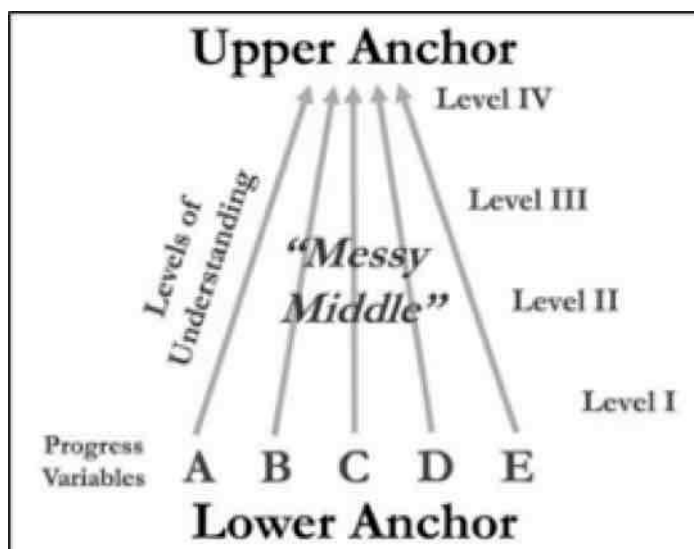


Figure 22 : Composants de la progression de l'apprentissage (d'après Larsen et al., 2018)

Huynh et al. (2015) suggèrent qu'une progression d'apprentissage se déroule généralement en trois étapes. La première étape implique la création d'une progression hypothétique basée sur des idées et des ensembles de compétences fondamentales. Dans la deuxième étape, les ancres inférieures et supérieures sont affinées par les chercheurs sur la base de leur expérience avec les étudiants et développent des ressources et des supports d'évaluation potentiels liés à un concept particulier. Enfin, au cours de la troisième étape, des expériences sont menées pour suivre l'apprentissage des élèves au fil du temps. La compréhension des élèves est évaluée par le biais d'un ensemble de variables de progression (Gunckel et al. 2012). Tout au long d'un processus détaillé et itératif, les chercheurs s'efforcent de modifier et de réviser la progression de l'apprentissage en fonction de leurs interactions avec les élèves (Stevens et al. 2015).

Le projet GeoProgressions (Solem, Huynh et Boehm, 2015) était un premier regard sur la valeur potentielle de l'application des progressions d'apprentissage aux cartes, à la technologie géospatiale et à la pensée spatiale, suggère que cette ligne de recherche savante a un potentiel significatif pour transformer des aspects de l'enseignement de la géographie (Huynh et al., 2015).

De Miguel González et De Lázaro Torres (2020) présentent l'Atlas numérique pour les écoles (ADE) et discutent des différentes méthodes d'apprentissage, des modèles de progression et des outils (tableau 6). Ils décrivent les recherches empiriques sur les résultats et les avantages de l'apprentissage avec l'ADE. Elles montrent que l'ADE est un outil puissant pour l'apprentissage de la géographie, car il favorise un apprentissage plus significatif que les ressources pédagogiques classiques. Il contribue à l'objectif d'équilibrer la pensée spatiale, les connaissances géographiques et la citoyenneté spatiale. Les participants des écoles et de l'enseignement supérieur ont bénéficié d'un apprentissage efficace grâce à la mise en œuvre de l'Atlas numérique, bien que cela ait été plus marqué chez les étudiants en géographie de l'enseignement secondaire.



Tableau 6 : Progression de l'apprentissage de la pensée spatiale avec l'Atlas numérique

Niveau 0	Aucune preuve de compréhension
Niveau 1	Les élèves peuvent comprendre des concepts géospatiaux primitifs tels que l'identité, la localisation
Niveau 2	Les élèves peuvent identifier la distribution spatiale comme un concept simple
Niveau 3	Les élèves peuvent établir des relations géospatiales et identifier des groupes sur la carte, une tâche difficile. concept
Niveau 4	Les élèves peuvent identifier les corridors et les zones tampons sur la carte comme des concepts géospatiaux complexes.
Niveau 5	Les élèves acquièrent une pensée abstraite étendue, puisqu'ils peuvent généraliser des concepts spatiaux complexes. des structures telles que la hiérarchie ou la place centrale

Zwartjes (2018) présente le projet GI Learner et le concept de lignes d'apprentissage. Une ligne d'apprentissage est un terme éducatif désignant la construction de connaissances et de compétences tout au long du programme scolaire, reflétant un niveau de complexité croissant, allant de facile (compétences et connaissances plus basiques) à difficile (Lindner-Fally & Zwartjes, 2012). GI-Learner visait à aider les enseignants, et à plus long terme les gouvernements, à mettre en œuvre des lignes d'apprentissage pour la pensée géospatiale dans les écoles secondaires. Pour ce faire, le projet a défini un ensemble de 10 compétences de réflexion géospatiale, a créé des lignes d'apprentissage et les a traduites en objectifs d'apprentissage et en matériel d'enseignement et d'apprentissage pour l'ensemble du programme scolaire (K7 à K12). Chaque bloc d'apprentissage s'appuie sur le précédent (figure 23).

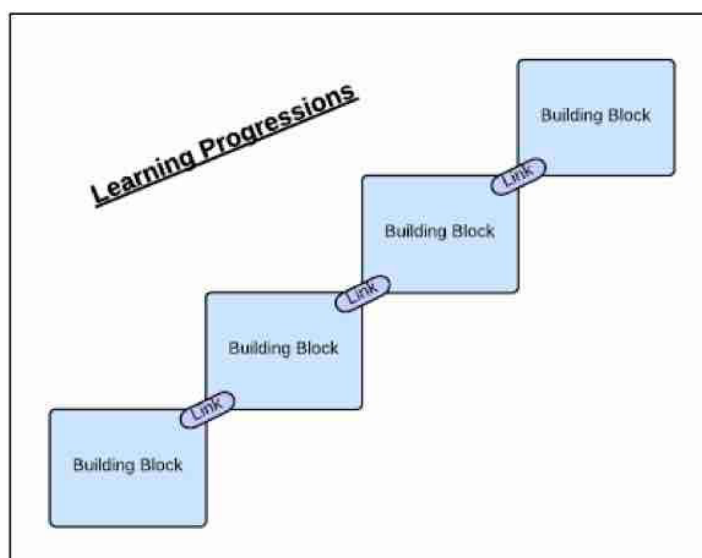


Figure 23 : Une ligne d'apprentissage montrant la progression de l'apprentissage

Une " ligne d'apprentissage " en tant que cadre global pour l'éducation et la formation, avec une séquence distincte d'étapes allant des débutants aux experts, elle est analytique ; c'est-à-dire qu'elle distingue en détail les compétences, les connaissances et les attitudes à plusieurs niveaux qui peuvent être attendues. Elle est basée sur les compétences, car elle distingue un ensemble de compétences qui, ensemble, construisent la compétence globale dans le domaine (Zwartjes, 2019).

De Miguel (2016) donne un aperçu sur les lignes d'apprentissage et l'intégration avec le processus d'enquête géographique (tableau 7).

Tableau 7. Lignes d'apprentissage et processus d'enquête géographique

	Zwartjes	Roberts	Kerski	Arayo, Souto et Herrera
Niveau 1	Percevoir	Créer un besoin de connaître	Demande de renseignements géographiques questions	Perception géographique environnement
Niveau 2	Analyse de	Donner du sens à la géographie information	Acquérir des ressources géographiques	Analyse de l'environnement géographique
Niveau 3	Structuration du site	Réflexion sur apprentissage	Exploration géographique données	Interprétation géographique environnement
Niveau 4	Appliquer		Analyse géographique information	Agir sur le plan géographique environnement
Niveau 5			Agir sur le plan géographique connaissance	

6.6 La théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive est devenue une théorie de l'apprentissage influente, fondée sur notre connaissance de la cognition humaine et étayée par une solide base de données (Sweller, 2011). Cette théorie part du principe que les connaissances peuvent être divisées en connaissances primaires d'ordre biologique, qui sont génériques et que nous avons évolué pour acquérir, et en connaissances secondaires qui sont généralement spécifiques à un domaine, importantes pour des raisons culturelles et qui nécessitent un enseignement explicite dans des contextes éducatifs. Les connaissances secondaires, contrairement aux connaissances primaires, font l'objet d'un enseignement et d'un apprentissage. En termes de connaissances secondaires, la cognition humaine nécessite un très grand stock d'informations, dont le contenu est acquis en grande partie en obtenant des informations d'autres stocks d'informations. Seules des quantités très limitées de nouvelles informations peuvent être traitées à un moment donné. En revanche, de très grandes quantités d'informations organisées stockées dans la mémoire d'information peuvent être traitées afin de générer des actions complexes.

L'une des principales fonctions des effets de la charge cognitive est de fournir des directives spécifiques en matière de conception pédagogique (Sweller, 2020). La charge cognitive intrinsèque est déterminée par les propriétés intrinsèques de l'information traitée. La charge cognitive extrinsèque est déterminée par les procédures d'instruction, celles qui utilisent le matériel de l'enseignant. L'approche extrinsèque est comprise comme un bon matériel pédagogique. La grande majorité des effets de la charge cognitive sont dus à des changements dans la charge cognitive extrinsèque.

Sweller (1988) a suggéré que la charge cognitive imposée à une personne utilisant une stratégie complexe de résolution de problèmes peut être un facteur important interférant avec son apprentissage. La théorie de la charge cognitive fournit des recommandations d'enseignement basées sur notre connaissance de la cognition humaine (Sweller, 2020). Les connaissances secondaires sont d'abord traitées par une mémoire de travail de capacité et de durée limitées avant d'être stockées de manière permanente dans la mémoire à long terme d'où des quantités illimitées d'informations peuvent être transférées à nouveau vers la mémoire de travail pour régir l'action appropriée. La théorie utilise cette architecture cognitive pour concevoir des procédures d'enseignement et d'apprentissage adaptées aux informations complexes qui nécessitent une réduction de la charge de la mémoire de travail. Bon



nombre de ces procédures peuvent être utilisées plus facilement avec l'aide de la technologie éducative.

Howarth et Sinton (2011) rassemblent des stratégies visant à réduire la difficulté de l'apprentissage basé sur les problèmes en se fondant sur la recherche en matière de théorie de la charge cognitive. Un axe majeur concerne les structures cognitives (schémas de problèmes) qui permettent aux élèves de reconnaître les catégories d'états de problèmes, en fonction de leurs solutions possibles ou des mouvements autorisés (Sweller, 1988). L'acquisition de schémas de problèmes peut être affectée par la complexité intrinsèque du problème, la charge étrangère provenant de la conception du matériel d'apprentissage et la charge germaine, résultant d'activités qui facilitent l'acquisition de schémas dans la mémoire à long terme (Sweller, 2010). L'apprentissage par problèmes doit être conçu pour gérer ces sources de charge cognitive afin de faciliter l'apprentissage des schémas de problèmes. Didau (2019) décrit la théorie des schémas, selon laquelle la capacité de la récupération d'éléments en mémoire dépend d'indices et d'incitations qui nous aident à retrouver certaines informations liées.

La résolution de problèmes à l'aide de SIG est une entreprise complexe, car les étudiants doivent apprendre et appliquer des concepts spatiaux généraux (par exemple, emplacement, distance, hiérarchie), des concepts de représentation et d'analyse spatiales à l'aide de SIG (par exemple, matriciel, vecteur, tampon), ainsi que la représentation et l'analyse spatiales qui sont spécifiques à une plate-forme SIG particulière (Howarth et Sinton, 2011). Les étudiants doivent également traiter le contenu du sujet et les concepts qui sont spécifiques au problème. Il est suggéré que les enseignants peuvent réduire la complexité de la résolution de problèmes avec les SIG en fournissant soigneusement une séquence d'apprentissage (Shibli et West, 2018). Coe (2020) décrit la pratique de récupération, qui peut être effectuée à l'aide d'une variété d'activités. Elle s'est avérée être l'une des techniques les plus utiles pour améliorer l'apprentissage des élèves dans divers contextes, ce qui justifie son utilisation très répandue par les enseignants (Dunlosky et al., 2013). Des recherches ont montré que la relecture et la création de cartes conceptuelles ne sont pas aussi efficaces que l'effet de test des quiz, bien que de nombreux élèves utilisent ces approches (Sumeracki et Weinstein, 2018).

La récupération répétée à l'aide d'activités de difficulté croissante s'est avérée très bénéfique pour l'apprentissage, même s'il est important que les enseignants surveillent et adaptent les stratégies en conséquence (Kapler et al, 2015). Il y a peu de différence entre l'utilisation de questions à réponse courte (qui sont plus difficiles) et de questions à choix multiples (qui sont plus faciles à noter), ou d'un format hybride, et le moment où les questions sont posées dans la leçon ne fait pas non plus de différence à long terme (Little et al, 2012) - mais ce qui est essentiel pour l'apprentissage, c'est l'importance de fournir suffisamment d'occasions de récupération, qu'il s'agisse de quiz intercalés pendant la leçon ou après. En réalité, l'enseignant doit avoir les compétences nécessaires pour poser de bonnes questions. Les enseignants ont donc besoin de conseils pour les aider à développer leurs capacités à établir ce qui fonctionne.

La théorie de la charge cognitive suggère que plus un problème comporte d'étapes intermédiaires, plus la mémoire de travail est sollicitée pour garder toutes les variables organisées et plus il est difficile de prévoir comment elles interagiront les unes avec les autres au fur et à mesure que des solutions sont envisagées. Les méthodes de mise en séquence du matériel peuvent être basées sur les types de tâches et les stratégies de découpage des problèmes peuvent être basées sur la longueur et la structure des solutions (Doering et Veletsianos, 2007). Le niveau d'orientation fourni par l'enseignant pendant la résolution de problèmes est une autre question, car la recherche a montré que l'enseignement par le biais d'exemples travaillés, où l'on présente aux élèves un problème et où ils travaillent à sa résolution avant de leur demander de résoudre des problèmes de manière indépendante, peut faciliter un apprentissage plus efficace (Sweller, 1988).

Sweller (2020) cherche à fournir des conseils concernant les technologies éducatives susceptibles d'être efficaces et la manière dont elles devraient être utilisées pour identifier les aspects de la cognition

humaine et de la psychologie de l'évolution qui sont pertinents pour la conception pédagogique. La principale fonction des effets de la charge cognitive est de fournir des directives d'enseignement spécifiques qui sont directement pertinentes pour l'éducation basée sur la technologie.

Sweller et Sweller (2006) proposent cinq principes selon lesquels les humains peuvent acquérir des informations nouvelles et secondaires :

- Le hasard comme genèse, en sélectionnant au hasard une solution possible et en la testant pour voir si elle est plus proche de l'objectif.
- Principe d'emprunt et de réorganisation, qui consiste à traiter des informations secondaires provenant d'autres personnes et pour lesquelles nous n'avons pas de connaissances préalables, en les combinant avec des informations précédemment stockées avant que les nouvelles informations ne soient elles-mêmes stockées.
- Le principe des limites étroites du changement, décrit la manière dont cette information est initialement traitée par la mémoire de travail.
- Le principe du stockage de l'information, une fois traitée par la mémoire de travail, l'information secondaire spécifique au domaine peut être stockée dans la mémoire à long terme pour une utilisation ultérieure.
- Le principe d'organisation et de liaison de l'environnement, à la réception de signaux appropriés, les informations précédemment stockées dans la mémoire à long terme peuvent être transférées dans la mémoire de travail pour générer une action.

Sweller (2020) résume les effets pédagogiques générés par la théorie de la charge cognitive (tableau 8) et confirme que la théorie de la charge cognitive est directement applicable à l'apprentissage assisté par la technologie et que bon nombre des procédures pédagogiques générées par la théorie sont difficiles à utiliser sans l'aide de la technologie éducative.

Tableau 8 : Un résumé de certains effets pédagogiques générés par la théorie de la charge cognitive.

Instructional Effect	Description
Worked example	Studying worked examples is superior to solving the equivalent problems
Split-attention	If multiple sources of information need to be considered simultaneously, physically integrating them is superior to requiring learners to split their attention between them
Modality	If a diagram and text need to be considered simultaneously and the text is simple and short, presenting the text in spoken rather than written form is superior
Transient	High element interactivity information should be presented in permanent rather than transient form or presented in smaller chunks
Redundancy	Eliminating unnecessary information results in superior learning
Expertise reversal and element interactivity	With increases in expertise and decreases in element interactivity, information that is essential for novices becomes redundant for more expert learners, decreasing learning
Working memory depletion	Working memory use depletes working memory resources that recover after rest

Une meilleure compréhension de la conception de matériel d'apprentissage multimédia est l'un des domaines de recherche en cours (Mayer, 2008). L'efficacité des méthodes visuelles pour l'enseignement des concepts spatiaux soutiendra les apprenants moins expérimentés. Mais elle peut entraver l'apprentissage des étudiants plus avancés (Kalyuga, 2020). Chandler et Sweller (1991) discutent de l'effet d'attention divisée, qui peut être causé si un diagramme et le texte ne sont pas physiquement séparés et exige ainsi que l'apprenant les intègre, augmentant la charge cognitive et réduisant par conséquent la capacité de la mémoire de travail. Ainsi, selon Chandler et Sweller (1991 ; 293), "la théorie

de la charge cognitive suggère que les matériels d'apprentissage efficaces facilitent l'apprentissage en dirigeant les ressources cognitives vers des activités pertinentes pour l'apprentissage", mise en œuvre pratiquement par exemple en concevant des visuels comme Powerpoint pour éviter la surcharge Tharby (2019).

Castro-Alonso et al. (2019) examinent la théorie de la charge cognitive en relation avec les visualisations, qu'elles soient statiques (par exemple, des illustrations et des photographies) ou dynamiques (par exemple, des animations et des vidéos). Ils ont constaté que, bien que les étudiants apprécient ces matériels, leurs émotions et leurs opinions ne sont pas toujours liées à l'apprentissage en cours. L'apprentissage efficace dans ces conditions relève du traitement de la mémoire de travail. Ils ont montré que les visualisations pédagogiques peuvent optimiser le traitement cognitif, et donc être des outils efficaces pour l'apprentissage de la santé et des sciences naturelles. Ils ont décrit les méthodes cognitives permettant d'accroître l'efficacité de ces visualisations et ont décrit l'impact du traitement visuospatial sur l'apprentissage des sciences par le biais des visualisations (tableau 9).

Tableau 9 : Méthodes d'optimisation des visualisations et exemples pour les informations visuospatiales (d'après Castro- Alonso et al., 2019).

Charge cognitive théorie	Théorie cognitive de apprentissage multimédia	Exemple de solution
Effet d'attention partagée	Principe de contiguïté spatiale	Intégrer physiquement l'aspect visuospatial information
Effet de modalité	Principe de modalité	Présenter certaines informations de manière auditive
Effet de redondance	Principe de cohérence	Supprimer les éléments visuospatiaux sans importance. information
	Principe de signalisation, utilisant des repères visuels vers l'objectif principal	Signal important visuospatial information
Transitoire effet d'information		Évitez les activités visuospatiales rapides. information

Le CESE (2018) identifie et illustre sept stratégies d'enseignement qui peuvent aider les enseignants à maximiser l'apprentissage des élèves (figure 24). Ces stratégies fonctionnent en optimisant la charge sur les mémoires de travail des élèves.



	STRATEGY 1 Tailor lessons according to students' existing knowledge and skill 'Element interactivity effect'
	STRATEGY 2 Use worked examples to teach students new content or skills 'Worked example effect'
	STRATEGY 3 Gradually increase independent problem-solving as students become more proficient 'Expertise reversal effect'
	STRATEGY 4 Cut out inessential information 'Redundancy effect'
	STRATEGY 5 Present all the essential information together 'Split-attention effect'
	STRATEGY 6 Simplify complex information by presenting it both orally and visually 'Modality effect'
	STRATEGY 7 Encourage students to visualise concepts and procedures that they have learnt 'Imagination effect'

Figure 24 : stratégies d'enseignement issues de la théorie de la charge cognitive (CESE, 2018).

Dans le cadre de la théorie de la charge cognitive, Enser (2019) explique certaines implications pour les enseignants : ils doivent gérer la difficulté intrinsèque de l'apprentissage et des tâches, ainsi que la charge " étrangère ", en fournissant des étapes, avec un échafaudage, et au fil du temps, les enseignants doivent progressivement retirer l'échafaudage pour permettre aux élèves d'évoluer vers l'indépendance. Il convient d'utiliser des exemples concrets qui éliminent les informations non essentielles et d'utiliser le double codage en présentant les informations orales et visuelles ensemble et en examinant régulièrement l'apprentissage en cours.

Brookman-Byrne et Thomas (2018) discutent des liens importants pour l'apprentissage entre les neurosciences et l'éducation. Ils suggèrent sa pertinence pour mieux comprendre les processus qui sous-tendent les mécanismes d'apprentissage. Les moyens de comprendre le cerveau ont inclus la mesure du flux sanguin oxygéné pour relier les fonctions à l'énergie utilisée, l'activité cérébrale et le suivi des yeux, ainsi que le concept d'apprenants du cerveau gauche et droit.

Selon Sherrington (2019), sur la base du modèle simple du fonctionnement du cerveau, la mémoire de travail étant si limitée, l'apprentissage doit développer des schémas dans la mémoire à long terme capables de relier les nouvelles informations aux connaissances existantes (figure 25). Ce schéma peut ensuite être renforcé par la pratique du rappel du matériel nouvellement appris, ce qui contribue à réduire la surcharge cognitive. Plus cette récupération des informations stockées devient fluide, plus la

mémoire de travail aura de capacité pour un nouvel apprentissage, ce qui décrit la différence entre les apprenants novices et les experts. L'enchaînement des concepts et la modélisation nécessitent une planification avancée car les idées doivent être présentées par petites étapes, une à la fois, et soutenues par des explications claires et détaillées. Les enseignants doivent modéliser ces étapes en pensant "à voix haute" et en réapprenant des éléments, si nécessaire.

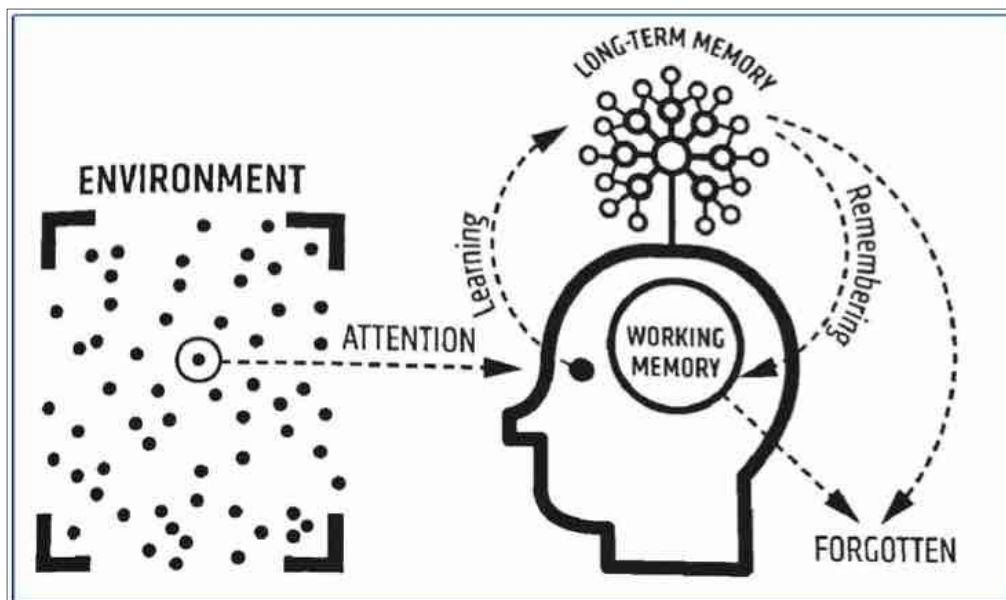


Figure 25 : Modélisation du cerveau (Sherrington, 2019)

La pratique est au cœur de l'apprentissage et doit être guidée à l'aide d'une variété d'activités d'apprentissage qui " reformulent, élaborent et résument le nouveau matériel ", en veillant à ce que le taux de réussite soit élevé, ce qui est important pour les étudiants les moins informés, afin de les aider à former des schémas dès le début et à prendre confiance.

Sherrington (ibid) suggère que la planification des ressources doit se faire de manière à ce que tous les élèves puissent réussir dans leur apprentissage. L'objectif ultime de l'enseignement devrait être l'indépendance, avec une transition entre la pratique guidée et l'échafaudage. Les élèves peuvent commencer à fixer leurs propres objectifs d'amélioration sur la base du retour d'information à mesure que le soutien est réduit. Sherrington suggère d'impliquer les élèves dans des tâches d'apprentissage collaboratif bien structurées, ce que Rosenshine (1986) appelle l'apprentissage coopératif, afin qu'ils puissent s'exercer en s'expliquant et en se questionnant mutuellement.

Selon Howard-Jones et al. (2018), la " science de l'apprentissage " fournit un cadre utile pour la pratique en classe et constitue un bon point de départ pour décomposer l'apprentissage en différents processus constitutifs à analyser (figure 26). Les enseignants se concentrent sur des aspects spécifiques de l'apprentissage tels que l'engagement de l'apprenant, qui implique des processus sous-corticaux influençant l'activité cérébrale corticale et la disposition à apprendre par le biais de la louange et de la récompense ; la construction de la connaissance et de la compréhension en activant la mémoire de travail, où les enseignants efficaces communiquent de manière concise les connexions significatives bidirectionnelles entre les nouvelles connaissances et les connaissances antérieures ; la consolidation de l'apprentissage en créant des efforts de rappel déplaçant les connaissances vers la mémoire à long terme. Ils suggèrent que, comme les processus d'engagement, de construction et de consolidation se produisent simultanément, ils peuvent être utilisés comme un moyen simple de mieux comprendre l'apprentissage plutôt que comme un modèle prescriptif pour la pratique en classe. Ces principes commencent seulement à être appliqués à l'enseignement, il est donc encore nécessaire que les enseignants fondent leurs décisions sur leurs propres idées concernant la manière dont l'apprentissage qu'ils observent se déroule dans leurs propres classes et pas simplement sur ces termes scientifiques.



Cette base théorique présente des lacunes considérables.

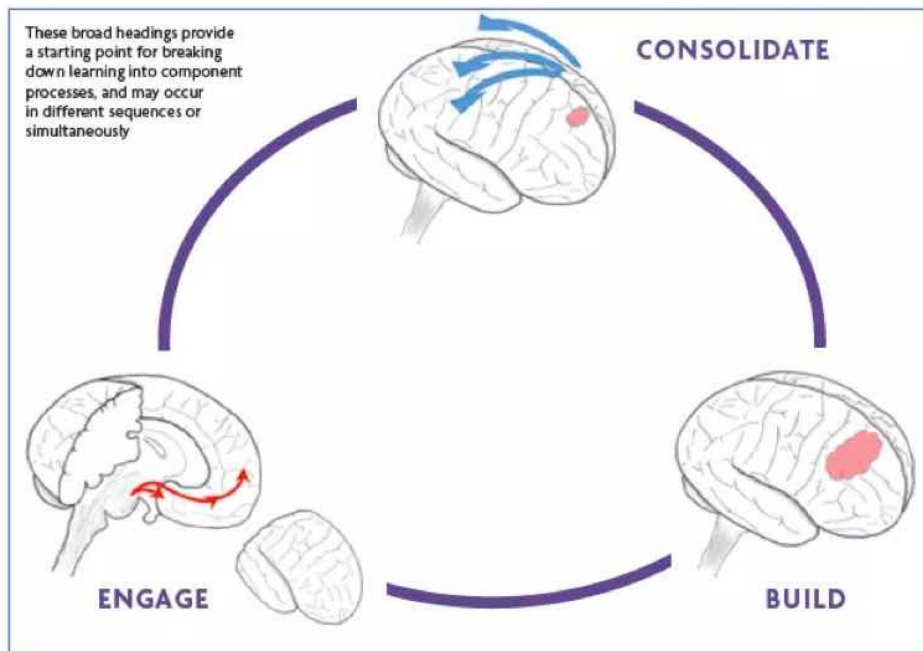


Figure 26 : Catégories de processus d'apprentissage (Howard-Jones et al., 2018)

7 Formation des enseignants aux SIG

Crespo (2019) a soulevé la nécessité de former des enseignants compétents capables de créer des contenus numériques et d'utiliser des environnements d'apprentissage. Selon lui, la connaissance des nombreuses ressources cartographiques numériques proposées en ligne et la reconnaissance de leur potentiel didactique seraient une première étape nécessaire à cette formation. Il a déclaré que les outils de cartographie en ligne ne représentent pas seulement une avancée significative dans les possibilités d'analyse du paysage, mais que leur utilisation contribue également de manière positive au développement de compétences qui peuvent aider les étudiants à exiger aujourd'hui et à l'avenir. L'utilisation et l'application de la technologie devraient donc être intégrées dans le contenu des programmes d'enseignement.

Höhnle et al. (2016) ont présenté une recherche sur l'optimisation de l'utilisation de la géoinformation dans les classes de géographie en Allemagne par l'amélioration de la formation des enseignants. Ils abordent les caractéristiques des activités de formation efficaces et présentent le résultat de leur projet de recherche visant à améliorer la mise en œuvre des SIG dans les écoles allemandes. Ils ont fourni une liste de caractéristiques d'activités de développement professionnel efficaces pour la formation des enseignants et les SIG (tableau 10).

Tableau 10. Recommandations déduites empiriquement pour la conception d'activités de formation IG dans la formation continue des enseignants (adapté de Höhnle et al., 2016).

Caractéristiques de la formation des enseignants	Exigences relatives aux activités de formation	Conception des activités de formation
durée, budget temps	structurés comme des événements cumulatifs continus	soutien sur une plus longue période / cours de remise à niveau réguliers / réduction des leçons pour <u>enseignants participants</u> / soutien continu
les communautés d'apprentissage professionnel	Participation des équipes d'enseignants	coopération entre les enseignants / intégration de différentes matières / soutien continu de la communauté d'apprentissage / réunions régulières en face-à-face en communautés en ligne
institutional framework conditions	soutien formel à la formation ; promotion des activités, fourniture d'outils, de logiciels et de données	organisation de la formation à l'école / offre d'une formation générale en technologie pour les enseignants comme condition préalable au SIG
l'intégration de différents expertises	les capacités des formateurs d'enseignants	l'inclusion de différents experts et de personnes expérimentées enseignants
connaissance de la matière, référence au curriculum	se concentrer sur la référence concrète à la classe et à la pratique de l'enseignement	modèle en deux étapes : d'abord introduction technique, puis introduction didactique / formulation de normes pour chaque groupe d'âge / programme commun SIG / assistance individuelle pour l'élaboration de plans curriculaires / apprendre comment <u>personnaliser les plans de cours</u>
l'examen attentif des résultats de la recherche en classe	démonstration de la valeur ajoutée didactique	introduction non informatisée aux concepts SIG / discussion des possibilités offertes par les SIG dans l'apprentissage des élèves / orientation des principes pour un apprentissage basé sur l'enquête

Rendre la co-création possible		travail sur un projet d'étudiant avec une référence locale pour les enseignants / temps d'échange d'idées et d'expériences entre enseignants / connaître l'expérience des participants avant de commencer / utilisation étapes avec des résultats intermédiaires / flexibilité du programme pour répondre aux intérêts et aux besoins des enseignants
les phases de saisie, de développement, de test et de réflexion	l'inclusion d'exercices pratiques ; promouvoir le contact, l'échange et la coopération entre enseignants ; faire un polycopié détaillé est disponible avec tout le matériel	mettre à disposition des exemples concrets d'enseignement pour l'orientation / création de clips vidéo de projets réussis pour présentation / conception propre d'unités d'enseignement, d'activités de formation en fonction de principes d'apprentissage basés sur l'enquête / échange de matériel / intégration d'une visite sur le terrain pour l'acquisition et la préparation des données / activités pratiques / travail avec son propre ordinateur portable / division du programme en plusieurs sessions pour que les enseignants puissent vérifier les choses dans leur propre classe entre deux sessions / intégration de devoirs pour les enseignants / documentation détaillée, tutoriel vidéo, tutoriel logiciel ...
l'expérience de sa propre efficacité, le retour d'information, le coaching	un soutien et des conseils personnels intenses	discuter des questions / discuter de ses propres unités d'enseignement ou expériences / soutien technique et moral

Hong, et Melville (2018) présentent une approche de la conception d'un développement professionnel efficace en matière de SIG basée sur six caractéristiques : (1) participation collective, (2) temps de pratique, (3) temps pour le développement et la présentation des leçons, (4) normes étatiques et nationales, (5) soutien et implication directe du district, et (6) soutien professionnel. Ils ont conclu que le temps de pratique, le temps consacré à l'élaboration et à la présentation des leçons, ainsi que le soutien et la participation directe du district semblaient être essentiels à la réussite du développement professionnel de la SEG.

Mitchell et al. (2018) ont souligné l'importance d'établir un développement professionnel bien structuré qui crée une communauté, intègre divers contenus et expertises pédagogiques, fournit un retour d'information et un accompagnement, et est d'une durée suffisante pour provoquer un changement. Ils ont indiqué que le développement professionnel prendrait plus de temps que prévu et nécessiterait un suivi et un accompagnement pour une plus grande efficacité. Le développement de la pensée géographique et le travail avec les concepts géographiques traditionnels (échelle, modèle, région, diffusion, etc.) devraient être aussi importants que le développement de la compétence technologique.

Millsaps et Harrington (2017) ont utilisé le modèle TPACK et SAMR pour créer un cadre de formation des enseignants (tableau 11).

Tableau 11 : Le modèle SAMR pour la formation des enseignants (Millsaps et Harrington, 2017)

SAMR Model		
Transformation	Redefinition	Technology allows for the creation of new tasks, previously inconceivable
Enhancement	Modification	Technology allows for significant task redesign
	Augmentation	Technology acts as a direct tool substitute, with functional improvement
	Substitution	Technology acts as a direct tool substitute, with no functional change

Hong (2017) rapporte une étude de cas sur la conception de matériel d'apprentissage SIG pour les enseignants de la maternelle à la 12e année, basée sur une approche de conception centrée sur l'utilisateur (UCD) (Figure 27), qui suppose que les connaissances sont construites par des apprenants actifs (Sharp et al, 2007). L'approche UCD est un cadre permettant de concevoir et de développer un produit, un système ou une interface conviviale en tenant compte des besoins, des objectifs et des circonstances spécifiques des utilisateurs (Baek et al., 2008).

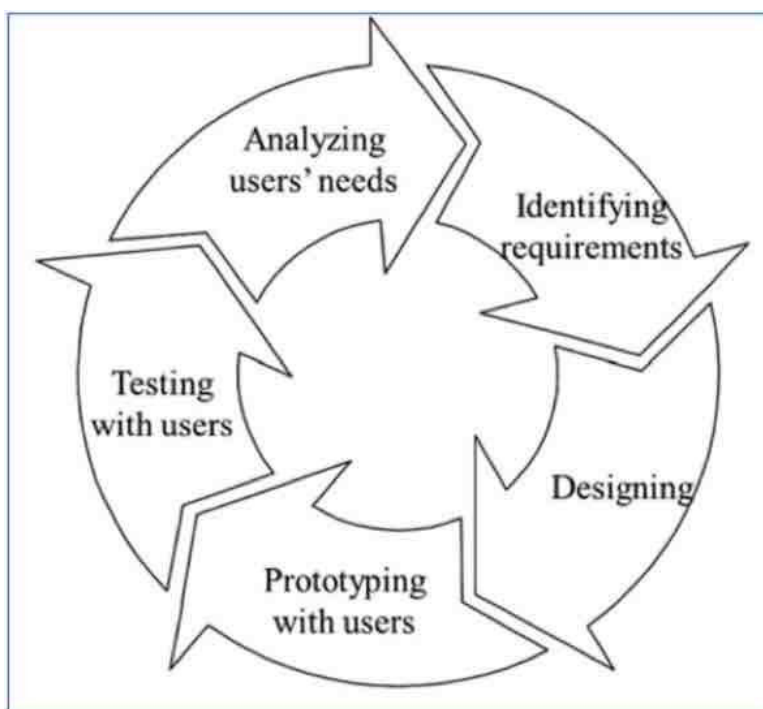


Figure 27 : Le modèle de conception centrée sur l'utilisateur (UCD) (adapté de Sharp et al., 2007)

Donert et al. (2016) présentent l'approche GI Learner qui modélise la manière dont les écoles secondaires pourraient adopter une ligne d'apprentissage des sciences de l'information et de la communication (SIG) des groupes d'âge K7 à K12 en tenant compte de l'âge et des capacités des élèves. Cela peut être réalisé par l'intégration de la pensée spatiale et la traduction des compétences spatiales en objectifs d'apprentissage réels. L'article présente les compétences GI-Learner sur la base d'une large revue de la littérature et établit une feuille de route pour les activités de soutien à l'apprentissage géospatial dans les écoles.

Walshe (2017) a exploré les réponses des professeurs de géographie stagiaires à un programme de formation SIG (tableau 12) tout au long de leur année d'études supérieures.



Tableau 12 : Programme de formation pour les enseignants stagiaires en géographie (Walshe, 2017)

	Activité	Vue d'ensemble	Focus SIG
Septembre	Introduction aux SIG	Introduction pratique à l'utilisation de données open source pour explorer le récent tremblement de terre chilien, en analysant un événement mondial.	Création de comptes, compétences de base comprenant la mesure de distances, l'ajout de notes cartographiques, l'importation de données externes (de l'USGS) dans le SIG, la création de sections transversales à l'aide de l'application de profil d'élévation, la création d'histoires simples. Cartes
Octobre	Excursion SIG sur le terrain	Deux jours d'exploration de l'utilisation d'ArcGIS Online dans le cadre d'une enquête géographique sur le terrain. Les stagiaires examinent comment les SIG peuvent développer une réflexion spatiale critique pendant une enquête complète. séquence.	Introduction à l'application Collector pour ArcGIS, ajout de données de terrain, utilisation d'une série d'options cartographiques, telles que les cartes thermiques pour afficher les données, planification d'itinéraires à l'aide d'outils de proximité.
Novembre	Formation SIG	Atelier d'analyse avancée des données avec référence spécifique à l'analyse des inondations fluviales par bassin versant. Développement du TPACK par la conception de plans de cours basés sur des enquêtes.	Utiliser une série d'outils de localisation, y compris la création de bassins versants et le traçage des rivières en aval, utiliser une gamme de données externes, y compris les données sur les risques d'inondation pour examiner les risques, utiliser Scene pour visualiser la topographie 3D
Décembre	Formation pour les mentors scolaires	Introduction aux SIG	Mise en place de comptes, compétences de base, mesure de la distance d'une zone et ajout de notes cartographiques, importation de données externes dans le SIG comme fichiers csv
Janvier	Activité "Story Map	Les stagiaires produisent une StoryMap sur la géographie de la zone d'attraction de leur école afin d'y inclure une série de données socio-économiques telles que l'Indice de privation multiple	Des Story Maps plus complexes, en recherchant des données socio-économiques et en les important dans le SIG, en créant des cartes choroplèthes à partir de différents indicateurs.



Mars	Journée de formation SIG	Formation pratique et séance de soutien par un enseignant en exercice	Accéder aux données sur la criminalité, les importer dans le SIG, les outils d'analyse spatiale, y compris l'outil d'interpolation pour produire des cartes d'isolignes, l'analyse des points chauds, la cartographie de la densité de surface, l'utilisation des outils de proximité, le tampon et la recherche du plus proche. Utiliser les appareils mobiles pour soutenir le SIG : Collector app et Snap2Map.
Mai	ESRI conférence	Participation facultative pour développer l'expertise dans l'utilisation des SIG et l'observation de l'industrie- des applications basées sur la technologie.	Observer les applications industrielles des SIG, soutenir les enseignants existants, Introduction à ArcGIS Online Sways
Juin	Des étudiants en géographie forment des biologistes	Planifier et organiser une session de formation sur les SIG pour les biologistes.	Accéder à la galerie Story Map, importer des données externes et ajouter des couches cartographiques internes, par exemple en ce qui concerne les écosystèmes, les populations de faune et de flore, les schémas d'occupation des sols, etc. maladie
Juin	Diffusion événement	Partagez des exemples de leurs la pratique de l'un à l'autre.	Partager des idées et des ressources
Juin	Formation SIG pour les mentors	Formation pour les mentors avec présentation par un enseignant stagiaire	Compétences de base, y compris la mesure de distances et l'ajout de notes cartographiques, l'importation de données externes dans le SIG sous forme de csv, la création de coupes transversales à l'aide de l'application Profil d'élévation, la création de StoryMaps simples à l'aide de modèles, le travail avec des données IMD et la production de cartes choroplèthes, l'utilisation de l'application Profil d'élévation. Une application de collecte pour soutenir le travail sur le terrain

Les enseignants stagiaires qui ont le mieux réussi avaient une expérience préalable des SIG, ce qui les rendait plus sûrs d'eux. Tous les stagiaires ont rapidement compris le potentiel des SIG pour soutenir un apprentissage basé sur l'enquête et utilisant des données géospatiales. Il était très important pour eux de traiter des exemples pratiques et pertinents de la manière dont les SIG peuvent être utilisés pour soutenir l'apprentissage en classe. Être conscient de la pertinence et de l'utilité des SIG et des SIG basés sur le Web était plus important que de connaître les différentes applications des SIG dans les écoles. Néanmoins, l'accent semble être mis sur l'apprentissage des compétences en SIG, sur l'apprentissage des SIG, plutôt que sur la géographie ou l'apprentissage avec les SIG, ou sur une pédagogie efficace pour les deux, par exemple, quel modèle pédagogique est le plus efficace pour enseigner avec ou sur les SIG ; comment l'enseignement avec ou sur les SIG peut-il aider à améliorer la pédagogie d'un enseignant ?



Kuijpers (2019) a examiné dans quelle mesure il est possible de soutenir les enseignants de l'enseignement secondaire dans l'introduction des SIG dans leurs classes, par exemple en faisant appel à des enseignants universitaires pour les aider à intégrer les connaissances en matière de contenu, de pédagogie et de technologie. Après un test avec une classe, les élèves ont été positifs sur la leçon, l'enseignant a été inspiré, et le spécialiste des SIG a estimé que c'était une expérience éducative de pouvoir transférer ses connaissances à l'enseignant et aux élèves.

Tate et Jarvis (2017) se sont intéressés aux communautés de pratique (CoP) et à l'importance de la participation sociale informelle pour l'apprentissage. Ils ont exploré comment les CoP et en particulier les CoP virtuelles pourraient aider à l'apprentissage de l'utilisation des SIG, car certaines de ces communautés sont liées à des MOOC et à des programmes de qualification particuliers.

8 Conclusions

Les enseignants sont les "gardiens" du changement et de l'innovation en matière d'éducation. Il est donc important de consacrer du temps et de l'attention à leur formation aux développements pédagogiques tels que ceux associés à l'apprentissage avec les SIG. Une grande partie de la recherche a fourni des informations sur les pratiques des enseignants utilisant les géotechnologies, mais la plupart des enseignants n'avaient pas bénéficié d'une formation et d'un soutien adéquats et ils ne maîtrisaient pas la plupart des concepts intégrés dans le matériel SIG.

Stringer et al. (2019) ont donné quatre recommandations clés pour l'utilisation de la technologie :

1. Examinez comment la technologie va améliorer l'enseignement et l'apprentissage avant de l'introduire.
2. Développez un raisonnement clair pour améliorer l'apprentissage.
3. Examiner les moyens d'améliorer l'impact de la pratique des élèves.
4. Aborder l'amélioration de l'évaluation et du retour d'information.

D'après cet examen, c'est la pédagogie associée à l'application de la technologie qui importe le plus, car l'apprentissage est affecté par la façon dont la technologie a été utilisée en classe (Quinn, 2019). Écrivant sur le projet GI Learner, Donert et al. (2016) ont confirmé que ""...il y a encore besoin de beaucoup plus de formation, de matériel d'apprentissage et d'enseignement supplémentaire, de plus d'exemples de bonnes pratiques et d'une compilation complète et bien structurée des outils de la terre numérique."

8.1 Recommandations pour la pédagogie de l'IG

Stringer et al. (2019) ont illustré des questions issues de la littérature académique concernant l'impact de la technologie SIG et offrent des preuves sur la mise en œuvre et les pratiques d'enseignement efficaces. Ils suggèrent qu'une mauvaise mise en œuvre est la principale raison pour laquelle la technologie n'a pas réalisé son potentiel d'amélioration de l'apprentissage. Le défi est de synthétiser à partir de la littérature comment cela peut être réalisé.

Les recommandations suivantes sont clairement identifiées dans la littérature produite pour examen :

Planification

- Planifier la formation en fonction des besoins réels et lier l'utilisation des SIG à la planification des programmes d'études (Stringer et al., 2019).
- Modéliser une façon d'intégrer naturellement les outils SIG dans l'enseignement (Curtis, 2019).
- Impliquer les enseignants dans le processus de développement du matériel pédagogique, en utilisant une méthode de conception centrée sur l'utilisateur (UCD) (Hong, 2014).
- Prévoyez d'intégrer pleinement la technologie en l'utilisant avec d'autres ressources, plutôt que de l'utiliser comme une activité d'apprentissage ponctuelle (Luckin et al., 2012).
- En ce qui concerne les principes de Rosenshine, les sujets devraient s'appuyer sur une variété de types de leçons et d'activités qui pourraient bien conduire à des modèles spécifiques au sujet pour développer les connaissances, donner de la pratique et vérifier la compréhension, et que pour s'améliorer dans l'un d'entre eux, il faut se concentrer sur un à la fois (Sherrington, 2019).
- Créer une pratique éducative inclusive, organiser l'apprentissage en niveaux en fonction du bagage de connaissances de l'apprenant et apprendre à construire de manière appropriée des supports pédagogiques (Rickle et Ellul, 2017).
- " Les programmes ont besoin d'un équilibre entre, d'une part, une formation qui fournit des exemples clairs de la façon dont les SIG peuvent être utilisés en classe et, d'autre part, un enseignement qui demande aux stagiaires d'apprendre à un niveau plus élevé et plus abstrait afin de soutenir l'apprentissage pour la compréhension et le transfert (Bednarz, 2004) " (Walshe, 2017;620).



- Développer une formation pour les enseignants ayant des niveaux d'expertise et des ensembles de connaissances similaires afin d'améliorer leur capacité à connecter les technologies géospatiales à leurs programmes d'études (Curtis, 2019).

Approche

- Utiliser de nombreux types d'approches d'apprentissage actif, qu'il s'agisse de situations où les étudiants travaillent avec une organisation locale (Benhart, 2000), d'un apprentissage basé sur les problèmes où les étudiants résolvent un problème (King, 2008), de techniques basées sur le terrain où les étudiants sont impliqués dans une enquête sur le terrain (Carlson, 2007) et de modules d'apprentissage interactifs basés sur le Web (Clark et al., 2007).
- La conception de l'apprentissage doit prendre en compte les concepts de seuil, être basée sur des problèmes, offrir des parcours d'apprentissage flexibles dans un contexte d'apprentissage authentique avec des approches d'apprentissage actif et encourager la multidisciplinarité (Srivastava et Tait, 2010).
- Faire en sorte que l'utilisation des SIG dans l'éducation soit axée sur l'enquête, la résolution de problèmes et les normes, avec un ensemble de tâches intégrant le travail sur le terrain (Baker et al., 2012).
- Intégrer les aspects techniques des SIG avec des études de cas (Bearman et al., 2016).

Pédagogie

- Développer la pensée spatiale critique d'un point de vue pédagogique (Bearman et al., 2016).
- Développer un cadre pédagogique flexible qui enseigne non seulement les SIG mais aussi les concepts associés (Rickles et Ellul, 2017).
- Utiliser le SIG pour aider à développer une pensée spatiale critique, en utilisant des données authentiques et en connectant les élèves à leur propre communauté (Baker et al., 2012).
- Utiliser des éléments liés à la citoyenneté spatiale et le site Web de la citoyenneté spatiale <http://www.spatialcitizenship.org/> (Gryl et al., 2010)

Recommandations pratiques

A) Basé sur l'apprentissage des élèves

- Inclure les principes de la théorie de la charge cognitive ~~comme~~ base de la formation des enseignants (Rosenshine, .
- Adapter la pratique en augmentant le défi des questions et en fournissant de nouveaux contextes aux élèves pour appliquer leurs compétences (Stringer et al., 2019).
- Offrez un soutien à la pratique de récupération et à l'auto-questionnaire pour augmenter la rétention des idées et des connaissances (Stringer et al., 2019).
- Fournir un apprentissage significatif par l'identification des problèmes géographiques, des compétences géographiques et des connaissances géographiques (De Miguel, Koutsopoulos et Donert 2019).
- Adapter la pratique pédagogique pour qu'elle prenne en compte les résultats des sciences cognitives et notamment l'interaction entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme, la construction de schémas ; la notion de novice et d'expert (Rosenshine, 2012 ; Sherrington, 2018).
- Une façon de le faire est de suivre
- Les principes d'enseignement de Rosenshine.
- Examinez l'impact de la pédagogie et de l'approche, ainsi que la matière enseignée et les spécificités du contexte scolaire (Stringer et al., 2019), y compris la narration et le pouvoir des histoires.
- Motiver l'apprentissage des étudiants par l'acquisition de compétences utiles pour l'emploi, telles que l'analyse d'informations spatiales, le géoréférencement, la visualisation ou les applications mobiles (MYGEO).

B) Sur la base d'outils

- Utiliser des cartes Web et leur analyse, des SIG basés sur le Web et créer des applications de cartes Web (Kerski et Baker, 2019).
- Utiliser les géotechnologies pour améliorer la capacité à traiter l'information géographique dans le cadre de leur culture numérique (Sanchez, 2009).
- Utiliser correctement les visuels pour communiquer des idées complexes de manière efficace, en laissant plus de ressources cognitives libres pour s'engager dans une réflexion d'ordre supérieur (Caglioli, 2018).
- Compiler des matériels ArcGIS adaptés aux conditions nationales et aux caractéristiques des élèves et fournir des matériels de soutien aux enseignants, et créer des sites Web pertinents (Wu, 2018).
- Collecter les données à l'aide d'outils de cartographie collaborative basés sur les contributions des citoyens, pour permettre de cartographier les données en temps réel (Kerski et Baker, 2019).

Mise en réseau

- Développer une "communauté de pratique" pour soutenir l'apprentissage des enseignants (Tate et Jarvis, 2017), en impliquant les enseignants dans le mentorat des enseignants.
- Développer un réseau scolaire de classes géospatiales ayant pour mission de rendre l'éducation géospatiale accessible à tous, à l'instar de GeoForAll (Donert et al., 2016).
- Mettre en place un programme de géo-mentorat pour les enseignants avec des enseignants et des formateurs (Healey et al., 2018).



Références

- Alibrandi, M. and Palmer-Moloney, J., (2001). Making a place for technology in teacher education with Geographic Information Systems (GIS). *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 1(4), pp.483-500.
- Allier-Gagneur, Z., McBurnie, C., Chuang, R. and Haßler, B., (2020), Characteristics of Effective Teacher Education in Low-and Middle-Income Countries. What Are They and What Role Can EdTech Play.
- Álvarez-Otero, J., and de Lázaro y Torres, M.L. (2018) Education in Sustainable Development Goals Using the Spatial Data Infrastructures and the TPACK Model. *Education Sciences*, 8(4), 171.
- Ardissono, L., Lucenteforte, M., Mauro, N., Savoca, A. and Angioletta, V., (2017). Personalised community maps. *Int. J. Electronic Governance*, Vol. 9, Nos. 1/2, 156-178
- Arslan, S., (2015). Evaluation of Usability of Web-based Geographic Information System (GIS) Applications in Secondary School Geography Lessons (Doctoral dissertation, Fatih University, Turkey).
- Attard, M., (2010). Thematic networks as toolboxes: The case of the HERODOT Network for Geography in Europe. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 56(2), pp.325-337.
- Baddeley, A D. (1992) Working memory. *Science* 255: 556-559.
- Baek, E. O., Cagiltay, K., Boling, E., and Frick, T. (2008). User-centered design and development. *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, 1, 659–670.
- Baker, T. R., Battersby, S., Bednarz, S. W., Bodzin, A. M., Kolvoord, B., Moore, S., Sinton, D., and Uttal, D. (2015). A Research Agenda for Geospatial Technologies and Learning, *Journal of Geography*, 114:3, 118-130
- Baker, T.R., (2005). Internet-based GIS mapping in support of K-12 education. *The Professional Geographer*, 57(1), pp.44-50.
- Baker, T.R., Kerski, J.J., Huynh, N.T., Viehrig, K. and Bednarz, S.W., 2012. Call for an agenda and center for GIS education research. *Review of International Geographical Education Online*, 2(3), pp.254-288.
- Bartle, E. (2015), Personalised learning: an overview, The Institute for Teaching and Learning Innovation, Queensland University, https://itali.uq.edu.au/files/1279/Discussion-paper-Personalised_learning_an_overview.pdf
- Bearman, N., Jones, N., André, I., Cachinho, H. A., and DeMers, M. (2016). The future role of GIS education in creating critical spatial thinkers. *Journal of Geography in Higher education*, 40(3), 394-408.
- Bednarz, S. W. (2004). Geographic Information Systems: A Tool to Support Geography and Environmental Education? *GeoJournal* 60(2): 191-199
- Bednarz, S.W. (2001) Thinking spatially: incorporating geographic information science in pre and post secondary education, vol. 2008, Geographical Association, Sheffield, UK
- Belgiu, M., Strobl, J., & Wallentin, G. (2015). Open geospatial education. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2), 697-710.
- Benhart, J. (2000) 'An approach to teaching applied gis: Implementation for local organizations'. *Journal of Geography*, 99(6), 245-252
- Bonnstetter, R. J. (1998). Inquiry: Learning from the past with an eye on the future. *Electronic Journal of Science Education*, 3(1). <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7595/5362>



- Bowlick, F. J., Bednarz, S. W., and Goldberg, D. W. (2016). Student Learning in an Introductory GIS Course: Using a Project-Based Approach. *Transactions in GIS* 20(2): 182-202
- Brookman-Byrne, A. and Thomas, M.S., (2018). Neuroscience, psychology and education: Emerging links. *Impact*, 2, pp.5-8.
- Brooks, B.L. (2018), Student Engagement Capabilities in Mobile GIS: A Framework for Mobile GIS Education, Thesis Presented to the Faculty of the USC Graduate School. 58 pp.
- Caeiro, S., Martinho, A.P., Matta, H., Amador, F. and Oliveira, C., (2011). The use of videos within GIS e-learning. An experience in an undergraduate program in Environmental Science. In Hubeau M, Steenberghen T, Van Balen K and Van J, p.49-56. *LeGio Workshop: GIS-education in a changing academic environment*, Leuven Belgium
- Caglioli, O (2018), An introduction to Dual Coding Theory - Oliver Caglioli; Future Learn
- Caldwell, T., 2019. Tech for Understanding: An Introduction to Assistive and Instructional Technology in the Classroom. *Montview Liberty University Journal of Undergraduate Research*, 6(1), 5-33.
- Camburn, E., Rowan, B. and Taylor, J.E., (2003). Distributed leadership in schools: The case of elementary schools adopting comprehensive school reform models. *Educational evaluation and policy analysis*, 25(4), pp.347-373.
- Carlson, T. (2007), A field-based learning experience for introductory level GIS students. *Journal of Geography*, 106(5), 193-198.
- Castro-Alonso, J.C., Ayres, P. and Sweller, J., (2019). Instructional visualizations, cognitive load theory, and visuospatial processing. In *Visuospatial processing for education in health and natural sciences* (pp. 111-143). Springer, Cham.
- CESE (2018), Cognitive load theory in practice: Examples for the classroom, New South Wales Government, Australia,
<https://khsbpp.files.wordpress.com/2018/11/cognitive-load-theory-practice-guide-aa.pdf>
- Charles, M. T., and R. A. Kolvoord. (2016). Geospatial semester: Developing students' 21st century thinking skills with GIS: A three-year study. *Pyrex Journal of Educational Research and Reviews* 2 (6):67-78.
- Chen, M. X. (1997). Integrating GIS education with training: A project-oriented approach. *Journal of Geography*, 97, 261-268.
- Christensen, R. and Knezek, G., (2017). Readiness for integrating mobile learning in the classroom: Challenges, preferences and possibilities. *Computers in Human Behavior*, 76, pp.112-121.
- Coe, R. (2020) Does research on retrieval practice translate into classroom practice? *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, Issue 8. P12-13.
- Coe, R., Rauch, C.J., Kime, S. and Singleton, D. (2020), *Great Teaching Toolkit: Evidence Review*, Cambridge Assessment International Education.
- Colvin, J. C., and M. C. Tomayko. (2015). Putting TPACK on the radar: A visual quantitative model for tracking growth of essential teacher knowledge. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* 15 (1):68-84
- Connors, F. A., McCown, S. M., and Roskos-Ewoldsen, B. (1998). Unique challenges in teaching undergraduate statistics. *Teaching of Psychology*, 25(1), 40-42.
- Coulter, B. (2014). Moving out of flatland: Toward effective practice in geospatial inquiry. In J. G. MaKinster, N. M. Trautmann, and M. Barnett (Eds.), *Teaching Science and Investigating Environmental*



Issues with Geospatial Technology: Designing Effective Professional Development for Teachers, pp. 398–423. Dordrecht, The Netherlands: Springer

Crespo, J.M. (2019). El visualizador Iberpix 4 del Instituto Geográfico Nacional: un recurso didáctico para la interpretación de los componentes físicos del paisaje. En: Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2019 (27.2.), pags. 182 – 191.

Curtis, M.D. (2018), Professional Technologies in Schools: The Role of Pedagogical Knowledge in Teaching With Geospatial Technologies, *Journal of Geography*, 118:3, 130-142.

De Lázaro y Torres, M. L., De Miguel, R., and Buzo, I. (2016). Outdoor Learning and Geography on the Cloud: A Challenge for the European “School on the Cloud” Network. *The International Journal of Technologies in Learning*, 23(3), 1-13.

De Lázaro y Torres, M. L., De Miguel, R., González, M.J. (2018), Flipped Teaching: A Useful Method for Cloud-Based GIScience Learning, *Handbook of Research on Educational Design and Cloud Computing in Modern Classroom Settings*, chapter16, pp. 342–367

De Lázaro y Torres, M.L., De Miguel González, R. and Morales Yago, F.J., (2017), WebGIS and geospatial technologies for landscape education on personalized learning contexts. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), p.350.

De Lázaro y Torres, M.L.; Álvarez, J. Y. and González, M.J. (2016). Aprender Geografía de España empleando SignA. En Sebastiá, R.; Tonda, E.M. (Eds.). *La investigación e innovación en la enseñanza de la Geografía*. San Vicente del Raspeig: Universidad de Alicante, pp. 27-39.

De Miguel González, R., Buzo, I. and De Lázaro, M.L., (2016). New challenges for geographical education and researching: The Digital School Atlas. In *Crisis, Globalization and Social and Regional Imbalances in Spain; Spanish Contribution to 33rd IGU Congress Beijing*, pp. 187-197.

De Miguel González, R. and De Lázaro Torres, M.L., (2020), WebGIS Implementation and Effectiveness in Secondary Education Using the Digital Atlas for Schools. *Journal of Geography*, 119(2), pp.74-85.

DeMers, M.N., 2016. Geospatial technology in geography education. *The Geography Teacher*, 13(1), pp.23-25.

Demirci, A., Karaburun, A., Ünlü, M. and Özey, R., 2010. How does GIS mobilize students to work for society? Conducting GIS-based projects in geography lessons. *Istanbul, Turkey*, 8, p.13-21

DiBiase, D. (2018). Stop teaching GIS. *AAG Newsletter*. April. <http://news.aag.org/2018/04/stop-teaching-gis/>

Didau D (2018), How to explain Schema, <https://learningspy.co.uk/featured/how-to-explain-schema/>

Doering, A., Veletsianos, G., Scharber, C. and Miller, C., (2009). Using the technological, pedagogical, and content knowledge framework to design online learning environments and professional development. *Journal of Educational Computing Research*, 41(3), pp.319-346.

Doering, A. and Veletsianos, G. (2007), Multi-Scaffolding Environment: An Analysis of Scaffolding and Its Impact on Cognitive Load and Problem-Solving Ability, *Journal of Educational Computing Research*, 37(2), 107-129.

Donert, K (2007), Geoinformation in European education: a revolution waiting to happen. In: Donert, K., Charzynski, P., Podgorski, Z. (eds.) *Teaching geography in and about Europe*, HERODOT network for geography in higher education, Torun, p. 117

Donert, K., (2013), digital-earth. eu: a European network for Digital Earth education. In *First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2013)* (Vol. 8795, p. 879504). International Society for Optics and Photonics.



- Donert, K., Desmidt, F., Lázaro y Torres, M.L., De Miguel González, R., Lindner-Fally, M., Parkinson, A., Prodan, D., Wołoszyńska-Wiśniewska, E., and Zwartjes, L. (2016), The GI-Learner Approach: Learning Lines for Geospatial Thinking in Secondary Schools, *GI Forum 2016*, Vol.2, Page: 134-146
- Donert, K. and Charzyński, P., (2005). *Changing Horizons in Geography Education*, 326 p, Toruń Poland, Herodot Network with arrangement of Association of Polish Adult Educators.
- Doulamis, N., Yiakoumettis, C. and Miaoulis, G., (2013), June. Personalised 3D navigation and understanding of Geo-referenced Scenes. In *2013 IEEE 14th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Drennon, C. (2005). Teaching geographic information systems in a problem-based learning environment. *Journal of Geography in Higher Education*, 29, 385–402.
- Dunlosky, J and Rawson, K. (eds) (2019) *The Cambridge Handbook on Cognition and Education*. New York: Cambridge University Press.
- Dunlosky J., Rawson K.A. and Marsh E.J. (2013), Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest* 14(1): 4–58.
- Education Endowment Foundation (2019), Six myths of digital technology, *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, special issue
- Elwood, S., (2009). Integrating participatory action research and GIS education: Negotiating methodologies, politics and technologies. *Journal of Geography in Higher Education*, 33(1), 51-65.
- Engeström, Y., (1999), Activity theory and individual and social transformation. *Perspectives on activity theory*, 19(38), pp.19-30.
- Enser, M. (2019) How useful is cognitive load theory for teachers; *Times Educational Supplement* 10 October 2019. <https://www.tes.com/news/how-useful-cognitive-load-theory-teachers>
- Enser M (2017), Crossing the Threshold, <https://teachreal.wordpress.com/2017/10/22/crossing-the-threshold/>
- Esri (2016), Esri Pledges to Help Boost Digital Skills in Europe, <https://www.esri.com/about/newsroom/insider/esri-pledges-to-help-boost-digital-skills-in-europe/>
- Esteves, M.H. and Rocha, J., (2015). Geographical information systems in Portuguese geography education. *European Journal of Geography*, 6, pp.6-15.
- European Commission (2019), Key Action 2: Cooperation for innovation and the exchange of good practices, https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus/actions/key-action-2-cooperation-for-innovation-and-exchange-good-practices_en
- Fagin, T.D. and Wikle, T.A., (2011). The instructor element of GIS instruction at US colleges and universities. *Transactions in GIS*, 15(1), pp.1-15.
- Fargher, M. (2018), WebGIS for Geography Education: Towards a GeoCapabilities Approach, *International Journal of Geo-information* 7, 111, <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/3/111/pdf>
- Fargher, M. and Rayner, D., (2012). United Kingdom: Realizing the potential for GIS in the school geography curriculum. In *International perspectives on teaching and learning with GIS in secondary schools* (pp. 299-304). Springer, Dordrecht.
- Favier, T., and van der Schee, J. (2014), The effects of geography lessons with geospatial technologies on the development of high school students' relational thinking, *Computers & Education* 76, 225–236
- Favier, T. (2011). GIS in inquiry-based secondary geography education. VU University Amsterdam. Retrieved from <http://www.timfavier.com/dissertation.html>



- Favier, T. (2013). Geo-informationstechnologie in het voortgezet aardrijkskundeonderwijs: Een brochure voor docenten, Vrije Universiteit Amsterdam, 80 p
- Feddern, L., Belham, F.S. and Wilks, S., (2018). Retrieval, interleaving, spacing and visual cues as ways to improve independent learning outcomes at scale. *Profession*, 18, p.19.
- Felgenhauer, T. and Quade, D., (2012). Society and geomedia. Some reflections from a social theory perspective. *GI_Forum 2012*, pp.74-82.
- GeoBuiz, (2018), GeoBuiz 2018 Report: Geospatial Industry Outlook and Readiness Index, <https://geobuiz.com/geobuiz-2018-report.html>
- Golledge, R. G., Marsh, M., and Battersby, S. (2008). Matching geospatial concepts with geographic education needs. *Geographical Research*, 46(1), 85–98.
- Gómez Trigueros, I. M. (2018). New learning of geography with technology: the TPACK model, *European Journal of Geography*, 9(1), 38-48.
- Goodchild, M. F. and Janelle, D. G. (2010), Toward critical spatial thinking in social sciences and humanities. *GeoJournal*, 75 (1), 3-13
- Gordon, E., Elwood, S. and Mitchell, K., (2016). Critical spatial learning: participatory mapping, spatial histories, and youth civic engagement. *Children's geographies*, 14(5), pp.558-572.
- Grunwald, S., Ramasundaram, V. and Jesseman, D.K., (2005). A modular e-learning environment to teach GIS to on-campus and distance education students. *NACTA journal*, pp.6-13.
- Gryl, I., Jekel, T. and Donert, K., (2010). GI and spatial citizenship. *Learning with GI, GI Forum V*, pp.2-11.
- Gryl, I. (2016), Reflexivity and Geomedia—Going Beyond Domain-specific Competence Development, https://www.researchgate.net/profile/Inga_Gryl/publication/274192541_Reflexivity_and_Geomedia_-_Going_Beyond_Domain-specific_Competence_Development/links/55c25e8508aeca747d5dcdec.pdf
- Gryl, I. and Jekel, T. (2012), Re-centering GI in secondary education: Towards a spatial citizenship approach. *Cartographica*, 47 (1), 2-12.
- Gunckel, K. L., B. A. Covitt, I. Salinas, and C. W. Anderson. (2012). A learning progression for water in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching* 49 (7): 843–868.
- Hamm, S.B., (2016). A Foundation for Spatial Thinking: Towards a Threshold Concept Framework in GIScience and its Implications for STEM Education (Master's thesis, University of Waterloo).
- Hammond, T. C., A. Bodzin, D. Anastasio, B. Holland, K. Popejoy, D. Sahagian, S. Rutzmoser, J. Carrigan, and W. Farina. (2018). You know you can do this, right?": Developing geospatial technological pedagogical content knowledge and enhancing teachers' cartographic practices with socio-environmental science investigations. *Cartography and Information Science* 45 (4):305–18.
- Hartig, J. and Klieme, E., (2007). Possibilities and requirements for technology-based competence diagnostics: Expertise on behalf of the Federal Ministry of Education and Research . BMBF, Public Relations Department.
- Healey, M., and Jenkins, A. (2000). Kolb's experiential learning theory and its application in geography in higher education. *Journal of Geography*, 99, 185–195.
- Healy, G., Hall, K., Whelan, L.J., Scarlett, D. and Dowd, L., (2018). Using GIS in A-level Geography to support geographical enquiry and develop students' geographical knowledge. *Geography Matters*, 25-32.
- Healy, G. and Walshe, N., (2019). Real-world geographers and GIS: relevance, inspiration and developing geographical knowledge. *Teaching Geography*, 44(2), pp.52-55.



- Healy, G. and Walshe, N., (2020). Real-world geographers and geography students using GIS: relevance, everyday applications and the development of geographical knowledge. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 29(2), pp.178-196.
- Hicks, D., J. Lee, M. Berson, C. Bolick, and R. Diem. (2014). Guidelines for using technology to prepare social studies teachers. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* 14 (4):433-50.
- Hohnle, S., J. Fogele, R. Mehren, and J. C. Schubert. (2016). GIS teacher training: Empirically-based indicators of effectiveness. *Journal of Geography* 115 (1): 12-23.
- Hong, J. E., and Melville, A. (2018). Training social studies teachers to develop inquiry-based GIS lessons. *Journal of Geography*, 117(6), 229-244.
- Hong, J. E., and Stonier, F. (2015). GIS in-service teacher training based on TPACK. *Journal of Geography* 114(3), 108-117
- Hong, J. E. (2017). Designing GIS learning materials for K-12 teachers. *Technology, Pedagogy and Education*, 26(3), 323-345.
- Hong, J.E. (2014) Promoting Teacher Adoption of GIS Using Teacher-Centered and Teacher-Friendly Design, *Journal of Geography*, 113:4, 139-150.
- Howard-Jones, P., Ioannou, K., Bailey, R., Prior, J., Yau, S.H. and Jay, T., (2018). Applying the science of learning in the classroom. *Profession*, 18, p.19. <https://impact.chartered.college/article/howard-jones-applying-science-learning-classroom/>
- Howarth, J.T. and Sinton, D., (2011). Sequencing spatial concepts in problem-based GIS instruction. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, pp.253-259.
- Hubeau, M., Steenberghen, T., Van Balen, K., Van Orshoven, J. and Vileikis, O., (2011). Software-independent tutorials for supervised self-study of Geographic Information Science and Technology: In GIS-education in a changing academic environment. *LeGIO* 18/11/2011, Leuven, Belgium.
- Huei-Tse Hou, Tsai-Fang Yu, Yi-Xuan Wu, Yao-Ting Sung and Kuo-En Chang (2016). Development and evaluation of a web map mind tool environment with the theory of spatial thinking and project-based learning strategy. *British Journal of Educational Technology*, 47 (2), 390-402
- Huynh, N.T., Solem, M. and Bednarz, S.W., (2015). A road map for learning progressions research in geography. *Journal of Geography*, 114(2), pp.69-79.
- Hwang, S. (2013). Placing GIS in sustainability education. *Journal of Geography in Higher Education*, 37(2), 276-291
- Jackson, C.M. and Kibetu, D.K., (2019). Emerging Technologies in Teaching, Research, and Learning: GIS Technology and Methods in Education. In *Technology-Supported Teaching and Research Methods for Educators* (pp. 201-217). IGI Global.
- Jadallah, M., Hund, A.M., Thayn, J., Studebaker, J.G., Roman, Z.J. and Kirby, E., (2017). Integrating geospatial technologies in fifth-grade curriculum: Impact on spatial ability and map-analysis skills. *Journal of Geography*, 116(4), pp.139-151.
- Jakab, I., Bearman, N., Jones, N., André, I., Cachinho, H.A. and DeMers, M., (2016). The future role of GIS education in creating critical spatial thinkers. *Journal of Geography in Higher education*, 40(3), pp.394-408
- Jakab I., Grezo, H., and Sevcik, M. (2016), Inquiry Based and Blended Learning Using Geographical Information System, *ECEL 2016-Proceedings of the 15th European Conference on e-Learning*, pp 287-295



- Jant, E.A., Uttal, D.H., Kolvoord, R., James, K. and Msall, C., (2020). Defining and Measuring the Influences of GIS-Based Instruction on Students' STEM-Relevant Reasoning. *Journal of Geography*, 119(1), pp.22-31..
- Jo, I. and Bednarz, S.W., (2009). Evaluating geography textbook questions from a spatial perspective: Using concepts of space, tools of representation, and cognitive processes to evaluate spatiality. *Journal of Geography*, 108(1), pp.4-13.
- Kalyuga, S. (2020) The expertise reversal effect and its instructional implications. *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, Issue 8, pp18-21
- Kaminske, A. N. (2020), Can We Teach Critical Thinking?, *The Learning Scientists*, <https://www.learningscientists.org/blog/2019/2/28/can-we-teach-critical-thinking>
- Kapler, I., Weston, T. and Wiseheart, M. (2015), Spacing in a simulated undergraduate classroom: Long-term benefits for factual and higher-level learning. *Learning and Instruction* 36: 38–45.
- Karolčík, Š., Zilinskiene, I., Slotkiene, A. and Čipková, E. (2019). Analysis of e-Learning Environment for Geography: Opportunities for Personalized Active Learning. *Baltic Journal of Modern Computing*, 7(3), 405-418.
- Kerski, J.J., (2015). Geo-awareness, geo-enablement, geotechnologies, citizen science, and storytelling: Geography on the world stage. *Geography Compass*, 9(1), pp.14-26.
- Kerski, J.J., Demirci, A. and Milson, A. J. (2013). The Global Landscape of GIS in Secondary Education, *Journal of Geography*, 112:6, 232-247.
- Kerski, J.J. (2008), The role of GIS in Digital Earth education. *International Journal of Digital Earth* 1, 326
- Kerski J.J., and Baker T.R. (2019) Infusing Educational Practice with Web GIS. In: de Miguel González R., Donert K., Koutsopoulos K. (eds) *Geospatial Technologies in Geography Education. Key Challenges in Geography*. pp. 3-19. Springer, Cham.
- Kim, M. and Bednarz, R. (2013). Development of critical spatial thinking through GIS learning. *Journal of Geography in Higher Education* 37(3):350-366.
- King, E. (2008) 'Can pbl-gis work online?'. *Journal of Geography*, 107(2), 43-51.
- Kluzer S., Pujol Priego L. (2018). DigComp into Action - Get inspired, make it happen. In S. Carretero, Y. Punie, R. Vuorikari, M. Cabrera, and O'Keefe, W. (Eds.). *JRC Science for Policy Report, EUR 29115 EN*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
- Kolvoord, B., K. Keranen and S. Rittenhouse. (2019). The Geospatial Semester: Concurrent Enrollment in Geospatial Technologies. *Journal of Geography* 118:3-10.
- Koutsopoulos, K.C. and Papoutsis, P., (2016). School on Cloud: Transforming Education. *Educational Policy Analysis and Strategic Research*, 11(1), pp.31-46.
- Kuijpers, T. (2019), Docent en GIS-expert leren van elkaar, *Tijdschrift Geografie*, Oktober 2019
- Lambrinos, N. and Asiklari, F., (2014). The introduction of GIS and GPS through local history teaching in primary school. *European Journal of Geography*, 5(1), pp.32-47.
- Larsen, T.B., Millsaps, L., Harrington Jr, J.A. and Lefferd, R., (2018). Learning Progression Research in Geography: What Teachers Need to Know. *The Geography Teacher*, 15(2), pp.55-67.
- Lee, C., and Shahrill, M. (2018). Utilising the think-pair-share technique in the learning of probability. *International Journal on Emerging Mathematics Education*, 2(1), 49–64.
- Lindner-Fally, M. and Zwartjes, L., (2012). Learning and teaching with Digital Earth-Teacher training and education in Europe. *GI_Forum*, pp.272-282.



- Little, J., Bjork, E. and Angello, G. (2012), Multiple-choice tests exonerated, at least of some charges: Fostering test-induced learning and avoiding test-induced forgetting. *Psychological Science* 23: 1337–1344.
- Liu, Y., Bui, E. N., Chang, C.-H., and Lossman, H. G. (2010). PBL-GIS in secondary geography education: Does it result in higher-order learning outcomes? *Journal of Geography*, 109(4), 150–158.
- Luckin R, Bligh B, Manches A, et al. (2012) *Decoding Learning: The Proof, Promise and Potential of Digital Education*. London: Nesta.
- Mac Aoidh, E., Koinis, A. and Bertolotto, M., (2006), December. Improving archaeological heritage information access through a personalised GIS interface. In *International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems* (pp. 135-145). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Marta, M. and Osso, P., (2015). Story Maps at school: teaching and learning stories with maps. *J-Reading-Journal of Research and Didactics in Geography*, (2), 4, 61-68
- Maseleno, A., Sabani, N., Huda, M., Ahmad, R., Jasmi, K.A. and Basiron, B., (2018), Demystifying learning analytics in personalised learning. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3), pp.1124-1129.
- Mathews, A. J., and Wikle, T. A. (2017). Assessing professional benefits of GIS certification. *Cartography & Geographic Information Science*, 44(5), 452–462.
- Mathews, A.J. and Wikle, T.A., (2019). GIS&T pedagogies and instructional challenges in higher education: A survey of educators. *Transactions in GIS*, 23(5), pp.892-907.
- Maude, A. (2018). Geography and powerful knowledge: A contribution to the debate. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(2), 179–190
- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction., *American Psychologist*. 63(8), pp. 760-769.
- Mayer, R.E. (2009), *Multimedia learning* (2nd edition). New York: Cambridge University Press.
- Mayer R.E. (2019), How multimedia can improve learning and instruction. In: Dunlosky J, and Rawson K, editors. *The Cambridge Handbook on Cognition and Education*. New York: Cambridge University Press.
- Metoyer, S. and Bednarz, R., (2017), Spatial thinking assists geographic thinking: Evidence from a study exploring the effects of geospatial technology. *Journal of Geography*, 116(1), pp.20-33.
- Meyer, J and Land, R (2006), *Overcoming Barriers to Student Understanding: Threshold Concepts and Troublesome Knowledge*, Abingdon: Routledge-Falmer, pp.19-26
- Michel, E. and Hof, A., (2013), Promoting Spatial Thinking and Learning with Mobile Field Trips and eGeo-Riddles, *GI_Forum 2013: Creating the GISociety* (Eds. Jekel, T., Car, A., Strobl, J., Griesebner, G.), Wichmann Verlag Berlin, 378-387.
- Millsaps, L.T. and Harrington, J. A. (2017). A time-sensitive framework for including geographic information systems (GIS) in professional development activities for classroom teachers. *Journal of Geography*, 116(4), 152-164.
- Milson, A.J., and Curtis, M. D. (2009). Where and why there? Spatial thinking with geographic information systems. *Social Education*, 73(3), 113–118.
- Milson A.J. and Earle B. D. (2008), Internet-Based GIS in an Inductive Learning Environment: A Case Study of Ninth-Grade Geography Students, *Journal of Geography*, 227-237
- Mishra, P., and Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108, 1017–1054.



- Mitchell, J.T., Roy, G., Fritch, S., and Wood, B. (2018). GIS professional development for teachers: lessons learned from high-needs schools. *Cartography and Geographic Information Science*, 45(4), 292-304.
- Motala, S. and Musungu, K., (2013). Once upon a place: Storytelling in GIS education, *GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing*,
http://digitalknowledge.cput.ac.za/bitstream/11189/2404/3/Motala_S_Musungu_K_Eng_2013.pdf
- Muijs, D. (2020) Cognition, Learning and educational research. *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, Issue 8. p1-4.
- National Research Council (2006), *Learning To Think Spatially*, Washington, DC: National Academy Press
- Nguyen N.A., Muniz-Solari O., Dang D.T., and Nguyen T.P. (2019), *Reviewing Spatial Thinking in Geography Textbooks Questions from The Perspective of Spatial Thinking*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Nov, 338(1), p. 012042). IOP Publishing.
- Nikolov, R., Shoikova, E., Krumova, M., Kovatcheva, E., Dimitrov, V. and Shikalanov, A., (2016). Learning in a Smart City environment. *Journal of Communication and Computer*, 13, pp.338-350.
- Pánek, J., and Glass, M. (2018). Gaining a mobile sense of place with collector for ArcGIS. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(4), 603-616.
- Park, C. (2018). Technology and the new pedagogy in higher education. Retrieved from
<http://thesextantgroup.com/technology-and-the-new-pedagogy-in-higher-education-by-principalcraig-park-fsmps-assoc-aia/>
- Perdue, N. and Lobben, A., (2013). The Challenges of Testing Spatial Thinking Skills with Participants who are Blind or Partially Sighted. Sharing knowledge, In: Reyes Nuñez J. J.. Sharing knowledge. Joint ICA Symposium, <http://lazarus.elte.hu/cc/2013icc/skproceedings.pdf#page=112>
- Petras V., Petrasova A., Harmon B., Meentemeyer R.K. and Mitasova H. (2015), *Integrating Free and Open Source Solutions into Geospatial Science Education* *Int. J. Geo-Inf.* 2015, 4, 942-956
- Pink, D. H. 2006. *A Whole New Mind: Why Right-Brainers Will Rule the Future*. New York: Riverhead Trade.
- Poslad, S., Laamanen, H., Malaka, R., Nick, A., Buckle, P. and Zipl, A., (2001). Crumppet: Creation of user-friendly mobile services personalised for tourism,
<https://www.isip.piconepress.com/projects/mobile/reviews/papers/geoMobile/ref23.pdf>
- Prager, S., (2012). Using the GIS&T Body of Knowledge for curriculum design: Different design for different contexts. *Teaching geographic information science and technology in higher education*, pp.63-80.
- Prain, V., Cox, P., Deed, C., Dorman, J., Edwards, D., Farrelly, C., Keeffe, M., Lovejoy, V., Mow, L., Sellings, P. and Waldrip, B., (2013), *Personalised learning: Lessons to be learnt*. *British Educational Research Journal*, 39(4), 654-676.
- Quinn, M (2019) *Digital Schools? Teachers Still Matter*. *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, Special Issue p12-13
- Reidsema, C., Kavanagh, L., Hadgraft, R., and Smith, N. (Eds.) (2017). *The flipped classroom: Practice and practices in higher education*. Singapore: Springer Nature.
- Rickles, P., Ellul, C. and Haklay, M. (2017). A suggested framework and guidelines for learning GIS in interdisciplinary research. *Geo: Geography and Environment* 4 (2), e00046
- Rickles, P. and Ellul, C. (2017) *Innovations in and the changing landscape of geography education with Geographic Information Systems*. *Journal of Geography in Higher Education*, 41(3), 305-309.
- Roberts, J. (2006). Limits to communities of practice. *Journal of Management Studies*, 43, 623-639.



- Roig R. and Flores, C. (2014). Conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinario del profesorado: el caso de un centro educativo inteligente. EDUTECH, Revista Electrónica de Tecnología Educativa, http://edutec.rediris.es/Relevec2/Relevec47/n47_Roig-Flores.html
- Roosaare, J. and Liiber, Ü., (2013). GIS in school education in Estonia—looking for an holistic approach. J-Reading-Journal of Research and Didactics in Geography, 1(1).
- Rosenshine, B. (2012) 'Principles of Instruction: Research-based Strategies that all Teachers Should Know'. American Educator Spring.
- Rosenshine, B.V. (1986), Synthesis of research on explicit teaching. Educational leadership, 43(7), pp. 60-69.
- Roulston, S. (2013), GIS in Northern Ireland secondary schools: Mapping where we are now, International Research in Geographical and Environmental Education 22.1: 41-56.
- Rubio, J.C.C., Gassó, H.H. and Engen, B.K., (2019). Digital Competence for Teachers: Perspectives and foresights for a new school. Comunicar, 61(XXVII), 2019.4
- Sanchez, E., (2009), Innovative teaching/learning with geotechnologies in secondary education. In IFIP World Conference on Computers in Education (pp. 65-74). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sanchez, E. (2008a) Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre. Education & Didactique 2, 97
- Sanchez, E. (2008b), Les globes virtuels, des outils pour l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. Géomatique Expert 59
- Scheyvens, R., Griffin, A. L., Jocoy, C. L., Liu, Y., and Bradford, M. (2008). Experimenting with active learning in geography: Dispelling the myths that perpetuate resistance. Journal of Geography in Higher Education, 32(1), 51–69.
- Schulze, U., Kanwischer, D. and Reudenbach, C. (2013), Essential competences for GIS learning in higher education: a synthesis of international curricular documents in the GIS&T domain, Journal of Geography in Higher Education, 37:2, 257-275
- Schulze, U., Gryl, I., Kanwischer, D. 2012. A Competence Model for Spatial Citizenship education, SPACIT Project, http://www.spatialcitizenship.org/media/WP2_report_D2_1-final_.pdf
- Şeremet, M., and Chalkley, B. (2015). Student perspectives on the teaching of geographical information systems (GIS) in geography degrees. Journal of Geography in Higher Education, 39(1), 18–36.
- Sharp, H., Rogers, Y., and Preece, J. (2007). Interaction design: Beyond human–computer interaction (2nd ed.). Chichester: Wiley.
- Sherrington, T. (2018) Great Teaching The Power of Stories; teacherhead.com, <https://teacherhead.com/2018/09/23/great-teaching-the-power-of-stories/>
- Sherrington, T. (2019) Rosenshine's principles in action. Woodbridge: John Catt Educational Ltd.
- Sherrington T (2018), Exploring Barak Rosenshine's seminal Principles of Instruction: Why it is THE must-read for all teachers, TeacherHead Consulting, <https://teacherhead.com/2018/06/10/exploring-barak-rosenshines-seminal-principles-of-instruction-why-it-is-the-must-read-for-all-teachers/>
- Shibli, D. and West, R., (2018). Cognitive load theory and its application in the classroom. Impact Journal of the Chartered College of Teachingfrom.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57, 1–22.



- Sinha, G., Smucker, T.A., Lovell, E.J., Velempini, K., Miller, S.A., Weiner, D. and Wangui, E.E., (2016), The Pedagogical Benefits of Participatory GIS for Geographic Education, *Journal of Geography*, 116:4, 165-179
- Sinton, D. S. and Kerski, J. J. (2020). GIS&T Education and Training. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (1st Quarter 2020 Edition), John P. Wilson (ed.).
<https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/gist-education-and-training>
- Solem, M., Tu Huynh, N., and Boehm, R. (2014). Geoprogessions. Learning Progressions, for Maps, Geospatial Technology, and Spatial Thinking: A Research Handbook. Washington DC, Association of American Geographers.
- Somekh, B. (2008), Factors affecting teachers' pedagogical adoption of ICT, pp. 449-460, In: Voogt, J. and Knezek, G. eds., *International handbook of information technology in primary and secondary education* (Vol. 20). The Netherlands, Springer
- Srivastava, S.K. and Tait, C., (2010). The utilisation of the existing GIS model curricula to innovate a GIS pedagogy for the 21st Century. *Pedagogical research in maximising education*, 4(2), pp.25-37.
- Stains, M., Harshman, J., Barker, M. K., Chasteen, S. V., Cole, R., DeChenne-Peters, S. E., and Young, A. M. (2018). Anatomy of STEM teaching in North American universities. *Science*, 359(6383), 1468–1470.
- Stevens, S., A. W. Gotwals, H. Jin, and J. Barrett. (2015). Learning progressions research planning and design. In *Learning progressions for maps, geospatial technology and spatial thinking: A research handbook*, eds. M. Solem, N. T. Huynh, and R. Boehm, 23–44. Washington, DC: Association of American Geographers
- Stoltman, J.P. and De Chano, L., (2003). Continuity and change in geography education: Learning and teaching. In *International handbook on geographical education* (pp. 115-137). Springer, Dordrecht.
- Stringer, E Lewin, C and Coleman, R. (2019) Using Digital Technology to improve learning: Guidance Report. Education Endowment Foundation. Available at:
https://dera.ioe.ac.uk/33229/1/EEF_Digital_Technology_Guidance_Report.pdf, (Accessed: May 2020)
- Sui, D., (2015). Emerging GIS themes and the six senses of the new mind: is GIS becoming a liberation technology?. *Annals of GIS*, 21(1), pp.1-13.
- Sumeracki, M.A. and Weinstein, Y., (2018). Optimising learning using retrieval practice. *Profession*, 18, p.19.
- Sweller, J., (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), pp.257-285.
- Sweller, J., (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational psychology review*, 22(2), pp.123-138.
- Sweller, J., (2011). Cognitive load theory. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 55, pp. 37-76). Academic Press.
- Sweller, J., (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), pp.1-16.
- Sweller, J. and Sweller, S., (2006), Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology*, 4(1), pp.434-458.
- Tate, N. J., and Jarvis, C. H. (2017). Changing the face of GIS education with communities of practice. *Journal of Geography in Higher Education*, 41(3), 327-340
- Tharby, A. (2019). Using cognitive Load Theory to improve slideshow presentations. *Impact Journal of the Chartered College of Teaching*, Special Issue. p10 – 11



- Walshe, N. (2017). Developing trainee teacher practice with geographical information systems (GIS). *Journal of Geography in Higher Education*, 41(4), 608-628.
- Walshe, N. (2018). Spotlight on ... Geographical information systems for school geography. *Geography*, 103(1), 46-49.
- Willingham, D.T., (2007), *Critical thinking: Why it is so hard to teach?*. American federation of teachers summer 2007, p. 8-19.
- Willingham, D.T., (2009). *Why don't students like school?: A cognitive scientist answers questions about how the mind works and what it means for the classroom*. John Wiley & Sons.
- Wu, L. (2018). Application of ArcGIS in Geography Teaching of Secondary School: A Case Study in the Practice of Map Teaching. *Wireless Personal communications*. 102:2543-2553
- Zwartjes, L., (2009). iGuess: Introducing GIS Use in Education in Several Subjects. In: Donert, K., Ari, Y., Attard, M., O'Reilly, G. and Schmeinck, D., *Celebrating Geographical Diversity*., p.275-280.
- Zwartjes, L., (2018). Developing geospatial thinking learning lines in secondary education: the GI Learner project. *European Journal of Geography*, 9(4), pp.138-151.
- Zwartjes, L., Berankova, T., Bosse, I., Brotankova, Z., Colaiuda, C., Contiu, L., Donert, K., Doppler, G., Elpida, C., Georgiades, E. and Jenal, F., 2015. A literature review of personalized learning and the Cloud, School on the Cloud Project, <https://biblio.ugent.be/publication/8623287/file/8623292>
- Zwartjes, L. and Lazaro y Torres, M.L. (2019). Geospatial Thinking Learning Lines in Secondary Education: The GI Learner Project. In *Geospatial Technologies in Geography Education* (pp. 41-61). Springer, Cham.