

RENSEIGNER L'ENSEIGNANT·E DE L'ACTIVITÉ DES ÉLÈVES DANS UNE VILLE VIRTUELLE

| COUTAT* SYLVIA, DORIER** JEAN-LUC ET MATRI*** SABRINA

Résumé | SPAGEO est un environnement virtuel développé dans le cadre d'une recherche pluridisciplinaire pour l'apprentissage du repérage dans l'espace dont les résultats ont validé l'intérêt d'un tel environnement en classe. Notre nouvel objectif est maintenant d'adapter son ergonomie pour une utilisation en classe ordinaire avec des enseignant·es ordinaires. Ce texte s'intéresse tout particulièrement aux adaptations qui doivent être faites pour accompagner l'enseignant·e dans son diagnostic de l'activité de l'élève dans un tel environnement.

Mots-clés : environnement virtuel, connaissances spatiales, repérage dans l'espace, diagnostic, classes ordinaires

Abstract | SPAGEO is a virtual environment developed as part of a multidisciplinary research project to teach children spatial orientation, whose results have validated the interest of such an environment in the classroom. Our new goal now is to adapt its ergonomics for use in ordinary classrooms with ordinary teachers. This text focuses in particular on the adaptations that need to be made to support the teacher in diagnosing the student's activity in such an environment.

Keywords: Virtual environment, spatial reasoning, spatial orientation, diagnostic, ordinary classes.

Dans les années 80, des travaux francophones (Berthelot et Salin, 1992, 1999 ; Brousseau, 1983) se sont intéressés à l'enseignement de l'espace à l'école primaire. Plus récemment les travaux de Marchand (2020) complètent et élargissent ces réflexions. Tous pointent la nécessité de considérer les connaissances spatiales dans l'enseignement car essentielles au sein des ambitions géométriques, mathématiques et scientifiques de l'école. Aujourd'hui, ces connaissances ne peuvent être dissociées des technologies disponibles dans le quotidien des élèves (jeux vidéo, GPS,...). Le projet SPAGEO¹ avait pour ambition de questionner l'enseignement du repérage dans le plan et dans l'espace en impliquant un environnement virtuel. Ainsi un environnement d'apprentissage conçu au service de la recherche dans le développement d'une ingénierie didactique a permis de tester une vingtaine de situations d'enseignement chez des élèves de 7 à 10 ans. Une nouvelle réflexion est maintenant menée pour adapter ce produit de la recherche aux besoins de la classe. L'environnement produit un grand nombre de données intéressantes pour le chercheur. Ce texte se focalise particulièrement sur le choix et la forme des données à mettre à disposition de l'enseignant·e et notamment comment ces données permettent de rendre compte synthétiquement de l'activité de l'élève. La présentation de notre réflexion s'exemplifiera sur deux tâches proposées dans l'environnement afin d'illustrer les choix spécifiques opérés.

I. LES OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Avant d'initier une réflexion autour des données qui doivent être mises à disposition de l'enseignant·e, il est important de définir les objectifs spécifiques qui peuvent être associés au repérage

* Université de Genève – Suisse – Sylvia.Coutat@unige.ch

** Université de Genève – Suisse – Jean-Luc.Dorier@unige.ch

*** Université de Genève – Suisse – Sabrina.Matri@unige.ch

¹ Acronyme pour SPatial Abilities and GEOMETRY financé par le Fonds National Suisse (Subside no 100019_188947 Sept 2000 – Aug 2024. <https://tecfa.unige.ch/tecfa/research/spageo/>).

dans le plan et dans l'espace. Pour cela nous nous appuyons sur des travaux de didactiques, mais aussi de psychologie cognitive.

1. *Connaissances spatiales*

En didactique des mathématiques, les connaissances spatiales sont définies par Berthelot et Salin (1992) comme les connaissances qui permettent d'anticiper et de contrôler les effets de ses actions sur l'espace. Ce contrôle passe, entre autres, par la reconnaissance ou la description de lieux ou déplacements (Berthelot et Salin, 1999). Marchand (2020) complète ces travaux en s'appuyant sur des travaux de Clements (1999) et ajoute la construction et la mobilisation d'images mentales dans la mise en relation de la position de différents objets de l'espace.

Pour décrire un chemin des repères sont mobilisés (Argaud et al., 1998). Par exemple, une description du chemin entre la boulangerie et l'école du village pourrait être : « quand je sors de la boulangerie, je tourne à droite puis je tourne dans la deuxième rue à gauche et l'école est sur ma droite. » Les différentes informations sont explicitées par rapport au point de vue de l'émetteur ou l'émettrice qui est au centre du repère. On parlera alors d'un repère subjectif. Il est aussi possible d'utiliser la description suivante : « en sortant de la boulangerie, prendre la direction du fleuriste, au carrefour de la poste, tourner vers l'église, l'école est à côté du parc. » Dans ce cas, les indications sont indépendantes du point de vue de l'auteur·e, elles utilisent des points de références intermédiaires (propre à chaque repère et utilisant les relations entre ces repères) pour définir des positions ou des directions. Dans ce cas, on parlera d'un repère objectif. Enfin il est possible d'indiquer « l'école est au 33 rue Jacques-Dalphin à Carouge. » Dans ce dernier cas, le repère est absolu, il utilise des repères définis comme les noms de rues et les numéros de façades qui sont indépendant des acteurs de la situation et qui restent stables, le changement des noms des rues restant exceptionnel (Charnay et Douaire, 2006).

Ces différents repérages sont travaillés dans les écoles primaires romandes² (CIIP, 2010) avec en premier lieu les repères subjectif et objectif « déterminer sa position ou celle d'un objet »³. Le repère absolu est introduit lors des deux dernières années de l'école primaire « Utilisation d'un système de repérage personnel (plan et espace) ou conventionnel (plan), pour mémoriser et communiquer des positions et des itinéraires. »⁴

2. *Habiletés spatiales*

Dans le cadre du projet SPAGEO, notre collaboration avec des psychologues cognitivistes spécialistes de l'espace a permis de compléter notre paradigme didactique en particulier pour ce qui concerne les représentations mentales. En effet, selon Tolman (1948) lorsqu'un individu explore un environnement, il se construit une représentation interne de l'espace qui se compose entre autre des relations entre les différents éléments de cet espace, ce qu'on appelle à la suite de cet auteur, une carte cognitive. Ce concept de carte cognitive est devenu une référence pour la compréhension de la mémoire spatiale des humains. Selon Golledge (1999) trois types de connaissances accompagnent cette représentation mentale de l'environnement : les connaissances des points de repères, les connaissances des itinéraires et les connaissances de la configuration de l'espace. Les connaissances des points de repères visent à identifier, reconnaître et distinguer des objets de l'environnement pour qu'ils deviennent des points de repères. Une fois ces points de repères identifiés comme tels, ils acquièrent une fonction localisatrice et directionnelle, fonctions essentielles pour le développement des

² La Romandie regroupe tous cantons ou parties de cantons suisses où l'on parle français.

³ <https://portail.ciip.ch/per/learning-objectives/36>

⁴ <https://portail.ciip.ch/per/learning-objectives/40>

connaissances d'itinéraire. En effet les itinéraires sont une succession ordonnée de lieux de décision, identifiables à l'aide de points de repère. Finalement, les connaissances de configuration permettent de situer mentalement les lieux les uns par rapport aux autres et de pouvoir improviser des itinéraires entre ces lieux (sans l'utilisation d'une carte physique par exemple).

Enfin, Chen et Stanney (2002) distinguent différents cadres de référence pour catégoriser les représentations mentales de l'espace. Le cadre de référence égocentré s'appuie sur les relations du sujet avec son environnement dans lequel le sujet est immergé. Dans un cadre de référence allocentré, le sujet est extérieur à l'environnement et a une perception globale de celui-ci (Pennel et al., 2001). Par exemple ce cadre de référence est adopté dans ce que l'on appelle couramment « adopter une vue d'oiseau ». Ces cadres de référence peuvent être associés à des représentations physiques de l'environnement comme une carte qui offre un cadre de référence allocentré d'une ville alors que la photo d'un lieu spécifique offre un cadre égocentré. Il est cependant possible de mobiliser un cadre de référence égocentré dans la vue carte, cela nécessite de se projeter mentalement dans l'environnement. De même il est possible de convoquer un cadre de référence allocentré à partir d'une photo d'un lieu, cela passe par une décentration pour s'appuyer sur une vue « vol d'oiseau » de l'environnement.

II. UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL SPÉCIFIQUE

De nos jours, le repérage dans le plan est largement supporté par les technologies autant dans notre quotidien avec les GPS que dans les loisirs et jeux numériques tels que Minecraft ou MarioKart. Un des objectifs du projet SPAGEO a été le développement d'un environnement virtuel pour soutenir l'enseignement des connaissances spatiales. Nous présentons brièvement cet environnement et quelques situations testées dans le cadre du projet. On peut voir aussi Frauchiger, Matri, Coutat et Dorier (2022).

1. *Une ville virtuelle*

SPAGEO est un environnement virtuel composé d'une ville virtuelle et de situations d'apprentissage (Matri, 2024). La ville virtuelle SPAGEO City⁵ est composée d'un centre-ville où les points de repères sont nombreux et variés, et d'un quartier résidentiel où les maisons sont toutes identiques (Annexe 3). Dans le centre-ville, un quartier commercial est composé de maisons vertes, un quartier d'affaires d'immeubles divers, une vieille ville de maisons en bois et maisons rouges, finalement divers locaux d'habitation avec des maisons rouges sont répartis en différents quartier (Diouf, 2021).

Deux vues permettent d'appréhender la ville. La vue première personne (Figure 1) favorise un cadre de référence égocentré. La vue carte (Figure 2) favorise, quant à elle, un cadre de référence allocentré. La vue carte peut être disponible conjointement à la vue 1^{re} personne via une feuille de papier. Il est aussi possible que la vue carte soit accessible uniquement dans l'application, ainsi soit la vue 1^{re} personne est affichée soit la vue carte. Dans ce dernier cas, l'élève est contraint·e de construire des images mentales des relations des différentes éléments de l'environnement pour mettre en relation les deux vues.

2. *Des situations d'enseignement et d'apprentissage*

En reprenant les travaux en didactique des mathématiques et ceux de psychologie sur le repérage spatial, trois connaissances spécifiques peuvent être travaillées dans deux grandes situations fondamentales : les connaissances des points de repères, les connaissances des itinéraires et les

⁵ <https://tecfa.unige.ch/tecfa/research/spageo/spageocity/demo/>

connaissances de configuration et ce, autour de situations impliquant un lieu ou un chemin⁶. Les chemins ou lieux définissent les deux situations fondamentales concernant le repérage dans l'espace se déclinent dans des situations de communication, reproduction ou reconnaissance. Le jeu sur les variables didactiques (spécificité du lieu, type de communication, lieu de changement de direction pour les chemins,...) permet de décliner un ensemble de situations visant les connaissances de points de repères ainsi qu'un ensemble de situations pour les connaissances d'itinéraire.

Dans le cas de situations de recherche de lieu, plusieurs configurations sont possibles. L'élève peut devoir retrouver (à partir d'une photo ou d'une description par exemple) un lieu singulier comme le musée (il n'existe qu'un seul musée dans la ville). D'autres lieux peuvent s'appuyer sur une combinaison points de repères comme la Figure 1 qui présente une maison en bois et une maison rouge.



Figure 1 – Un lieu non singulier

Lorsque le lieu est une combinaison de points de repères, il s'agit alors de les identifier et de les positionner les uns par rapport aux autres. Avec l'exemple de la Figure 1, la maison en bois est située sur la gauche de l'image et la maison rouge sur la droite. Le soleil donne une indication d'orientation (à peu près au sud).

Concernant la situation de reproduction d'un itinéraire, un chemin (Figure 2) est proposé et l'élève doit reproduire ce même chemin dans la ville, le point jaune indiquant le point de départ et le point vert le point d'arrivée.



Figure 2 – Support dans une tâche de reproduction de chemin

Là encore différents choix permettent de décliner cette situation fondamentale en différentes situations d'enseignement. Par exemple l'itinéraire peut être indiqué sur un plan papier (toujours à disposition de l'élève) ou dans l'environnement (l'écran affiche soit le plan soit la ville en vue

⁶ <https://view.genially.com/670787d655a97621a6865de9/presentation-spgeo-demo>

1^{re} personne) et doit être reproduit dans la vue 1^{re} personne. Le chemin peut à l'opposé être indiqué dans la vue 1^{re} personne (par ligne dessinée sur la route) et doit être dessiné sur la carte. Il peut être situé entièrement dans la zone résidentielle ou dans la zone centre-ville. Il est aussi possible que le chemin soit indiqué à l'aide d'un message (textuel ou schématique) ou à travers différents lieux à rejoindre (liste de courses).

Pour chacune de ces situations, l'application enregistre à chaque seconde un ensemble de données très variées (informations de position, d'orientation, de temps, de distance parcourue, de chemin parcouru, de numéro de tentative, de validité,...). Ces données étaient importantes pour le contexte initial de la recherche afin de reconstruire les actions des élèves. Cependant pour chaque analyse, un tri important puis une analyse de ces données ont été nécessaires, ce qui a pris beaucoup de temps et que les enseignant·es ne peuvent donc se permettre

De nombreuses situations d'enseignement découlant de différents choix didactiques ont été testées dans le cadre du projet. Nous nous concentrerons sur deux d'entre elles dans la suite de ce texte, une pour les lieux et une pour les chemins.

III. NOTRE PROBLÉMATIQUE

Les travaux d'analyse dans le cadre expérimental du projet SPAGEO (Bénard Linh Quang et al., 2023 ; Matri, 2024) ont montré que les connaissances spatiales des élèves suivis durant les trois années du projet ont progressé. Fort de ces résultats, l'étape suivante est de pouvoir accompagner au mieux l'intégration de SPAGEO dans la classe. Cela passe par une appropriation de l'environnement par l'enseignant·e mais aussi une adaptation de l'environnement aux pratiques des enseignant·es.

Dans leurs travaux, Abboud-Blanchard, Cazes et Vandebrouck (2013) montrent que lors de séances de classes utilisant les technologies numériques, les interventions des enseignant·es sont en majorité dirigées vers les élèves individuellement, les aides collectives étant plus restreintes voire absentes. Lorsque l'enseignant·e intervient face à un·e élève (ou à un petit groupe d'élèves) elle ou il commence par établir un diagnostic afin d'identifier dans quelle mesure l'élève est proche ou non de la réponse attendue, si des difficultés techniques ou mathématiques sont présentes. Selon Drijvers et al. (2010) cette première étape est rendue plus difficile lorsqu'une technologie numérique est au cœur de la tâche. Pourtant un diagnostic adéquat est un essentiel pour une interaction entre enseignant·e et élève réussie : « La conséquence d'un diagnostic inadéquat est que leur intervention se situe en dehors de la zone de développement proximal de l'élève (Vygotski, 1978), et peut entraver son travail au lieu de le soutenir. » (Abboud, 2024, p. 176). Dans le développement de SPAGEO pour la classe, nous devons donc proposer un outil capable d'accompagner les enseignant·es dans le diagnostic des élèves afin qu'ils produisent une remédiation au plus près de la ZPD de l'élève.

Cela nous amène à notre nouvelle question de recherche : comment accompagner l'enseignant·e dans le « diagnostic sur la réalisation des tâches par les élèves ? » (Abboud, p. 176), pendant la résolution de la tâche mais aussi après. Pour cela nous prenons appui sur les stratégies possibles des élèves pour mettre en évidence les données qui informent sur les connaissances attendues des élèves.

IV. COMMENT RENSEIGNER L'ENSEIGNANT·E

Les éléments mis à disposition de l'enseignant·e sous forme de rapport doivent lui permettre d'établir un diagnostic concernant les connaissances spatiales des élèves. Ces connaissances sont à la base des stratégies investies par les élèves. Il est donc essentiel de définir ces différentes stratégies ainsi que des indicateurs associés qui devront être rassemblées dans le rapport. Ensuite les erreurs possibles des élèves doivent pouvoir être indiquées dans le rapport. Ainsi l'analyse de la stratégie visée et les

erreurs possibles sont la base de notre réflexion sur les données qui doivent être mise à disposition de l'enseignant·e. Comme les connaissances impliquées dans les situations de lieux sont différentes de celles impliquées dans les situations de reproduction de chemin, nous développons un exemple de chaque tâche dans la suite.

1. *Recherche de lieu*

Intéressons-nous dans un premier temps à une tâche pour laquelle l'élève doit retrouver un lieu spécifique dans la ville. La photo de ce lieu est mise à disposition de l'élève (via une feuille ou projetée sur un écran). Comme présenté précédemment, plusieurs cas sont possibles.

Prenons l'exemple d'un lieu qui n'est pas singulier (Figure 1). Dans ce cas, il est peu probable que l'élève localise le bon lieu immédiatement car plusieurs configurations de maisons rouges existent dans la ville. Cependant, la configuration de maisons en bois accolées à des maisons rouges restreint la recherche à un petit quartier de la ville. Une fois ce quartier délimité, il est alors nécessaire d'affiner l'étude des points de repères disponibles. Parmi les points de repères visibles sur la photo, la bouche d'incendie (sur la gauche de la photo) et le panneau stop (sur la droite de la photo) peuvent servir à distinguer ce lieu d'un autre lieu. La relation entre les deux maisons est aussi un point de repère du lieu (maison en bois sur la gauche de la photo et maison rouge sur la droite de la photo) doivent être utilisées pour s'assurer que le lieu correspond effectivement au lieu cherché. Enfin le soleil indique la direction (à peu près le Sud). Concernant le lieu présenté sur la Figure 1, d'autres configurations proches (présentées en annexes 1 et 2) sont disponibles dans la ville. Pour distinguer ces différentes configurations il faut s'appuyer sur le soleil (point de repère global), les éléments environnants (locaux rouges ou verts, le parc,...) ou des points de repères propres aux maisons (fleurs, les poubelles), sachant que pour les trois configurations présentées, toutes possèdent un panneau stop sur la droite.

Au cours de la recherche du lieu par l'élève, différentes informations peuvent être données à l'enseignant·e, mais certaines informations ne seront accessibles qu'une fois la recherche terminée.

Pendant la recherche du lieu par l'élève des informations sont visibles sur l'écran. La première information que l'enseignant·e peut utiliser est la vue 1^{re} personne de l'élève dans la ville, qui fournit des informations sur sa position dans la ville. Cela lui indique si l'élève a su prélever les points de repères de couleurs des maisons pour retreindre sa recherche au bon quartier. Par exemple un élève qui est dans le quartier résidentiel (maisons blanches) ou dans le quartier commercial (maisons vertes) est en dehors du quartier cible. Ensuite, le temps de recherche et la distance parcourue apportent des indices sur la recherche de l'élève. Le nombre de retours au point de départ indique quand l'élève s'est senti·e perdu·e. La Figure 3-A donne un aperçu de l'écran de l'élève avec les différentes informations disponibles.

Lorsque l'enseignant·e reçoit le rapport sur l'élève, il doit pouvoir identifier dans quelle mesure l'élève a effectivement mobilisé certaines connaissances (points de repère, relations entre ces points de repères). La première information est de savoir si l'élève a effectivement trouvé le lieu recherché. Pour cela le rapport donne la photo du lieu validé par l'élève et indique si le lieu est le bon ou non (cela économise l'analyse de la validité du lieu pour l'enseignant·e). Les informations de temps et de distance renseignent l'enseignant·e sur la capacité de l'élève à prendre en compte les points de repère dans sa recherche. L'indication de la longueur du chemin le plus court entre le point de départ et le lieu à trouver donne une indication relativement à la stratégie optimale. La Figure 3-B donne un aperçu du rapport qui pourrait être proposé à l'enseignant·e.



Figure 3 – Informations pour l'enseignant·e pour une tâche de recherche de lieu

Il pourrait être envisageable de mettre à disposition de l'enseignant·e un rapport annexe qui utilise la carte et y indique le point de départ, le lieu cherché et le chemin parcouru par l'élève. Ce rapport annexe pourrait être utilisé par l'enseignant·e pour compléter son diagnostic dans le cas où des élèves sont très loin du lieu cherché (un autre quartier) ou ont parcouru une longue distance pour trouver le bon lieu.

2. *Reproduction d'un chemin dans la ville virtuelle*

Considérons maintenant une tâche de reproduction d'itinéraires. Comme présenté précédemment, de nombreuses situations sont envisageables (le format de l'indication du chemin, le lieu du chemin,...). Prenons comme exemple un chemin qui est indiqué dans l'environnement (sur l'écran) par la carte et qui doit être reproduit dans la ville en vue 1^{re} personne. Pour rappel, les deux vues ne sont pas accessibles simultanément. Cela implique que l'élève doit prélever des informations de la vue carte pour les transférer dans la vue 1^{re} personne. Tous les points de repères ne sont pas présents sur la carte (passages-piétons oui mais signalisation non). Il s'agit alors d'utiliser les points de repères présents pour identifier les lieux de changement de direction et les directions à prendre. En ce qui concerne les directions, l'élève peut utiliser un repère objectif (vers le lac, la boulangerie). Elle ou il peut aussi utiliser un repère subjectif (à ma droite, à ma gauche) mais dans ce cas elle ou il doit utiliser un cadre de référence égocentré associé à la vue carte. Le haut de la carte est orienté vers le nord. Cela implique que dans le cas où le chemin se dirige vers le sud (vers le bas de la carte), lorsque que le tracé sur la carte tourne vers la gauche de la carte (l'ouest), dans la vue 1^{re} personne l'élève doit tourner vers la droite (si on se dirige vers le sud, l'ouest est sur notre droite).

Tout comme la recherche de lieux, lors de la reproduction d'itinéraires, différentes informations peuvent être mises à disposition de l'enseignant·e, pendant la réalisation ainsi que dans le rapport final de production de l'élève.

Pendant la reproduction du chemin par l'élève, l'enseignant·e visualise l'écran et identifie la position de l'élève dans la ville en vue 1^{re} personne. S'il connaît le chemin, il peut savoir si l'élève est effectivement sur le bon chemin ou non. Des informations concernant le temps passé en vue carte, en vue 1^{re} personne ainsi que le nombre de bascules renseignent sur l'étude de la carte et la mise en relation entre les deux vues. Considérons un·e élève qui passe 50 secondes sur la vue carte, puis 1 min 30 sur la vue 1^{re} personne avec aucune bascule et qui reproduit fidèlement le chemin. Cet·te élève est capable de sélectionner et mémoriser les informations dont elle ou il a besoin (lieux de changement de direction et direction) et de les réinvestir dans la vue 1^{re} personne. Dans le rapport disponible pour l'enseignant·e, ces informations sont complétées par le chemin indiqué ainsi que le chemin produit par l'élève (Figure 4).

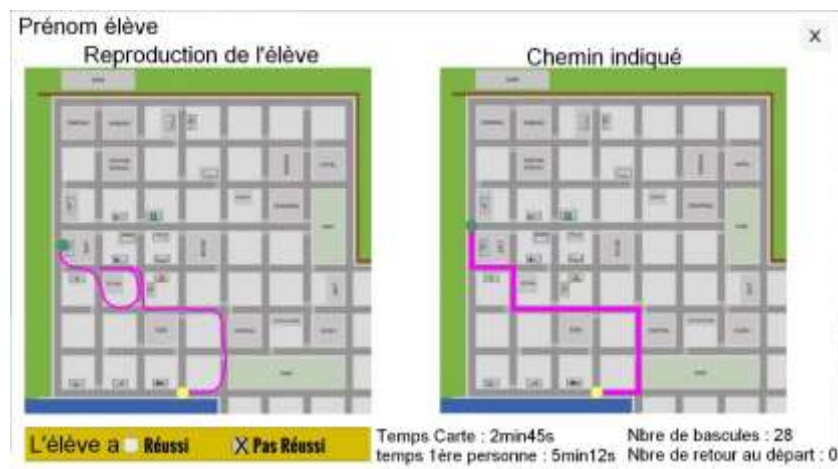


Figure 4 – Rapport de l'enseignant pour une situation de reproduction de chemin

Il est important de donner le chemin effectivement réalisé par l'élève pour que l'enseignant·e puisse visualiser les erreurs produites par l'élève et affiner son diagnostic. Dans l'exemple de la Figure 4, l'élève a réalisé le chemin qui est invalidé car elle ou il a fait un détour. Cependant ce détour montre que l'élève a identifié une erreur (un lieu qui ne convient pas) et a su se corriger (revenir au dernier lieu valide et continuer le chemin) pour finalement atteindre l'arrivée. Dans le cas où un·e élève tourne à droite alors qu'il fallait tourner à gauche, l'enseignant·e pourra distinguer le cas où l'orientation de la carte (haut vers le nord) est la même que l'orientation de la vue 1^{re} personne (face au nord) ou non. En effet, dans le cas où les vues ont des orientations différentes, cela peut indiquer que l'élève a des difficultés à adapter un repère subjectif, associé à un cadre de référence égocentré, à partir d'une carte.

V. CONCLUSION

Le projet interdisciplinaire SPAGEO a permis le développement d'un environnement virtuel associé à différentes situations d'apprentissage. Cet environnement initialement développé pour la recherche doit maintenant s'adapter à un contexte de classe ordinaire. Cette adaptation passe, entre autres, par une mise à disposition pour l'enseignant·e, d'informations relatives à l'activité de l'élève.

Dans ce texte nous avons présenté en quoi l'analyse des stratégies oriente les choix qui doivent être mis à disposition des enseignant·es pour leur permettre d'établir un diagnostic au plus près des connaissances des élèves. Ces analyses étant propres à la tâche proposée, les informations mises à disposition des enseignant·es (sur l'écran pendant la recherche ou dans le rapport) sont ainsi propres à chaque tâche.

Cette nouvelle étape de notre recherche doit aussi prendre en compte les diverses contraintes de l'enseignant·e. Pour cela une collaboration avec les enseignant·es pour tester les situations ainsi que les données mises à disposition est essentielle. Cela permettra aussi d'initier la forme et le contenu des formations qui seront proposées aux enseignant·es pour un accompagnement dans la prise en main et l'intégration de SPAGEO dans les classes.

RÉFÉRENCES

- Abboud, M. (2024). L'enseignant de mathématiques aux temps des technologies numériques : Un cadre théorique adaptant la double approche pour étudier son activité. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, (Numéro spécial), 165-188. <https://doi.org/10.46298/rdm.1291>
- Abboud-Blanchard, M., Cazes, C. et Vandebrouck, F. (2013). Théorie de l'activité et double approche : genèses d'usage de bases d'exercices en ligne. Dans J.-B. Lagrange (dir.), *Les technologies numériques pour l'enseignement : usages dispositifs et genèses* (p. 37-54). Octarès.
- Argaud, H.-C., Maillard, M., Castry, N., Valesa, M.-H., Porte, E., Charras, M. et Castry, A. (1998). Placer des jetons. *Grand N*, (63), 9-23.
- Bénard Linh Quang, S., Berney, S., Maurer, R. et Bétrancourt, M. (2023, juin 26). *Utilisation d'un environnement virtuel en classe, quels effets sur les représentations spatiales des élèves de la 4P à la 6P (7-11 ans) ?* [Communication]. Colloque Piaget-RIPSYDEVE, Genève, Suisse.
- Berthelot, R. et Salin, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Université de Bordeaux.
- Berthelot, R. et Salin, M.-H. (1999). L'enseignement de l'espace à l'école primaire. *Grand N*, (65), 37-59.
- Brousseau, G. (1983). Étude de questions d'enseignement. Un exemple : la géométrie. Dans *Actes du Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble* (vol. 45, p. 183-226).
- Charnay, R. et Douaire, J. (2006). *Apprentissages géométriques et résolution de problèmes, au cycle 3*. Hatier.
- Chen, J. et Stanney, K. (2002). A theoretical model of wayfinding in a virtual environment: Proposed strategies for navigational aiding. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(6), 671-685.
- Conférence intercantonale instruction publique et culture Suisse romande et Tessin [CIIP]. (2010). *Plan d'études romand*. <http://www.plandetudes.ch>
- Diouf, F.-M. (2021). *Development of an application to compare routes in a virtual environment. Illustrating routes as sequence of images* [Mémoire de master, Université de Genève]. <https://tecfa.unige.ch/tecfa/maltt/memoire/Diouf2021.pdf>
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H. et Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool : Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics Education*, 75, 213-234. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9254-5>
- Frauchiger, T., Matri, S., Coutat, S. et Dorier, J.-L. (2022, 12-16 décembre). *Typologie de messages écrits pour communiquer un trajet dans une ville virtuelle* [Communication]. Colloque Espace mathématique francophone (EMF2022), Cotonou, Bénin.
- Golledge, R. G. (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. JHU press.
- Marchand, P. (2020). Quelques assises pour valoriser le développement des connaissances spatiales à l'école primaire. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 40(2), 135-178.
- Matri, S. (2024). *Enseigner et apprendre le repérage dans l'espace à l'aide d'une ville virtuelle pour des élèves de 7 à 10 ans à Genève* [Thèse de doctorat, Université de Genève]. HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-04743115>

Pennel, I., Coello, Y. et Orliaguet, J.-P. (2001). Les relations perception-actions face aux nouvelles technologies : Adaptation et apprentissage en situation de télémanipulation. Dans Y. Coello et J. Honoré (dir.), *Percevoir, s'orienter et agir dans l'espace : approche pluridisciplinaire des relations perception-action*. Solal.

Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208.
<https://doi.org/10.1037/h0061626>

ANNEXE 1



ANNEXE 2



ANNEXE 3

