



Projet LaboRA

Clémence Rougeot, doctorante Foxar clemence.rougeot@foxar.fr

Jérémy Castéra, MCF Labo ADEF, Aix-Marseille Université jeremy.castera@univ-amu.fr



Contexte du projet LaboRA

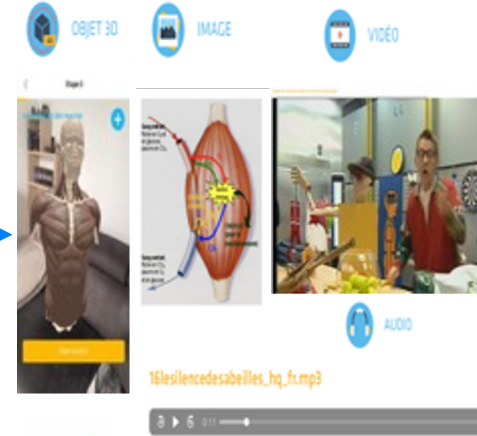


<https://foxar.fr/education>


Back-office
Espace concepteur pour la création des modules pédagogiques (enseignants, formateurs etc.)



Application mobile téléchargeable sur (iOS et Android) gratuitement



Scénariser des activités (création des étapes du module/ressources)

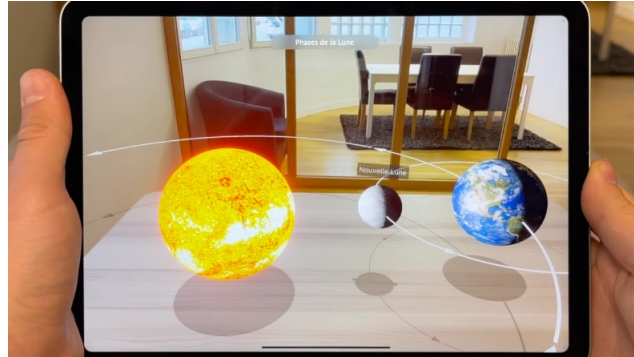
Publier le module



<https://artefac.univ-amu.fr/>

Objectif principal du projet LaboRA

Tester l'efficacité de dispositifs en Réalité Augmentée sur les compétences en matière de raisonnement scientifique des élèves de cycle 3.



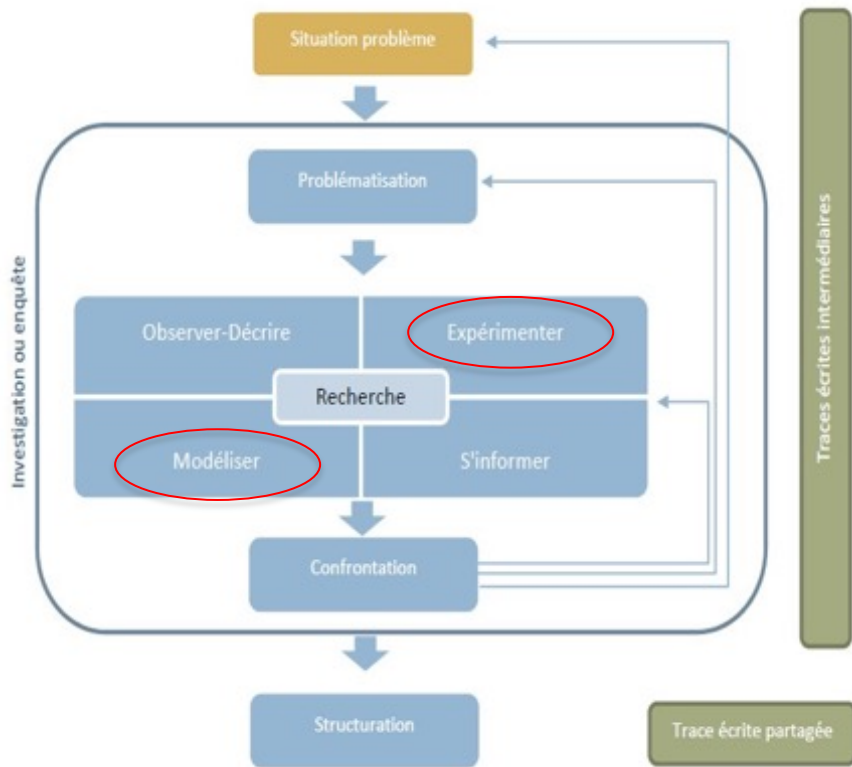
- **Contexte écologique**
- **Dans le cadre des programmes de l'Education Nationale**



Première partie:

Cadre de l'étude et définitions des concepts

La démarche d'investigation et contexte scolaire



| Etapes pédagogiques | Mots clés | Posture enseignant |
|----------------------------------|--|--|
| Etape 1 : une situation problème | Situation déclenchante Interroger une fonction, une structure, une procédure | Propose une situation déclenchante en lien avec un problème scientifique. |
| Etape 2 : une problématisation | Conceptions initiales Confrontations Hypothèses Conjectures Verbaliser Planifier Questionner Relier Anticiper Cahier des charges Contrat | <i>Cette étape, la plus abstraite de la démarche, réclame un étayage significatif, surtout en début de cycle.</i> Distribue la parole, structure le questionnement, fait préciser le vocabulaire. Fait préciser les idées, organise la confrontation des représentations initiales et/ou des savoirs antérieurs. aide à la formulation du problème scientifique puis des hypothèses. Organise, après un temps de travail suffisant en autonomie, la confrontation des idées. Valide la (les) modalité(s) d'investigation retenue(s). |
| Etape 3 : une recherche | Expérimenter Modéliser S'informer Consulter Tâtonner Comparer Mettre à l'épreuve (éprouver) Utiliser un langage scientifique | Réunit les conditions matérielles pour permettre la mise en œuvre de la (des) modalité(s) d'investigation retenue(s). |
| Etape 4 : un échange argumenté | Mettre en commun Conclure provisoirement Comparer Distancier Etape réflexive Interpréter | Encourage et relance la démarche d'investigation. Organise les interactions verbales et la réflexivité. Veille à la rigueur des interprétations (renvoie aux faits, résultats, mesures... issues des recherches effectuées). |
| Etape 5 : une structuration | Reformuler Rendre compte (langage scientifique) Confrontation au savoir établi Valider Répondre Mettre en forme Activer un lexique | Aide à la mise en forme des résultats. Aide au choix du support et à l'élaboration de la synthèse. Assure la cohérence logique de la trace écrite collective. |
| Etape 6 : une mobilisation | Communiquer Agir Transférer | Propose une situation de prolongement |

La démarche d'investigation et contexte scolaire

Un exemple

1/Situation problème

Comment faire germer une graine ?

2/Problématisation

Formulation d'hypothèses: « besoin de lumière pour germer », « besoin de terre », « besoin de chaleur », « plusieurs graines dans le même trou = plante plus grosse », etc.

3/Une recherche

Réalisation des expériences en fonction des hypothèses formulées



La démarche d'investigation et contexte scolaire

Un exemple (modalité expérimenter)

4/Un échange argumenté

Organisation des échanges avec faits recherchés / faits découverts/ confrontation avec idées de départ et observation: *Germination même sans lumière, pas de germination températures basses, germination sans « sol », besoin d'eau...*

5/ Une structuration

Aider les élèves à conclure sur les besoins pour la germination

Structurer la trace écrite...

6/Une mobilisation

Par exemple, ouverture sur les besoins pour la croissance de la plante

La modélisation dans la démarche d'investigation

Situation problème : Comment expliquer l'alternance du jour et de la nuit ? (cycle 3)

Matériel pour chaque groupe :

~ une source de lumière : lampe de poche ou ampoule montée sur un boîtier électrique représentant le Soleil

~ une boule de polystyrène (ou une balle de ping-pong) fixée sur un axe (brochette en bois) représentant la Terre et ses pôles

~ une épingle, plantée dans la boule représentant la Terre, figurant l'enfant

Objectif:

~ Savoir que la Terre tourne sur elle-même

Lexique :

~ Rotation



La modélisation dans la démarche d'investigation

Possibles utilisations des modèles pour l'enseignement des sciences (Angeli et al., 2016; Oh & Oh, 2011; Van Joolingen, 2004, etc.)

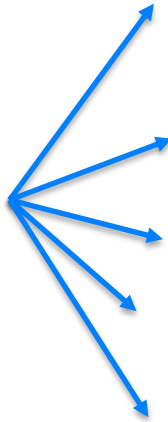
En classe utilisation du modèle selon deux approches (sous divisions possibles):

- ***Expressive/Inquiry modelling*** (création de leur propre modèle afin d'expliquer certains phénomènes, voire faire des prédictions)
- ***Exploratory modelling*** (explorer le modèle déjà construit, changer des paramètres et observer les effets)
 - Black-box (observation simple de liens causaux entre variables)
 - Glass-box (illustrations supplémentaires des liens entre les variables, e.g. sous forme de diagramme, figures...)

Liens entre DI et raisonnement scientifique

Le raisonnement scientifique vu par les sciences de l'éducation, l'exemple de l'étude TIMSS (grade 4 & 8 : 9-10 ans et 13-14 ans)

On retrouve ici les différentes étapes de la démarche d'investigation



| | |
|-------------------------|---|
| Predict | Formulate questions that can be answered by investigation and predict results of an investigation given information about the design; use scientific evidence and conceptual understanding to make predictions about the effects of changes in biological or physical conditions or about the outcome of a dynamic situation; and formulate testable assumptions based on conceptual understanding and knowledge from experience, observation, and/or analysis of scientific information. |
| Design | Develop models; plan investigations or procedures appropriate for answering scientific questions or testing hypotheses; describe or recognize the characteristics of well-designed investigations in terms of variables to be measured and controlled and cause-and-effect relationships; and design a plan that applies scientific principles and appropriate technologies to solve a problem. |
| Evaluate | Evaluate alternative explanations; weigh advantages and disadvantages to make decisions about alternative processes and materials; evaluate models in terms of their merits and limitations; evaluate results of investigations with respect to sufficiency of data to support conclusions; and evaluate design plans in terms of criteria for success and constraints. |
| Draw Conclusions | Make valid inferences on the basis of observations, evidence, and/or understanding of science concepts; and draw appropriate conclusions that address questions or hypotheses, and demonstrate understanding of cause and effect. |
| Analyze | Identify the elements of a scientific problem and use relevant information, concepts, relationships, and data patterns to answer questions and solve problems. |
| Synthesize | Answer questions that require consideration of a number of different factors or related concepts. |
| Generalize | Make general conclusions that go beyond the experimental or given conditions; apply conclusions to new situations. |
| Justify | Use evidence and science understanding to support the reasonableness of explanations, solutions to problems, and conclusions from investigations. |

Liens entre DI et raisonnement scientifique

1

Mathis a planté une fleur dans un pot avec de la terre et assez d'engrais.

Mathis est parti en voyage et a laissé la plante dans une pièce sombre. Il savait que la pièce ne serait ni trop chaude ni trop froide. Pourtant, quand il est revenu deux semaines plus tard, la plante était presque morte.

Donne deux raisons qui expliquent pourquoi la plante était presque morte.

1.

2.

| | |
|--------------------|---|
| SE06_04 | France 48 % - Europe 68 % - International 66 % |
| Domaine de contenu | Sciences de la Vie |
| Domaine cognitif | Raisonner |
| Description | Lister deux raisons plausibles pour lesquelles une plante est en train de mourir (manque de lumière (ou de soleil) ; manque d'eau). |

Est-il possible d'évaluer le raisonnement scientifique indépendamment des connaissances scientifiques?

<https://www.education.gouv.fr/timss-evaluer-les-competences-des-eleves-de-cm1-et-de-4e-en-mathematiques-et-en-science-308600>

Liens entre DI et raisonnement scientifique

| What should Mr. Miller do to find out if the position of the tail wing is important or not for the fuel consumption? | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| | Do | Don't do |
| 1. Mr. Miller should build a few planes and see how much fuel they consume. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Mr. Miller should build two planes: one with the tail wing high and one with it low. They must otherwise be identical. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Mr. Miller should build two different planes, each with the tail wing in a different position. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Which one is the best answer? | No. _____ | |

The Science-P Reasoning Inventory (SPR-I): measuring emerging scientific-reasoning skills in primary school (Germany)

Est-ce adapté à des élèves de cycle 3?

Figure 1. Sample item (experimentation). Answer options: 1 = naïve (unsystematic experimentation); 3 = intermediate (contrastive experiment without explicit experimental control); 2 = advanced (controlled experiment).

Liens NOS (nature of science) et raisonnement scientifique

Scientific Question Categories

SCIENTIFIC COMPETENCIES

Explain phenomena scientifically to recognise, offer and evaluate explanations for a range of natural and technological phenomena.

Evaluate and design scientific enquiry to describe and appraise scientific investigations and propose ways of addressing questions scientifically.

Interpret data and evidence scientifically to analyse and evaluate data, claims and arguments in a variety of representations and draw appropriate scientific conclusions.



Age: 15 ans
(OCDE, 2018)

KNOWLEDGE CATEGORIES

Content knowledge refers to the knowledge of theories, explanatory ideas, information and facts

Procedural knowledge refers to an understanding of how such knowledge has been derived, the knowledge about the concepts and procedures that are essential for scientific enquiry, and that underpin the collection, analysis and interpretation of scientific data.

Epistemic knowledge refers to the nature of that knowledge, an understanding of the nature and origin of knowledge in science, and reflects students' capacity to think and engage in reasoned discourse as scientists do. Epistemic knowledge is required to understand the distinction between observations, facts, hypotheses, models and theories, but also to understand why certain procedures, such as experiments, are central to establishing knowledge in science.

CONTENT AREAS

Knowledge can also be classified according to the major scientific fields to which it pertains: **physical systems**, **living systems**, and **earth and space systems**.

CONTEXT OF ASSESSMENT ITEMS

Three context categories identify the broad areas of life in which the test problems may arise: "**personal**", which are contexts related to students' and families' daily lives; "**local/national**", which are contexts related to the community in which students live; and "**global**", which are contexts defined by life across the world.

Liens NOS (Nature Of Science) et raisonnement scientifique

Concept présent dans la littérature la « NOS » (McComas, et al., 1998; Chen, 2006; Sumranwanich & Yuenyong, 2014).

- 1. *Tentativeness of scientific knowledge*** : all scientific knowledge is subject to change.
- 2. *Nature of observation***: Observations may be affected by the observers' anticipation and preconceptions, i.e., observations are theory laden.
- 3. *Scientific methods***: There is no universal scientific method. Scientists apply various methods in doing research.
- 4. *Hypotheses, laws, and theories***. A hypothesis is generally used to represent an immature theory, a speculative law, or a prediction of experimental results (McComas, 1996).
- 5. *Imagination*** : Imagination is a source of innovation. Scientists use imagination, along with logic and prior knowledge, to generate new scientific knowledge.
- 6. *Validation of scientific knowledge***.: This issue focuses on how a theory is accepted by the science community.
- 7. *Objectivity and subjectivity in science***: Scientific knowledge is empirically based. Scientists try to be open-minded and apply mechanisms such as peer review and data triangulation to improve objectivity. On the other hand, personal beliefs, values, intuition, judgment, creativity, opportunity, and psychology all play a role in scientific activities (social construct)

Liens NOS (Nature Of Science) et raisonnement scientifique

Item 3

Andrea, Paula and Jana are thinking about what a scientist is.



Jana says: "My Daddy tests different kinds of rubber for winter tires to find out which ones slip the least."



Paula says: "My Daddy uses a stopwatch to time how long the cars with winter tires take to go from 0 to 100km/h."



Andrea says: My Daddy works in a big company and tests winter tires there, to make sure there are no holes in them."

Which Daddy is a scientist?
Put a cross next to the best answer!

Brief description of the scientific reasoning items.

| Item | Response format | Component | Aspect |
|------|-----------------|-----------|--|
| 1 | FC | 1 | Understanding of the concept "hypothesis" |
| 2 | MC | 1 | Understanding of the concept "theory" |
| 3 | MC | 1 | Understanding of the goals of science |
| 4 | FC | 1 | Understanding of the goals of experiments |
| 5 | MC | 1 | Understanding of the fallibility of scientists and the tentative character of science |
| 6 | MC | 2 | Understanding of alternative interpretative frameworks |
| 7 | MC | 2 | Understanding of alternative interpretative frameworks |
| 8 | MC | 2 | Understanding of alternative interpretative frameworks |
| 9 | MC | 3 | Understanding of the control of variables strategy |
| 10 | Yes/No | 3 | Understanding of the variation of the focal variable dimension |
| 11 | CR | 3 | Explanation for the necessity for the variation of the focal variable dimension |
| 12 | MC | 3 | Understanding of the variation of the focal variable dimension |
| 13 | MC | 3 | Evaluation of a simple inconclusive test |
| 14 | MC | 3 | Choice of a conclusive test |
| 15 | Yes/No | 3 | Understanding of the baseline in the experimental design |
| 16 | CR | 3 | Explanation for the necessity of consideration of the baseline in the experimental design |
| 17 | MC | 4 | Understanding of the interpretation of covariation data (inconsistent with prior beliefs) |
| 18 | MC | 4 | Understanding of the interpretation of covariation data (artificial context, no prior beliefs) |
| 19 | Yes/No | 4 | Understanding of the interpretation of data represented in graphs |
| 20 | FC | 4 | Understanding of the interpretation of data represented in tables |

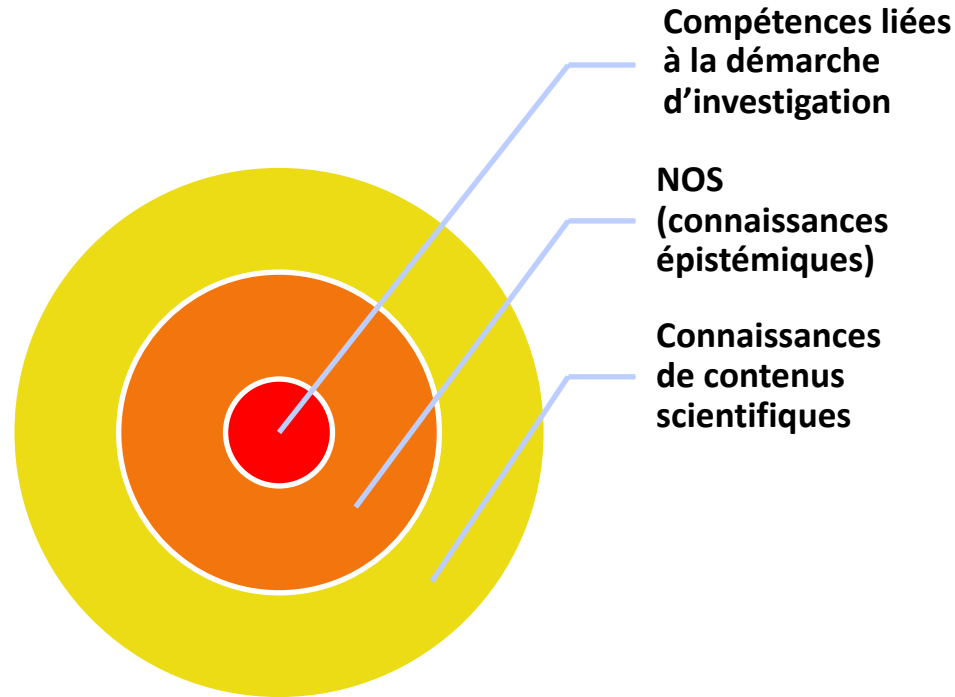
Note: Response format: FC – Forced choice; MC – Multiple choice; CR – Constructed response; Component: 1 = understanding the nature of science; 2 = understanding theories; 3 = designing experiments; 4 = interpreting data.

(Mayer et al., 2014)

Conclusion: dimensions à prendre en compte pour la mesure du raisonnement scientifique

- Compétences liées à la démarche d'investigation (formuler des hypothèses, mettre en place une expérimentation, analyser/interpréter des données, synthétiser, *etc.*) (Mayer et al., 2014; OCDE, 2018; TIMSS, 2018; Osterhaus et al., 2020, *etc.*)
- Les connaissances épistémiques (NOS) sont des composantes du raisonnement scientifique (Mayer, 2014; OCDE, 2018; Osterhaus et al., 2020; *etc.*)
- Les connaissances des contenus scientifiques (en physique, biologie, chimie, *etc.*) sont fortement liées au raisonnement scientifique (Bullock & Ziegler, 1999; Chen & Klahr, 1999; Osterhaus, 2017, *etc.*).

Conclusion: dimensions à prendre en compte dans la mesure du raisonnement scientifique?



Bibliographie 1^{ère} partie

- Angeli, C., Valanides, N., Polemitou, E., & Fraggoulidou, E. (2016). An interaction effect between young children's field dependence-independence and order of learning with glass-box and black-box simulations: Evidence for the malleability of cognitive style in computer-supported learning. *Computers in Human Behavior*, 61, 569-583.
- Bullock, M., & Ziegler, A. (1999). Scientific reasoning: Developmental and individual differences. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3 to 12: Findings from the Munich Longitudinal Study* (pp. 38–54). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Chen, S. (2006). Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education*, 90(5), 803-819.
- Chen, Z., & Klahr, D. All other things being equal: Children's acquisition of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
- Mayer, D., Sodian, B., Koerber, S., & Schwippert, K. (2014). Scientific reasoning in elementary school children: Assessment and relations with cognitive abilities. *Learning and instruction*, 29, 43-55.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In *The nature of science in science education* (pp. 3-39). Springer.
- Mullis, I. V., & Martin, M. O. (2017). *TIMSS 2019 Assessment Frameworks*. ERIC.
- OCDE. (2019). *PISA 2018 Science Framework*. In *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. Éditions OCDE.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Osterhaus, C., Koerber, S., & Sodian, B. (2017). Scientific thinking in elementary school: children's social cognition and their epistemological understanding promote experimentation skills. *Developmental psychology*, 53(3), 450.
- Osterhaus, C., Koerber, S., & Sodian, B. (2020). The Science-P Reasoning Inventory (SPR-I): measuring emerging scientific-reasoning skills in primary school. *International Journal of Science Education*, 42(7), 1087-1107.
- Sumranwanich, W., & Yuenyong, C. (2014). Graduate students' concepts of nature of science (NOS) and attitudes toward teaching NOS. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 2443-2452.
- van Joolingen, W. (2004, August). Roles of modeling in inquiry learning. In *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004. Proceedings*. (pp. 1096-1097). IEEE.

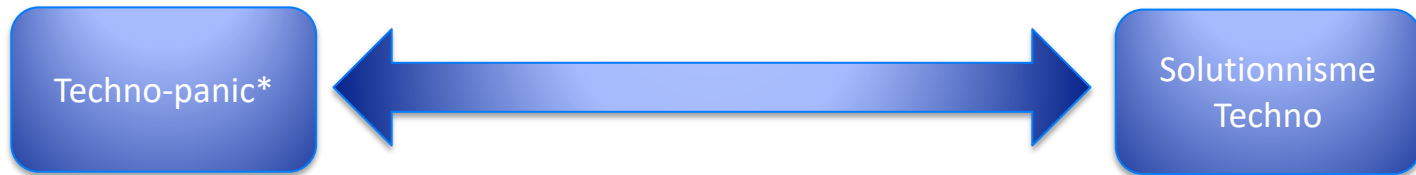


Deuxième partie:

Expérimentation, méthode et déroulement

Education et nouvelles technologies

- Globalement les technologies mobiles pour l'apprentissage ont **un effet positif**. Il devient possible d'apprendre partout, à tout moment. Elles permettent aussi des micro-apprentissages. Une question essentielle : **préciser les conditions de leur efficacité** pour mettre ces technologies au service de l'éducation (Mayer, 2020).
- Nécessité de tester les ressources selon **chaque composante de l'apprentissage** (motivation, engagement, compréhension, développement d'aptitudes...)



* Orben, 2020 (« The Sisyphean Cycle of Technology Panics »)

La Réalité Augmentée : quels avantages ?

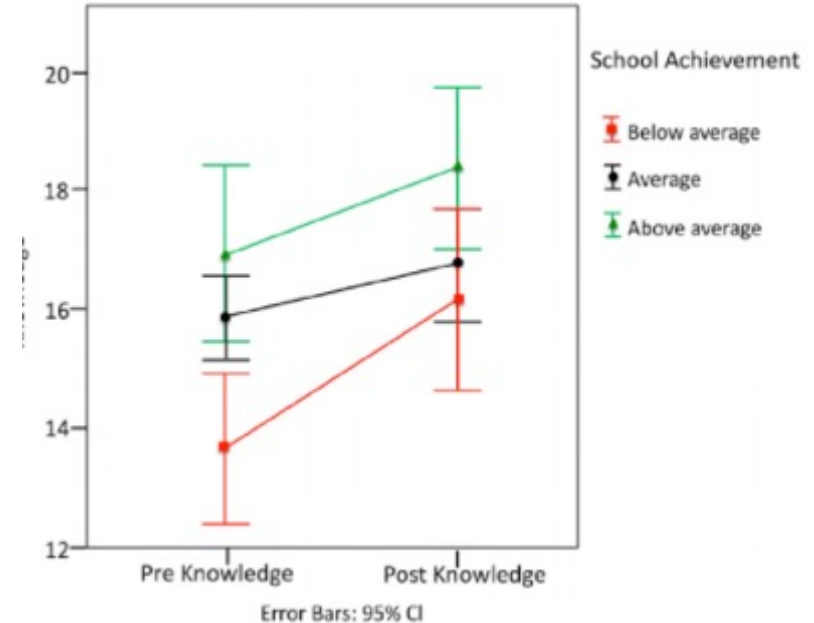
- Ressource vivante. Ancrage dans l'environnement réel et lien avec celui-ci, spatialisation de l'information (Cai et al., 2017).
- Animations 3D interactives déjà utilisées dans les classes pour la compréhension de phénomènes physiques complexes en sciences (Chiu & Linn 2014 ; Höffler & Leutner 2017).
- Accroît **la motivation et l'engagement des apprenants** (*en dehors de ces deux aspects, quelle est sa plus-value au niveau de la compréhension elle-même ?*) (Pedra, Mayer, Albertin, 2015).
- Meilleure acceptabilité (comparativement à la RV).

La Réalité Augmentée : quels avantages ?

Son potentiel : **lisser les différences interindividuelles des apprenants** : un bénéfice plus grand chez les apprenants défavorisés :

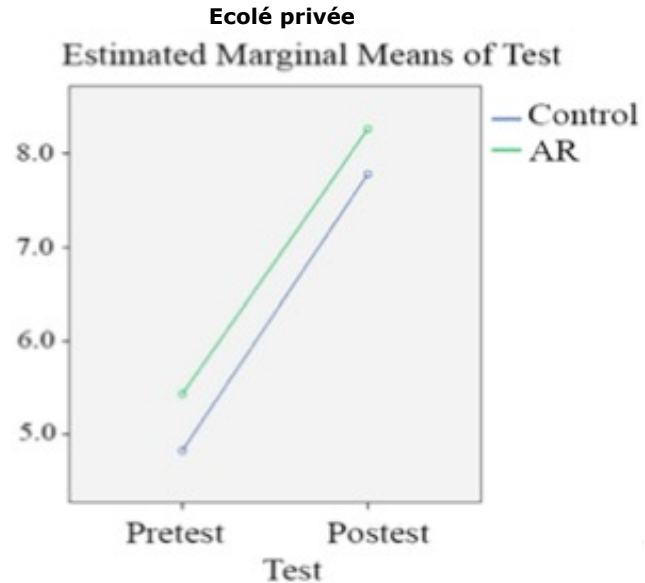
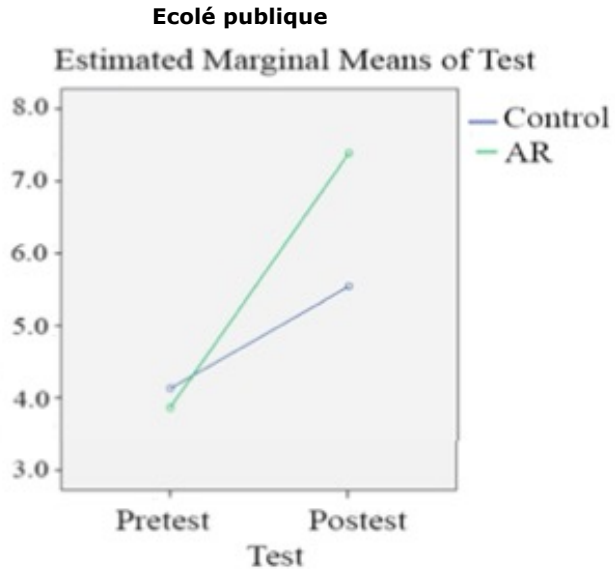
Dont la moyenne scolaire est en dessous de la moyenne globale de la classe (Salmi et al., 2017).

Dont les aptitudes spatiales sont moins développées (Lee & Wong 2014 ; Höffler & Leutner, 2011) Hypothèse de la compensation.



La Réalité Augmentée : quels avantages ?

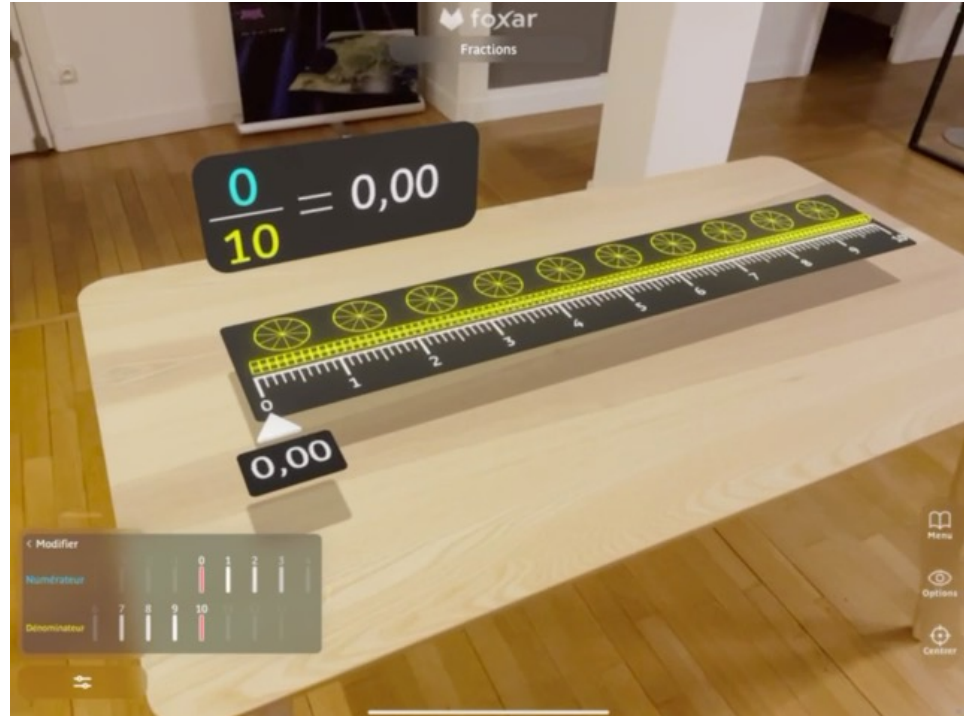
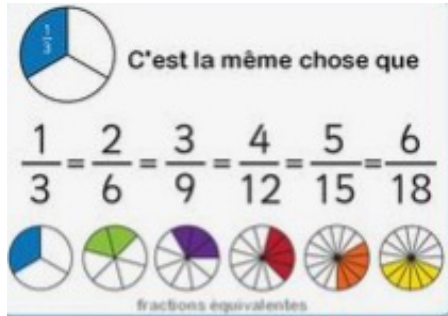
Issus d'une école publique comparativement à une école privée (Ibáñez et al., 2020).



Démo de la bibliothèque Foxar

Manipuler et comparer les formats de présentations :

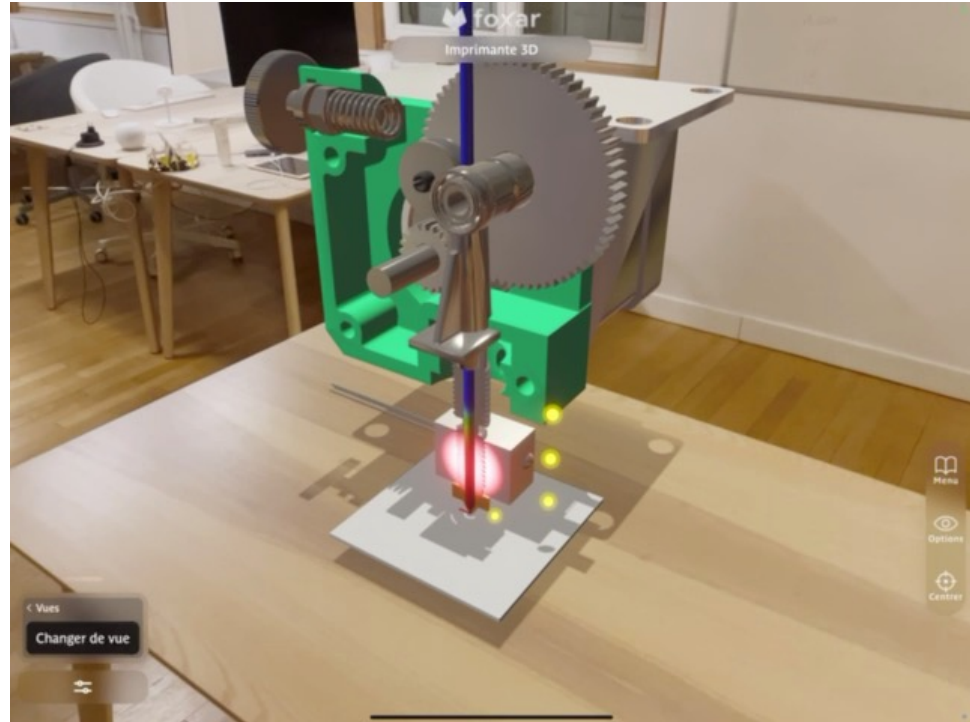
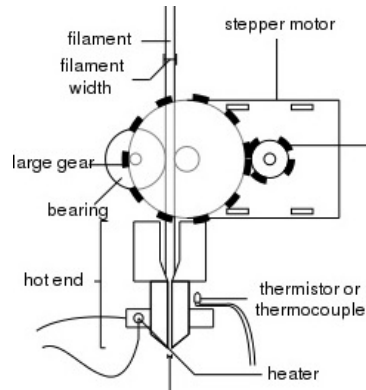
- Droite graduée
- Décimale
- Camembert
- ...



Démo de la bibliothèque Foxar

Spatialiser l'information (légende contigüe à l'élément qu'elle décrit)

Possibilité de calques (voir l'intérieur des objets)



Comment la RA peut aider les élèves à développer leurs aptitudes de raisonnement scientifique ?

- La virtualisation des objets rend possible la manipulation, favorisant la démarche d'investigation. L'apprenant peut **expérimenter sur des modèles réalistes**. Parfois plus efficaces qu'une expérimentation réelle (Chang et al., 2008).
- L'aspect motivant, ergonomique, collaboratif, compromis entre concrétude et facilité de mise en place en classe.
- **Nécessité de tester sur le long terme : que reste-t-il une fois l'effet nouveauté passé ?**

Comment la RA peut aider les élèves à développer leurs aptitudes de raisonnement scientifique ?

Exemple de la flottabilité

- La simulation encadrée par un support adapté (guidage dans l'investigation) a des **effets positifs sur le raisonnement scientifique à long terme** (Wen et al. 2020).
- Elle pourrait permettre de contrecarrer les heuristiques de raisonnement (raccourcis, préconceptions) qui ralentissent voire empêchent le développement du raisonnement scientifique.

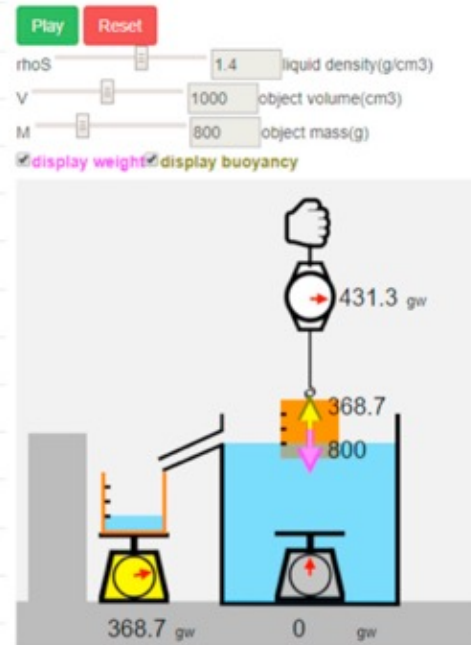


Fig. 1. The buoyancy simulation.

Wen, C.-T., Liu, C.-C., Chang, H.-Y., Chang, C.-J., Chang, M.-H., Fan Chiang, S.-H., Yang, C.-W., & Hwang, F.-K. (2020). Students' guided inquiry with simulation and its relation to school science achievement and scientific literacy. *Computers & Education*, 149, 103830. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103830>

Comment la RA peut aider les élèves à développer leurs aptitudes de raisonnement scientifique ?

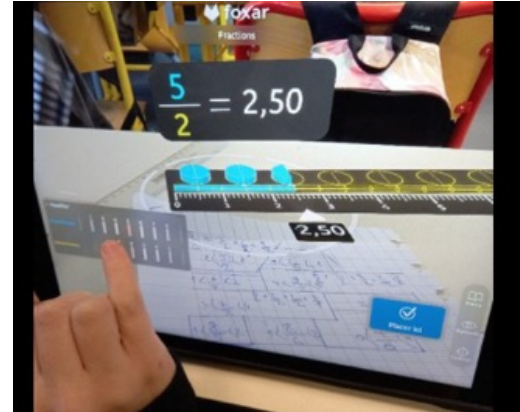
Hypothèses

- Les élèves qui **auront manipulé les maquettes virtuelles développeront davantage leur capacité de raisonnement scientifique**, comparativement aux élèves ayant bénéficié de supports pédagogiques traditionnels (Al Balushi 2017).
 - La RA aura une influence différente selon les composantes du RS (formulation d'hypothèse, NOS, etc.)
- Il existe un **lien fort entre les aptitudes visuospatiales et les compétences de raisonnement scientifique** (Clement 2005 ; Halpern 2007). Les élèves dont les habiletés spatiales sont moins développées au départ tireront davantage profit de ce format (compensation).

Comparaison : Modélisations ou Animations

Design expérimental

- + de 400 élèves (3 conditions) pendant 9 semaines
- 3 types de supports intégrés aux séances pédagogiques : **RA, 3D, ou animations** (mêmes graphismes, mêmes activités)
- **Modéliser et manipuler**, en RA & 3D ou **observer-décrire** (animations) : quelle différence ?



Expérimentation envisagée

Printemps
2022

- Phase de **co-construction des maquettes** (physique-chimie cycle 3) puis **intégration dans une séquence pédagogique + adaptation des tests**

Octobre
2022

- **Pré-test de raisonnement scientifique** + mesure des aptitudes visuospatiales

Hiver
2022

- Phase expérimentale : **cohorte de 3x5 classes** (9 semaines)

Janvier
2023

- **Post-test de raisonnement scientifique (et NOS)** + composantes motivationnelles

Appel à participation

- Enseignant.e.s en physique-chimie cycle 3, vous avez une appétence pour les nouvelles technologies ?



Co-construction
des maquettes
10h

Expérimentation
9 semaines

Pré-tests du matériel
(maquettes +
raisonnement scientifique)
2h

Post-tests :
raisonnement
scientifique +
Connaissances + NOS

Bibliographie 2nd partie

- Al-Balushi, S.M., Al-Musawi, A.S., Ambusaidi, A.K. *et al.* The Effectiveness of Interacting with Scientific Animations in Chemistry Using Mobile Devices on Grade 12 Students' Spatial Ability and Scientific Reasoning Skills. *J Sci Educ Technol* **26**, 70–81 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9652-2>
- Cai, S., Wang, X., & Chiang, F.-K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, *37*, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Chang, K.-E., Chen, Y.-L., Lin, H.-Y., & Sung, Y.-T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, *51*(4), 1486-1498. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.01.007>
- Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2012). The Role of Self-monitoring in Learning Chemistry with Dynamic Visualizations. In A. Zohar & Y. J. Dori (Éds.), *Metacognition in Science Education* (Vol. 40, p. 133-163). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6_7
- Clement, J., Zietsman, A., & Monaghan, J. (2005). Imagery in Science Learning in Students and Experts. In J. K. Gilbert (Éd.), *Visualization in Science Education* (p. 169-184). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_10
- Halpern, D. F., Benbow, C. P., Geary, D. C., Gur, R. C., Hyde, J. S., & Gernsbacher, M. A. (2007). The Science of Sex Differences in Science and Mathematics. *Psychological Science in the Public Interest*, *8*(1), 1-51. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2007.00032.x>
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures : A meta-analysis. *Learning and Instruction*, *17*(6), 722-738. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations – Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in Human Behavior*, *27*(1), 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.042>
- Ibáñez, M. B., Uriarte Portillo, A., Zatarain Cabada, R., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, *145*, 103734. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103734>
- Lee, E. A.-L., & Wong, K. W. (2014). Learning with desktop virtual reality : Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, *79*, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010>
- Mayer, R. E. (2020). Where is the learning in mobile technologies for learning? *Contemporary Educational Psychology*, *60*, 101824. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101824>
- Orben, A. (2020). The Sisyphean Cycle of Technology Panics. *Perspectives on Psychological Science*, *15*(5), 1143-1157. <https://doi.org/10.1177/1745691620919372>
- Pedra, A., Mayer, R. E., & Albertin, A. L. (2015). Role of Interactivity in Learning from Engineering Animations : Learning from animations. *Applied Cognitive Psychology*, *29*(4), 614-620. <https://doi.org/10.1002/acp.3137>
- Wen, C.-T., Liu, C.-C., Chang, H.-Y., Chang, C.-J., Chang, M.-H., Fan Chiang, S.-H., Yang, C.-W., & Hwang, F.-K. (2020). Students' guided inquiry with simulation and its relation to school science achievement and scientific literacy. *Computers & Education*, *149*, 103830. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103830>

Contacts

jeremy.castera@univ-amu.fr

clemence.rougeot@foxar.fr