



**HAL**  
open science

# Apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas sur tablette numérique : études chez des élèves de collège en situation individuelle et collaborative

Julie Rochat

## ► To cite this version:

Julie Rochat. Apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas sur tablette numérique : études chez des élèves de collège en situation individuelle et collaborative. Psychologie. Université Rennes 2, 2021. Français. NNT : 2021REN20033 . tel-03682393

**HAL Id: tel-03682393**

**<https://theses.hal.science/tel-03682393>**

Submitted on 31 May 2022

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

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

DOCTORAT / EDUCATION

BRETAGNE / LANGAGES, INTERACTIONS

LOIRE / COGNITION, CLINIQUE



# THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ RENNES 2

ÉCOLE DOCTORALE N° 603

*Éducation, Langages, Interactions, Cognition, Clinique*

Spécialité : Psychologie

Par

**Julie Rochat**

## **Apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas sur tablette numérique : études chez des élèves de collège en situation individuelle et collaborative**

**Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 22 octobre 2021**

**Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication (LP3C)**

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Franck Amadiou                      Professeur, Université de Toulouse  
Mireille Bétrancourt              Professeure, Université de Genève

### **Composition du Jury :**

Examineurs :	Franck Amadiou	Professeur, Université de Toulouse
	Mireille Bétrancourt	Professeure, Université de Genève
	Cécile van de Leemput	Professeure, Université Libre de Bruxelles
Dir de thèse :	Éric Jamet	Professeur, Université Rennes 2
	Estelle Michinov	Professeure, Université Rennes 2

UNIVERSITE RENNES 2

Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication  
(LP3C)

École Doctorale n° 603 : Éducation, Langages, Interactions, Cognition, Clinique

# Apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas sur tablette numérique : études chez des élèves de collège en situation individuelle et collaborative

Thèse de doctorat de psychologie

Présentée par Julie Rochat

Sous la direction de :

Éric Jamet, Professeur de psychologie cognitive et ergonomique, Université Rennes 2

Estelle Michinov, Professeure en psychologie sociale, Université Rennes 2

Soutenue à Rennes, le 22 octobre 2021

Membres du jury :

Franck Amadiou, Professeur à l'Université de Toulouse (Rapporteur)

Mireille Bétrancourt, Professeure à l'Université de Genève (Rapporteuse)

Cécile van de Leemput, Professeure à l'Université Libre de Bruxelles (Examinatrice)

Éric Jamet, Professeur à l'Université Rennes 2 (Directeur de thèse)

Estelle Michinov, Professeure à l'Université Rennes 2 (Directrice de thèse)



## Financements et partenaires

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet ACTIF (Apprentissage et Collaboration sur Tablettes, Interactions et Feedback), Opération soutenue par l'État dans le cadre du volet e-FRAN du Programme d'investissement d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts.





## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Éric Jamet et Estelle Michinov. Merci pour vos conseils, votre écoute, votre patience et votre soutien. Merci de m'avoir fait confiance tout au long de ces années de thèse.

Je remercie également les membres de mon jury : Franck Amadiou, Mireille Bétrancourt et Cécile van de Leemput pour avoir accepté d'examiner cette thèse.

Merci aux membres de mon comité de suivi de thèse Éric Anquetil et Nicolas Michinov pour vos conseils.

Je tiens également à remercier tous les partenaires du projet et particulièrement : l'entreprise Learn&Go, Didier Perret et tous les membres du LOUSTIC. Évidemment, je remercie les enseignants de SVT avec lesquels j'ai pu collaborer et discuter. Je remercie également tous les élèves d'avoir participé aux études ainsi que leurs parents.

Merci à tous les enseignants du LP3C et particulièrement Corentin Gonthier, Séverine Erhel, Frédérique Devinck, Sophie Brunot et Nicolas Michinov. Je remercie également tous les doctorants et anciens doctorants, particulièrement : Alice, Charli, Eleonore, Fanny, Gaëtan, Mélissa et Salomé.

Bien entendu, je remercie toutes les personnes de l'équipe du PNRV pour ces années ou mois passés à vos côtés : Alexandre, Anthony, Brivael, Camille, Charleyne, Coraline, Elisa, Genavee, JB, Justine, Laurine, Maxime, Philippine et Tiphaine.

Je remercie particulièrement : Anthony, Brivael, Camille, Charleyne, Coraline, Genavee, JB, Laurine, Maxime et Tiphaine. Merci pour toutes ces parties de tarots endiablées, pour vos conseils, votre aide, vos encouragements, votre bonne humeur, votre patience. Merci à Coraline et Maxime pour votre aide pendant les expés, on s'en souviendra !! Pour résumer, il n'aurait pas été possible d'avoir de meilleurs collègues que vous !

Je remercie chaleureusement tous les relecteurs de la thèse pour votre aide. Particulièrement, je remercie ma maman pour son implication.

Je remercie chaleureusement mes amis de longue date pour tous ces bons moments passés avec vous et votre soutien : Guillaume, Kévin, Laura, Lyla et tous les autres. De même, merci à la team psycho : Maelys, Amandine, Marine, Mathieu et Eva pour tous ces moments passés avec vous, que ce soit à la BU, aux champs libres, pendant nos soirées, pour le UNO bien évidemment !

Merci à ma famille et à Nathalie et Joël. Je remercie particulièrement mes parents : merci pour votre soutien incontestable, pour vos conseils et pour votre aide !

Enfin, Corentin, merci d'avoir été là au quotidien avec moi. Merci pour ces moments passés avec toi et les Toupitoufs. Merci pour ton soutien, pour avoir été là dans les bons et dans les mauvais moments et de m'avoir encouragé sans relâche.

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>13</b>
<b>Partie I. Chapitres théoriques.....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre 1. Apprendre à partir de textes illustrés.....</b>	<b>19</b>
<b>1. Les effets des textes illustrés sur l'apprentissage.....</b>	<b>19</b>
1.1. Classification des illustrations.....	19
1.2. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia.....	21
1.2.1. Les trois hypothèses de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia.....	21
1.2.2. Les étapes du traitement de l'information à partir d'un document multimédia.....	22
1.3. L'effet des illustrations sur la mémorisation et la compréhension.....	24
<b>2. Les difficultés liées au traitement des textes illustrés.....</b>	<b>25</b>
2.1. Le traitement superficiel des illustrations.....	25
2.2. L'excès de confiance induit par les illustrations.....	28
2.3. Les difficultés d'intégration de différentes sources d'informations.....	29
2.4. Réduire les difficultés liées au traitement des illustrations : les illustrations auto-générées.....	30
<b>3. Conclusion du chapitre 1.....</b>	<b>32</b>
<b>Chapitre 2. Le rôle de la génération de schémas sur l'apprentissage, la charge cognitive et la métacognition.....</b>	<b>33</b>
<b>1. Les modèles génératifs.....</b>	<b>33</b>
1.1. Le modèle de l'apprentissage par génération de Wittrock.....	33
1.2. Le modèle sélection-organisation-intégration (SOI).....	35
<b>2. Les modèles de la génération de schémas.....</b>	<b>37</b>
2.1. La théorie générative de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005).....	37
2.2. Le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013).....	39
<b>3. Les effets de la génération de schémas.....</b>	<b>43</b>
3.1. Les effets de la génération de schémas sur l'apprentissage.....	43
3.1.1. La génération de schémas comparée à des textes non illustrés ou des stratégies centrées sur le texte.....	45
3.1.2. La génération de schémas comparée à la stratégie d'auto-explication.....	47
3.1.3. La génération de schémas comparée à la stratégie d'imagination.....	47

3.1.4.	La génération de schémas comparée à un texte illustré.....	48
3.1.5.	Synthèse des effets de la génération de schémas sur l'apprentissage .....	51
3.2.	L'impact de la génération de schémas sur la charge cognitive .....	52
3.3.	Les effets de la génération de schémas sur les processus métacognitifs .....	53
3.4.	Les effets de la génération de schémas sur les processus cognitifs d'apprentissage .....	54
<b>4.</b>	<b>Les facteurs influençant la génération de schémas .....</b>	<b>55</b>
4.1.	Les connaissances préalables .....	56
4.2.	Les capacités visuo-spatiales.....	56
4.3.	La qualité des schémas générés .....	58
4.3.1.	<i>Effet prévisionnel des schémas</i> .....	58
4.3.2.	Les difficultés liées à la génération de schémas de bonne qualité.....	59
4.3.3.	Soutenir la génération par des supports pour améliorer la qualité des schémas générés.....	60
<b>5.</b>	<b>Conclusion du chapitre 2.....</b>	<b>61</b>
	<b>Chapitre 3. Faciliter l'activité de génération de schémas par des supports.....</b>	<b>63</b>
<b>1.</b>	<b>Les guidages individuels de la génération de schémas .....</b>	<b>64</b>
1.1.	Guidage minimal .....	65
1.2.	Entraînement à la génération de schémas.....	66
1.3.	Illustrations partielles.....	67
1.4.	Comparaison à une illustration fournie.....	72
1.5.	Conclusion de section.....	76
<b>2.</b>	<b>La génération collaborative de schémas .....</b>	<b>76</b>
2.1.	Le modèle de l'ICAP.....	78
2.2.	Les mécanismes et processus explicatifs de la génération collaborative de schémas.....	80
2.2.1.	La théorie du conflit sociocognitif .....	80
2.2.2.	Les modèles mentaux partagés .....	82
2.2.3.	La théorie de la charge cognitive collaborative.....	83
2.2.4.	La régulation socialement partagée .....	85
2.3.	Les conditions d'efficacité de la génération collaborative de schémas .....	87
2.3.1.	La complexité de la tâche .....	87
2.3.2.	L'effet des connaissances préalables .....	88
2.3.3.	L'expérience de groupe .....	89
2.3.4.	La génération collaborative de schémas et les scripts collaboratifs .....	89
2.4.	Conclusion du chapitre 3.....	91
	<b>Problématique de la thèse .....</b>	<b>95</b>

<b>1. Problématique .....</b>	<b>95</b>
<b>2. Démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas .....</b>	<b>97</b>
<b>3. Études sur les effets de la génération de schémas et des supports de l'activité .....</b>	<b>98</b>
<b>Partie II. Démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas ...</b>	<b>99</b>
<b>Chapitre 4. Co-conception d'une application de génération collaborative de schémas sur tablettes .....</b>	<b>101</b>
<b>1. Usage et acceptabilité des tablettes en contexte scolaire .....</b>	<b>103</b>
<b>2. Mise en place d'une démarche de co-conception.....</b>	<b>106</b>
2.1. La démarche conception centrée utilisateurs (CCU).....	106
2.2. La démarche retenue .....	107
2.3. Les applications de génération collaborative de schémas sur tablettes.....	108
2.4. Évaluation des pratiques actuelles des enseignants et de leur acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas .....	110
2.4.1. Méthode.....	111
2.4.2. Résultats .....	114
2.4.3. Synthèse des résultats.....	124
2.5. Évaluation de l'utilisabilité du prototype de l'application .....	125
<b>3. Choix de l'activité pédagogique et co-construction du matériel.....</b>	<b>128</b>
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>130</b>
<b>Partie III – Chapitres expérimentaux .....</b>	<b>131</b>
<b>Chapitre 5. Étude 1. Les effets de la génération de schémas guidée par une illustration fournie sur la qualité des schémas et l'apprentissage.....</b>	<b>133</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>133</b>
<b>2. Hypothèses .....</b>	<b>135</b>
<b>3. Méthode .....</b>	<b>138</b>
3.1. Participants et plan expérimental .....	138
3.2. Matériel.....	139
3.2.1. Document pédagogique .....	139
3.2.2. Tablettes numériques avec stylet et application.....	140
3.3. Mesures.....	142
3.3.1. Variables contrôles .....	142
3.3.2. Variables dépendantes.....	143
3.3.3. Mesures complémentaires.....	146

3.4.	Procédure .....	146
<b>4.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>149</b>
4.1.	Analyses statistiques .....	149
4.2.	Vérifications préalables des variables contrôles entre les conditions .....	149
4.3.	La qualité des schémas générés .....	152
4.4.	Mesures d'apprentissage .....	154
4.4.1.	Mesures immédiates d'apprentissage .....	154
4.4.2.	Mesures différées d'apprentissage .....	156
4.5.	Les temps d'activité.....	157
4.6.	La difficulté perçue.....	159
4.7.	L'intérêt situationnel.....	160
4.8.	La précision du monitoring.....	160
<b>5.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>161</b>
5.1.	Contributions empiriques et théoriques .....	162
5.2.	Limites et perspectives.....	165
5.3.	Conclusion .....	166
<b>Chapitre 6. Étude 2. Les effets d'un guidage de type marquage typographique à la génération de schémas sur la qualité des schémas et l'apprentissage .....</b>		<b>167</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>167</b>
<b>2.</b>	<b>Hypothèses .....</b>	<b>169</b>
<b>3.</b>	<b>Méthode .....</b>	<b>171</b>
3.1.	Participants et plan expérimental .....	171
3.2.	Matériel.....	171
3.2.1.	Document pédagogique .....	171
3.2.2.	Tablettes numériques avec stylet et application.....	174
3.3.	Mesures.....	174
3.3.1.	Variables contrôles .....	174
3.3.2.	Variables dépendantes.....	174
3.3.3.	Mesures complémentaires.....	176
3.4.	Procédure .....	177
<b>4.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>178</b>
4.1.	Analyses statistiques .....	178
4.2.	Vérifications préalables des variables contrôles entre les conditions .....	179
4.3.	La qualité des schémas générés .....	180

4.4.	Performances d'apprentissage.....	182
4.5.	Temps d'activité.....	183
4.6.	La difficulté perçue.....	184
4.7.	L'intérêt situationnel.....	185
4.8.	La précision du monitoring.....	185
4.9.	Analyses complémentaires.....	186
<b>5.</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>187</b>
5.1.	Contributions empiriques et théoriques.....	187
5.2.	Limites et perspectives de recherche.....	191
5.3.	Conclusion.....	192
<b>Chapitre 7. Étude 3. Faciliter la génération de schémas par la collaboration entre élèves :</b>		
<b>comparaison d'une activité de génération de schémas individuelle à une activité collaborative.....</b>		<b>193</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>193</b>
<b>2.</b>	<b>Hypothèses.....</b>	<b>196</b>
<b>3.</b>	<b>Méthode.....</b>	<b>197</b>
3.1.	Participants et plan expérimental.....	197
3.2.	Matériel.....	198
3.2.1.	Document d'entraînement.....	198
3.2.2.	Document pédagogique.....	199
3.2.3.	Tablettes numériques avec stylet et application.....	202
3.3.	Mesures.....	203
3.3.1.	Variables contrôles.....	203
3.3.2.	Variables dépendantes.....	204
3.3.3.	Mesures des processus de collaboration durant l'activité de génération.....	206
3.4.	Procédure.....	209
<b>4.</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>212</b>
4.1.	Analyses statistiques.....	212
4.2.	Agrégation des données individuelles au sein des binômes.....	213
4.3.	Vérification préalable de l'effet des variables contrôles entre les conditions.....	214
4.4.	Apprend-on mieux seul ou à deux ?.....	215
4.4.1.	Effort mental et difficulté perçue.....	215
4.4.2.	La qualité des schémas générés.....	216
4.4.3.	Mesures d'apprentissage.....	217
4.4.4.	Temps d'activité.....	218
4.4.5.	L'intérêt situationnel.....	219

4.4.6.	La précision du monitoring.....	219
4.4.7.	Résumé des résultats.....	220
4.5.	Comment les binômes d'élèves génèrent-ils leurs schémas ? .....	220
4.5.1.	La répartition des tracés entre élèves sur la génération de schémas .....	220
4.5.2.	Les interactions au sein des binômes .....	222
4.5.3.	Qualité de la collaboration .....	224
4.6.	Certains binômes d'élèves réussissent-ils mieux que d'autres ? .....	224
4.6.1.	Relation entre les scores d'interactions, de qualité des schémas et d'apprentissage ..	224
4.6.2.	Les effets des interactions centrées sur la tâche.....	228
<b>5.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>232</b>
5.1.	Contributions empiriques et théoriques .....	232
5.2.	Limites et perspectives.....	238
5.3.	Conclusion .....	240
	<b>Discussion générale.....</b>	<b>241</b>
<b>1.</b>	<b>Contributions empiriques et théoriques .....</b>	<b>241</b>
1.1.	Démarche de co-conception de l'application de génération collaborative de schémas ..	241
1.2.	Démarche expérimentale auprès des collégiens .....	243
1.2.1.	L'activité de génération de schémas non guidée .....	243
1.2.2.	Fournir une illustration pendant l'activité générative.....	244
1.2.3.	Indiquer les informations à générer par une mise en saillance dans le texte .....	244
1.2.4.	Le travail collaboratif comme support de l'activité générative .....	245
<b>2.</b>	<b>Limites et perspectives de recherche .....</b>	<b>246</b>
2.1.	Le matériel utilisé dans les études .....	246
2.2.	Les connaissances préalables des élèves .....	246
2.3.	La généralisation des résultats aux contextes scolaires.....	248
2.4.	Les entraînements à la génération de schémas et à la collaboration .....	248
2.5.	Encourager les interactions entre élèves .....	249
<b>3.</b>	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>251</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>253</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>283</b>
	<b>Index des tableaux .....</b>	<b>349</b>
	<b>Index des figures .....</b>	<b>351</b>

## Introduction générale

Cette thèse s'inscrit au sein du projet ACTIF (Apprentissage et Collaboration sur Tablettes, Interactions et Feedback) répondant à l'appel à projet e-FRAN (Espaces de Formation, de Recherche et d'Animation Numérique). L'action e-FRAN a pour but d'expérimenter des méthodes pédagogiques et des dispositifs numériques innovants. Elle s'inscrit dans l'action « *innovation numérique pour l'excellence éducative* » du programme d'investissements d'avenir.

L'objectif du projet ACTIF était d'expérimenter des méthodes et des outils pédagogiques qui faciliteraient l'apprentissage « actif » et « collaboratif » à l'ère des nouvelles technologies auprès de collégiens du quatrième cycle. Il est porté par le GIP-FAR et inclue l'académie de Rennes ainsi que de nombreux partenaires. Les unités de recherche engagées étaient le laboratoire LP3C (psychologie), l'équipe Intuidoc de l'IRISA/INSA (informatique), et la plateforme Loustic (actions de conception centrée utilisateurs). Les partenaires du secteur privé étaient l'entreprise Learn&Go et l'entreprise SAOTI. L'Académie de Rennes, l'INSPE Bretagne, le Living Lab Interactik et des collèges partenaires ont été impliqués. Dans le cadre de cette thèse, les collèges Brocéliande (Guer), Camille Guérin (Saint Méen-Le-Grand), Émile Zola (Rennes) et La Gautrais (Plouasne) ont participé. Il s'agit d'une opération soutenue par l'État dans le cadre du volet e-FRAN du Programme d'investissement d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts.

Le projet ACTIF se compose de trois volets scientifiques et de deux volets transversaux, l'un lié à la diffusion et la formation, l'autre à une démarche ergonomique de conception centrée utilisateurs<sup>1</sup>. Cette thèse s'inscrit dans le premier volet scientifique qui met l'accent sur les productions d'élèves en classe de cinquième à partir de tablettes numériques avec stylet et plus particulièrement, sur la génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives. Les manières d'enseigner évoluent et engager les élèves dans un apprentissage actif apparaît comme un élément central dans plusieurs théories de l'apprentissage (e.g., Fiorella & Mayer, 2015; Mayer, 2014a; Wittrock, 1989). Tester des

---

<sup>1</sup> Voir <https://project.inria.fr/actif/fr/> pour une présentation détaillée du projet ACTIF.

méthodes qui engagent les apprenants dans des traitements actifs d'un document semble ainsi fondamental. De plus, les technologies numériques sont de plus en plus intégrées à l'école et elles suscitent des questions du point de vue de leurs effets sur l'apprentissage des élèves. Cette thèse vise donc à examiner les effets d'une activité pédagogique permettant de rendre l'apprenant actif lorsqu'elle est réalisée sur l'outil tablette avec stilet.

L'objectif général de cette thèse est d'étudier la génération de schémas et la facilitation de cette activité chez des collégiens sur des tablettes avec stilet. Pour y répondre, ce travail de thèse s'articule en trois parties. La première partie se structure autour des trois chapitres théoriques (chapitres 1, 2 et 3). La deuxième partie développe la démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas (chapitre 4). Pour terminer, la troisième partie comprend trois chapitres empiriques (chapitres 5, 6 et 7).

Le **chapitre 1** s'intéresse aux effets des textes illustrés sur l'apprentissage. En Sciences, les documents présentés sous la forme de textes illustrés sont largement répandus et les illustrations sont nécessaires à la compréhension des apprenants (e.g., Ainsworth et al., 2011). Le terme multimédia a ainsi été proposé pour définir la présentation de mots (i.e., textes écrits ou oraux) et d'images qui peuvent prendre différentes formes, comme des illustrations (Mayer, 2014b). Ainsi, apprendre à partir de textes illustrés renvoie à l'apprentissage multimédia qui correspond à « *la construction de représentations mentales à partir de mots et d'images* » (Mayer, 2014b, p.23, notre traduction). Toutefois les apprenants peuvent rencontrer des difficultés dans le traitement des illustrations (Renkl & Scheiter, 2017).

Les effets de l'activité de génération de schémas sont présentés dans le **chapitre 2**. Les illustrations peuvent en effet être fournies ou auto-générées. Faire produire une illustration renvoie à l'activité de génération de schémas et permettrait d'engager les apprenants dans des processus actifs du traitement de l'information (Fiorella & Mayer, 2015). Il s'agit d'une activité fréquente en contexte pédagogique, notamment dans le domaine scientifique. Par exemple, les élèves au collège apprennent à représenter visuellement une cellule depuis une vue au microscope. Il est possible de générer des schémas à partir de sources variées, comme des animations (e.g., Mason, Lowe, et al., 2013), des mécanismes

(Bobek & Tversky, 2016, étude 1) ou des textes scientifiques (e.g., Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2019; Van Meter, 2001). Cette thèse se concentre sur l'activité générative produite grâce à une source textuelle. De même, nous nous sommes focalisés sur l'apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas, mais des travaux ont été menés pour étudier les effets de cette activité lorsqu'elle est réalisée sur la base d'histoires (e.g., Lesgold et al., 1975). Générer de schémas serait plus bénéfique pour l'apprentissage qu'étudier un texte illustré (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Toutefois, les résultats des études sont mitigés et cette activité est complexe pour les plus jeunes (Brod, 2020; Fiorella & Zhang, 2018).

Dans le **chapitre 3**, les supports de la génération de schémas pour faciliter l'activité sont exposés. Une récente revue de la littérature portant sur les activités génératives a indiqué que la génération de schémas peut être bénéfique, mais elle doit être accompagnée de supports pour des collégiens et des lycéens (Brod, 2020). Ces supports ont pour but d'aider et de faciliter l'activité de génération de schémas et peuvent prendre différentes formes comme des guidages de l'activité. Ces derniers correspondent à des consignes ou des documents fournis à l'apprenant avant, pendant ou après l'activité. Assez peu d'études dans la littérature ont testé ces guidages et elles ne montrent pas toujours d'effets bénéfiques sur l'apprentissage des élèves (Fiorella & Zhang, 2018). D'autres formes de supports peuvent être proposées. Par exemple, la présence d'autrui, fictive ou non, pourrait avoir des effets bénéfiques lors de la génération de schémas (Fiorella & Kuhlmann, 2020 ; Fiorella & Mayer, 2015, 2016a ; Fiorella et al., 2019, 2020 ; Gijlers et al., 2013). Plus particulièrement, les apprenants pourraient tirer des avantages à discuter ensemble des schémas qu'ils ont réalisés (Fiorella & Mayer, 2015). De plus, générer des contenus en groupe leur permettrait d'avoir un apprentissage plus profond (Chi & Wylie, 2014). Pour autant, aucune étude, à notre connaissance, n'a examiné le travail collaboratif comme un support de l'activité de génération de schémas.

Dans un premier temps, nous avons mis en place une démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas (deuxième partie, **chapitre 4**). L'activité de génération collaborative de schémas est permise par les outils numériques

(Ainsworth & Scheiter, 2021), dont les tablettes numériques avec stylets. Dans le cadre de cette approche, une enquête auprès d'enseignants de collège a été conduite. Des tests utilisateurs de l'application auprès de collégiens sont également présentés. Enfin, la co-construction du matériel pédagogique avec des enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre et un inspecteur est développée.

Dans un deuxième temps, la troisième partie développe le cœur de la thèse : la démarche expérimentale. Elle répond aux deux objectifs suivants :

1. Étudier les effets de la génération de schémas accompagnée ou non de guidages auprès d'élèves en classe de cinquième sur tablettes avec stylets.
2. Examiner les effets d'un support de type collaboratif sur la génération de schémas auprès d'élèves de cinquième sur tablettes avec stylets.

Dans le **chapitre 5**, nous développons la première étude de la thèse. Les effets de la génération de schémas sans ou avec un guidage prenant la forme d'une illustration fournie aux élèves pendant l'activité sont examinés. Le **chapitre 6** présente la deuxième étude qui vise à tester les effets de la génération de schémas accompagnée ou non d'un guidage sous la forme d'un marquage typographique des éléments à générer. Enfin, dans le **chapitre 7**, la troisième étude de la thèse est détaillée. Nous y examinons les effets du travail collaboratif entre élèves lors de la génération de schémas.

## Partie I. Chapitres théoriques



# Chapitre 1. Apprendre à partir de textes illustrés

Dans le contexte éducatif, la présentation de textes accompagnés d'illustrations est très utilisée et est indispensable, notamment en sciences (Ainsworth et al., 2011). De nombreuses études ont été réalisées pour déterminer son efficacité sur l'apprentissage. Cependant, présenter un document avec différentes sources d'informations peut entraîner des traitements cognitifs complexes pour un apprenant (e.g., Ainsworth, 2006; Renkl & Scheiter, 2017)

Ce chapitre vise, dans un premier temps, à présenter une classification des illustrations. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001, 2005, 2009, 2014a) et les effets des textes illustrés sur la mémorisation et la compréhension des apprenants sont ensuite développés. Dans un second temps, les difficultés liées au traitement des textes illustrés sont abordées. Le traitement superficiel des illustrations, l'excès de confiance qui peut être induit ainsi que les problèmes d'intégration de deux sources d'information sont détaillés. Pour terminer, l'activité de génération de schémas est proposée comme une alternative pouvant compenser ces difficultés.

## 1. Les effets des textes illustrés sur l'apprentissage

### 1.1. Classification des illustrations

Cinq catégories d'illustration ont été distinguées par Carney et Levin (2002) : décoratives, représentationnelles, organisationnelles, interprétationnelles et transformationnelles. Contrairement aux autres illustrations, les illustrations décoratives ont un but esthétique sans objectif d'apprentissage (Lenzner et al., 2013). Par exemple, dans l'étude de Sanchez et Wiley (2006), des apprenants étudiaient un document composé d'un texte traitant des causes des périodes glaciaires accompagné d'illustrations décoratives telles que des photos de fleurs.

Les illustrations représentationnelles permettent d'exposer une partie ou l'ensemble du texte. Il peut, par exemple, s'agir d'une photo représentant une histoire décrite sous une forme écrite ou orale.

Les illustrations organisationnelles ont pour but de mettre en saillance la structure des éléments décrits dans le texte. Cette catégorie pourrait, par exemple, correspondre aux différentes étapes de la contraction musculaire représentées au sein d'une seule illustration.

Les illustrations interprétationnelles permettent, quant à elles, d'éclaircir un texte compliqué. Carney et Levin (2002) ont proposé comme exemple la représentation de la pression du sang sous la forme d'un système à pompe.

Pour terminer, les illustrations les moins conventionnelles sont celles dites transformationnelles (ou mnémoniques). Leur utilisation nécessite de recoder un mot-clé du texte pour le rendre plus familier. Par la suite, il est transformé en une illustration correspondante. Par exemple, Rummel et al. (2003), dans leur étude, proposaient un document sur les mesures de l'intelligence de Binet. Les chercheurs ont remplacé le nom du théoricien par le mot « *bonnet* » qui est plus familier. Ils ont ensuite créé une illustration dans laquelle un personnage porte un bonnet qui protège son cerveau.

Globalement, selon Carney et Levin (2002), les illustrations décoratives peuvent rendre un texte plus attractif mais n'améliorent pas l'apprentissage. Les illustrations représentationnelles, organisationnelles, interprétationnelles et transformationnelles ont pour but d'améliorer l'apprentissage et les études semblent, en effet, aller dans ce sens (Carney & Levin, 2002).

Afin d'expliquer les traitements mis en œuvre lors d'un apprentissage à partir de textes illustrés, différents modèles, théories ou travaux ont été proposés, comme le modèle intégratif des textes illustrés de Schnotz (2002, 2014; Schnotz & Bannert, 2003), les travaux sur les fonctions des représentations multiples (Ainsworth, 1999, 2006) ou encore la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001, 2005, 2009, 2014a). Dans le cadre de cette thèse, nous avons fait le choix de ne développer que cette dernière, car des théories portant sur les apprentissages par génération, comme le modèle sélection-organisation-

intégration (Fiorella & Mayer, 2015) et plus spécifiquement la théorie de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005) se fondent sur ses principes.

## 1.2. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001, 2005, 2009, 2014a), un document multimédia encourage l'apprentissage par la construction de représentations mentales à partir de deux sources d'information. Elle repose sur trois hypothèses et présente les différentes étapes du traitement de l'information lorsqu'un apprenant étudie un document multimédia.

### 1.2.1. Les trois hypothèses de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Cette théorie se base sur trois hypothèses (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a). Premièrement, les apprenants disposent de deux systèmes de traitement de l'information avec un canal auditif/verbal et un canal visuel/imagé. Le canal auditif/verbal permet de traiter les mots et les sons d'un document tandis que le canal visuel/imagé rend possible le traitement des images. Cette hypothèse s'appuie sur la théorie du double codage de Paivio (Clark & Paivio, 1987; Paivio, 1986) et sur le modèle de la mémoire de travail qui est composée de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial, tous deux dirigés par l'administrateur central (Baddeley, 1992).

Deuxièmement, les capacités de traitement au sein de ces deux canaux sont limitées. L'apprenant ne peut traiter qu'une partie de l'illustration ou du texte au même moment et non l'ensemble du document. Cette deuxième hypothèse se base sur les théories de la mémoire de travail (Baddeley, 1992) et de la charge cognitive (Chandler & Sweller, 1991; Sweller et al., 2011a). Elle montre qu'il est important de prendre en compte l'architecture cognitive des apprenants lors de la conception de documents pédagogiques.

Pour terminer, la troisième hypothèse concerne l'engagement actif des apprenants dans des traitements cognitifs lors de leur apprentissage. Pour ce faire, ils mettent en place trois processus cognitifs fondamentaux :

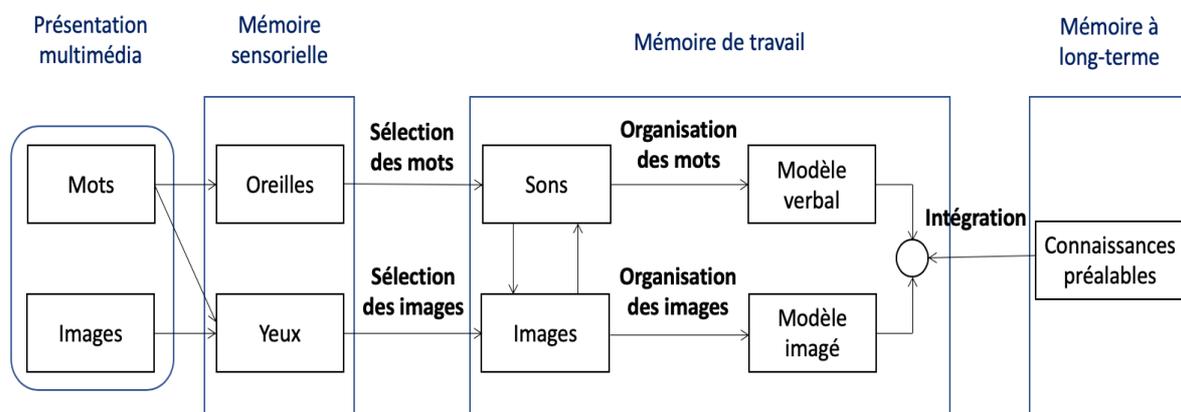
- La sélection des informations pertinentes du document : textuelles et illustrées.
- L'organisation de ces informations au sein de représentations mentales verbales et imagées.
- Le processus d'intégration de ces deux représentations entre elles avec les connaissances préalables.

Ainsi, ce modèle considère l'apprenant comme un processeur actif de l'information et non passif. Cette dernière hypothèse renvoie à la théorie de l'apprentissage par génération (Wittrock, 1989).

### 1.2.2. Les étapes du traitement de l'information à partir d'un document multimédia

La **Figure 1** présente le modèle de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia proposée par Mayer (2001, 2005, 2009, 2014a).

**Figure 1.** Le modèle de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014a, p.52, notre traduction).



D'après cette théorie, l'information transmise par les mots et les images d'un document arrive par les systèmes visuels et auditifs et est traitée brièvement par la mémoire sensorielle. Les apprenants s'engagent ensuite dans les processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration.

Le processus de sélection des mots et des images d'un document multimédia est nécessaire au regard des capacités limitées de traitement des apprenants. La sélection des mots implique que ces derniers dirigent leur attention vers les mots pertinents du document et la sélection des images implique que l'attention soit dirigée vers les parties pertinentes des informations illustrées.

Lors du processus d'organisation des mots, les apprenants élaborent des connexions entre les mots sélectionnés pour former un modèle verbal cohérent en mémoire de travail. De même, le processus d'organisation des images implique la construction d'un modèle imagé cohérent à partir des parties sélectionnées de l'illustration. Ce processus, comme celui de sélection, est réalisé en mémoire de travail et est donc contraint par les capacités limitées des apprenants.

Pour terminer, le processus d'intégration est mis en œuvre lorsque les apprenants élaborent des liens entre leur modèle verbal, leur modèle imagé et leurs connaissances préalables situées en mémoire à long-terme pour former un modèle mental intégré. Cette étape est fondamentale lors de l'apprentissage à partir de documents multimédias. Elle demande une utilisation importante des capacités cognitives car l'apprenant élabore un modèle mental cohérent et donc améliore sa compréhension des informations (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a; Schnotz, 2002, 2014; Schnotz & Bannert, 2003).

Ainsi, ce modèle théorique montre la manière dont un apprenant construit un modèle mental cohérent et enrichi à partir de textes illustrés. Ces derniers permettent d'améliorer à la fois la mémorisation et la compréhension (e.g., Butcher, 2014; Mayer, 2014a).

### 1.3. L'effet des illustrations sur la mémorisation et la compréhension

De nombreuses études ont été réalisées depuis plusieurs décennies afin de tester les effets des textes illustrés dans différents domaines scientifiques sur l'apprentissage des apprenants, que ce soit sur des supports papier-crayon (e.g., Mayer & Gallini, 1990) ou numériques (e.g., Butcher, 2006). Ces documents visent à améliorer la mémorisation et la compréhension (Mayer, 2014a). Toutefois, leur but majeur est de favoriser la compréhension qui reflète un apprentissage plus profond (Butcher, 2014). En effet, les mesures de mémorisation permettent de connaître le degré de rétention des informations d'un document. La compréhension renvoie à la construction de modèles mentaux cohérents avec la capacité d'utiliser des connaissances acquises dans d'autres contextes (Mayer, 2014b).

De manière générale, d'après le *principe multimédia* (Butcher, 2014; Mayer, 2001), étudier des textes (écrits ou oraux) accompagnés d'images (photos, graphiques, illustrations, animations) est plus bénéfique en termes d'apprentissage que l'usage de textes non illustrés. Dans ce sens, les études ont globalement montré qu'étudier un texte illustré avait des effets plus positifs sur la mémorisation et la compréhension que l'étude d'un texte non illustré (voir Anglin et al., 2004; Butcher, 2014; Fletcher & Tobias, 2005; Guo, McTigue, et al., 2020; Levie & Lentz, 1982, pour des revues de la littérature). En outre, une récente méta-analyse a été conduite pour tester les effets des textes illustrés sur la compréhension de texte, en prenant en compte, entre autres, l'impact du niveau scolaire des apprenants (Guo, Zhang, et al., 2020). Leurs résultats ont montré qu'étudier un texte illustré a des effets positifs sur la compréhension de taille relativement moyenne ( $g = .039$ ) par rapport à l'étude d'un texte non illustré. Elle a également révélé que le niveau scolaire des apprenants n'influence pas cet effet. Toutefois, certaines difficultés liées au traitement des textes illustrés peuvent être rencontrées par les apprenants et elles sont présentées dans la section suivante.

## 2. Les difficultés liées au traitement des textes illustrés

Le traitement de documents présentant différentes sources d'informations peut se révéler complexe pour les apprenants (Ainsworth, 1999, 2006; Seufert, 2003). Plusieurs études ont montré que les textes illustrés pouvaient ne pas faire l'objet d'un traitement optimal (e.g., Eitel, 2016; Hannüs & Hyönä, 1999; Hegarty & Just, 1993; Serra & Dunlosky, 2010). Ainsi, quatre difficultés liées aux documents illustrés ont été identifiées par Renkl et Scheiter (2017). La première correspond au traitement superficiel des illustrations (e.g., Weidenmann, 1989) et à un excès de confiance lors de leur présence (e.g., Serra & Dunlosky, 2010). La deuxième concerne les connaissances et les compétences pré-requises qui équivalent aux connaissances dans un domaine spécifique ou aux capacités visuo-spatiales des apprenants. La troisième correspond à la distribution de l'attention au sein des informations visuelles et renvoie au fait que les apprenants peuvent diriger leur attention vers des éléments non pertinents au sein des illustrations. La dernière concerne les difficultés liées au processus d'intégration des différentes sources d'informations entre elles (e.g., Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 2002).

Dans le cadre de cette thèse, les difficultés liées au traitement superficiel des illustrations, à l'excès de confiance qu'elles peuvent induire ainsi que les difficultés d'intégration des apprenants sont présentées (voir Renkl & Scheiter, 2017, pour une présentation détaillée des autres difficultés). Des pistes pour les réduire sont également proposées en se focalisant sur la possibilité d'auto-générer l'illustration (i.e. la génération de schémas). Les difficultés liées aux connaissances et aux compétences pré-requises ainsi qu'à la distribution de l'attention au sein des informations visuelles ne sont pas expliquées en détails car elles ne rentrent pas dans le cadre de cette thèse qui traite des effets d'une activité générative.

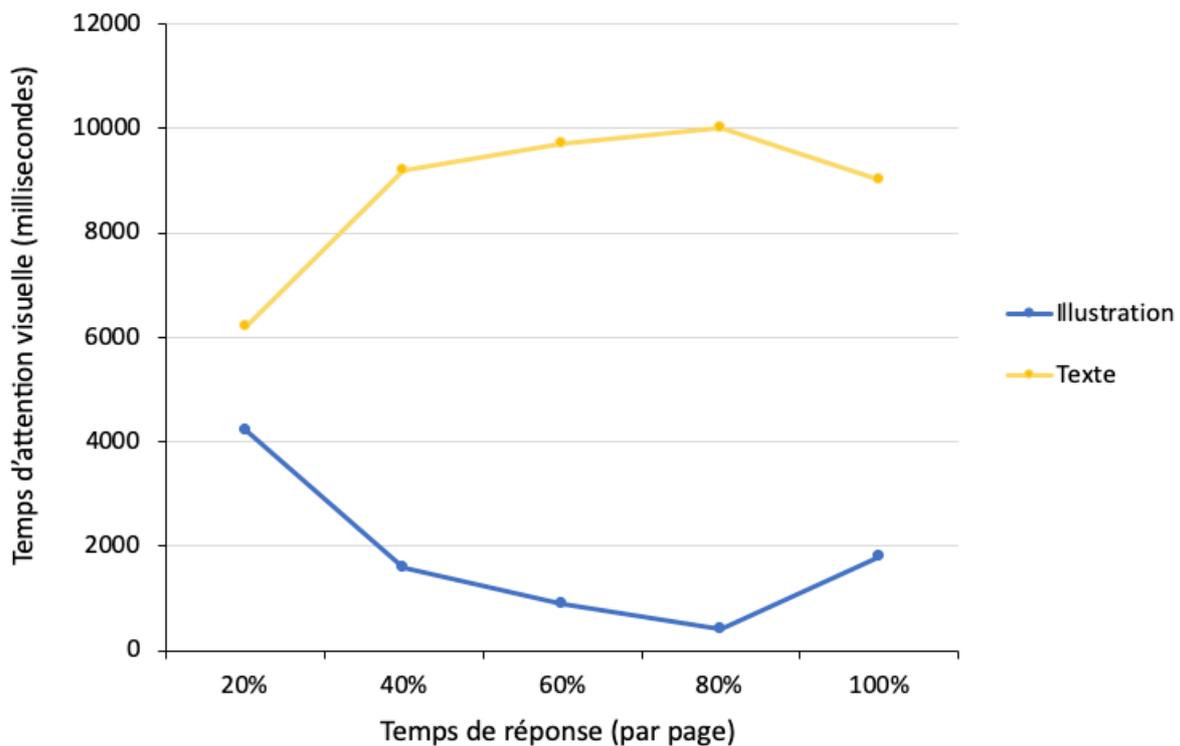
### 2.1. Le traitement superficiel des illustrations

Les illustrations sont facilement accessibles puisqu'elles peuvent être traitées très rapidement (Weidenmann, 1989). Par exemple, des études ont montré que les apprenants

n'ont besoin que de 600 millisecondes pour inspecter une illustration simple avant d'étudier un texte, pour en extraire la structure générale et pour obtenir de meilleurs scores de compréhension que ceux qui étudient un texte non illustré (Eitel, Scheiter, & Schüller, 2013; Eitel, Scheiter, Schüller, et al., 2013). Du fait de son contenu, un texte est plus long à traiter qu'une illustration et peut être perçu comme la source d'information majeure d'un document illustré (Folker et al., 2005; Weidenmann, 1989). En outre, les apprenants ont tendance à réaliser plus de fixations oculaires sur le texte que sur les illustrations (e.g., Folker et al., 2005; Johnson & Mayer, 2012) et ils focaliseraient donc leur attention sur le texte au détriment de l'illustration (e.g., Hegarty & Just, 1993). Leur inspection serait donc largement guidée par la source textuelle qui aurait une fonction directive (Hegarty & Just, 1993; Schmidt-Weigand et al., 2010; Schnotz & Wagner, 2018; Schüller et al., 2019). En conséquence, les illustrations peuvent faire l'objet d'un traitement superficiel (e.g., Peeck, 1993; Weidenmann, 1989).

Cette faible attention dirigée vers les illustrations a été montrée dans plusieurs études (e.g., Cromley et al., 2010; Eitel, 2016; Folker et al., 2005; Hannüs & Hyönä, 1999; Hegarty & Just, 1993). Par exemple, Hannüs et Hyönä (1999) ont étudié les mouvements oculaires d'élèves à l'école élémentaire sur un document avec un texte et une illustration. Ils ont montré que l'illustration n'avait été traitée que 6.00% du temps sur l'ensemble des temps de traitement du document. L'étude de Lenzner et al. (2013, expérience 1) démontre également ce traitement superficiel par des collégiens. La **Figure 2** présente leurs résultats et montre une importante différence dans la distribution des temps d'attention entre le texte et l'illustration, particulièrement après la phase initiale du traitement du document.

**Figure 2.** Graphique des temps d'attention visuelle dirigée soit vers le texte, soit vers l'illustration selon l'avancée des temps de consultation du document ; extrait de Lenzner et al. (2013, p.820, notre traduction).



Or, les apprenants qui mettent en place davantage de stratégies centrées sur le texte apprendraient moins bien un document composé d'un texte illustré (Hegarty & Just, 1993). Qui plus est, un manque d'attention envers les illustrations serait liée à un plus faible apprentissage (e.g., O'Keefe et al., 2014; Scheiter & Eitel, 2015; Schwonke et al., 2009; Stalbovs et al., 2015). Par exemple, l'étude de Eitel, Scheiter et Schüler (2013) a montré que le niveau de compréhension d'étudiants augmentait linéairement avec les temps d'inspection de l'illustration.

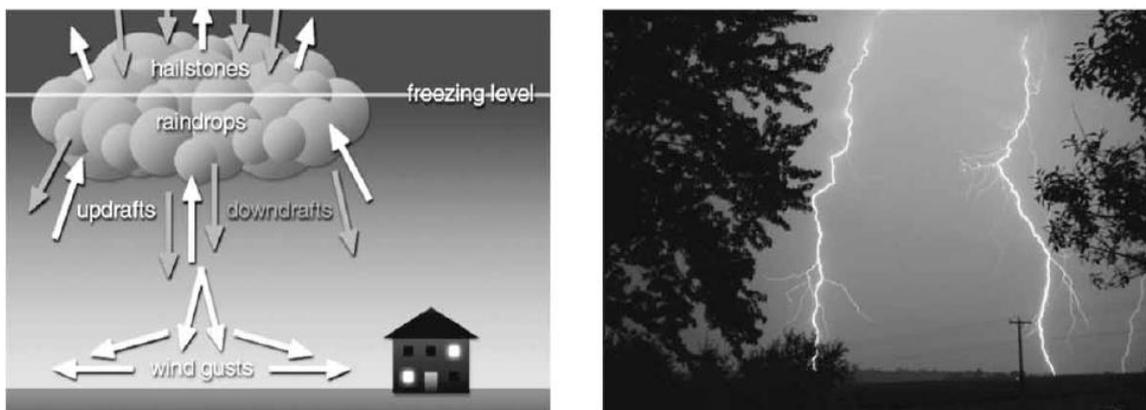
Ces traitements superficiels des illustrations pourraient être le résultat d'une illusion de compréhension liée à leur facilité d'accès (Eitel, 2016) ou pourraient y conduire (Renkl & Scheiter, 2017). En effet, les apprenants auraient l'impression d'avoir bien compris un document en présence d'illustration à cause de leur simplicité perçue (Weidenmann, 1989). En se basant sur l'illusion de compréhension (Bétrancourt, 2005; Kühl et al., 2011; Paik &

Schraw, 2013), Eitel (2016) considère que les illustrations seraient perçues comme plus « simples » que le texte. Ce dernier pourrait être considéré comme plus « sérieux » avec des informations plus pertinentes que l'illustration (Renkl & Scheiter, 2017).

## 2.2. L'excès de confiance induit par les illustrations

Les documents multimédias peuvent conduire à un excès de confiance des apprenants vis-à-vis de leur apprentissage (e.g., Ackerman & Leiser, 2014; Eitel, 2016; Jaeger & Wiley, 2014; Serra & Dunlosky, 2010) ce qui peut leur être délétère (Dunlosky & Rawson, 2012). À notre connaissance, la première étude portant sur des jugements de la méta-compréhension à partir d'un texte illustré a été réalisée par Serra et Dunlosky (2010, expérience 2) afin de tester l'hypothèse *d'heuristiques multimédias*. Ces heuristiques multimédias correspondent à des croyances sur les effets bénéfiques des documents illustrés chez les apprenants. Dans leur étude, des étudiants étaient répartis dans trois conditions et disposaient : 1) d'un texte non illustré ; 2) d'un texte accompagné d'une illustration avec un but d'apprentissage et ; 3) d'un texte accompagné d'une photo d'orage sans but d'apprentissage (voir **Figure 3**).

**Figure 3.** Illustrations fournies dans l'étude de Serra et Dunlosky (2010, p.710).



*Note.* À gauche, l'illustration proposée dans un but d'apprentissage et à droite, une photo sans but d'apprentissage.

Leurs résultats ont montré que les deux conditions avec une illustration jugeaient leur apprentissage comme meilleur que ceux qui ne disposaient que d'un texte non illustré. Pour autant, les élèves qui disposaient d'un texte avec une illustration sans but d'apprentissage ont obtenu des scores équivalents à ceux qui disposaient d'un texte non illustré et moins bons que ceux qui disposaient d'un texte illustré.

Au travers de cette expérimentation, les chercheurs ont pu montrer que les participants pouvaient davantage se baser sur leur croyance plutôt que sur leur activité réelle d'apprentissage (*heuristiques multimédias*, Serra & Dunlosky, 2010). En effet, leurs *heuristiques multimédias* les conduiraient à commettre des erreurs de jugement (Serra & Dunlosky, 2010). Les illustrations auraient donc entraîné une illusion de compréhension. Ackerman et al. (2013) ont également mis en avant que, par rapport à un texte non illustré et malgré son caractère non-informatif, la présence d'une illustration au sein d'un texte avait augmenté le jugement métacognitif des apprenants alors que ces derniers avaient obtenu de plus faibles scores d'apprentissage. Une étude similaire a montré le même pattern de résultats concernant le jugement d'apprentissage (Ackerman & Leiser, 2014). Plus récemment, une étude a montré que des étudiants qui disposaient d'un texte illustré avaient un excès de confiance quant-à-leur apprentissage par rapport à ceux qui n'avaient qu'un d'un texte non illustré (Eitel, 2016).

### 2.3. Les difficultés d'intégration de différentes sources d'informations

Des méthodologies d'enregistrement des mouvements oculaires ont été utilisées dans plusieurs études pour examiner les processus cognitifs (e.g., Eitel, 2016; Hannüs & Hyönä, 1999; Jamet, 2014). Elles permettent d'étudier, notamment, le processus d'intégration mis en œuvre lors de l'apprentissage (Just & Carpenter, 1980). Les études ont montré un lien positif entre le nombre de transitions texte/illustration, qui reflètent le processus d'intégration (Alemdag & Cagiltay, 2018), et l'apprentissage (e.g., Hannüs & Hyönä, 1999; Mason et al., 2015; Mason, Tornatora, et al., 2013; Stalbovs et al., 2015). Elles mettent ainsi en avant le caractère fondamental de ce processus.

Néanmoins face à des textes illustrés, les apprenants peuvent rencontrer des difficultés dans la mise en œuvre du traitement cognitif d'intégration nécessaire à l'élaboration d'un modèle mental cohérent (Ainsworth, 2006; Renkl & Scheiter, 2017; Scheiter, Schüler, et al., 2017). Le processus d'intégration serait relié aux capacités de l'apprenant à mettre en lien les informations issues du texte et celles de l'illustration (Scheiter, Schüler, et al., 2017). Par conséquent, pour obtenir un apprentissage plus profond, les apprenants doivent comprendre l'information au sein de sa source (textuelle ou imagée) mais également relier les différents éléments entre eux (Seufert, 2003).

Toutefois, ils peuvent échouer dans ce processus, notamment lorsqu'ils sont novices (e.g., Ainsworth et al., 2002; Bodemer et al., 2004; Hegarty et al., 1991; Yerushalmy, 1991). En effet, ils auraient tendance à ne se référer qu'à une seule source d'information (Cox & Brna, 1995). En se focalisant principalement sur le texte (e.g., Cromley et al., 2010; Eitel, 2016; Folker et al., 2005; Hannüs & Hyönä, 1999; Hegarty & Just, 1993), les apprenants n'intègrent pas nécessairement les sources d'informations textuelles et illustrées (Renkl & Scheiter, 2017; Schnotz & Wagner, 2018). Ils peuvent également les traiter indépendamment l'une de l'autre (Ainsworth, 1999, 2006). Ces difficultés peuvent donc conduire à l'élaboration d'un modèle mental incohérent et ainsi réduire les bénéfices des documents illustrés sur l'apprentissage (Scheiter, Schüler, et al., 2017). Il semble donc nécessaire de proposer des activités ou méthodes pouvant faciliter le processus d'intégration.

#### 2.4. Réduire les difficultés liées au traitement des illustrations : les illustrations auto-générées

La section précédente a mis en avant trois difficultés liées au traitement des illustrations et la littérature a proposé plusieurs solutions pour y remédier (voir Renkl & Scheiter, 2017, pour une présentation détaillée). Peeck (1993) a proposé différentes interventions pédagogiques pour réduire le traitement superficiel des informations (voir **Tableau 1**).

**Tableau 1.** Les interventions pédagogiques et leurs effets sur le traitement des illustrations, l'implication dans l'activité et la possibilité de feedbacks correctifs ; extrait de Peeck (1993, p.235, notre traduction).

Interventions pédagogiques	Effets sur le traitement des illustrations	Risque d'ignorer l'intervention	Possibilité de feedbacks correctifs
Demander à l'apprenant de diriger son attention vers l'illustration	Faible	Important	Faible
Dire à l'apprenant quels éléments regarder en général	↓	↓	↓
Dire à l'apprenant quels éléments regarder en particulier			
Dire à l'apprenant de faire quelque chose avec l'illustration (e.g., générer des schémas) sans une production contrôlée			Faible
Dire à l'apprenant de faire quelque chose avec l'illustration (e.g., générer des schémas) avec une production contrôlée	Important	Faible	Important

Certaines de ces interventions, sous la forme de consignes, visent à diriger l'attention des apprenants vers les illustrations mais elles n'auraient que de faibles effets sur leur traitement selon l'auteur. Pour obtenir des effets plus importants, Peeck (1993) a proposé que les apprenants auto-génèrent les illustrations. Cette activité correspond à la génération de schémas qui permettrait d'encourager l'apprenant à traiter de manière approfondie les illustrations. En outre, la génération de schémas favoriserait également les processus métacognitifs (Van Meter & Firetto, 2013) et conduirait ainsi à réduire les difficultés liées à l'excès de confiance (i.e. illusion de compréhension) induite par la présence d'illustrations au sein d'un texte (Weidenmann, 1989). De plus, d'après la théorie générative de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005) et le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013), cette activité faciliterait le processus d'intégration entre la source d'information verbale et la source d'information visuelle. Par conséquent, la génération de schémas semble particulièrement adaptée pour répondre aux inconvénients liés aux traitements des documents illustrés et elle est présentée dans le deuxième chapitre de la thèse.

### 3. Conclusion du chapitre 1

Dans ce chapitre, trois processus cognitifs fondamentaux ont été mis en avant lors du traitement de textes illustrés ; la sélection, l'organisation et l'intégration des informations textuelles et illustrées pour former un modèle mental cohérent (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a). La littérature indique qu'étudier des textes illustrés a des effets bénéfiques sur l'apprentissage des apprenants par rapport à l'étude de textes non illustrés (principe multimédia; Mayer, 2001). Les illustrations ont donc un rôle fondamental dans l'apprentissage. Toutefois, différentes difficultés peuvent rendre les illustrations inefficaces dans un document (Renkl & Scheiter, 2017) :

- Elles peuvent faire l'objet d'un traitement superficiel (e.g., Peeck, 1993; Weidenmann, 1989).
- Elles peuvent faire l'objet d'heuristiques multimédias, conduisant l'apprenant à surestimer son apprentissage (Serra & Dunlosky, 2010).
- Le processus d'intégration des sources d'informations textuelles et imagées peut échouer (e.g., Scheiter, Schüler, et al., 2017).

Au regard des différents éléments présentés dans ce chapitre, il semble nécessaire d'engager les apprenants dans un traitement plus actif des illustrations pour améliorer l'apprentissage. Pour ce faire, une stratégie d'apprentissage consiste à faire générer l'illustration par l'apprenant. Ce dernier crée alors son propre schéma, ce qui lui permettrait de (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005) : 1) Traiter les illustrations de manière plus approfondie ; 2) S'engager dans des processus métacognitifs ; et 3) D'améliorer son apprentissage, notamment en facilitant le processus d'intégration.

## Chapitre 2. Le rôle de la génération de schémas sur l'apprentissage, la charge cognitive et la métacognition

L'objectif de ce deuxième chapitre est de présenter l'activité de génération de schémas qui a été définie par Van Meter et Garner (2005) comme étant la génération de « *représentations visuelles a) qui sont intentionnellement construites pour répondre à un objectif d'apprentissage, b) qui sont destinées à représenter précisément les objets présentés et c) dont l'apprenant est le principal responsable de la construction et/ou de l'apparence finale* » (Van Meter & Garner, 2005, p.290, notre traduction). Dans cette thèse, la génération de schémas correspond à la pratique la plus commune qui consiste à produire des schémas à partir d'un texte scientifique (Ainsworth & Scheiter, 2021).

Ce deuxième chapitre traite des effets de la génération de schémas ainsi que les difficultés qu'elle induit. Dans un premier temps, les modèles et les théories liés à cette activité sont présentés. Dans un deuxième temps, ses effets sont abordés au travers des résultats empiriques issus de la littérature. Enfin, les différents facteurs influençant cette activité sont développés.

### 1. Les modèles génératifs

#### 1.1. Le modèle de l'apprentissage par génération de Wittrock

Merlin Wittrock a été le pionnier dans l'élaboration des modèles de l'apprentissage par génération (Osborne & Wittrock, 1983, 1985; Wittrock, 1974, 1989, 1991, 1992). Son modèle a été expérimenté dans de nombreuses études, que ce soit en classe ou en laboratoire et dans des domaines différents comme la compréhension en lecture, les mathématiques, les sciences ou l'économie (Wittrock, 1992). Dans ce modèle, les connaissances préalables, les stratégies d'apprentissage et l'expérience de l'apprenant sont des éléments cruciaux pour son apprentissage (Wittrock, 1974). En effet, les apprenants « *gènèrent des perceptions et du sens*

*qui sont consistants avec leurs connaissances préalables* » (Wittrock, 1974, p.88, notre traduction). La génération est alors un processus cognitif fondamental dans la compréhension. Ainsi, le cerveau n'est pas un consommateur passif de l'information mais il va activement construire du sens à partir d'un document et des connaissances préalables dont l'apprenant dispose (Wittrock, 1989). Ce modèle est constitué de quatre composantes majeures :

- La génération : l'apprenant va activement établir des relations entre : 1) les différents éléments d'un matériel et ; 2) le matériel et ses connaissances préalables. Ainsi, il va générer un nouveau modèle mental ou en réviser un préexistant pour organiser l'information dans un ensemble cohérent qui sera en adéquation avec ses connaissances préalables et son expérience.
- La motivation : elle correspond aux efforts investis par l'apprenant au cours de son apprentissage et à sa capacité à attribuer ses réussites ou ses échecs à ses efforts pour donner du sens au matériel pédagogique.
- L'attention : elle va diriger l'apprenant vers les éléments pertinents du document et mobiliser ses connaissances préalables. Elle lui permet ainsi de construire du sens.
- La mémoire : elle concerne les préconceptions, la métacognition, les connaissances préalables et l'expérience concrète de l'apprenant.

L'enseignant a un rôle facilitateur dans la mise en place des processus cognitifs et métacognitifs de l'apprenant (Wittrock, 1989). Ainsi, « *les enseignants doivent apprendre aux élèves à devenir actifs dans la génération et montrer que leurs efforts dans l'apprentissage vont produire des résultats tangibles* » (Wittrock, 1991, p.175, notre traduction). Pour ce faire, un professeur dispose de différentes techniques pour stimuler les processus génératifs d'un apprenant : 1) soit entre les concepts d'un document ; 2) soit entre les concepts d'un document et les connaissances préalables ainsi que l'expérience (Wittrock, 1989, 1991).

Afin d'engager un apprenant dans des processus génératifs entre les concepts d'un document, l'enseignant peut notamment lui demander de construire des titres, de rédiger des résumés ou de générer des graphiques ou des tableaux. Afin de favoriser les processus génératifs entre un document et les connaissances préalables, l'enseignant peut, entre autres,

proposer aux élèves de réaliser des démonstrations, de générer des illustrations, de rédiger un texte avec ses propres mots ou bien de faire des inférences. Stimuler un apprenant en lui demandant de générer lui-même une illustration est la technique développée dans cette thèse. Plusieurs modèles plus récents se sont inspirés du modèle par génération de Wittrock dont le modèle sélection-organisation-intégration (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b).

## 1.2. Le modèle sélection-organisation-intégration (SOI)

Le modèle sélection-organisation-intégration (SOI) (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b) se base sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001, 2005, 2009, 2014a) et est donc très proche de ce dernier. Ainsi, les mêmes processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration sont développés dans ce modèle. Selon le modèle SOI, les processus métacognitifs et motivationnels sont deux facteurs cruciaux dans l'apprentissage par génération (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b). La métacognition implique la surveillance et le contrôle des processus cognitifs par les apprenants ; savoir par exemple quelles informations sont à sélectionner. L'apprentissage par génération va ainsi dépendre de leurs capacités métacognitives et de la sélection des stratégies d'apprentissage appropriées pour favoriser les processus de sélection, d'organisation et d'intégration. De même, afin de donner du sens au matériel, ils doivent fournir des efforts pour s'engager dans des traitements cognitifs actifs.

Fiorella et Mayer (2015) ont proposé huit stratégies d'apprentissage par génération (voir **Tableau 2**) qui sont des activités dans lesquelles l'apprenant va s'engager et qui favorisent sa compréhension.

**Tableau 2.** *Huit stratégies d'apprentissage par génération (Fiorella & Mayer, 2015, p.14, notre traduction)*

Stratégies d'apprentissage	Description
Résumé	Génération par l'apprenant d'un résumé écrit ou oral du matériel d'un cours
Modélisation	Génération par l'apprenant d'une représentation spatiale des idées clés d'un cours
Schématisation	Génération par l'apprenant d'un schéma qui représente visuellement le matériel clé d'un cours
Imagination	L'apprenant imagine une représentation visuelle qui correspond au matériel clé d'un cours
Auto-évaluation	L'apprenant se teste lui-même sur le matériel d'un cours
Auto-explication	Génération par l'apprenant d'une explication écrite ou orale des parties d'un cours identifiées comme étant confuses
Enseignement	L'apprenant explique le matériel à d'autres personnes
Agir physiquement	L'apprenant met en scène le matériel d'un cours : il manipule physiquement des objets

Ces stratégies d'apprentissage ont pour but de (Fiorella & Mayer, 2015, p.13, notre traduction) :

- « Favoriser le processus de sélection : aider les apprenants à s'orienter vers les éléments pertinents du matériel.
- Favoriser le processus d'organisation : aider les apprenants à organiser mentalement le matériel pour créer une représentation mentale pertinente.
- Favoriser le processus d'intégration : aider les apprenants à activer leurs connaissances préalables pertinentes et à les connecter à la nouvelle information. »

Dans le cadre de cette thèse, la stratégie d'apprentissage par génération développée concerne la schématisation ou génération de schémas. Selon Fiorella et Mayer (2015, 2016b), lorsqu'un apprenant génère des schémas, il s'engage dans le processus de sélection en définissant les éléments à intégrer au sein de son schéma. Il va mettre en œuvre le processus d'organisation en classant les éléments dans un espace de manière à illustrer leurs relations les uns avec les autres. Enfin, le processus d'intégration a lieu lorsque les apprenants utilisent leurs connaissances préalables stockées en mémoire à long-terme pour traduire le mode de représentation verbal (texte écrit ou oral) en un mode de représentation visuel (schéma).

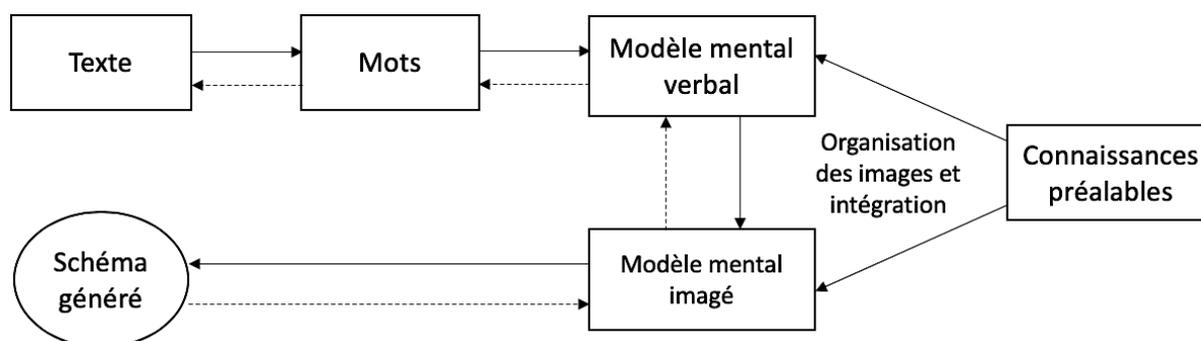
## 2. Les modèles de la génération de schémas

Initialement, la génération de schémas a été présentée dans la théorie générative de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005), puis sous une forme révisée dans le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013).

### 2.1. La théorie générative de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005)

La théorie générative de la génération de schémas (Van Meter & Garner, 2005) permet de décrire les processus sous-jacents de l'activité. Elle s'appuie sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a). D'après Van Meter et Garner (2005), lorsqu'il génère des schémas à partir d'un texte, l'apprenant n'est pas passif face à l'information mais doit s'engager activement dans les processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration. La **Figure 4** présente les différentes étapes décrites dans cette théorie.

**Figure 4.** Processus cognitifs mis en œuvre lors de la génération de schémas (Schmeck, 2010, p.29, tiré de Leutner & Schmeck, 2014, p.434, notre traduction)



Dans un premier temps, les apprenants doivent sélectionner les informations pertinentes au sein du texte. Ce processus de sélection est différent de celui mis en œuvre avec un texte illustré. En effet, dans ce dernier cas, l'apprenant a deux sources d'informations : une verbale et une visuelle (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a). La sélection des éléments pertinents au sein de ces deux sources d'informations nécessite qu'elles s'influencent et se contraignent l'une et l'autre. Dans le cadre de la génération de schémas, l'apprenant ne dispose que du texte. Ainsi, la sélection des éléments non verbaux n'est déterminée que par la représentation verbale de l'apprenant. Dans un deuxième temps, les informations pertinentes sont organisées pour former une représentation verbale interne cohérente du matériel présenté. Dans un troisième temps, les apprenants construisent une représentation non verbale interne et la connecte à la représentation verbale avec leurs connaissances préalables.

Lorsque les apprenants disposent de peu de connaissances préalables, la représentation verbale joue alors un rôle crucial. Cette dernière sert de guide dans la sélection des informations pertinentes du texte mais également dans l'organisation de la représentation non verbale en une image mentale cohérente du document.

Les processus d'organisation et d'intégration des représentations verbales et non verbales sont confondus lors de la génération de schémas. En effet, l'intégration est « *forcée car la représentation verbale est la fondation de la représentation non verbale* » (Van Meter & Garner, 2005, p.318, notre traduction). Ainsi, contrairement à un texte illustré où

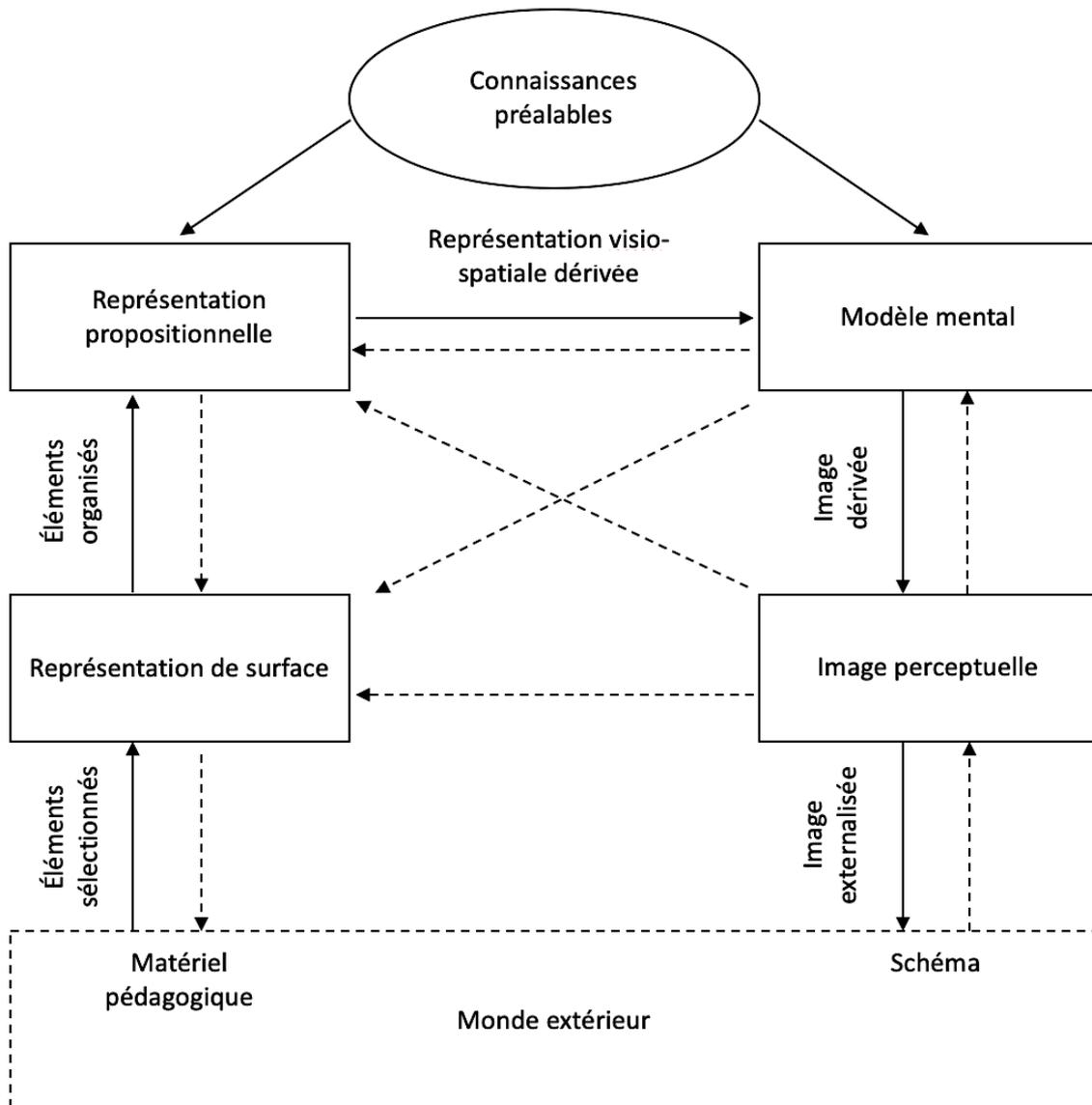
l'intégration des sources d'information textuelle et visuelle peut échouer (e.g., Ainsworth et al., 2002; Bodemer et al., 2004; Hegarty et al., 1991; Yerushalmy, 1991), la génération de schémas contraint la construction d'une représentation intégrée (Van Meter & Garner, 2005). Cela permet la formation d'un modèle mental cohérent améliorant l'apprentissage.

Enfin, lors de la construction de la représentation non verbale interne, l'apprenant peut faire des allers-retours vers le texte afin d'identifier des informations manquantes ou de les clarifier. Par conséquent, il s'engage activement dans des processus cognitifs mais également métacognitifs qui encouragent un apprentissage profond du document pédagogique (Van Meter & Garner, 2005).

## 2.2. Le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013)

Le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013) se base également sur les trois processus cognitifs proposés dans la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a). Il se fonde également sur d'autres travaux théoriques ; le modèle intégratif de la compréhension de textes illustrés de Schnotz (2002, 2014; Schnotz & Bannert, 2003) et le modèle d'apprentissage autorégulé de Winne (Winne & Hadwin, 1998). La représentation graphique de ce modèle est présentée dans la **Figure 5**.

**Figure 5.** Le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013, p.256, notre traduction).



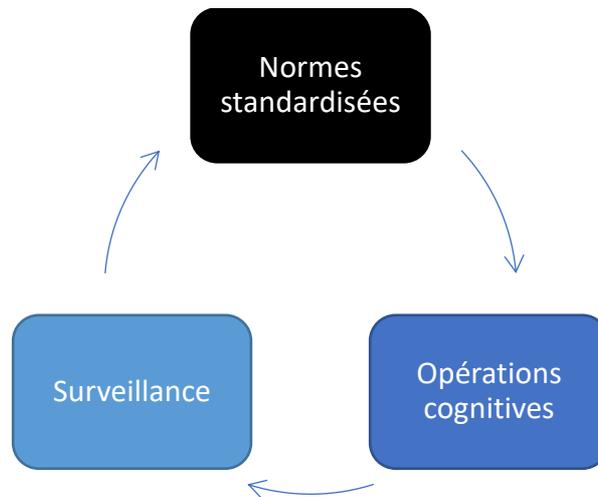
Selon ce modèle, dans un premier temps, les apprenants vont sélectionner les éléments clés du matériel pédagogique pour former une représentation de surface. Les informations sélectionnées sont ensuite organisées et conduisent à la construction d'une représentation propositionnelle qui décrit les éléments structurels et leurs relations. La représentation propositionnelle définit les structures incluses au sein du modèle mental ainsi que leur apparence extérieure et leurs relations. En intégrant les informations sémantiques avec ses représentations visuo-spatiales et ses connaissances préalables, l'apprenant

construit un modèle mental cohérent. En accord avec le modèle intégratif de la compréhension de textes illustrés de Schnotz (2002, 2014 ; Schnotz & Bannert, 2003), le modèle mental est un modèle décriptif qui inclut des informations visuo-spatiales et est plus déterminant pour la compréhension que la représentation propositionnelle (Cox, 1999; Gobert & Clement, 1999). En effet, cette dernière est une « *description d'un état de fait qui est vraie ou fausse* » (Johnson-Laird, 1980, p.108, notre traduction). Le modèle mental, quant à lui, représente les relations structurelles dans un système, ce qui permet à l'apprenant de comprendre ses composantes et comment elles opèrent ensemble.

À la suite, pour générer des schémas, l'apprenant traduit le modèle mental en représentation visuelle interne (ou image perceptuelle) qui est ensuite externalisée en schéma. Les connaissances préalables tiennent un rôle important lorsque les apprenants génèrent des schémas sans illustration (Van Meter & Firetto, 2013). En effet, elles permettent de déterminer comment un concept ou un objet peut être représenté visuellement. Elles influencent la représentation propositionnelle et le modèle mental.

Dans ce modèle, la génération est un processus itératif pendant lequel la métacognition joue un rôle important (Van Meter & Firetto, 2013). Lorsque les apprenants génèrent leurs schémas et se rendent compte que le contenu du texte présenté n'est pas bien compris, ils peuvent ré-inspecter le matériel en faisant plusieurs allers-retours entre les différentes représentations mentales et externes. En se basant sur la théorie de l'apprentissage autorégulé (Winne & Hadwin, 1998), le modèle de Van Meter et Firetto (2013) propose la mise en place d'un cycle d'autorégulation composé de trois phases lors de la génération de schémas (voir **Figure 6**) :

**Figure 6.** Les trois phases du cycle d'autorégulation lors de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013).



1. Phase 1. Mise en place de normes standardisées de performance : L'apprenant va établir ses propres normes standardisées de performance lorsqu'il doit générer des schémas. Il y inclut différentes facettes comme les détails à générer au sein du schéma, le besoin de voir comment les parties s'assemblent et sa précision globale. Elles sont l'ancrage des contrôles métacognitifs lors de cette activité.
2. Phase 2. Appliquer des opérations cognitives : Il s'agit des opérations cognitives de sélection, d'organisation et d'intégration des différentes informations mises en œuvre pour comprendre le matériel et répondre aux normes fixées.
3. Phase 3. Surveillance de la progression vers les objectifs de la tâche : Cette dernière phase correspond au contrôle métacognitif mis en œuvre lorsque l'apprenant compare le schéma qu'il génère avec ses normes de performances. Lorsque ces standards ne sont pas atteints, le contrôle métacognitif va diriger l'apprenant vers son modèle mental, sa représentation propositionnelle ou le matériel dont il dispose.

Selon ce modèle, des apprenants qui s'engagent dans la stratégie de génération de schémas auront donc un meilleur self-monitoring que ceux qui n'en génèrent pas (Van Meter & Firetto, 2013). Le self-monitoring dénommé également sous le terme d'auto-évaluation (voir Maillard, 2015), « renvoie non seulement à la prise de conscience de l'état de notre

*apprentissage en fonction de la performance à atteindre mais également à l'auto-estimation de la qualité de l'apprentissage et des réponses produites » (Maillard, 2015, p.5).*

### 3. Les effets de la génération de schémas

L'activité de génération de schémas a fait l'objet d'un certain nombre d'études dans des domaines différents comme la physique-chimie (e.g., Alesandrini, 1981; Leopold & Leutner, 2012; Leutner et al., 2009; Schleinschok et al., 2017; Schwamborn et al., 2010), les mathématiques (e.g., Essen & Hamaker, 1990; Rellensmann et al., 2017), les sciences de la vie et de la terre (e.g., Gobert & Clement, 1999; Jaeger et al., 2018; Schmeck et al., 2014; Van Meter, 2001; Q. Zhang & Fiorella, 2019) ou l'ingénierie (Hall et al., 1997; Ploetzner & Fillisch, 2017). La plupart des expériences ont étudié les effets de la génération de schémas à partir de textes scientifiques. D'autres les ont testés lorsque l'activité est proposée à partir d'animations vidéo ou de la manipulation de mécanismes (e.g., Bobek & Tversky, 2016; Mason, Lowe, et al., 2013; Ploetzner & Fillisch, 2017; Z. H. Zhang & Linn, 2013). Différentes mesures ont été réalisées afin de tester les effets de cette activité pédagogique sur des publics de différents niveaux scolaires. Les effets de la génération de schémas ont notamment été étudiés sur l'apprentissage, la charge cognitive, la métacognition ou les processus cognitifs et sont donc présentés dans cette section.

#### 3.1. Les effets de la génération de schémas sur l'apprentissage

La génération de schémas aurait, globalement, des effets bénéfiques sur l'apprentissage de textes scientifiques (voir Fiorella & Mayer, 2015; Leutner & Schmeck, 2014, pour des exemples de revues de la littérature). De ce fait, selon le *principe de la génération de schémas*, « *les apprenants apprennent mieux un texte scientifique lorsqu'il leur est demandé de générer des schémas représentant les idées principales du texte* » (Schwamborn et al., 2010, p.877, notre traduction).

Une récente méta-analyse présente des résultats allant dans ce sens (Cromley et al., 2020). Elle s'est intéressée aux effets de la génération de schémas comparée à d'autres supports d'apprentissage comme des textes illustrés ou non. L'impact du niveau scolaire sur les effets de cette activité a également été étudié. Globalement, les résultats ont montré que la génération de schémas avait des effets bénéfiques de taille relativement importante sur l'apprentissage ( $g = .79$ ) et ils ne sont pas influencés par le niveau scolaire. Plus précisément, des apprenants qui génèrent des schémas ont de meilleures performances à :

- Des tests de connaissances factuelles : selon les auteurs, les tests de connaissances factuelles correspondent à des mesures de mémorisation.
- Des tests de connaissances inférentielles : ils correspondent à des questions à partir desquelles les apprenants doivent tirer des conclusions sur les éléments notés dans le document sans faire appel à leurs connaissances préalables, selon Cromley et al. (2020).
- Des tests de transfert : selon les auteurs, ils correspondent à des questions évaluant des éléments dans un autre contexte ou bien allant au-delà de ce qui était décrit dans le document.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Fiorella et Mayer (2015) qui ont montré que 26 études sur 28 reportent des effets bénéfiques de la génération de schémas sur des mesures d'apprentissage avec une taille d'effet relativement moyenne ( $d = .40$ ).

Toutefois cette méta-analyse comprend certaines limites. Premièrement, elle regroupe des études dans lesquelles la génération se faisait à partir d'animations ou de textes scientifiques. Deuxièmement, les effets de la génération de schémas ont été comparés à ceux d'un ensemble d'autres supports d'apprentissage (e.g., textes non illustrés ; réalisation de résumés ; textes illustrés). Or, dans leur récente revue de la littérature, Fiorella et Zhang (2018) ont montré que, selon les supports d'apprentissage avec lesquels elle est comparée, la génération de schémas a des effets plus ou moins bénéfiques sur l'apprentissage. Ainsi, afin de déterminer le véritable impact de cette activité, ces chercheurs ont distingué trois « types » de comparaison : 1) par rapport à un texte non illustré ou des stratégies centrées sur le texte

comme la réalisation de résumés ; 2) par rapport à des stratégies centrées sur le modèle telles que l'auto-explication ou l'imagination ; et 3) par rapport à un texte illustré.

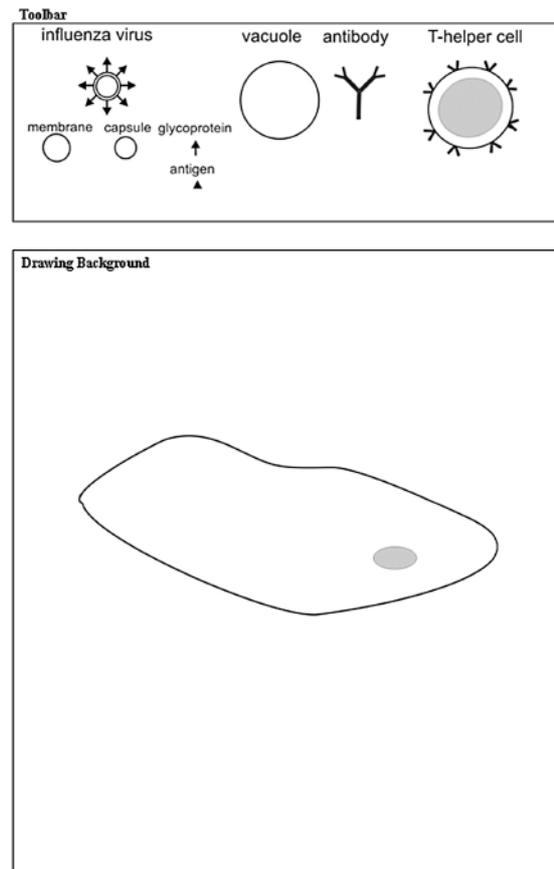
Dans le cadre de cette thèse, cette distinction a été reprise car elle est nécessaire pour mieux comprendre les effets de la génération de schémas, ses avantages et ses limites. En revanche, nous avons distingué la stratégie d'imagination de la stratégie d'auto-explication car, contrairement à la stratégie d'auto-explication, la stratégie d'imagination implique la formation d'une représentation visuelle.

### 3.1.1. La génération de schémas comparée à des textes non illustrés ou des stratégies centrées sur le texte

Les études ont majoritairement comparé les effets de la génération de schémas aux effets de textes non illustrés (Fiorella & Zhang, 2018). Ces derniers n'impliquent pas une activité générative ou un apprentissage multimédia et ne favorisent donc pas un apprentissage profond du document (Fiorella & Zhang, 2018). Il en est de même des stratégies centrées sur le texte comme la réalisation de résumés ou la sélection des idées principales d'un document (Fiorella & Zhang, 2018).

Globalement, les résultats des études montrent des effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage par rapport aux textes non illustrés (voir Fiorella & Mayer, 2015; Fiorella & Zhang, 2018; Leutner & Schmeck, 2014, pour des revues de la littérature). Par exemple, Schmeck et al. (2014, expérience 1) ont réalisé une étude auprès de collégiens en classe de 4<sup>ème</sup> qui travaillaient sur un document traitant de la grippe et des réponses immunitaires du corps face à ce virus. Certains élèves avaient un texte non illustré tandis que d'autres généraient des schémas à l'aide d'éléments visuels à recopier au sein d'une figure de fond (voir **Figure 7**).

**Figure 7.** Matériel proposé aux élèves qui généraient des schémas dans l'étude de Schmeck et al. (2014, expérience 1, p.278).



*Note.* En haut, les éléments visuels à recopier sont présentés et en bas, la figure de fond est fournie.

Les résultats ont montré que les élèves qui généraient des schémas ont pris plus de temps à réaliser l'exercice mais ont obtenu de meilleures performances à des tests de mémorisation, de compréhension et de schématisation que les autres.

La littérature a montré que, en général, la génération de schémas a également des effets bénéfiques sur l'apprentissage par rapport à la réalisation de résumés (e.g., Gobert & Clement, 1999; Leopold & Leutner, 2012, expérience 2). Cependant, certains travaux ne révèlent pas d'effets positifs (e.g., Jaeger et al., 2018). Par exemple, Leopold et Leutner (2012) ont montré que les élèves qui produisaient des schémas ont obtenu de meilleurs scores de transfert mais pas de compréhension que ceux qui disposaient de textes non illustrés ou

réalisaient un résumé. Dans leur autre expérience, des élèves de 2<sup>nde</sup> qui créaient des schémas ont eu de meilleurs scores de compréhension, de transfert et à un test de schématisation que ceux qui sélectionnaient les idées principales du document.

**Pour résumer**, comparativement à un texte non illustré, à la réalisation de résumés ou à la sélection des idées principales d'un texte, les recherches indiquent que la génération de schémas a généralement des effets bénéfiques sur l'apprentissage (Fiorella & Zhang, 2018).

### 3.1.2. La génération de schémas comparée à la stratégie d'auto-explication

Très peu d'études ont examiné les effets de la génération de schémas par rapport à des stratégies d'auto-explication (Fiorella & Zhang, 2018). Cette dernière permet d'engager l'apprenant dans un apprentissage plus actif et plus profond (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b). Scheiter, Schleinschok, et al. (2017) ont montré que des collégiens de cinquième qui généraient des schémas n'obtenaient pas de meilleurs scores d'apprentissage que ceux qui avaient une consigne d'auto-explication. Fiorella et Kuhlmann (2020) ont étudié les performances d'apprentissage à long-terme d'étudiants qui 1) généraient des schémas ou 2) donnaient des explications sur une leçon à un pair fictif. Leurs résultats n'indiquent pas de différence entre les deux conditions sur des mesures de mémorisation, de transfert et à un test de schématisation.

**Pour résumer**, des apprenants qui réalisent une activité de génération de schémas n'apprennent pas mieux un document que ceux qui ont des consignes d'auto-explication (Fiorella & Kuhlmann, 2020; Scheiter, Schleinschok, et al., 2017). En revanche, trop peu d'études ont été réalisées pour tirer des conclusions solides et d'autres études sont nécessaires (Fiorella & Zhang, 2018).

### 3.1.3. La génération de schémas comparée à la stratégie d'imagination

Les effets de la génération de schémas ont été peu étudiés par rapport à ceux de la stratégie d'imagination (Cheng & Beal, 2020; Leutner et al., 2009; L. Lin et al., 2017; Schmidgall et al., 2019, expérience 2). Par exemple, Leutner et al. (2009) ont examiné les effets de la génération de schémas et de l'imagination sur la compréhension de lycéens travaillant sur les

dipôles d'eau. Leurs résultats ont montré que ceux qui généraient des schémas ont moins bien compris le document que ceux qui n'en avaient pas générés.

D'autres études plus récentes, comme celle réalisée par L. Lin et al. (2017) n'ont pas relevé d'effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage comparativement à la stratégie d'imagination. De même, Schmidgall et al. (2019, expérience 2) n'ont pas montré d'avantages de la génération de schémas sur l'apprentissage immédiat ou différé d'étudiants qui travaillaient sur des tablettes avec stylet par rapport à ceux qui avaient une consigne d'imagination. De plus, ils ont pris plus de temps à réaliser l'activité. Pour terminer, Cheng et Beal (2020) ont montré que des étudiants qui généraient des schémas obtenaient de meilleurs scores de rappel mais pas de transfert que ceux qui avaient des consignes d'imagination *uniquement* lorsqu'ils avaient de hautes capacités visuo-spatiales.

**Pour résumer**, en opposition à la stratégie d'imagination, la génération de schémas n'a pas d'effets bénéfiques sur l'apprentissage d'étudiants (e.g., Schmidgall et al., 2019, expérience 2) et a des effets délétères auprès de lycéens (Leutner et al., 2009). Elle est également coûteuse en temps. D'autres études sont nécessaires, plus particulièrement auprès des collégiens.

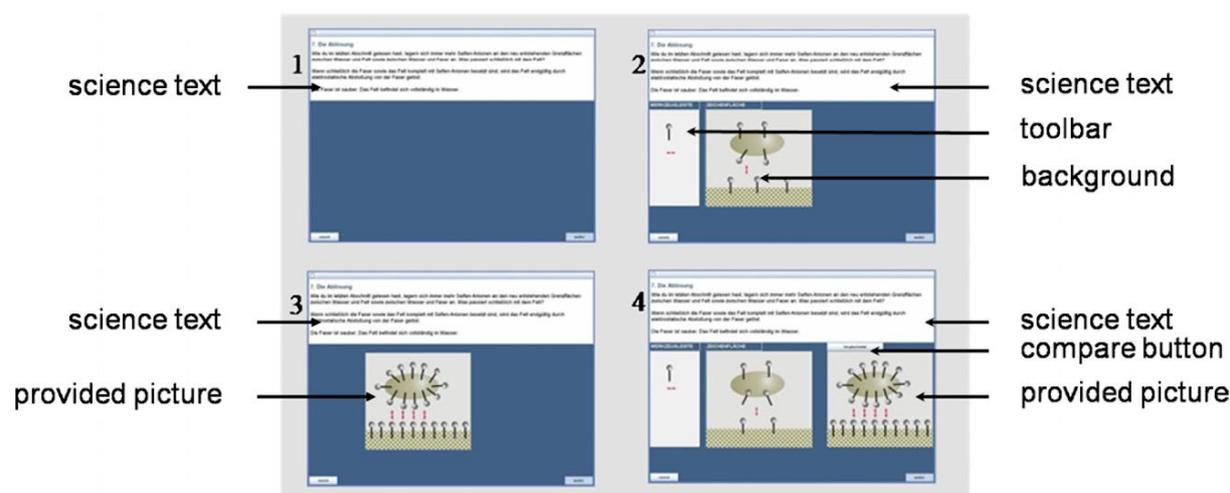
#### 3.1.4. La génération de schémas comparée à un texte illustré

Dans le cadre de cette thèse, la comparaison entre les effets de la génération de schémas et des textes illustrés est la plus pertinente. L'activité générative semble offrir plus d'opportunités aux apprenants qu'un texte illustré car ces derniers s'engageraient davantage dans la tâche d'apprentissage (cf., mode constructif, Chi & Wylie, 2014). Elle permettrait un traitement approfondi des illustrations (Peeck, 1993) puisqu'elles sont auto-générées. Elle augmenterait la méta-compréhension (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005) alors que les illustrations peuvent entraîner une illusion de compréhension (e.g., Weidenmann, 1989; Wiley, 2018). Enfin, elle permettrait de contraindre le processus d'intégration (Van Meter & Garner, 2005) alors que la source d'informations illustrées n'est pas nécessairement intégrée avec la source textuelle (Renkl & Scheiter, 2017; Schnotz & Wagner, 2018).

Toutefois, face à un texte illustré, les études montrent que la génération de schémas a des effets mitigés sur l'apprentissage (voir Fiorella & Mayer, 2015; Fiorella & Zhang, 2018, pour des revues de la littérature). Plusieurs travaux ont relevé des effets positifs de la génération de schémas sur certaines mesures d'apprentissage (e.g., Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2019; Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006; Q. Zhang & Fiorella, 2019), tandis que d'autres n'ont pas présenté d'effets bénéfiques (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmidgall et al., 2019; Schwamborn et al., 2011; Wiley, 2018; Q. Zhang & Fiorella, 2019), voire des effets négatifs (Q. Zhang & Fiorella, 2019).

Par exemple, Schwamborn et al. (2011) ont réalisé une étude qui suivait un plan expérimental factoriel 2 x 2 avec des facteurs illustrations (sans et avec) et génération (sans et avec) auprès de collégiens de 4<sup>ième</sup> qui travaillaient sur ordinateur et effectuaient une activité traitant des étapes du processus de nettoyage. Ils étaient répartis dans quatre conditions : 1) Texte non illustré ; 2) Génération de schéma ; 3) Texte illustré et ; 4) Génération de schéma + illustration où les élèves généraient un schéma *puis* le comparaient à une illustration (voir **Figure 8**). Pour créer leur schéma, ils disposaient des éléments visuels à insérer au sein d'une figure de fond *via* un processus de drag and drop. Leurs résultats ont montré que les élèves qui généraient des schémas ont pris plus de temps à réaliser l'activité. Ils ont eu de meilleures performances à un test de schématisation mais pas aux tests de mémorisation et de transfert.

**Figure 8.** Interface de l'application pour chaque condition (Schwamborn et al., 2011, p.90)



*Note.* 1) Texte non illustré ; 2) Génération de schéma ; 3) Texte illustré ; 4) Génération de schéma + illustration).

Schmeck et al. (2014, expérience 2) ont, quant-à-eux, réalisé une étude qui suivait le même plan expérimental que Schwamborn et al. (2011). En revanche, les élèves travaillaient à partir d'un support papier-crayon sur la thématique de la grippe et des réponses immunitaires du corps. Tous ceux qui généraient des schémas disposaient d'éléments visuels à recopier au sein d'une figure de fond. Leurs résultats ont montré que les élèves qui généraient des schémas ont mieux compris le document et mieux réussi le test de schématisation que les autres mais ils ont pris plus de temps à réaliser l'activité. Lorsque les temps d'apprentissage sont contrôlés dans les analyses, l'effet bénéfique de la génération de schémas sur les mesures d'apprentissage n'est plus significatif.

Plus récemment, les résultats d'une étude réalisée par Schmidgall et al. (2019, expérience 1) sur tablettes auprès d'étudiants n'ont pas montré d'effets de la génération de schémas par rapport à une condition de textes illustrés sur des mesures immédiates et différées de mémorisation ou de transfert. Dans une autre étude (Hellenbrand et al., 2019, expérience 1), des élèves de 4<sup>ème</sup> et de 3<sup>ème</sup> qui généraient des schémas à l'aide d'éléments visuels à recopier au sein d'une figure de fond ont obtenu de meilleurs scores de mémorisation et au test de schématisation, mais pas de transfert, par rapport à ceux qui avaient un texte

illustré. De plus, les élèves qui généraient des schémas ont pris plus de temps à réaliser l'activité, et lorsqu'ils sont contrôlés dans les analyses, les effets sur les mesures d'apprentissage disparaissent.

**Pour résumer**, les résultats des études montrent que la génération de schémas a des effets mitigés par rapport à un texte illustré (Fiorella & Zhang, 2018). Ces études révèlent également que cette activité est coûteuse en temps (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2011; Van Meter, 2001). Les effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage face à un texte illustré semblent apparaître lorsque l'activité est soutenue par des supports (e.g., éléments visuels à insérer au sein d'une figure de fond). Ces derniers constituent des guidages de l'activité et sont développés dans le troisième chapitre de la thèse.

#### 3.1.5. Synthèse des effets de la génération de schémas sur l'apprentissage

Le **Tableau 3** présente une synthèse des effets de la génération de schémas présentés dans cette section.

**Tableau 3.** Synthèse des effets de la génération de schémas et remarques sur cette activité comparée aux autres supports d'apprentissage.

Supports d'apprentissage	Apprentissage	Remarques
Texte non illustré ou stratégie centrée sur le texte	Effets bénéfiques	- Majorité des études - Coûteuse en temps
Stratégie d'auto-explication	Absence d'effets	- Très peu d'études
Stratégie d'imagination	Absence d'effets et effets délétères	- Très peu d'études auprès de collégiens ou de lycéens
Texte illustré	Effets mitigés	- Coûteuse en temps - Effets bénéfiques lorsqu'un support est présent

### 3.2. L'impact de la génération de schémas sur la charge cognitive

D'après la littérature, la génération de schémas peut se révéler complexe pour les apprenants. Selon Schleinschok et al. (2017), d'un côté, cette activité peut être bénéfique car elle peut augmenter la charge cognitive utile conduisant ainsi à un meilleur apprentissage. D'un autre côté, d'après ces chercheurs, si le document pédagogique est complexe, elle peut être une charge additionnelle conduisant à une surcharge cognitive. En effet, le fait de générer des schémas peut augmenter la charge cognitive extrinsèque des apprenants car ces derniers peuvent se concentrer sur la réalisation de leurs schémas et donc ne pas bénéficier de cette activité sur leur apprentissage (Van Meter et al., 2006). De même, le fait de ne pas savoir exactement quels éléments sont à représenter au sein des schémas et comment les faire peut créer des traitements extrinsèques (Fiorella & Mayer, 2015).

Certains résultats issus de la littérature montrent que, dans certains cas, la génération de schémas augmente effectivement le niveau de charge cognitive des apprenants (e.g., Leutner et al., 2009; Schmidgall et al., 2019; Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2021). Leutner et al. (2009) ont montré que des élèves qui généraient des schémas avaient

reporté davantage de charge cognitive que ceux qui n'en généraient pas. De plus, dans leur étude, ils ont montré que l'effet négatif de l'activité sur la compréhension résultait d'une importante charge cognitive. Schwaborn et al. (2011) ont également rapporté que les élèves qui généraient des schémas reportaient davantage de charge cognitive que les autres. En revanche, leur étude a été réalisée sur ordinateur et les apprenants produisaient l'activité *via* un processus de drag and drop. Cette configuration peu naturelle pour des élèves a pu entraîner cette augmentation de la charge cognitive (Schwaborn et al., 2011).

Toutefois, d'autres études n'ont pas montré d'effets de la génération de schémas sur la charge cognitive. Ces résultats sont à nuancer car ces études étaient 1) réalisées auprès d'étudiants (e.g., L. Lin et al., 2017; Schleinschok et al., 2017), ou 2) des supports de l'activité étaient fournis (e.g., Schmeck et al., 2014).

### 3.3. Les effets de la génération de schémas sur les processus métacognitifs

Selon le modèle cognitif de la génération de schémas, les apprenants s'engageraient dans des processus métacognitifs de self-monitoring et d'autorégulation plus fréquents que ceux qui ne génèrent pas de schémas (Van Meter & Firetto, 2013). Le rôle de la métacognition serait donc fondamental lors de cette activité (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005).

Or, à notre connaissance, seules quelques études ont examiné les effets de la génération de schémas sur ces processus (e.g., Kollmer et al., 2020; Kostons & de Koning, 2017; Schleinschok et al., 2017; Van Meter, 2001; Wiley, 2018). Ils étaient évalués au travers du self-monitoring ou de la précision du monitoring. La précision du monitoring peut être mesurée à un niveau absolu ou à un niveau relatif (cf., Schraw, 2009). À un niveau absolu, elle renvoie à l'écart entre le jugement d'apprentissage et la performance globale à un test (Schleinschok et al., 2017). Au niveau relatif, elle correspond au lien entre le jugement d'apprentissage à un item et la performance à cet item (Schleinschok et al., 2017).

Globalement, les recherches indiquent que des apprenants qui génèrent des schémas s'engagent dans plus de processus métacognitifs que ceux qui n'en génèrent pas (Kollmer et al., 2020; Schleinschok et al., 2017; Van Meter, 2001; Wiley, 2018). À titre d'exemple, Van Meter (2001) a évalué le self-monitoring d'élèves de CM2 et de 6<sup>ème</sup> grâce à une grille de codage. Certains élèves disposaient de textes illustrés tandis que d'autres généraient des schémas avec des supports de l'activité plus ou moins importants. Leurs résultats ont montré que les élèves qui créaient des schémas ont mis en place plus de self-monitoring que ceux qui disposaient d'un texte illustré. Schleinschok et al. (2017, expérience 1) ont montré que les étudiants qui généraient des schémas avaient une meilleure précision de leur monitoring à un niveau relatif que les élèves qui avaient un texte non illustré mais ils n'ont pas mis en place davantage de processus d'autorégulation. Dans leur seconde expérience, les étudiants qui avaient généré des schémas n'ont pas non plus mis en place plus de stratégies d'autorégulation. Dans l'étude de Kollmer et al. (2020), les étudiants qui généraient des schémas ont obtenu une meilleure précision de leur monitoring à un niveau absolu que ceux qui avaient une consigne d'imagination.

D'autres études nécessitent d'être réalisées, notamment auprès de collégiens ou de lycéens. Elles doivent comparer les effets de la génération de schémas à ceux d'un texte illustré sur les processus métacognitifs des élèves (Fiorella & Zhang, 2018).

### 3.4. Les effets de la génération de schémas sur les processus cognitifs d'apprentissage

À notre connaissance, une seule recherche a examiné les processus d'apprentissage mis en œuvre par des apprenants lors de la génération de schémas en analysant leurs mouvements oculaires (Hellenbrand et al., 2019). Dans leurs deux études, les chercheurs ont observé les processus cognitifs d'apprentissage de collégiens qui généraient des schémas à l'aide d'éléments visuels fournis à recopier au sein d'une figure de fond. Ils ont comparé ces processus à ceux d'élèves qui disposaient de textes illustrés (expérience 1) ou qui devaient réaliser des résumés (expérience 2).

Dans leur première expérience, les élèves qui généraient des schémas se sont davantage engagés dans :

- Des processus de sélection, que ce soit en termes de focus attentionnel sur les mots ou de focus attentionnel sur les éléments clés du texte.
- Des processus intégratifs, que ce soit en termes de tentatives d'intégration du contenu textuel avec le contenu généré ou bien en termes de tentatives *significatives* d'intégration du contenu textuel avec le contenu généré.

Leur seconde recherche a montré que ceux qui généraient des schémas se sont engagés dans plus de processus de sélection des éléments clés du texte et dans plus de tentatives significatives d'intégration des contenus que ceux qui réalisaient des résumés.

Entre autres, ces résultats appuient les hypothèses du modèle cognitif de la génération de schémas selon lesquelles les apprenants ne pouvant externaliser leur production et sachant qu'ils n'ont pas nécessairement bien compris le matériel, doivent faire des allers-retours dans le document (Hellenbrand et al., 2019; Van Meter & Firetto, 2013). En effet, dans ces deux expériences, les apprenants se sont engagés dans des processus de régulation en révisant leur modèle mental (Hellenbrand et al., 2019).

Outre les différents effets de la génération de schémas présentés dans cette section, des facteurs peuvent influencer l'activité et sont donc présentés dans la section suivante.

#### 4. Les facteurs influençant la génération de schémas

Les connaissances préalables, les capacités visuo-spatiales et principalement la qualité des schémas générés font partie des facteurs pouvant influencer les effets de la génération de schémas sur l'apprentissage. Elles sont donc présentées dans cette section.

## 4.1. Les connaissances préalables

D'après la littérature, les connaissances préalables sont un des facteurs pouvant influencer les effets de la génération de schémas sur l'apprentissage (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Garner, 2005) mais la majorité des études les ont mesurées en tant que variable contrôle (e.g., Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2019, 2020). À notre connaissance, seules deux recherches ont testé leurs effets lors de l'activité générative (Cheng & Beal, 2020; L. Lin et al., 2017). Cheng et Beal (2020) n'ont pas relevé d'effets des connaissances préalables lors d'une activité de génération de schémas chez des étudiants. En revanche, L. Lin et al. (2017) ont montré que des étudiants qui généraient des schémas obtenaient de meilleures performances de compréhension par rapport à ceux qui disposaient d'un texte non illustré *uniquement* lorsqu'ils avaient de faibles connaissances préalables.

Ces résultats sont en accord avec *l'effet inversé d'expertise* (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011b) : des apprenants avec d'importantes connaissances préalables ne bénéficieraient pas de la génération de schémas car l'information deviendrait redondante et pourrait entraîner une augmentation de leur charge cognitive extrinsèque (L. Lin et al., 2017). Toutefois, sans connaissances préalables dans un domaine, le processus de sélection des informations clés à générer peut se révéler complexe (Van Meter et al., 2006). De plus, un manque de connaissances sur des représentations visuelles du schéma pourrait entraîner des difficultés supplémentaires pour les élèves. Dans ce cas, il semble important de faciliter l'activité générative en ajoutant des supports (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Garner, 2005). Ces derniers seront présentés dans le troisième chapitre de la thèse.

## 4.2. Les capacités visuo-spatiales

Les capacités visuo-spatiales auraient une influence lors de l'étude de documents illustrés en sciences, en technologie, en ingénierie ou en mathématiques (e.g., Hegarty, 2014). En revanche, elles ont été généralement mesurées en tant que variable contrôle dans les études sur la génération de schémas (e.g., Leopold & Leutner, 2012; Schwamborn et al., 2010).

Or, elles pourraient modérer les effets de cette activité générative sur l'apprentissage (Fiorella & Zhang, 2018).

À notre connaissance, très peu d'études ont testé l'impact des capacités visuo-spatiales sur la génération de schémas (e.g., Bobek & Tversky, 2016; Cheng & Beal, 2020; Q. Zhang & Fiorella, 2019). Bobek et Tversky (2016, expérience 1) ont montré que, par rapport à l'écriture d'explications verbales, la génération de schémas à partir de la manipulation d'un mécanisme de pompe à air était bénéfique pour les apprenants *uniquement* lorsqu'ils avaient de faibles capacités visuo-spatiales. Ce résultat indiquerait que la génération de schémas compenserait les difficultés des apprenants avec de faibles capacités visuo-spatiales (Q. Zhang & Fiorella, 2019). Il semble toutefois nécessaire de noter que, dans cette étude, la génération de schémas a été proposée à partir de la manipulation d'objets et non à partir de textes scientifiques. En outre, selon Fiorella et Zhang (2018), les résultats de l'étude de Fiorella et Mayer (2017) iraient également dans ce sens. Dans cette étude, les étudiants qui utilisaient des stratégies de prise de note visuelles (cf. génération de schémas) de manière spontanée ont eu de meilleures performances de compréhension que ceux qui utilisaient des stratégies de prise de note verbales, même quand les capacités visuo-spatiales des apprenants étaient prises en compte.

Dans leur seconde expérience, Bobek et Tversky (2016, expérience 2) ont montré que des apprenants avec de hautes capacités visuo-spatiales ont de meilleures performances d'apprentissage lorsqu'ils génèrent des schémas à partir d'animation vidéo.

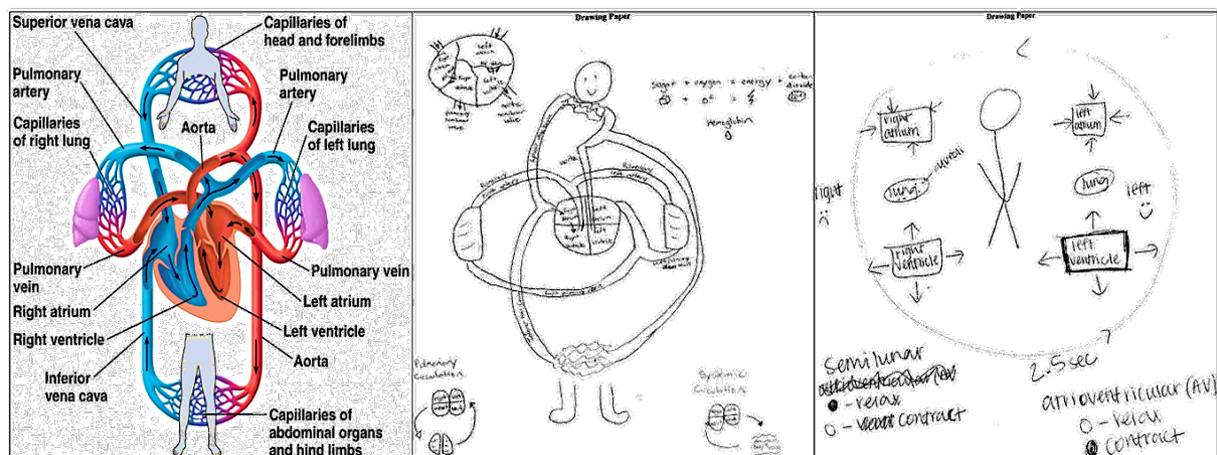
L'étude de Q. Zhang et Fiorella (2019) a relevé que des étudiants avec de hautes capacités visuo-spatiales tendent à générer des schémas de meilleures qualités et auraient de meilleures performances de rappel et de transfert. Dans l'étude de Cheng et Beal (2020), des étudiants qui généraient des schémas à partir d'un texte ont obtenu de meilleures performances de rappel, mais pas de transfert, que ceux qui avaient des consignes d'imagination ou un texte illustré *uniquement* lorsqu'ils avaient de très hautes capacités visuo-spatiales.

D'autres études sont nécessaires pour déterminer le rôle des capacités visuo-spatiales lors de la génération de schémas, particulièrement chez des apprenants jeunes.

### 4.3. La qualité des schémas générés

La qualité des schémas correspond au degré de ressemblance entre un schéma généré et l'objet ou le concept qu'il doit représenter (Van Meter & Garner, 2005). La **Figure 9** présente des schémas de qualité élevée ou faible générés par des étudiants dans l'étude de Q. Zhang et Fiorella (2019).

**Figure 9.** Présentation d'une illustration et de schémas de qualités différentes ; extraits de l'étude de Q. Zhang et Fiorella (2019).



*Note.* À gauche, l'illustration (p.13), au milieu, un schéma généré de bonne qualité (p.5) et à droite, un schéma généré de faible qualité (p.7).

#### 4.3.1. Effet prévisionnel des schémas

La qualité des schémas réalisés apparaît comme un facteur déterminant pour obtenir des effets bénéfiques de la génération. Par exemple, Schwamborn et al. (2010) ont montré que des collégiens qui généraient des schémas de bonne qualité avaient de meilleures performances de mémorisation, de transfert et à un test de schématisation que ceux qui en généraient de faible qualité. Plus généralement, plusieurs études ont montré la relation positive entre la qualité des schémas générés et les mesures d'apprentissage (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schleinschok et al., 2017; Schmeck et al., 2014; Schmidgall et al., 2020; Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2019). Ainsi, d'après « l'effet prévisionnel

*des schémas* » (prognostic drawing effect ; Schwamborn et al., 2010, p .877, notre traduction), meilleure est la qualité des schémas réalisés, meilleure est la qualité de l'apprentissage.

Van Meter et Garner (2005) ont proposé deux explications pour rendre compte de cette relation. Lorsque des documents pédagogiques sont facilement compréhensibles, un schéma précis est le reflet d'une bonne compréhension du document. L'apprenant n'a alors pas directement besoin de ce schéma pour favoriser sa compréhension et cette dernière prédirait ainsi la précision du schéma. En revanche, lorsque des documents sont complexes, la génération de schémas constitue une stratégie d'apprentissage. Le schéma généré devient un support et il influence directement la compréhension d'un apprenant. Ainsi, plus le schéma est précis, meilleure est la compréhension du document car ce dernier a une fonction d'aide.

D'après Van Meter et Garner (2005), une étude réalisée par Van Meter (2001) illustre cet effet. Des collégiens étaient répartis dans quatre conditions et travaillaient sur le système nerveux. Dans une condition, les élèves disposaient d'un texte illustré. Dans les trois autres, les élèves devaient générer des schémas avec des guidages de l'activité plus ou moins importants. Leurs résultats ont montré que les collégiens qui disposaient du guidage le plus fort ont généré des schémas de meilleure qualité. De plus, ils ont été les seuls à obtenir des scores de compréhension significativement plus élevés que ceux qui disposaient d'un texte illustré. Dans cette étude, la condition expérimentale avec le guidage le plus important a permis d'améliorer la qualité des schémas générés qui, en retour, a permis d'améliorer la compréhension des apprenants (Van Meter & Garner, 2005).

#### 4.3.2. Les difficultés liées à la génération de schémas de bonne qualité

Il semble donc fondamental que les apprenants génèrent des schémas de bonne qualité afin d'obtenir des effets bénéfiques sur l'apprentissage. Or, globalement, les études reportent des résultats faibles ou moyens de qualité des schémas générés (Schmidgall et al., 2020). En effet, les taux de réussite des schémas ont tendance à être inférieurs à 50.00% quand l'activité n'est pas soutenue par des supports. Cette faible qualité pourrait être à l'origine des effets mitigés de la génération de schémas sur l'apprentissage présentés dans la littérature (Schleinschok et al., 2017; Schmidgall et al., 2019, 2020; Van Meter, 2001). En effet,

elle reflèterait la construction d'un modèle mental peu précis (Q. Zhang & Fiorella, 2019) et serait donc délétère pour l'apprentissage (Peeck, 1993).

Ainsi, les apprenants pourraient ne pas générer des schémas de bonne qualité de manière spontanée (Q. Zhang & Fiorella, 2019). Selon Schmidgall et al. (2020), deux raisons pourraient l'expliquer. Premièrement, en raison de la complexité de la tâche de génération, les capacités cognitives des apprenants pourraient être surchargées. Lorsqu'ils ne disposent que de faibles connaissances préalables face à un matériel pédagogique, le niveau de charge cognitive intrinsèque est élevé. Les ressources en mémoire de travail pour réaliser des activités comme la génération de schémas seraient alors trop faibles et l'activité deviendrait une charge additionnelle en mémoire de travail.

Leur seconde explication concerne la manière de générer des schémas et s'appuie sur le modèle de Kosslyn (1994, cité dans Schmidgall et al., 2020). Selon ce modèle, afin de générer une représentation visuelle interne, les apprenants doivent consulter leurs fichiers d'images en mémoire à long-terme. Ces fichiers peuvent ainsi être manipulés au sein du buffer visuel avec des capacités limitées. Cette manipulation permet donc de composer une image mentale qui peut ensuite être inspectée. Ce processus peut se révéler difficile si de nombreux fichiers d'images doivent être consultés. De même, il peut se révéler compliqué si l'orientation visuo-spatiale de ces fichiers d'images est déterminante pour créer leur représentation visuelle interne. Ainsi, de nombreuses transformations sont nécessaires pour créer une représentation visuelle interne et les apprenants ont des capacités limitées en mémoire de travail. En raison de la complexité de ce processus, les élèves peuvent générer des schémas de faible qualité.

#### 4.3.3. Soutenir la génération par des supports pour améliorer la qualité des schémas générés

Les recherches révèlent également un point primordial ; les supports de la génération semblent améliorer la qualité des schémas réalisés, augmenter l'apprentissage et réduire la complexité de la tâche (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Garner, 2005). Dans une récente revue de la littérature sur les apprentissages génératifs, Brod (2020) a mis en avant le fait que

des collégiens bénéficieraient de l'activité générative *uniquement* lorsqu'elle est aidée. Dans leur revue de la littérature, Guo, McTigue et al. (2020) indiquent également que l'activité générative peut être bénéfique pour des collégiens lorsque des consignes et des supports sont proposés. Enfin, selon Q. Zhang et Fiorella (2021), la génération de schémas ne serait pas bénéfique sans des supports importants de l'activité pour des novices. L'étude réalisée par Van Meter (2001) appuie ce constat puisque les jeunes apprenants qui disposaient du support le plus important lors de l'activité générative ont produit des schémas de meilleure qualité et ont mieux appris le document que les autres. La mise en place des supports a donc été proposée pour améliorer la qualité des schémas produits et peut se révéler fondamentale lors de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Ces différents supports sont présentés et détaillés dans le Chapitre 3 suivant.

## 5. Conclusion du chapitre 2

La génération de schémas est une activité pédagogique permettant d'engager l'apprenant dans son apprentissage (cf., mode constructiviste, Chi & Wylie, 2014) et qui, théoriquement, compenserait les difficultés liées au traitement de textes illustrés (voir Chapitre 1). Ce chapitre a, en revanche, montré que cette activité générative a des effets mitigés sur l'apprentissage des apprenants, particulièrement par rapport à des textes illustrés (Fiorella & Zhang, 2018). En outre, cette activité peut se révéler complexe et augmenter la charge cognitive des apprenants (e.g., Leutner et al., 2009). Pour autant, elle leur permettrait de s'engager dans davantage de processus métacognitifs (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). De plus, les apprenants s'engageraient également dans davantage de processus cognitifs de sélection et d'intégration par rapport à ceux qui étudient des textes illustrés ou qui réalisent des résumés (Hellenbrand et al., 2019).

Différents facteurs interviennent lors de la génération de schémas et notamment le niveau de connaissances préalables ou de capacités visuo-spatiales. Plus spécifiquement, la qualité des schémas générés aurait un rôle fondamental puisqu'elle influencerait la qualité de l'apprentissage (i.e., effet prévisionnel des schémas ; Schwamborn et al., 2010). Pour autant,

les apprenants ne génèrent pas des schémas de bonne qualité de manière spontanée (Q. Zhang & Fiorella, 2019). Des supports de l'activité seraient donc nécessaires afin d'améliorer cette qualité, d'augmenter l'apprentissage, de réduire la complexité de la tâche et d'augmenter les processus métacognitifs (e.g., Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Ces supports seraient particulièrement nécessaires chez les apprenants du cycle secondaire (Brod, 2020).

## Chapitre 3. Faciliter l'activité de génération de schémas par des supports

Le chapitre précédent a mis en avant les difficultés liées à la génération de schémas et a montré que, comme le suggèrent Van Meter et Garner (2005), il est nécessaire de soutenir cette activité par des supports, particulièrement pour des élèves du cycle secondaire (Brod, 2020). Ces supports peuvent prendre différentes formes. Il peut s'agir de guidages de l'activité, termes utilisés dans la revue de la littérature de Fiorella et Zhang (2018). Les guidages correspondent à des consignes ou à des documents fournis à l'apprenant avant, pendant ou après l'activité. Les supports peuvent également prendre d'autres formes, par exemple la mise en place d'un travail collaboratif, qui sera développé dans la seconde section du chapitre. Globalement, ces supports ont pour but d'améliorer la qualité des schémas générés, de réduire la charge cognitive et donc d'améliorer l'apprentissage et les processus métacognitifs (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Ainsi, différents niveaux de guidages de la génération de schémas ont été répertoriés par Fiorella et Zhang (2018).

Les résultats d'une récente méta-analyse ont montré que la génération collaborative de schémas avait des effets bénéfiques sur la mémorisation des apprenants avec une taille d'effet importante (Cromley et al., 2020). Les études sur la génération de schémas dans des contextes collaboratifs étaient réalisées auprès d'élèves en binôme qui généraient des schémas à partir de tablettes numériques (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). Ces résultats suggèrent que la collaboration entre deux ou plusieurs apprenants pourrait avoir des effets bénéfiques sur leur apprentissage et interviendrait donc comme un support de l'activité de génération. D'autres recherches indiquent également que le contexte social dans lequel a lieu la génération de schémas est à prendre en compte pendant l'activité.

Ce chapitre a pour objectif de présenter des supports de la génération de schémas qui permettraient de faciliter cette activité. Dans un premier temps, les quatre niveaux de guidages définis par Fiorella et Zhang (2018) dans leur revue de la littérature sont décrits ainsi que leurs effets et leurs fonctions. Dans un second temps, la génération collaborative de

schémas est présentée pour montrer en quoi la collaboration pourrait intervenir comme un support de l'activité. Les processus et les mécanismes explicatifs de cette activité collaborative sont décrits, ainsi que ses conditions d'efficacité.

## 1. Les guidages individuels de la génération de schémas

L'activité de génération de schémas est classiquement proposée à partir d'un texte et d'une consigne de génération sur un document vierge (Schwamborn et al., 2010). Par ailleurs, certaines études ont intégré des guidages de cette activité (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2011; Van Meter, 2001).

Dans leur revue de la littérature, Fiorella et Mayer (2015) ont défini quatre niveaux de guidage :

1) « Sans guidage » : correspond à une activité avec seulement une consigne de génération ;

2) « Guidé » : correspond à un entraînement à la génération de schéma ou à la spécification du contenu qui doit être généré ;

3) « Partiel » : les apprenants disposent d'une figure à compléter ;

4) « Complètement guidée » : consiste en une comparaison du schéma généré par rapport à une illustration fournie.

Par la suite, Fiorella et Zhang (2018) ont proposé une classification par niveau très similaire à celle présentée ci-dessus (voir **Tableau 4**). Elle est développée dans cette partie.

**Tableau 4.** Niveaux de guidages proposés par Fiorella et Zhang (2018, p.1126, notre traduction)

Niveaux	Guidages	Description
1	Minimal	Consignes de génération de schémas
2	Entraînement à la génération	Entraînement explicite et pratique sur la sélection et la génération des éléments à inclure au sein du schéma
3	Illustrations partielles	Illustrations partielles à compléter
4	Comparaison par rapport à une illustration	Incitation à comparer le schéma généré à une illustration fournie

### 1.1. Guidage minimal

Plusieurs études ont mis en place des guidages de niveau 1 de la génération de schémas (e.g., Gobert & Clement, 1999; Leopold & Leutner, 2012; Leutner et al., 2009; Schmidgall et al., 2019). Hormis une consigne de génération, l'apprenant n'a aucun guidage additionnel pendant la tâche (Fiorella & Zhang, 2018) et il ne reçoit qu'un texte et une zone de schématisation vierge. La seule fonction de ce niveau de guidage est d'engager l'apprenant dans l'activité (Fiorella & Zhang, 2018).

À ce niveau, Fiorella et Zhang (2018) ont intégré certaines formes de supports testées dans la littérature. Par exemple, des élèves devaient générer des schémas en suivant des consignes précises qui indiquaient les éléments à générer, leur emplacement ou encore leur taille (Hall et al., 1997). Alesandrini (1981) a proposé des consignes de génération sur des parties globales ou précises du texte. Dans la classification proposée par Fiorella et Mayer (2015), ces deux exemples renvoient à la proposition de support « guidé », qui semble plus appropriée. Pour faciliter la lecture dans le cadre de cette thèse, les guidages de niveau 1 avec seulement une consigne de génération seront considérés comme « sans guidage » (cf. Fiorella & Mayer, 2015).

Les résultats issus de la littérature montrent que lorsque les apprenants ne disposent pas de guidage de l'activité, comme présenté dans le chapitre 2, ils ont tendance à générer des schémas d'une qualité relativement faible et leur apprentissage n'est généralement pas amélioré par rapport à ceux qui disposent de textes illustrés (voir Fiorella & Zhang, 2018).

## 1.2. Entraînement à la génération de schémas

Le guidage de niveau 2 correspond à un entraînement à la génération de schémas (Fiorella & Zhang, 2018). Les élèves apprennent à définir quels éléments doivent être schématisés et la manière dont ils ont à générer des schémas. Selon Fiorella et Zhang (2018), ce type de guidage permet de donner des connaissances stratégiques sur cette activité, réduit la charge cognitive extrinsèque, aide à améliorer la qualité des schémas générés et donc l'apprentissage. Comparé aux autres types de guidage développés dans cette section, une fois cet entraînement effectué, les connaissances acquises par les apprenants sur l'activité de génération de schémas peuvent être transférées à une grande variété de situations (i.e. dans des enseignements de sciences de la vie et de la terre, en physique-chimie...). Ainsi, il pourrait offrir des opportunités supplémentaires aux apprenants et aux enseignants dans un contexte scolaire et pédagogique.

À notre connaissance, une seule étude a examiné les effets d'un guidage de niveau 2 (Scheiter, Schleinschok, et al., 2017). Des élèves de 5<sup>ème</sup> devaient générer des schémas à partir d'un texte traitant de l'effet de serre. Avant l'activité, des entraînements à la génération de schémas étaient proposés. Dans un premier temps, l'expérimentateur et les élèves identifiaient et surlignaient les éléments clés du document. Ensuite, un résumé était réalisé par l'expérimentateur qui intégrait les informations clés du document avec ses connaissances préalables. À la suite, il montrait aux élèves comment générer un schéma à partir de ce texte. Les apprenants devaient enfin réaliser le même travail.

Dans un second temps, les apprenants s'entraînaient seuls à partir d'un autre document. Ils disposaient également d'un livret récapitulatif de la stratégie qu'ils venaient d'apprendre.

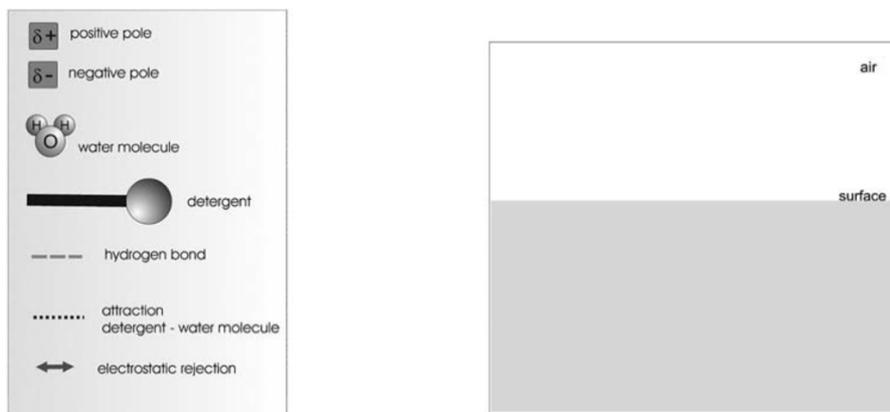
Malgré la présence de ce guidage, les chercheurs n'ont pas montré d'effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage comparée à une stratégie d'auto-explication (les élèves dans cette condition avaient également un entraînement spécifique). En revanche, les collégiens ont produit des schémas de bonne qualité avec un score de réussite de 75.25%.

Une seule étude ayant été réalisée avec ce type de guidage, il semble difficile de tirer des conclusions quant à ses effets. Il serait intéressant d'étudier les connaissances acquises lors de l'activité de génération de schémas et leurs applications à long-terme après qu'un entraînement sur cette activité ait été proposé.

### 1.3. Illustrations partielles

La majorité des recherches qui ont proposé un guidage de niveau 3 à la génération de schémas fournissait les éléments à générer, sous la forme d'éléments visuels à insérer ou à recopier au sein d'une figure de fond (voir **Figure 10**) (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2010, 2011).

**Figure 10.** Exemple du guidage de niveau 3 proposé dans l'étude de Schwamborn et al. (2010, p.875).



*Note.* À gauche, les éléments visuels à recopier représentent les informations clés. À droite, la figure de fond.

Ce guidage permet d'éviter que les apprenants aient à convertir le texte en une nouvelle représentation visuelle et il pourrait contraindre l'activité générative (Fiorella & Zhang, 2018). Cette fonction de contrainte a pour but d'encadrer la construction du schéma de l'apprenant en lui donnant des informations sur les caractéristiques visuelles du schéma à réaliser (Van Meter & Firetto, 2013). Elle aiderait donc l'apprenant à générer des schémas relativement précis (Van Meter & Garner, 2005).

En reprenant le modèle cognitif de la génération de schémas (cf. Chapitre 2, Section 2.2), et selon Van Meter et Firetto (2013), ce type de guidage apporte une nouvelle source d'information pour la construction du schéma. Cette nouvelle information est traitée pour former une représentation imagée interne qui va fournir des informations au modèle mental. Par conséquent, l'apprenant reçoit des données venant à la fois de la représentation propositionnelle formée à partir du texte et de la représentation imagée interne formée grâce au guidage. Le modèle mental et le schéma généré seraient ainsi de meilleure qualité. Ce type de guidage permettrait donc de réduire la charge cognitive extrinsèque, d'améliorer la qualité des schémas générés et donc d'augmenter l'apprentissage (Fiorella & Zhang, 2018).

Dans l'expérience de Schwamborn et al. (2010), des élèves de 3<sup>ème</sup> étaient répartis dans cinq conditions : dans la première, ils étudiaient des textes non illustrés, dans les quatre autres conditions, ils généraient des schémas à partir d'éléments visuels fournis à recopier au sein d'une figure de fond. Parmi ces quatre conditions génératives, trois étaient complétées de guidages supplémentaires (e.g., surligner les éléments importants du document). Les résultats ont montré que les élèves généraient de qualité moyenne avec un taux de réussite allant de 46.00% à 50.00% selon les conditions. De plus, les élèves dans les conditions génératives ont obtenu de meilleurs scores de mémorisation, de transfert et au test de schématisation que ceux qui disposaient d'un texte non illustré. Les différentes conditions génératives donnaient des résultats similaires. Les résultats de cette étude suggèrent qu'un guidage de niveau 3 est efficace comparé à un texte non illustré et est suffisant pour des collégiens (Schwamborn et al., 2010). Toutefois, comme présenté dans le chapitre précédent, la génération de schémas a globalement des effets bénéfiques sur l'apprentissage, même sans guidage, quand on la compare à un texte non illustré.

Schwamborn et al. (2011) n'ont, quant-à-eux, pas montré d'effet bénéfique d'un guidage de niveau 3 de la génération de schémas par rapport à l'étude d'un texte illustré. Dans cette étude, les élèves devaient générer des schémas *via* un processus de drag and drop sur ordinateur.

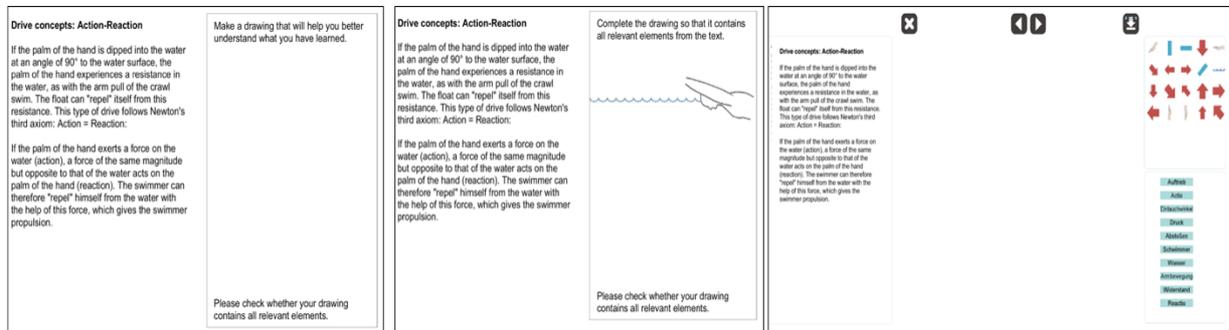
Dans leur étude, Schmeck et al. (2014, expérience 2) ont montré que des collégiens qui généraient des schémas avec un guidage de niveau 3 avaient des scores de qualité de schémas relativement moyens avec un taux de réussite de 60.00%. Par ailleurs, ils ont obtenu de meilleurs scores de transfert et n'ont pas reporté plus de difficulté perçue que ceux qui disposaient d'un texte illustré.

Hellenbrand et al. (2019) ont mis en avant que les collégiens qui disposaient de ce guidage ont généré des schémas d'une qualité relativement bonne avec des scores de réussite d'environ 68.00% dans leurs deux études. Ils ont également mis en œuvre davantage de processus de sélection et d'intégration (cf. Chapitre 2) mais n'ont pas obtenu de meilleurs scores de transfert que ceux qui disposaient d'un texte illustré (expérience 1) ou qui réalisaient un résumé (expérience 2).

Aucune de ces études n'a examiné les effets de la génération de schémas accompagnée d'un guidage de niveau 3 par rapport à cette activité générative non guidée. À notre connaissance, seulement deux recherches ont comparé un guidage de niveau 3 à la génération de schémas sans guidage (Kollmer et al., 2020; Schmidgall et al., 2020).

Dans leur étude, Schmidgall et al. (2020) proposaient soit un guidage sous la forme d'une figure de fond (niveau 3), soit un guidage sous la forme d'éléments visuels fournis (niveau 3) (voir **Figure 11**). Ces deux conditions étaient comparées à une activité de génération sans guidage et à un document présenté sous la forme d'un texte non illustré.

**Figure 11.** Les conditions avec génération de schémas de l'étude de Schmidgall et al. (2020, p.61-62).



*Note.* À gauche, sans guidage ; au milieu, guidage avec une figure de fond ; à droite, guidage avec des éléments visuels.

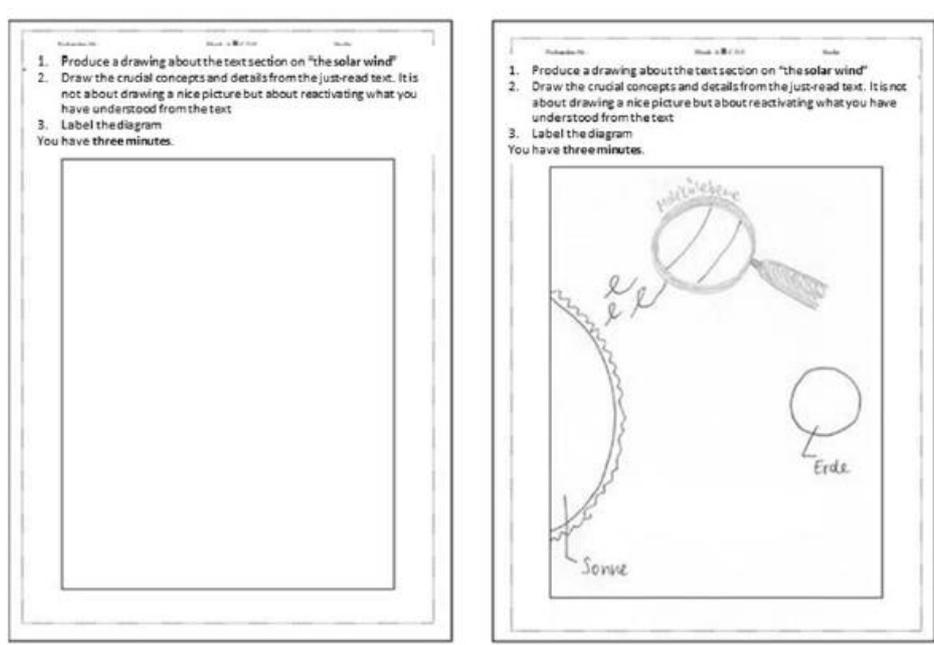
Leurs résultats ont montré que les étudiants qui disposaient d'un guidage n'ont pas généré des schémas de meilleure qualité avec des scores très faibles de réussite de 33.05% (figure de fond), de 16.93% (éléments visuels fournis) et de 36.00% (sans guidage). Au contraire, la génération de schémas avec des éléments visuels fournis a eu des effets délétères sur la qualité des schémas. De même, les apprenants n'ont pas obtenu de meilleurs scores d'apprentissage par rapport à ceux qui ne disposaient pas de guidage. Enfin, les étudiants qui disposaient d'une figure de fond ont reporté plus de difficulté perçue que ceux qui génèrent des schémas sans guidage.

Schmidgall et al. (2020) ont proposé trois hypothèses explicatives quant à leurs résultats. Premièrement, et contrairement aux autres études (e.g., Schmeck et al., 2014), des distracteurs ont été ajoutés dans la condition guidée avec des éléments visuels fournis. Au lieu d'aider les apprenants, ces informations auraient impliqué une évaluation de leur compréhension et aurait pu entraîner une certaine confusion. De plus, dans cette condition, les étudiants ont dû générer des schémas *via* un processus de drag and drop qui a pu réduire la qualité de leur production. Deuxièmement, ces résultats pourraient indiquer que les guidages de niveau 3 sont bénéfiques lorsqu'ils sont constitués à la fois d'éléments visuels fournis et d'une figure de fond. Troisièmement, cette étude a été réalisée auprès d'étudiants

qui pourraient ne pas avoir les mêmes besoins en termes de guidage que des collégiens (cf., Brod, 2020).

De même, les résultats obtenus par Kollmer et al. (2020) auprès d'étudiants n'ont pas montré de différence de qualité des schémas générés entre une condition de génération sans guidage et une condition de génération guidée par une figure de fond (voir **Figure 12**) avec un taux respectif de réussite des schémas de 44.09% et de 44.32%.

**Figure 12.** Les conditions expérimentales mises en place dans l'étude de Kollmer et al. (2020, p.575).



*Note.* À gauche, la condition de génération sans guidage ; à droite, la condition de génération avec un guidage de niveau 3.

Pour terminer, dans leur récente méta-analyse, Cromley et al. (2020) n'ont pas mis en évidence d'effet bénéfique des illustrations partiellement fournies lors de la génération de schémas sur l'apprentissage des apprenants.

**Pour résumer,** les élèves qui disposaient de ce niveau 3 de guidage ont généré des schémas d'une qualité moyenne à bonne. Certaines études montrent que l'activité générative

additionnée de ce guidage permet aux apprenants d'avoir de meilleures performances d'apprentissage que ceux avec des documents illustrés ou non (e.g., Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2010), même si certaines d'entre elles mettent en avant des effets mitigés (e.g., Hellenbrand et al., 2019). En outre, une méta-analyse n'a pas montré d'effet bénéfique de ces illustrations partielles fournies lors de l'activité générative sur les mesures d'apprentissage (Cromley et al., 2020).

Peu d'études ont testé indépendamment les effets des éléments visuels fournis et des figures de fond et leurs résultats semblent suggérer que, pour que le guidage soit efficace, il doit être constitué de ces deux aides (Schmidgall et al., 2020). D'autres travaux auprès d'élèves plus jeunes sont nécessaires afin de déterminer l'efficacité d'un guidage de niveau 3 sur la qualité des schémas générés, la charge cognitive et l'apprentissage comparativement à une activité de génération sans guidage.

#### 1.4. Comparaison à une illustration fournie

Le niveau 4 de guidage proposé par Fiorella et Zhang (2018) concerne la comparaison du schéma généré par l'apprenant avec une illustration fournie. Cette comparaison se fait donc *après* que le schéma ait été réalisé. Peu d'études ont proposé ce type de guidage (Jaeger et al., 2018; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2011; Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006; Q. Zhang & Fiorella, 2019; Q. Zhang & Fiorella, 2021, expérience 2).

L'illustration fournie après la génération donne un feedback sur la précision du schéma de l'apprenant (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Firetto, 2013). Ce feedback permettrait d'entraîner une autoréflexion, de contraindre la génération du schéma et d'augmenter la qualité des schémas générés lorsque ces derniers peuvent être révisés (Fiorella & Zhang, 2018). Ce type de guidage a donc deux fonctions : une fonction d'autorégulation et une fonction de contrainte (Van Meter & Firetto, 2013). La première fonction citée permet de guider les processus d'autorégulation en aidant à comprendre la tâche et à poser des standards. Comme présenté précédemment, la fonction de contrainte permet de fournir des éléments visuels à l'apprenant et elle améliore ainsi la qualité des schémas produits (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). En revanche, elle n'est mise en œuvre que

lorsque les apprenants ont la possibilité de réviser leur schéma après avoir inspecté une illustration fournie. Ce niveau de guidage peut donc être décomposé en deux catégories : 1) sans révision du schéma généré après comparaison avec l'illustration (Jaeger et al., 2018; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2011; Q. Zhang & Fiorella, 2019) et 2) avec révision du schéma généré après comparaison avec l'illustration (Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006; Q. Zhang & Fiorella, 2021, expérience 2).

Concernant la comparaison du schéma réalisé avec une illustration fournie sans possibilité de révision, les études de Schwamborn et al. (2011) et de Schmeck et al. (2014) n'ont pas montré d'effet bénéfique du guidage de niveau 4 lors de la génération de schémas. Toutefois, il est nécessaire de souligner que l'activité était déjà aidée par un guidage de niveau 3.

Jaeger et al. (2018, expérience 2) ont, quant-à-eux, proposé à des étudiants soit de générer des schémas, soit de réaliser des résumés, soit de lire un texte puis d'y réfléchir en notant, par la suite, leur réflexion. Après l'activité, ceux qui généraient des schémas ou réalisaient des résumés devaient comparer leur production à une illustration (condition génération de schémas) ou à un résumé (condition réalisation de résumé). Ils devaient également noter en quoi leur production se différençait de celle fournie par les expérimentateurs. Les chercheurs n'ont pas montré d'effets bénéfiques de l'activité guidée par un niveau 4 sur la mémorisation des éléments pertinents du document et la compréhension des étudiants. Les apprenants ont généré des schémas d'assez faible qualité avec un score de réussite de 42.17%.

Q. Zhang et Fiorella (2019) ont réalisé une recherche dans laquelle des étudiants travaillaient sur le système circulatoire humain. Les participants étaient répartis dans quatre conditions et l'étude se déroulait sur deux sessions :

- Illustration / Illustration : Lors des deux sessions, les étudiants lisaient un texte illustré.
- Génération / Révision : Au cours de la première session, les étudiants devaient générer un schéma à partir d'un texte. Lors de la seconde session, ils pouvaient réviser leur schéma.

- Illustration / Génération : Au cours de la première session, les étudiants lisaient un texte illustré. Lors de la seconde session, ces étudiants pouvaient générer leur schéma à partir du texte mais ne disposaient plus de l'illustration.
- Génération / Illustration (guidage de niveau 4) : Au cours de la première session, les étudiants devaient générer un schéma à partir d'un texte. Lors de la seconde session, ils disposaient d'un texte illustré mais ne disposaient plus de leur schéma.

Cette étude a montré que ceux qui généraient des schémas accompagnés d'un guidage de niveau 4 ont eu de meilleurs scores de transfert que ceux qui ne disposaient que d'illustration ou qui généraient des schémas sans guidage.

À notre connaissance, seulement trois études ont permis d'examiner l'activité de génération de schémas accompagnée d'un guidage de niveau 4 avec une possibilité de révision du schéma auto-généré (Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006; Q. Zhang & Fiorella, 2021, expérience 2). Van Meter (2001) a étudié les effets cette activité auprès d'élèves de CM2 et de 6<sup>ième</sup> travaillant sur le système nerveux. Ils étaient répartis dans quatre conditions : 1) Texte illustré ; 2) Génération de schéma sans guidage ; 3) Génération de schéma avec un guidage de niveau 4 et ; 4) Génération de schéma avec un guidage de niveau 4 et des incitations de comparaison de leur schéma avec l'illustration.

Leurs résultats ont montré que les élèves qui généraient des schémas avec un guidage de niveau 4 et des incitations de comparaison ont généré des schémas (révisés) de bonne qualité avec un taux de réussite de 74.33%. Cette dernière est meilleure que celle des deux autres conditions qui ont obtenu des scores de réussite moyens (48.91% et 51.67%). De plus, ils ont eu de meilleurs scores de compréhension que ceux qui disposaient d'un texte illustré. Enfin, ils ont eu un meilleur self-monitoring que ceux qui généraient des schémas sans guidage. Selon Van Meter et Firetto (2013), ces résultats montrent que les guidages peuvent augmenter l'attention des apprenants vers la compréhension de leurs erreurs et les assister dans leur correction. En revanche, ceux qui disposaient d'un guidage ont pris plus de temps à réaliser l'activité générative que les autres.

L'étude de Van Meter et al. (2006) suivait le même protocole mais les élèves travaillaient sur les ailes d'oiseaux. Les chercheurs ont montré que les élèves des conditions de génération avec un guidage de niveau 4 (qu'il y ait des incitations ou non) ont obtenu de meilleurs scores de résolution de problèmes que ceux qui disposaient d'un texte illustré.

Pour terminer, dans une récente étude, des étudiants 1) disposaient d'un texte illustré ou 2) ils devaient générer un schéma puis le comparer et le réviser avec une illustration fournie (Q. Zhang & Fiorella, 2021). Ceux qui généraient des schémas avec le guidage ont obtenu de meilleurs scores de compréhension mais pas de transfert. Toutefois, ils ont passé plus de temps à réaliser l'activité, ont reporté davantage de charge cognitive et ont produit des schémas d'assez faible qualité (53.89% de réussite). De plus, les résultats ont montré un effet de médiation du temps entre les conditions expérimentales et le niveau de compréhension : les étudiants qui généraient des schémas avec guidage ont de meilleures performances de compréhension car ils passent plus de temps à réaliser l'activité.

**Pour résumer**, ces études montrent l'intérêt d'un guidage de niveau 4 grâce auquel, après la génération de leur schéma, les élèves peuvent le comparer avec une illustration fournie (Fiorella & Zhang, 2018). Cette comparaison entraîne à la fois un meilleur apprentissage mais également un engagement plus important dans des comportements métacognitifs par rapport à une génération de schémas sans guidage (e.g., Van Meter, 2001). Cet avantage est d'autant plus important lorsque les élèves ont l'opportunité de réviser leur schéma afin d'en créer un de meilleure qualité. Toutefois, l'étude de Van Meter (2001) indique que la comparaison de son schéma avec une illustration a des effets bénéfiques *uniquement* lorsqu'elle est additionnée d'une incitation de comparaison. Ces incitations pourraient ainsi avoir un rôle complémentaire dans la mise en œuvre de ce guidage. De plus, la comparaison entre le schéma auto-généré et l'illustration fournie peut être coûteuse en temps (Fiorella & Mayer, 2015).

Pour conclure, selon Van Meter et Garner (2005), les supports/guidages de la génération de schémas peuvent : 1) contraindre la génération du schéma (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014); 2) vérifier la précision du schéma généré (e.g., Van Meter,

2001; Van Meter et al., 2006) ; et/ou 3) diriger l'attention des apprenants vers des éléments clés ou des relations dans le texte (Alesandrini, 1981).

### 1.5. Conclusion de section

Malgré les conclusions des revues de la littérature (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b; Fiorella & Zhang, 2018; Leutner & Schmeck, 2014; Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005) selon lesquelles des guidages de la génération de schémas seraient nécessaires, il n'existe à l'heure actuelle, que peu de preuves empiriques de leur efficacité. De plus, de rares études ont comparé les conditions génératives avec et sans guidage (e.g., Schmidgall et al., 2020; Van Meter, 2001). Cet ensemble de résultats suggère finalement que d'autres types de supports de la génération de schémas devraient être testés.

Dans cette perspective, les résultats d'une méta-analyse récente de Cromley et al. (2020) ont montré un bénéfice, avec une taille d'effet importante, de la génération *collaborative* de schémas sur la mémorisation d'apprenants. Les rares études qui ont expérimenté la génération collaborative de schémas proposaient à de jeunes élèves de se regrouper par deux pour travailler ensemble (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). Dans ces études, ils utilisaient des tablettes numériques et généraient leurs schémas sur un espace partagé. Ainsi, la collaboration entre élèves pourrait faciliter les effets de la génération de schémas et améliorer l'apprentissage des apprenants. Cette hypothèse est défendue par d'autres chercheurs (Fiorella et al., 2019, 2020; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Fiorella & Mayer, 2015, 2016a; Gijlers et al., 2013). Par conséquent, la prochaine section présente en quoi la collaboration pourrait agir comme un support de la génération de schémas.

## 2. La génération collaborative de schémas

Certains auteurs ont suggéré que la présence d'autrui, fictive ou non, pourrait avoir des effets bénéfiques lors de la génération de schémas (Fiorella et al., 2019, 2020; Fiorella &

Kuhlmann, 2020; Fiorella & Mayer, 2015, 2016a; Gijlers et al., 2013). Une série de travaux menée par Fiorella et Mayer (2016a) a montré que le simple fait d'observer un enseignant générer un schéma avait des effets bénéfiques sur la compréhension des étudiants. Les indices sociaux, fournis par exemple grâce à la présence de gestes ou de mouvements humains, aideraient l'apprenant à établir une relation sociale avec la personne qu'il observe, et pourrait le motiver à s'engager dans des traitements cognitifs profonds (Mayer, 2014c). D'autres études laissent également penser que l'observation d'un enseignant en train de générer des schémas est un des facteurs rendant l'activité bénéfique (Fiorella et al., 2019, 2020).

Dans une étude récente (Fiorella & Kuhlmann, 2020), certains participants : 1) étudiaient un document ; 2) devaient enseigner le document à un pair fictif grâce à des explications ; 3) enseignaient le document en générant des schémas ; et 4) devaient enseigner le document à un pair fictif en donnant des explications et en générant des schémas. Ces derniers ont obtenu de meilleures performances de mémorisation à long terme que les autres. Ils ont également eu de meilleurs scores de transfert et à un test de schématisation par rapport à ceux qui étudiaient le document ou qui l'enseignaient à un pair fictif grâce à des explications. Cette étude semble indiquer que les stratégies de génération de schémas (stratégie spatiale) et d'explications (stratégie verbale) sont complémentaires (Fiorella & Kuhlmann, 2020). En se basant sur leurs travaux, Fiorella et Kuhlman (2020) ont indiqué que la génération de schémas pourrait être intégrée dans le cadre de discussions en classe ou d'un tutorat par les pairs. Fiorella et Mayer déclaraient déjà en 2015 que « *les apprenants pourraient bénéficier de discussions pendant lesquelles ils comparent leurs schémas avec ceux d'autres élèves pour améliorer leur compétence dans l'utilisation de la génération de schémas comme une stratégie d'apprentissage par génération* » (p. 75-76, notre traduction).

Lors de l'activité générative, les élaborations cognitives des apprenants sur différents concepts et leurs relations pourraient être encouragées par la collaboration, grâce aux discussions et au fait de se référer aux contributions d'un partenaire (Brooks, 2009; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). À notre connaissance, très peu d'études ont été réalisées sur la génération collaborative de schémas à partir de textes scientifiques (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). Par ailleurs, elles n'ont pas examiné *en quoi* la collaboration entre deux ou plusieurs partenaires pouvait faciliter l'activité de génération.

L'ensemble de ces travaux suggère donc que la collaboration entre élèves, pourrait agir comme un support de la génération de schémas. Le modèle de l'ICAP (*Interactif, Constructif, Actif, Passif*; Chi & Wylie, 2014) permet d'étayer cette proposition à travers la hiérarchisation des différents modes d'apprentissage.

## 2.1. Le modèle de l'ICAP

Les travaux de l'ICAP (Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014) sont fondés sur les travaux DOLA (Differentiated Over Learning Activities, Chi, 2009) qui proposent trois modes d'apprentissage : actif, constructif et interactif. Ils ont été repris et additionnés d'un quatrième mode d'apprentissage (Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014). Les travaux de l'ICAP définissent différents modes d'engagements cognitifs qui se différencient par les comportements et la production des élèves (Chi & Wylie, 2014 ; Chi et al., 2018) :

- Mode passif (ou *porter attention*) : Les apprenants reçoivent une simple information comme, par exemple, lire un document (Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014). Ce mode permettrait d'avoir un apprentissage minimal en permettant aux élèves de stocker une nouvelle information en mémoire.
- Mode actif (ou *manipulation*) : Il correspond à la manipulation physique du matériel pédagogique, comme par exemple, surligner des éléments d'un texte (Chi, 2009; Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014). Ce mode d'engagement permet d'impliquer les processus cognitifs de stockage, d'activation et de lien des nouvelles informations avec les connaissances préalables pertinentes. Il rend possible l'intégration de ces informations en mémoire. L'information stockée est plus complète et plus facilement récupérable, mais l'apprentissage serait encore superficiel.
- Mode constructif (ou *génération*) : Ce mode d'engagement cognitif implique la génération d'un contenu à partir du matériel pédagogique proposé. Dans le cadre de la lecture de textes, l'apprenant peut, par exemple, s'engager dans une activité d'auto-explication (Chi & Wylie, 2014). La génération *individuelle* de schémas correspond à ce mode (Fiorella & Zhang, 2018). Les apprenants produisent des idées allant au-delà du contenu qui leur est

présenté. Il leur permet d'inférer de nouvelles informations et donc d'avoir un apprentissage profond.

- Mode interactif (ou collaboration) : Il correspond à des activités de génération interpersonnelles, par exemple défendre un point de vue face à un partenaire. Autrement dit, comme dans le mode constructif, les apprenants génèrent un contenu, mais à plusieurs. Ce mode renverrait à la génération *collaborative* de schémas. Les apprenants peuvent inférer des informations à partir de leurs propres connaissances, mais également à partir des connaissances de leur partenaire, leur permettant d'avoir un apprentissage profond.

En termes d'apprentissage, l'hypothèse des travaux de l'ICAP correspond à la hiérarchisation suivante : « *Interactif* > *Constructif* > *Actif* > *Passif* » (Chi & Wylie, 2014, p.227). Plus spécifiquement, le mode constructif donne lieu à l'obtention d'un apprentissage profond (cf. Chapitre 2). Le mode interactif (i.e. travail collaboratif), au travers des discussions, des échanges d'idées et des feedbacks entre les membres d'un groupe, permettrait d'engager les apprenants dans des processus d'apprentissage plus profonds. Il les aiderait également à créer des connaissances qu'un individu seul n'aurait pas pu avoir (Chi, 2009; Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014). Ainsi, en se basant sur ces travaux, la génération *collaborative* de schémas (cf. mode interactif) entraînerait un apprentissage plus profond que la génération *individuelle* de schémas (cf. mode constructif). Les discussions et les échanges d'idées entre les partenaires d'un groupe pourraient intervenir comme des supports de l'activité. Au travers de la création de nouvelles idées, des apprenants travaillant en groupe seraient capables de générer des schémas de meilleure qualité, et donc d'avoir un meilleur apprentissage.

Pour appuyer les hypothèses de l'ICAP, deux études ont été proposées par Menekse et al. (2013) auprès d'étudiants en ingénierie. La première se déroulait en classe sur plusieurs jours et les étudiants réalisaient des activités actives, constructives ou interactives. Après chacune d'entre elles, ils devaient compléter des questions quizz. Les résultats issus de la comparaison des activités constructives et interactives sont mitigés. Pour des questions d'intégration (i.e., les éléments notés directement dans le texte), l'activité constructive a été plus bénéfique. Pour des questions d'inférences (évaluant un apprentissage profond), l'activité interactive a été plus favorable.

Dans leur deuxième étude menée en laboratoire, les étudiants étaient répartis dans quatre conditions : 1) ils devaient lire un texte (condition « passive ») ; 2) ils devaient lire un texte et surligner les éléments importants du texte (condition « active ») ; 3) ils devaient compléter des interprétations de graphiques et de figures mais ne lisaient pas de texte (condition « constructive ») ou ; 4) ils devaient compléter, en binôme, les mêmes interprétations des graphiques et des figures sans lire de texte (condition « interactive »). Leurs résultats vont dans le sens des hypothèses de l'ICAP : les étudiants en condition « interactive » ont obtenu de meilleurs résultats que ceux de la condition « constructive ». Ces derniers ont été meilleurs que ceux de la condition « active ». Enfin, les élèves en condition « passive » ont été moins performants que les autres.

Ces éléments conduisent à l'idée selon laquelle la collaboration entre un ou plusieurs apprenants pourrait intervenir comme un support de l'activité de génération de schémas. La question est désormais de savoir *pourquoi* la génération collaborative de schémas serait bénéfique pour des apprenants.

## 2.2. Les mécanismes et processus explicatifs de la génération collaborative de schémas

Plusieurs explications ont été proposées dans la littérature dans des champs disciplinaires variés pour expliquer les processus sous-jacents à la collaboration. Parmi celles-ci, on retrouve des explications de nature sociocognitive et/ou cognitive.

### 2.2.1. La théorie du conflit sociocognitif

La génération collaborative de schémas pourrait être bénéfique car les interactions entre les élèves peuvent entraîner des confrontations de points de vue. Les « *“ conflits sociocognitifs “* (Doise & Mugny, 1981, 1997), impliquent la confrontation d'un apprenant avec un ou plusieurs partenaire(s) qui propose(nt) une réponse différente de sa réponse à la même tâche » (Buchs et al., 2008, p.106). Ainsi, des élèves en groupe peuvent avoir une interprétation différente d'un même document et confronter des points de vue alternatifs qui

leur permettent de se décentrer de leur conception initiale (Buchs, Butera, Mugny, et al., 2004; Buchs & Butera, 2004). Le conflit sociocognitif prédit que les interactions vont davantage déstabiliser l'apprenant par rapport à un conflit cognitif individuel (Buchs & Bourgeois, 2017). Par exemple, une étude réalisée par Ames et Murray (1982) a montré que des conflits cognitifs intervenant lors d'interactions sociales avec un autre élève sont plus bénéfiques qu'un conflit cognitif sans ces interactions. Ainsi, les confrontations de points de vue, autrement dit le conflit sociocognitif, peut être efficace pour l'acquisition de connaissances (Buchs & Butera, 2004).

Doise et Mugny (1997) ont proposé plusieurs explications pour rendre compte de l'efficacité du conflit sociocognitif. Premièrement, les élèves peuvent réaliser que différentes réponses sont possibles pendant une tâche : les partenaires rendent explicite la différence de point de vue. Deuxièmement, de nouveaux instruments cognitifs peuvent être construits car les partenaires échangent des informations pertinentes. Enfin, le conflit sociocognitif permettrait d'engager cognitivement l'apprenant. Selon Doise et Mugny (1997), cette dernière explication est la plus fondamentale.

Différentes conditions d'efficacité du conflit sociocognitif existent pour qu'il favorise l'apprentissage (Buchs & Bourgeois, 2017). Il est nécessaire que le conflit soit régulé de manière épistémique (ou socio-cognitive), et non de manière relationnelle (Doise & Mugny, 1984, cités dans Buchs & Butera, 2004). Les régulations épistémiques du conflit sont centrées sur la résolution de la tâche et elles favorisent le traitement des contenus tandis que les régulations relationnelles sont centrées sur la relation entre les partenaires d'un groupe et ne favorisent pas les traitements cognitifs (Buchs & Bourgeois, 2017).

Dans le contexte de la génération collaborative de schémas, les apprenants en groupe peuvent bénéficier de leurs interactions en développant des idées différentes concernant les informations à générer au sein de leur schéma, ainsi que sur leur emplacement. En discutant avec leur partenaire, ils pourraient se décentrer de leur compréhension initiale du document et mieux identifier quels éléments sont à représenter, comment et à quel endroit. Ainsi, les conflits au sein des groupes pourraient permettre aux apprenants de générer des schémas de meilleure qualité et d'obtenir de meilleures performances d'apprentissage.

### 2.2.2. Les modèles mentaux partagés

La collaboration pourrait agir comme un support à la génération de schémas car elle permettrait la création de modèles mentaux partagés. Ceux-ci renvoient à une cognition collective (Cannon-Bowers & Salas, 2001) et concernent « *la façon dont les membres d'un groupe partagent des connaissances et expertises communes* » (E. Michinov & Michinov, 2013, p. 4). Il s'agit ainsi de représentations mentales partagées par l'ensemble des membres d'un groupe sur les éléments de l'environnement de travail (Klimoski & Mohammed, 1994). Selon Klimoski et Mohammed (1994), on ne peut pas parler d'un seul modèle mental partagé mais de plusieurs qui portent : 1) sur les technologies/équipements ; 2) sur la tâche ; 3) sur les interactions dans l'équipe ; et 4) sur l'équipe (Cannon-Bowers et al., 1993, cités dans Mathieu et al., 2000). Ces modèles mentaux partagés permettraient d'expliquer l'efficacité des groupes et ils augmenteraient les performances collectives (e.g., Mathieu et al., 2000).

La mémoire transactive est une des formes spécifiques des modèles mentaux partagés (Wegner, 1986). Ainsi, « *les modèles mentaux partagés sont des structures de connaissances ou d'informations détenues en commun, tandis que la mémoire transactive se réfère aux connaissances liées à la distribution de l'information au sein d'une équipe* » (Kozlowski & Ilgen, 2006, p.83, notre traduction). La mémoire transactive a été initialement proposée par Wegner (1986) pour expliquer la coordination de couples lors de la résolution de problèmes. Le système de mémoire transactive a été défini comme le fait « *d'encoder, de stocker, et de récupérer de manière sélective les informations nécessaires à la réalisation d'un travail commun* » (Wegner et al., 1991, p.923, traduit par E. Michinov & Michinov, 2013, p.3). Il s'agit ainsi d'un système partagé où les membres du groupe deviennent des « mémoires externes », libérant et permettant d'étendre les capacités des apprenants au niveau de leur mémoire individuelle (E. Michinov & Michinov, 2013; Ren & Argote, 2011).

Des études ont montré un lien entre la mémoire transactive et les performances d'apprenants (e.g., Lewis et al., 2005; Liang et al., 1995; N. Michinov & Michinov, 2009). Par exemple, Liang et al. (1995) ont réalisé une étude en deux phases. Dans la première, des étudiants étaient entraînés soit seuls, soit en groupe, sur l'assemblage d'un système de radio. Dans la seconde, tous les élèves étaient en groupe et leur capacité d'assemblage des radios était examinée. Leurs résultats ont montré que les étudiants qui avaient été entraînés en

groupe obtenaient une meilleure performance d'assemblage, suggérant le développement d'une mémoire transactive qui aurait influencé leur performance. Lewis et al. (2005) ont fait une expérience auprès d'étudiants qui exécutaient plusieurs tâches. Leurs résultats ont montré que, après plusieurs expériences sur des tâches, le système de mémoire transactive influençait le transfert de ces apprenants. Ainsi, plus ils avaient de connaissances sur la distribution des expertises au sein du groupe, meilleur était leur apprentissage.

Au travers de ces différents éléments théoriques, grâce à la création de modèles mentaux partagés et d'un système de mémoire transactive qui libèrent des capacités en mémoire, les apprenants pourraient générer des schémas de meilleure qualité par rapport à une génération individuelle et obtenir de meilleures performances d'apprentissage. Cette conception de « *mémoires externes* » permettant d'étendre les capacités des apprenants en mémoire (E. Michinov & Michinov, 2013) est également reprise au travers de la théorie de la charge cognitive collaborative (P. A. Kirschner et al., 2018).

### 2.2.3. La théorie de la charge cognitive collaborative

Grâce à la création d'une mémoire collective de travail (F. Kirschner et al., 2009a, 2009b; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2014), la génération collaborative de schémas pourrait être bénéfique pour l'apprentissage individuel des apprenants. En se basant sur la théorie de la charge cognitive (Sweller et al., 2011a), Kirschner et al. (2018) ont proposé la théorie de la charge cognitive collaborative. En considérant un groupe d'individus en tant que système de traitement de l'information (Hinsz et al., 1997; Tindale & Kameda, 2000), la collaboration permettrait d'aller au-delà des capacités limitées en mémoire de travail des individus : c'est la mémoire collective de travail (F. Kirschner et al., 2009a, 2009b; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2014). Cette dernière correspond à un espace collectif de travail créé au travers de la communication et de la coordination des connaissances détenues par les membres d'un groupe (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2018). Ainsi, les informations d'un document et la charge cognitive intrinsèque qu'elles induisent peuvent être réparties entre les mémoires de travail limitées des apprenants (e.g., F. Kirschner et al., 2009a). Cela leur permettrait d'avoir, au

niveau individuel, davantage de capacités libres en mémoire de travail pour traiter des informations complexes (F. Kirschner et al., 2009b).

La mémoire collective de travail est plus importante qu'une seule mémoire de travail et l'effort cognitif des individus qui travaillent en groupe va ainsi être réduit comparé à une situation individuelle grâce à *l'avantage de distribution* (F. Kirschner et al., 2009a; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2018). Ainsi, la mémoire collective de travail, en libérant la charge cognitive des apprenants travaillant en groupe, leur permettrait de réaliser des tâches qu'ils ne peuvent faire seuls, car leurs capacités seraient trop limitées, et ils construiraient des schémas cognitifs de meilleure qualité (F. Kirschner et al., 2009a, 2009b).

Dans une étude, des élèves travaillaient soit seuls, soit en triade sur des tâches de rétention ou de transfert dans le domaine de la biologie (F. Kirschner et al., 2009b). Les résultats ont montré que les élèves en groupe ont été plus efficaces que ceux travaillant seuls sur une tâche de transfert. Ce n'est en revanche pas le cas sur la tâche de rétention. L'efficacité se traduit ici par un faible niveau d'effort mental et une performance d'apprentissage élevée (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011).

Selon Kirschner et al. (2009b), les apprenants seuls réussissent mieux la tâche de rétention car cette dernière est peu complexe en termes de charge cognitive intrinsèque. Par conséquent, ils ont des capacités suffisantes pour traiter la tâche. En revanche, lorsqu'elle s'avère complexe, le travail en groupe permet d'utiliser les capacités de traitement de tous ses membres, de traiter plus profondément les informations et de construire des schémas de meilleure qualité en mémoire à long terme (F. Kirschner et al., 2009b). Le rôle de la complexité de la tâche dans l'efficacité du travail collaboratif sera développé plus précisément dans ses conditions d'efficacité.

Ainsi, le travail collaboratif pourrait intervenir comme un « *étayage (...) dans le processus d'acquisition des connaissances* » (P. A. Kirschner et al., 2018, p. 220, notre traduction). Au regard de la complexité de la tâche de génération de schémas et en s'appuyant sur la théorie de la charge cognitive collaborative (P. A. Kirschner et al., 2018), les apprenants travaillant en groupe auraient davantage de capacités disponibles en mémoire de travail pour réaliser leur schéma grâce à *l'avantage de distribution*. Ils seraient capables de générer des

schémas de meilleure qualité, de reporter moins de charge cognitive et leur apprentissage serait amélioré.

#### 2.2.4. La régulation socialement partagée

La génération collaborative de schémas serait bénéfique car elle permettrait de mettre en place une régulation socialement partagée de l'apprentissage et les apprenants pourraient engager des *processus métacognitifs collectifs*. L'ensemble des mécanismes explicatifs présentés précédemment conduit à faire l'hypothèse que la métacognition des apprenants serait améliorée grâce à la collaboration et à la confrontation de points de vue. En effet, il est possible d'envisager que les élèves, grâce à la création de modèles mentaux partagés et d'une mémoire transactive, ainsi qu'au travers des conflits sociocognitifs, comprennent davantage les standards de la tâche et détectent davantage leurs erreurs de compréhension.

Dans le contexte collaboratif, trois modes de régulation de l'apprentissage ont été définis (Hadwin et al., 2017; Järvelä & Hadwin, 2013) : l'apprentissage autorégulé, l'apprentissage co-régulé et la régulation socialement partagée de l'apprentissage. Selon le modèle de la régulation socialement partagée de l'apprentissage (Hadwin et al., 2017), l'apprentissage autorégulé correspond « à la *planification métacognitive délibérée et stratégique des apprenants au niveau individuel, à l'exécution des tâches, à la réflexion et à l'adaptation dans une tâche commune* » (Hadwin et al., 2017, p.6, notre traduction). Les chercheurs considèrent l'autorégulation individuelle comme nécessaire pour qu'une collaboration efficace ait lieu et elle est complémentaire à l'émergence d'une régulation partagée (Hadwin et al., 2017).

L'apprentissage co-régulé renvoie quant-à-lui « aux *affordances et contraintes stimulant l'appropriation de la planification stratégique, de la mise en œuvre, de la réflexion et de l'adaptation.* » (Hadwin et al., 2017, p. 7, notre traduction). Ces affordances et contraintes permettent d'aider ou de contrecarrer les régulations productives et elles peuvent par exemple émaner des interactions entre les membres d'un groupe, de l'environnement ou encore des ressources mises à disposition (Hadwin et al., 2017).

Pour terminer, la régulation socialement partagée de l'apprentissage correspond « à la *planification, à l'exécution des tâches, à la réflexion et à l'adaptation d'un groupe de*

*manière délibérée, stratégique et transactive* » (Hadwin et al., 2017, p. 6, notre traduction). Cette régulation conjointe apparaît grâce aux échanges et elle se différencie donc de la co-régulation par le fait que cette dernière est guidée ou dirigée par un membre du groupe (Hadwin et al., 2017; Panadero, 2017). Le groupe construit un but partagé, les objectifs et les normes sont co-construits, et la régulation est distribuée et partagée (Järvelä & Hadwin, 2013). Ces trois modes de régulation seraient nécessaires pour rendre l'apprentissage collaboratif efficace (Järvelä & Hadwin, 2013) et certaines recherches montrent que les groupes avec de hauts niveaux de régulation socialement partagée ont de meilleures performances de groupe ou d'apprentissage au niveau individuel (voir Panadero & Järvelä, 2015, pour une revue de la littérature).

Dans le modèle de Hadwin et al. (2017), la régulation socialement partagée suit différentes phases. Ces dernières ont été reprises du modèle d'autorégulation de Winne & Hawin (1998). Par exemple, dans la première phase, les apprenants en groupe négocient des perceptions partagées de la tâche et dans la seconde, ils définissent des buts communs. Pendant ces cycles, les apprenants sont guidés dans leur prise de décision et dans leur adaptation par des évaluations et un monitoring collectif, favorisant leur apprentissage (Hadwin et al., 2017). Ainsi, la génération collaborative de schémas pourrait être bénéfique car elle permettrait d'engager l'apprenant dans des processus de régulation individuels (apprentissage autorégulé) et sociaux (apprentissage co-régulé et régulation socialement partagée de l'apprentissage). De plus, des processus métacognitifs collectifs tels que le monitoring sont mis en place pendant ces cycles.

Ainsi, les différents éléments théoriques présentés précédemment suggèrent que la collaboration entre élèves pendant la génération de schémas peut améliorer la qualité des schémas réalisés, l'apprentissage, réduire la charge cognitive imposée par la tâche de génération et engager l'apprenant dans des processus métacognitifs collectifs. Toutefois, il semblerait que le simple fait de demander à des individus de travailler ensemble ne garantit pas qu'ils s'engageront dans des processus collaboratifs efficaces et qu'ils auront de meilleures performances d'apprentissage (e.g., Dillenbourg, 1999; P. A. Kirschner et al., 2014).

Des conditions d'efficacité de la génération collaborative de schémas sont donc présentées dans la section suivante.

### 2.3. Les conditions d'efficacité de la génération collaborative de schémas

Un certain nombre de travaux ont mis en évidence des conditions d'efficacité à la collaboration dont, entre autres, la complexité de la tâche, le niveau de connaissances préalables, l'expérience de groupes ou les scripts à la collaboration (P. A. Kirschner et al., 2018). Elles sont présentées dans cette section.

#### 2.3.1. La complexité de la tâche

Comme présenté précédemment, les apprenants bénéficient d'un travail collaboratif grâce à *l'avantage de distribution* (F. Kirschner et al., 2009a; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2018). Toutefois, la collaboration entraîne un coût transactionnel au travers des activités de communication et de coordination qui peuvent imposer une charge cognitive extrinsèque supplémentaire et interférer sur l'apprentissage (F. Kirschner et al., 2009a, 2009b; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011). Ainsi, elle est avantageuse comparée à une situation individuelle lorsque les bénéfices de *l'avantage de distribution* compensent l'effort mental investi par le coût transactionnel lors d'une tâche collaborative (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011). Ce compromis correspond à *l'effet de la mémoire collective de travail* (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; F. Kirschner, Paas, Kirschner, et al., 2011; P. A. Kirschner et al., 2018). Autrement dit, les effets bénéfiques d'un travail collaboratif sont liés à la complexité de la tâche et à la charge cognitive qu'elle induit (F. Kirschner et al., 2009a; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011).

Lorsqu'une tâche est complexe, les membres du groupe ont plus de ressources cognitives pour traiter l'information d'un document et résoudre des problèmes que des individus seuls (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2018; Retnowati et al., 2017). Les apprenants travaillant en groupe sont donc plus efficaces (F. Kirschner et al.,

2009a). À l'inverse, pour une tâche simple, les apprenants ont des capacités suffisantes pour traiter l'information seuls et le coût transactionnel imposé par la communication et la coordination lors d'un travail collaboratif entraîne une charge additionnelle (F. Kirschner et al., 2009a; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011). Par conséquent, une situation collaborative peut être moins efficace qu'une situation individuelle (F. Kirschner et al., 2009a; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011).

Plusieurs études ont été réalisées afin de tester les bénéfices d'un travail individuel ou collaboratif selon la complexité de la tâche. Elles ont en effet montré que le travail collaboratif était bénéfique lorsqu'une tâche était complexe (e.g., F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; F. Kirschner, Paas, Kirschner, et al., 2011). Par exemple, Kirschner, Paas, et Kirschner (2011) ont fait travailler des lycéens seuls ou en triade, ils réalisaient des tâches de résolution de problèmes peu complexes ou complexes. Les résultats ont montré que les lycéens travaillant de manière collaborative ont été plus efficaces pour des tâches de résolution de problème et de transfert que ceux travaillant seuls mais *uniquement* pour des tâches complexes. Au contraire, ceux qui travaillaient seuls ont été plus efficaces sur une tâche de transfert seulement pour des tâches simples.

### 2.3.2. L'effet des connaissances préalables

La plupart des études ont montré des effets bénéfiques d'un travail collaboratif sur l'apprentissage lorsque les élèves ont de faibles connaissances préalables dans un domaine (e.g., F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; F. Kirschner, Paas, Kirschner, et al., 2011). En revanche, à notre connaissance, une seule étude a comparé les effets du niveau de connaissances préalables lors de travaux dans des situations individuelles et collaboratives (Zambrano et al., 2019b).

Des lycéens travaillaient seuls ou en triade et étaient soit novices, soit experts dans le domaine des mathématiques et de l'économie. Les résultats ont montré que, lorsque les apprenants ont de faibles connaissances préalables, ceux en groupe obtiennent de meilleures performances aux problèmes de rétention à court et long terme mais ils ne reportent pas moins d'effort mental. Ces bénéfices sur l'apprentissage ne se retrouvent pas lorsque les

apprenants ont d'importantes connaissances préalables. Cette étude suggère donc que le travail collaboratif est bénéfique sur l'apprentissage profond des apprenant *uniquement* lorsque ces derniers ont peu de connaissances préalables.

### 2.3.3. L'expérience de groupe

Kirschner et al. (2018) ont notamment mis en avant le rôle de l'expérience du travail en groupe chez les apprenants. Certaines études ont en effet montré que les élèves pouvaient tirer des avantages d'un entraînement à la collaboration avant de travailler en groupe (e.g., Buchs et al., 2016; Prichard et al., 2006; Zambrano et al., 2019a). Des travaux ont montré que des apprenants avec une expérience collaborative obtenaient de meilleures performances d'apprentissage que ceux qui n'en avaient pas. Buchs et al. (2016) entraînaient des apprenants à travailler en groupe pendant 10 minutes au moyen d'informations sur la manière de collaborer. Ils ont montré que ceux qui avaient eu cet entraînement avaient mieux appris le document que ceux qui étaient dans des groupes sans entraînement ou qui travaillaient seuls.

De plus, l'entraînement de groupe favorise le développement d'un système de mémoire transactive (Lewis & Herndon, 2011) dont les bénéfices sur l'apprentissage ont été présentés dans la section précédente. Les résultats de ces études montrent donc que des groupes expérimentés à travailler ensemble sont plus performants que des groupes inexpérimentés.

### 2.3.4. La génération collaborative de schémas et les scripts collaboratifs

Afin d'engager les apprenants dans des processus collaboratifs efficaces, il semble important de fournir des scripts à la collaboration (e.g., King, 2007; Kollar et al., 2006, 2007; Weinberger et al., 2005). Ils structurent et régulent les interactions des apprenants (King, 2007) et les aident au travers de différentes phases (P. A. Kirschner et al., 2018). Il existe plusieurs méthodes pour induire des scripts à la collaboration (e.g., Hytheker et al., 1988; King, 1991; Palinscar & Brown, 1984).

S'agissant des scripts spécifiques à la génération collaborative de schémas, l'analyse de la littérature nous a révélé très peu de travaux (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013;

van Dijk et al., 2014). Ces études ont proposé le même type de script qui vise à structurer l'activité en trois phases principales (voir **Figure 13**). Dans un premier temps, les élèves travaillent et génèrent leur schéma de manière individuelle. Ensuite, ils les confrontent, pour produire un schéma de manière collaborative.

**Figure 13.** Les trois principales phases du script à la génération collaborative de schémas (e.g., Gijlers et al., 2013).



Une première étude (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013) a été réalisée auprès de binômes d'élèves sur l'apprentissage d'un document traitant de la photosynthèse. Chaque apprenant disposait d'une tablette numérique avec stylet pour générer un schéma. Ils étaient répartis selon trois conditions :

- Condition « sans support » : Les élèves généraient ensemble des schémas au sein d'un espace de schématisation partagé.
- Condition « incitations » : Les élèves généraient ensemble des schémas au sein d'un espace de schématisation partagé. Le logiciel permettait de leur donner des feedbacks au moyen d'incitations concernant la construction de leur schéma (e.g., « *Vous pouvez indiquer les processus en dessinant des flèches* » (Gijlers et al., 2013, p.434, notre traduction)).
- Condition « scriptée » : L'activité se décomposait en trois phases. Lors de la phase individuelle, les élèves généraient seuls leur schéma. Dans la phase de confrontation, ils pouvaient voir le schéma de leur partenaire, les comparer et ils devaient choisir ensemble les éléments à insérer au sein de leur schéma commun. Dans une dernière phase, ils généraient un schéma ensemble au sein d'un espace de schématisation partagé.

Les résultats ont montré que les apprenants des conditions « incitations » et « scriptée » se sont plus référés à leur partenaire mais ils n'ont pas généré des schémas de meilleure qualité. Par ailleurs, les élèves dans la condition « scriptée » ont davantage annoté les concepts de leurs schémas que ceux de la condition « incitations ». Enfin, les analyses ont révélé que les élèves des conditions « incitations » et « scriptée » ont obtenu de meilleures performances aux tests d'apprentissage que les élèves sans support.

Une autre expérience réalisée par Van Dijk et al. (2014) a été réalisée auprès d'élèves de CM2 et de 6<sup>ième</sup> par groupe de deux qui étaient répartis dans deux conditions :

- Condition « scriptée », organisée en trois phases
  - Phase individuelle : Génération individuelle de schémas.
  - Phase de confrontation : Comparaison des schémas en cherchant les similarités et les différences. Des cartes d'incitation étaient proposées aux élèves pour les aider à discuter des différences au sein de leurs schémas.
  - Phase collaborative : Génération collaborative de schéma.
- Condition « sans script » : Génération commune de schémas avec seulement une phase collaborative.

Les résultats ont montré que les élèves qui disposaient de scripts ont généré des schémas de plus mauvaise qualité en représentant moins de concepts au sein de leur schéma. Cet effet pourrait être lié aux temps plus courts en phase collaborative dans la condition scriptée qui ont pu réduire le nombre de concepts discutés et représentés au sein des productions (van Dijk et al., 2014). Toutefois, ils ont obtenu de meilleurs scores au test de mémorisation que ceux qui ne disposaient pas de script. Selon Van Dijk et al. (2014), la mise en place de scripts à la collaboration serait bénéfique pour l'apprentissage.

## 2.4. Conclusion du chapitre 3

Ce chapitre a permis de présenter les quatre niveaux de guidage de l'activité de génération individuelle de schémas définis par Fiorella et Zhang (2018). Malgré les effets

bénéfiques supposés de ces guidages, les résultats montrent des effets mitigés sur la qualité des schémas générés ou l'apprentissage des élèves. En outre, peu d'études ont comparé les différents niveaux de guidages entre eux, ce qui ne permet pas de déterminer quel type de guidage est le plus efficace.

Sur la base de ces différents éléments, d'autres perspectives de supports nécessitent d'être proposées et testées et certains travaux issus de la littérature suggèrent que la présence d'autrui pourrait aider la génération de schémas (Fiorella et al., 2019, 2020; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Fiorella & Mayer, 2015, 2016a; Gijlers et al., 2013). Cette activité dans un contexte collaboratif permet d'obtenir une taille d'effet importante sur la mémorisation (Cromley et al., 2020). Les travaux de l'ICAP (Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014) proposent une hiérarchisation des modes d'apprentissage, à partir desquels il est possible de supposer qu'une génération *collaborative* de schémas (i.e., mode interactif) est plus bénéfique sur l'apprentissage des élèves qu'une génération individuelle (i.e., mode constructif) grâce aux interactions qu'elles induisent.

Différents processus mis en jeu lors de travaux en groupe peuvent expliquer en quoi la collaboration pourrait faciliter l'activité de génération de schémas. En effet, le travail collaboratif pourrait permettre la mise en place de conflits sociocognitifs (Doise & Mugny, 1981, 1997), la création de modèles mentaux partagés (e.g., Klimoski & Mohammed, 1994), dont un système de mémoire transactive (E. Michinov & Michinov, 2013), la création d'une mémoire collective de travail (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011) et elle engagerait l'apprenant dans une régulation socialement partagée (Hadwin et al., 2017).

L'ensemble de ces processus permet de montrer que le travail collaboratif pourrait intervenir comme un support de la génération de schémas en permettant d'améliorer la qualité des schémas générés et l'apprentissage et en favorisant les processus métacognitifs. Toutefois, ce chapitre montre également que certaines conditions sont nécessaires pour que les apprenants bénéficient de la génération collaborative de schémas : le document doit être complexe, et les apprenants doivent avoir peu de connaissances préalables sur la thématique étudiée ainsi qu'une expérience préalable de groupe (e.g., P. A. Kirschner et al., 2018). Enfin, la collaboration peut être guidée par des scripts, qui ont été étudiés dans les quelques études traitant de la génération collaborative de schémas (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013;

van Dijk et al., 2014). Ces dernières ont montré qu'ils avaient des effets bénéfiques sur l'apprentissage par rapport à une activité sans scripts.



# Problématique de la thèse

## 1. Problématique

Le premier chapitre a mis en évidence que les textes accompagnés d'illustrations avaient globalement des effets bénéfiques sur l'apprentissage (*effet multimédia* ; Mayer, 2001). Toutefois, lors de leur traitement, les apprenants peuvent rencontrer des difficultés de différentes natures : les illustrations peuvent faire l'objet d'un traitement superficiel (e.g., Hannüs & Hyönä, 1999), elles peuvent entraîner un excès de confiance de la part de l'apprenant (e.g., Serra & Dunlosky, 2010) et il peut s'avérer complexe d'intégrer les sources d'informations visuelles et textuelles (e.g., Ainsworth, 1999). Au lieu de fournir les illustrations, il est possible de faire générer ces dernières par les apprenants. Cette activité générative permettrait de répondre aux différentes problématiques citées précédemment (e.g., Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005).

Le deuxième chapitre a ainsi permis de présenter l'activité de génération de schémas qui engagerait les apprenants dans des processus cognitifs et métacognitifs et leur permettrait de mieux apprendre un document que ceux qui disposent de textes illustrés (e.g., Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Toutefois, la littérature montre des effets mitigés de cette activité sur l'apprentissage, particulièrement lorsqu'ils sont comparés à ceux de documents présentant des textes illustrés (Fiorella & Zhang, 2018). De plus, elle peut surcharger les capacités cognitives des apprenants (e.g., Leutner et al., 2009; Schwamborn et al., 2011). Différents facteurs influencent cette activité et notamment la qualité des schémas générés (*effet prévisionnel* ; Schwamborn et al., 2011). Or, il s'avère que la plupart des études reportent d'assez faibles niveaux de qualité des schémas générés, expliquant potentiellement les effets mitigés de l'activité (Schmidgall et al., 2020). Enfin, la génération de schémas peut avoir des effets bénéfiques sur l'apprentissage mais elle doit être accompagnée de supports (Fiorella & Zhang, 2018), particulièrement chez des collégiens (Brod, 2020).

Ces supports ont fait l'objet du troisième chapitre de cette thèse. Ils peuvent prendre des formes diverses, comme des guidages de l'activité (i.e., consignes ou matériel fourni

pendant l'activité), définis selon des niveaux par Fiorella et Zhang (2018). Ils permettraient d'améliorer la qualité des schémas générés et l'apprentissage, de réduire la complexité de cette activité et de favoriser les processus métacognitifs des apprenants (Fiorella & Zhang, 2018). Le plupart de ces guidages ont été très peu étudiés dans la littérature (Fiorella & Zhang, 2018) et certains n'auraient finalement pas les effets bénéfiques attendus sur l'apprentissage (Cromley et al., 2020). De plus, un faible nombre d'études a comparé différents niveaux (e.g., Schmidgall et al., 2020; Van Meter, 2001). D'autres supports doivent ainsi être testés.

D'autres formes de supports sont suggérés par un autre champ de la littérature, comme la collaboration entre pairs (e.g., Chi & Wylie, 2014). Différents processus explicatifs permettent de rendre compte la génération *collaborative* de schémas : le conflit sociocognitif qui est créé lors de travaux de groupe (Doise & Mugny, 1997), la création de modèles mentaux partagés avec notamment le développement d'un système de mémoire transactive (Wegner, 1986), la production d'une mémoire collective de travail (e.g., F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011), ou encore des processus de régulation socialement partagés de l'apprentissage lors de travaux de groupe (Hadwin et al., 2017). Différentes conditions facilitatrices des travaux de groupe sont malgré tout nécessaires pour rendre la collaboration entre élèves efficace (P. A. Kirschner et al., 2018). Ces conditions facilitatrices, sous la forme de scripts de l'activité de groupe, ont été étudiées lors de la génération *collaborative* de schémas dans quelques études (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). Toutefois, à notre connaissance, aucune recherche n'a examiné la collaboration entre élèves comme un support de la génération de schémas. Il s'avère que les outils numériques permettent de proposer cette activité en groupe (Ainsworth & Scheiter, 2021).

Une récente méta-analyse a montré que les outils numériques (principalement des ordinateurs) lors de la génération de schémas n'avait pas nécessairement d'impact sur l'apprentissage des élèves. Il est possible que les applications proposées ne soient pas faciles à utiliser pour les apprenants (Cromley et al., 2020). Dans le contexte des activités génératives, les tablettes avec stylet ont l'avantage, par rapport à des ordinateurs, de conserver la gestuelle du papier-crayon et pourraient potentiellement réduire ces difficultés d'usage. De nombreux travaux en ergonomie des interfaces suggèrent également que la mise en place d'une démarche de conception centrée utilisateur (Norme ISO 9241-210, 2019) permettrait

de limiter les difficultés d'usage mais aussi de faciliter l'acceptabilité du dispositif (voir par exemple Jamet et al., 2011). Co-construire une application de génération collaborative de schémas sur tablette avec des enseignants et des élèves semble donc pertinent.

Au regard de l'ensemble de ces éléments, cette thèse suit deux démarches complémentaires : une démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas et une démarche expérimentale auprès des collégiens.

## 2. Démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas

Le développement d'une application de génération collaborative de schémas est réalisé dans le cadre du projet ACTIF. Cette application est utilisée lors des études de cette thèse avec des collégiens. Dans ce contexte, une démarche de co-conception de l'application a été mise en place dans le cadre d'une conception centrée utilisateurs.

Dans cette approche, une enquête est menée auprès d'enseignants de collège. Leurs pratiques actuelles concernant les travaux de groupe, la génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives ainsi que leur utilisation des tablettes en classe sont examinées. L'acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas est également mesurée avec un recueil des conditions facilitatrices et des freins liés à son utilisation. De même, cet outil est évalué avec des tests utilisateurs auprès des collégiens pour connaître leurs difficultés et leur satisfaction liées à l'utilisation de l'application. Enfin, le choix et la construction du matériel pédagogique, fait en collaboration avec des enseignants de SVT au collège et un inspecteur de l'Académie de Rennes, est présenté.

### 3. Études sur les effets de la génération de schémas et des supports de l'activité

La première étude a pour objectif d'examiner les effets de la génération de schémas et de sa facilitation par un guidage sous la forme d'une illustration fournie *pendant* l'activité chez des collégiens en classe de cinquième travaillant sur des tablettes avec stylet.

Dans une deuxième étude, nous testons les effets de la génération de schémas accompagnée ou non d'un un guidage de type marquage typographique. Ce dernier prend la forme d'une mise en saillance, dans le texte, des informations à générer au sein des productions.

Pour terminer, l'objectif de la troisième étude est de tester une nouvelle forme de support : la collaboration entre élèves. Des collégiens travaillent dans une situation individuelle ou collaborative pour générer leurs schémas. Chacun des élèves dispose d'une tablette et utilise l'application de génération collaborative de schémas développée dans le cadre du projet.

## Partie II. Démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas



## Chapitre 4. Co-conception d'une application de génération collaborative de schémas sur tablettes

L'utilisation d'outils numériques à l'école est encouragée par les politiques éducatives en France. Plusieurs rapports sur ces outils ont été publiés récemment (e.g., Potocki & Billottet, 2020; Tricot & Chesné, 2020), notamment sur les tablettes en classe (Amadiou, 2019). Leur utilisation est fréquente puisque 72.00% des élèves reportent travailler avec des outils numériques à l'école (OCDE, 2015). Une enquête Profetic menée en (2018) par le ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse en France a mis en saillance les usages d'outils numériques en classe par des enseignants du secondaire :

- 98.00% des enseignants utilisent les outils numériques dans leurs pratiques, soit pour préparer des cours, soit en classe pour différentes fonctions.
- La grande majorité de ces enseignants disent disposer d'ordinateurs pour leurs élèves (97.00%) mais assez peu ont des tablettes tactiles (38.00%).
- Au niveau des ressources proposées, l'enquête a montré que plus de 25.00% des enseignants souhaiteraient utiliser le numérique s'ils avaient des ressources plus pertinentes mises à disposition.

Ce rapport montre l'importance de développer des applications qui pourraient servir aux enseignants. Pour se faire et pour les adapter aux besoins des enseignants et des élèves, des expérimentations en classe sont nécessaires. Un rapport IGEN recommande notamment de libérer les équipes pédagogiques pour des expérimentations et pour participer à des recherches sur le numérique (Becchetti-Bizot, 2017).

L'outil tablette est, quant-à-lui, utilisé à l'école et intéresse les spécialistes de l'éducation, les enseignants et les élèves (Debue et al., 2020). À travers le monde, des initiatives ont également été prises par les gouvernements pour l'intégrer à l'école (Tamim et al., 2015). Les tablettes offrent des avantages de différentes natures (Haßler et al., 2016). Toutefois, pour savoir dans quelle mesure cet outil peut être utilisé par les enseignants, leur acceptabilité doit être mesurée et les enquêtes ou les études doivent prendre en compte le

« *couplage tâche d'utilisation/tâche d'apprentissage* » (Amadiou et al., 2019, p.6). L'acceptabilité correspond aux « *représentations des personnes face à une technologie future ou possible* » (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009, p.356). Autrement dit, il faut étudier les intentions d'usage d'un outil en prenant en compte la tâche pour laquelle il peut être utilisé.

Dans ce contexte, le projet ACTIF visait à étudier des activités pédagogiques sur tablettes et à développer des applications pour les enseignants et les élèves en suivant une démarche de conception centrée utilisateurs (CCU), menée par des ergonomes du projet. C'est dans ce cadre que nous avons initié la démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas. Elle s'intègre au sein d'un cahier numérique scolaire (Kassis Collège) développé par l'entreprise Learn&Go et l'IRISA de Rennes dans le cadre du projet. Cette application correspond à un tableau blanc partagé.<sup>2</sup> Son interface a été utilisée dans le cadre des études de la thèse, mais a été modifiée pour des besoins expérimentaux.

L'objectif de ce chapitre est de présenter la démarche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas. Premièrement, les usages et l'acceptabilité des tablettes en contexte scolaire sont développés. Toutefois, cette section n'a pas pour but de présenter une revue de la littérature exhaustive sur les effets des tablettes sur l'apprentissage. Dans une deuxième section, la démarche de co-conception avec les enseignants et les élèves est présentée. Tout d'abord, une enquête conduite auprès d'enseignants de collège est détaillée. Ensuite, les résultats de tests utilisateurs menés avec des collégiens par des ergonomes du projet sont exposés. Enfin, dans une troisième section, le choix de la thématique pédagogique et la co-construction du matériel utilisé dans nos études sont développés.

---

<sup>2</sup> L'application Kassis Collège intègre d'autres fonctionnalités comme des quizs graphiques innovants (cartes de chaleur) ou des quizs avec des formats QCU ou QCM

## 1. Usage et acceptabilité des tablettes en contexte scolaire

Une récente revue de la littérature a montré que des élèves du premier et du second cycle avaient globalement une bonne perception d'usage de l'outil tablette qui leur paraît facile à utiliser, avec de bonnes attentes de performances pour leur apprentissage (Mulet et al., 2019). De même, une récente étude proposée en Allemagne auprès de 1058 collégiens en cours de biologie a examiné les effets des tablettes sur le climat de soutien perçu en classe selon les profils des apprenants (Hammer et al., 2021). Leurs résultats ont montré que les collégiens qui se sentent démotivés et en difficulté perçoivent un climat de soutien plus favorable en classe quand ils disposent de tablettes par rapport à ceux qui n'en ont pas. Toutefois, certains facteurs modérateurs quant à l'usage des tablettes ont également été mis en avant (Mulet et al., 2019) :

- Leur facilité d'usage dépend de la tâche. Par exemple, les tablettes peuvent être perçues comme difficiles à utiliser pour des tâches de production (e.g., des tâches d'écriture).
- Elles peuvent entraîner des difficultés techniques, comme des bugs avec une perte de temps et des interruptions dans l'apprentissage.
- Elles peuvent causer un inconfort physique comme une fatigue visuelle.
- Elles peuvent créer de la distraction selon certains élèves.
- Elles peuvent entraver les relations sociales, notamment avec l'enseignant.

Une enquête conduite en France a montré que les enseignants utilisent des tablettes à des fréquences variables en classe (Amadiou, 2019). Plus précisément, la majorité d'entre eux les manipulent seulement quelques fois par mois (35.10%). Cette même enquête a montré que ceux qui en disposent s'en servent en classe pour :

- 1) la consultation multimédia (75.53% des enseignants) ;
- 2) des applications pédagogiques (64.43% des enseignants) ;
- 3) le travail collaboratif (51.60% des enseignants) ;

- 4) la navigation internet (50.53% des enseignants) ;
- 5) la gestion des documents (38.83% des enseignants);
- 6) les livres scolaires numériques (23.40% des enseignants).

Elle a également montré que 35.30% des enseignants souhaitent utiliser des tablettes pour travailler sur des applications pédagogiques, suivi de 20.10% voulant en disposer pour le travail collaboratif.

Selon les élèves et les enseignants, les tablettes ont l'avantage d'accroître la collaboration entre les élèves, et entre élève(s)/enseignant(s) (Karsenti & Fievez, 2013). Les tablettes apparaissent donc comme un outil numérique offrant différentes possibilités et qui sont utilisées dans le contexte scolaire, y compris pour des travaux collaboratifs que ce soit par des étudiants à l'université (Rossing et al., 2012), ou des élèves et des enseignants de collèges et de lycées (Amadiou, 2019; Chou & Block, 2019; Hammer et al., 2021; Heinrich, 2012; Karsenti & Fievez, 2013; Soffer & Yaron, 2017). D'un point de vue scientifique, une étude a montré que des élèves en binôme avaient globalement de meilleures performances d'apprentissage lorsqu'ils réalisaient une activité pédagogique sur tablette (une tablette pour deux) plutôt que sur papier (Fokides & Mastrokourou, 2018). Ce résultat s'expliquerait par le côté motivationnel de cet outil, par l'engagement des élèves lorsqu'ils l'utilisent, par leurs attitudes positives et enfin, par la possibilité d'étudier un mécanisme sous différentes perspectives (Fokides & Mastrokourou, 2018). Une autre étude réalisée auprès de collégiens a permis de comparer des situations collaboratives de conception de cartes mentales avec des tablettes (C.-P. Lin et al., 2012). Les groupes d'élèves qui disposaient chacun d'une tablette (vs. une tablette par groupe) ont eu des interactions de meilleure qualité. En effet, cette disposition permettrait de favoriser l'autonomie et d'augmenter la participation des élèves lors d'apprentissage collaboratif (C.-P. Lin et al., 2012).

En termes d'apprentissage, une revue de la littérature indique que les tablettes ont des effets bénéfiques sur l'apprentissage des élèves dans 16 études sur les 23 reportées (Haßler et al., 2016). Toutefois, il est important de prendre en compte la nature de la tâche d'apprentissage pendant le travail sur tablettes (Mulet et al., 2019). Pour des activités de lecture, aucune altération n'est constatée par rapport à une activité papier crayon (e.g.,

Dündar & Akçayır, 2012). Les tâches d'écritures peuvent être, quant-à-elles, complexifiées avec des tablettes car elles ne disposent pas de stylet (Dündar & Akçayır, 2014; Fiévez & Karsenti, 2018; Soykan, 2015). Dans ce sens, du point de vue des élèves et des enseignants, l'un des désavantages majeurs des tablettes est la difficulté d'écriture (Karsenti & Fievez, 2013). Elle pourrait être réduite par l'intégration des stylets (Mulet et al., 2019). Ils peuvent prendre une forme très similaire au crayon (Cummings & Hill, 2015) et la possibilité de poser la paume de la main sur la tablette en écrivant rend l'outil adapté aux activités manuscrites (Bonneton-Botté et al., 2020). Toutefois, lorsque les tablettes disposent de stylets, la surface lisse de l'appareil rend les gestes graphomoteurs complexes chez les jeunes élèves (e.g., Gerth et al., 2016).

Parmi les activités de production, la génération de schémas a été assez peu étudiée sur des supports numériques, que ce soit sur des ordinateurs (e.g., Schwamborn et al., 2011) ou sur des tablettes (e.g., Schmidgall et al., 2019). En effet, la récente méta-analyse de Cromley et al. (2020) a montré que 55 études sur la génération de schémas ont été proposées sur des supports papier tandis que 14 ont été réalisées sur des supports numériques. Selon Ainsworth et Scheiter (2021), dans certains cas, le support numérique peut être avantageux, notamment pour les activités de génération collaborative, ou bien de partage du schéma car elles offrent des avantages et des opportunités. Dans d'autres cas, le papier crayon apparaîtrait comme étant la meilleure solution (Ainsworth & Scheiter, 2021). En effet, sur ordinateur, l'activité peut entraîner une charge cognitive additionnelle et est peu naturelle (Schwamborn et al., 2011). Toutefois, la tablette avec stylet permet de conserver la gestuelle du papier-crayon et pourrait donc offrir les opportunités liées au numérique évoquées par Ainsworth et Scheiter (2021), quelle que soit la situation générative. Une des études sur la génération collaborative de schémas a d'ailleurs été réalisée sur tablettes avec stylet au sein d'un espace partagé de schématisation (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013). En revanche, les études sur la génération de schémas à partir de textes scientifiques avec un support tablette sont peu nombreuses avec seulement cinq études et montrent que peu de données existent sur cette activité avec cet outil.

De plus, l'utilisation d'outils informatiques pour générer des schémas ne permet pas nécessairement d'améliorer l'apprentissage (Cromley et al., 2020). Selon Cromley et al.

(2020), il est possible que ce résultat soit lié au temps de prise en main de l'outil numérique lorsque l'activité n'est pas aidée par des supports. De meilleurs outils de génération de schémas semblent donc nécessaires.

L'ensemble de ces éléments montre qu'il faut étudier l'utilisation des tablettes en couplant l'outil à l'activité proposée (Amadiou et al., 2019; Mulet et al., 2019). De plus, les nouvelles technologies ne sont pas nécessairement acceptées par les utilisateurs finaux (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009) et l'intégration des tablettes à l'école a été faite de manière précipitée dans la plupart des pays (Tamim et al., 2015). À notre connaissance, aucune analyse des pratiques et des besoins des enseignants concernant des applications de génération collaborative de schémas sur tablettes n'a été réalisée. Dans cette perspective, une démarche de co-conception de cet outil a été mise en place avec des enseignants de collège et des collégiens dans le cadre de cette thèse.

## 2. Mise en place d'une démarche de co-conception

### 2.1. La démarche conception centrée utilisateurs (CCU)

La CCU est une démarche ergonomique, décrite dans la norme ISO 9241-210 comme étant une « *approche de conception et de développement de systèmes ayant pour objectif d'améliorer l'utilisabilité des systèmes interactifs en se concentrant sur l'utilisation du système concerné, et en appliquant les connaissances et techniques existantes en matière de facteurs humains/d'ergonomie et d'utilisabilité* » (Norme ISO 9241-210, 2019, p.3). Selon cette norme, la CCU suit six principes :

1. La conception du produit se base sur une prise en compte des utilisateurs, des tâches et des environnements en amont du développement.
2. La conception et le développement du produit impliquent les utilisateurs.
3. L'évaluation centrée utilisateur permet de diriger et de préciser la conception d'un produit.

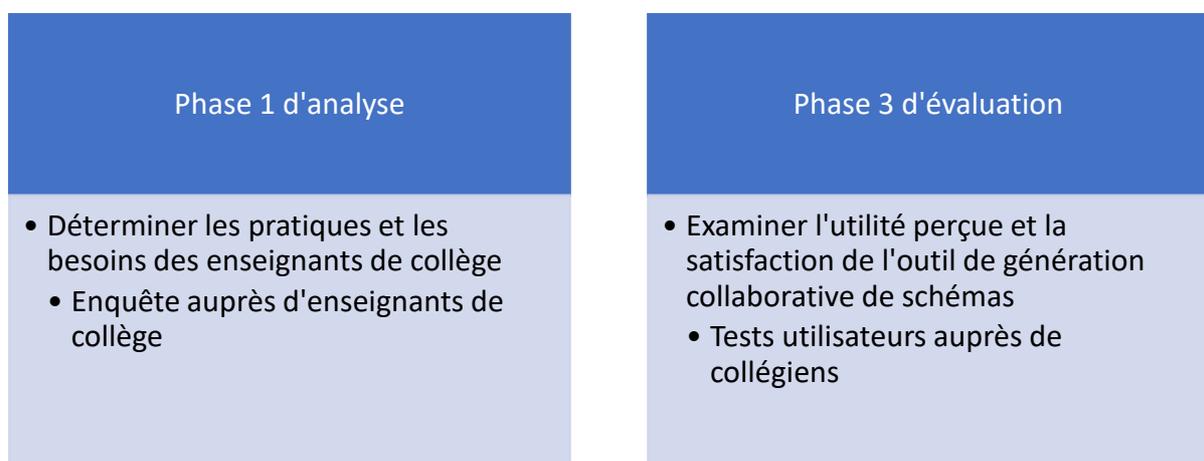
4. La conception suit des boucles itératives.
5. L'expérience de l'utilisateur est prise en compte dans son intégralité lors de la conception.
6. Les équipes de travail sont pluridisciplinaires.

Globalement, l'un des principes fondamentaux de cette démarche est la prise en compte de l'utilisateur. Elle se déroule en trois phases (Norme ISO 9241-210, 2019) : 1) une phase d'analyse qui définit les attentes et les besoins des utilisateurs finaux, mesurée notamment grâce à des questionnaires et des entretiens ; 2) une phase de conception qui propose des conceptions de solutions ; 3) une phase d'évaluation qui mesure l'utilisabilité de la solution auprès des utilisateurs, notamment grâce à des tests utilisateurs.

## 2.2. La démarche retenue

La demande dans ce projet était de concevoir et d'expérimenter des outils numériques ainsi que des méthodes pédagogiques qui permettent d'engager les élèves dans des processus d'apprentissage actifs. Pour répondre à cette demande, différentes méthodologies ont été retenues selon deux des phases de la CCU (voir **Figure 14** ; Norme ISO, 9241-210).

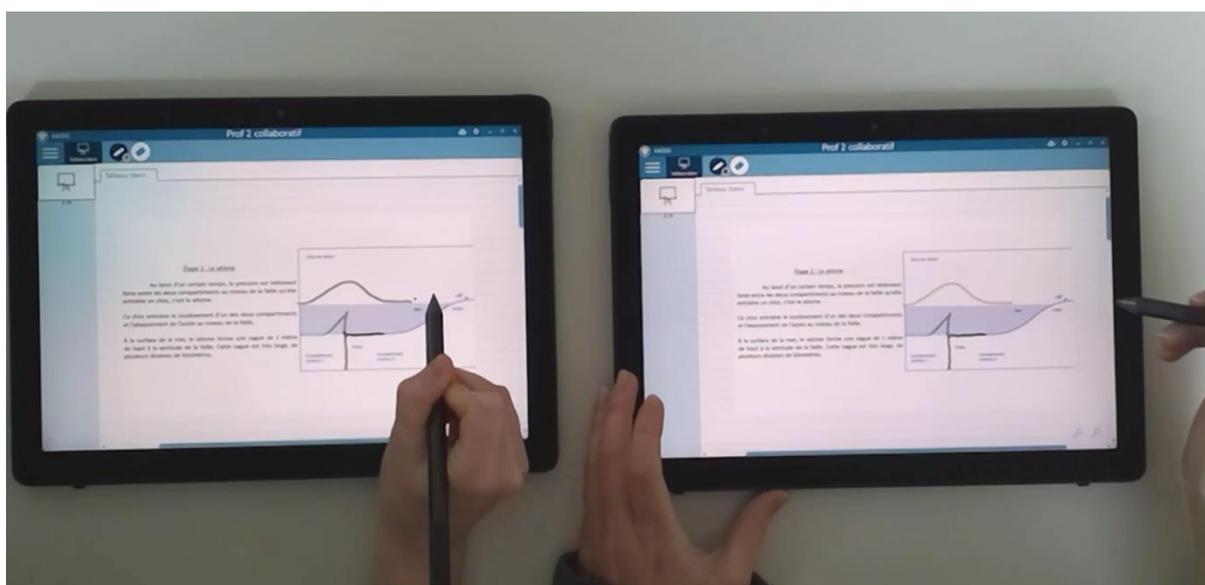
**Figure 14.** Méthodologies mises en œuvre pour la phase d'analyse et la phase d'évaluation de la CCU.



### 2.3. Les applications de génération collaborative de schémas sur tablettes

Dans le cadre de ce projet, une application de génération collaborative de schémas a été développée. Elle s'intègre au cahier numérique Kassis qui permet aux enseignants de préparer leur cours en amont pour ensuite le partager aux élèves. Ces derniers peuvent générer des schémas seuls ou par groupes tout en disposant chacun d'une tablette (voir **Figure 15**). Ils peuvent tracer des traits avec l'outil « crayon » de différentes couleurs et épaisseurs. Ils disposent également de l'outil « gomme » qui efface les traits par tracés. Quand les élèves sont en groupe, toutes leurs actions avec les outils « crayon » et « gomme » sont automatiquement retransmises sur la tablette de leur partenaire, ce qui leur permet de générer des schémas ensemble, de manière simultanée. Enfin, ils peuvent faire des allers-retours entre les diapositives au moyen de vignettes placées sur le côté gauche de l'application. Toutefois, l'activité de changement de diapositive de l'un n'est pas retransmise sur la tablette de l'autre. Par conséquent, un élève peut être en train de travailler sur une diapositive pendant que son partenaire travaille sur une autre diapositive.

**Figure 15.** Présentation de l'application de génération collaborative de schémas.



Proposer une application avec ce type d'interface permet de fournir un outil complet aux enseignants. En effet, plusieurs applications avec des tableaux blancs collaboratifs existent, gratuits ou payants. Par exemple, l'outil JamBoard© peut être destiné à un contexte académique et fonctionne sur des téléphones ou des tablettes. Il permet à des élèves de réaliser des schémas à plusieurs. De même, l'application payante Clapp© destinée aux enseignants offre différentes fonctionnalités comme la création de clips vidéo ou un tableau blanc partagé.

En France, certaines académies recommandent plusieurs sites ou applications de tableau blanc partagé qui sont destinés à être utilisés en classe. Par exemple, l'Académie de Normandie sur « *enseigner avec le numérique* »<sup>3</sup> propose huit applications, la majorité gratuite, avec un tableau blanc collaboratif et avec plusieurs fonctionnalités. Parmi ces applications, certaines fonctionnent sur des tablettes tandis que d'autres ne sont pas adaptées à ce support. La délégation académique du numérique de Versailles<sup>4</sup> recommande également l'utilisation de l'outil Explain Everything© qui permet, par exemple, d'enregistrer des vidéos ou de créer de manière collaborative des schémas.

Une présentation non exhaustive de ces outils avec leurs fonctionnalités est faite en **Annexe 1**. Ils ont été choisis car ils intègrent un grand nombre de fonctionnalités sur l'interface de génération collaborative de schémas et ils fonctionnent sur des tablettes numériques avec ou sans stylet. Ils sont recommandés par des académies françaises ou sont destinés à l'enseignement. La majorité des applications intègrent des fonctionnalités permettant aux élèves de tracer des figures géométriques. Dans le cadre du projet et des travaux de la thèse, ceci n'était pas nécessaire et n'était donc pas inclus dans l'application Kassis. De même, la présence d'un tchat en ligne fourni par certains sites ne semblait pas pertinente car l'application de génération collaborative de schémas a été développée pour être utilisée en classe avec des élèves en présentiel.

---

<sup>3</sup> Voir leur site web au lien :

[http://numeriques.ac-normandie.fr/spip.php?page=page\\_numerique&reference=outils&code=157](http://numeriques.ac-normandie.fr/spip.php?page=page_numerique&reference=outils&code=157)

<sup>4</sup> Voir leur site web au lien : <https://www.dane.ac-versailles.fr/application/explain-everything>

Cette brève présentation montre que des applications destinées aux enseignants intègrent une interface de génération collaborative de schémas. Toutefois, l'acceptabilité d'un outil de génération collaborative de schémas n'a pas été examinée et les pratiques des enseignants au collège doivent être étudiées. De plus, l'usage de ce type d'application et la satisfaction qu'en retirent les élèves doivent être observés. Ces éléments sont développés dans les sections suivantes.

#### 2.4.Évaluation des pratiques actuelles des enseignants et de leur acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas

L'utilisation des nouvelles technologies entraîne des changements pour les utilisateurs et celles-ci peuvent ne pas être acceptées (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009). Les études sur l'acceptabilité de l'outil tablette auprès des enseignants de collège sont moins nombreuses que celles menées auprès des apprenants (Amadiou et al., 2019; Amadiou & Tricot, 2020). Pourtant, l'enseignant construit des séquences pédagogiques pour ses cours, en faisant le choix d'inclure ou non certaines activités et certains outils numériques. Leur acceptabilité vis-à-vis de ces derniers doit donc être mesurée. Elle peut se distinguer de l'acceptation qui correspond à l'évaluation d'un produit après qu'il ait été utilisé (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009). Enfin, les études sur l'acceptabilité des tablettes doivent prendre en compte le « *couplage tâche d'utilisation/tâche d'apprentissage* » (Amadiou et al., 2019, p.6). Il est donc nécessaire d'étudier l'acceptabilité de l'outil numérique avec la tâche pour laquelle il peut être utilisé.

Dans cette perspective, une enquête a été menée pour connaître les pratiques actuelles d'enseignants de collège sur les travaux de groupe, sur l'activité de génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives, et sur les tablettes. Des données précises sur ces éléments n'étaient pas fournies dans la littérature. Connaître ces pratiques pourrait permettre de savoir dans quelle mesure les enseignants peuvent avoir besoin d'une application de génération collaborative de schémas. De plus, nous avons évalué l'acceptabilité

de l'application de génération collaborative de schémas sur tablette développée dans le cadre du projet. Les conditions facilitatrices et les freins à son utilisation ont également été recueillis.

#### 2.4.1. Méthode

##### 2.4.1.1. Participants

Au total, 28 enseignants ont volontairement répondu à cette enquête en ligne. Pour y participer, ils étaient informés de ses objectifs et devaient donner leur consentement de traitement de leurs données. Cette enquête ne visant que les enseignants de collège, les réponses de deux d'entre eux n'ont pas été prises en compte dans les analyses car ils travaillaient au lycée. De plus, elle était adressée uniquement aux enseignants de sciences et d'histoire-géographie, car ces derniers étaient plus susceptibles de pratiquer l'activité de génération de schémas avec leurs élèves. Par conséquent, les réponses d'un enseignant de français et de latin n'ont pas été prises en compte dans les analyses de cette enquête. Cette dernière a donc été faite auprès de 25 enseignants de collège dont 10 hommes et 15 femmes, âgés en moyenne de 43.76 ans ( $E.T. = 8.69$  ; min = 24.00, max = 61.00 ; mdn = 44.00).

Huit participants enseignaient les SVT, cinq la physique-chimie, trois les technologies, deux l'histoire-géographie et sept les mathématiques. L'échantillon est donc représentatif d'enseignants en sciences. En moyenne, ils avaient une expérience de 17.30 ans<sup>5</sup> ( $E.T. = 8.17$  min = 0.33, max = 35.00; mdn = 18.00) en tant qu'enseignant.

Concernant leur utilisation d'outils numériques, 88.00% des enseignants utilisent des ordinateurs avec leurs élèves et 54.54% d'entre eux utilisent des tablettes pendant leurs enseignements. Sur les 25 enseignants, 19 ont reporté utiliser des applications avec leurs élèves lors d'exercices collaboratifs. Une grande diversité d'entre elles a été évoquée puisque 27 ont été relevées, les plus cités étant Scratch (5/25), GeoGebra (4/25), Moodle (3/25) ou l'utilisation de tableurs (3/25).

---

<sup>5</sup> Cette moyenne a été calculée sur un échantillon de 24 participants car il n'a pas été possible de déterminer l'ancienneté de l'un d'entre eux.

#### 2.4.1.2. Matériel

Cette enquête a été créée à partir du site Framiforms© et était composée de 24 questions (voir **Annexe 2**). Elle a été diffusée en ligne en contactant les chefs d'établissement des collèges partenaires impliqués dans le projet ACTIF pour qu'ils la transmettent aux enseignants ciblés. De plus, elle a été communiquée sur le site et le réseau social Twitter du rectorat de Rennes. Le temps estimé de réponse à l'enquête était de 10 minutes.

L'application de génération collaborative de schémas, développée par l'entreprise Learn&Go et l'IRISA de Rennes, a donc été évaluée. La description suivante était présentée : « *Dans le cadre du projet Actif, nous avons développé, avec des enseignants, une application innovante qui permet, entre autres, de réaliser des schémas sur tablettes numériques. Pour utiliser cette application, chacun des élèves d'un groupe dispose d'une tablette numérique équipée d'un stylet, avec à l'écran, un texte et une zone pour réaliser leur schéma. Grâce à l'application d'espace partagé de réalisation de schémas, tous les tracés d'un des élèves du groupe sont retransmis sur la tablette de son/ses partenaire(s) et inversement. De même, chacun des élèves peut gommer les traits de son/ses partenaire(s). L'application propose un crayon de différentes couleurs et une gomme.* ». Une vidéo de 21 secondes permettait d'illustrer le fonctionnement de l'application.

#### 2.4.1.3. Mesures

Trois dimensions ont été mesurées dans cette enquête : l'usage des enseignants, leur perception d'utilité et la facilité d'usage. Ces deux dernières dimensions ont permis, entre autres, d'évaluer l'acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas. L'utilité perçue a été définie comme étant « *le degré auquel une personne croit qu'utiliser un système particulier peut améliorer ses performances au travail* » (Davis, 1989, p.320, notre traduction). La facilité d'usage perçue correspond au « *degré auquel une personne croit qu'utiliser un système particulier pourrait être sans efforts* » (Davis, 1989 p. 320, notre traduction). Selon le modèle du TAM (*Technology Acceptance model*; Davis, 1989), ces deux facteurs sont les prédicteurs de l'intention d'usage. Les études se réfèrent le plus souvent à ce modèle et l'utilité perçue apparaît comme le facteur le plus important pour prédire

l'intention d'usage des tablettes par les enseignants (Amadiou et al., 2019). Ils font également partie intégrante du modèle de l'UTAUT (*Unified theory of acceptance and uses of technology*, Venkatesh et al., 2003; Venkatesh et al., 2012), et correspondent aux attentes de performances (utilité perçue) et d'efforts (facilité d'usage perçue). Ce modèle intègre également les facteurs prédictifs d'influence sociale et des conditions facilitatrices. Ces dernières correspondent au « *degré auquel un individu croit que les infrastructures et organisations existent pour l'aider à utiliser un système* » (Venkatesh et al., 2003, p. 253, notre traduction). Elles ont été mesurées par des questions ouvertes portant sur l'application.

Au total, cinq types d'activités ont été évalués dans cette enquête : le travail en groupe, la génération individuelle et collaborative de schémas, le travail sur tablettes numériques et une application de génération collaborative de schémas au sein d'un espace partagé de schématisation.

Nous avons fait le choix de mesurer l'acceptabilité/acceptation de ces cinq activités par un item pour l'utilité perçue ainsi que par un item pour la facilité d'usage perçue au lieu des trois items proposés dans le TAM (Park, 2009) ou des quatre items proposés par l'UTAUT-2 (Venkatesh et al., 2012). Ce choix a été fait pour soumettre une enquête courte aux enseignants. L'évaluation de l'acceptabilité par un seul item par dimension a également été proposée par Martin et al. (2016) qui montraient qu'un item pouvait suffire à évaluer les mesures d'utilité ou de facilité perçue.

Les pratiques des enseignants ont été évaluées pour seulement quatre des cinq activités proposées dans cette enquête : les travaux de groupe, la génération individuelle et collaborative de schémas et les tablettes numériques en classe. Elles ont été mesurées par un item **d'usage** pour chaque activité sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *Jamais* » à 7 « *Presque toujours* » (e.g., « *Je fais travailler mes élèves par groupe* »). Par conséquent, les enseignants remplissaient quatre items d'usage.

**L'utilité perçue** des enseignants vis-à-vis des activités a été mesurée pour chacune d'entre elles. Elle a été évaluée grâce à l'item 1 des *attentes de performances* tiré de l'échelle de l'UTAUT-2 (Venkatesh et al., 2012) que nous avons traduit et adapté (e.g., « *Travailler sur tablettes numériques me semble utile pour mes élèves* »). Les enseignants remplissaient donc cinq items d'utilité perçue.

**La facilité d'usage** perçue a été évaluée pour chacune des activités au moyen de l'item 1 des *attentes d'efforts* de l'UTAUT-2 (Venkatesh et al., 2012) que nous avons traduit et adapté (e.g., « *Faire réaliser des schémas par petits groupes d'élèves me semble facile à mettre en place* »). Au total, les enseignants complétaient cinq items de facilité d'usage perçue.

L'utilité perçue et la facilité d'usage étaient évaluées sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *Pas du tout d'accord* » à 7 « *Tout à fait d'accord* ».

Deux questions ouvertes permettaient de recueillir les **conditions facilitatrices et les freins** de l'application de génération collaborative de schémas : 1) « *Selon vous, quels sont les avantages qu'offrent cette application d'espace partagé de réalisation de schémas sur tablettes numériques avec stylet ?* » et 2) : « *Selon vous, quels pourraient être les freins à l'utilisation de cette application d'espace partagé de réalisation de schémas sur tablettes numériques avec stylet ?* ».

## 2.4.2. Résultats

### 2.4.2.1. Analyses statistiques

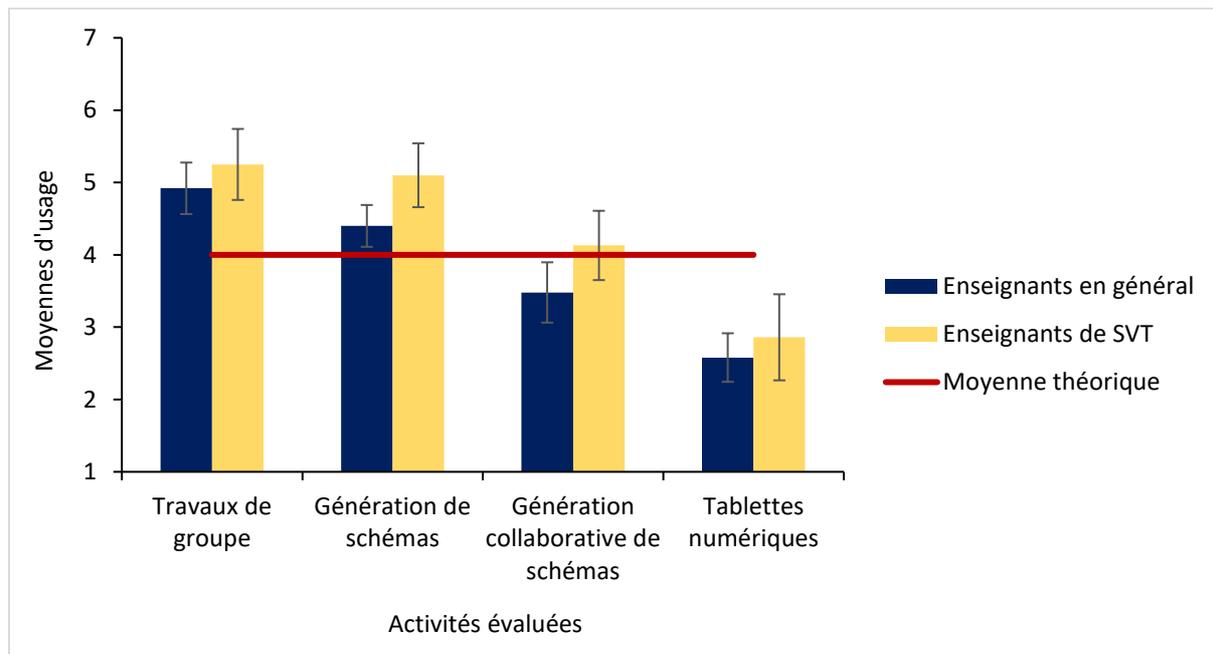
Les analyses ont été effectuées à partir du logiciel Jamovi avec un seuil de significativité à .05. L'échelle de Likert utilisée dans cette enquête allant de 1 à 7, le milieu du continuum est de 4.00. Des tests t de student pour échantillon unique ont été conduits pour déterminer dans quelle mesure les moyennes des scores des enseignants en général ( $N = 25$ ) se différencient de la moyenne théorique ( $M = 4.00$ ). Les études dans cette thèse ayant été conduites dans le contexte d'enseignement de SVT, il nous a également semblé pertinent de présenter les statistiques descriptives des enseignants de SVT uniquement. Les réponses aux questions ouvertes ont été analysées à partir d'une analyse de contenu thématique.

### 2.4.2.2. Usage

Les analyses (voir **Figure 16**) montrent que les enseignants mettent fréquemment en place des travaux de groupe, puisque leur moyenne est significativement plus importante que

la moyenne théorique,  $t(24) = 2.59$ ,  $p = .016$ ,  $d = 0.52$ . En revanche, pour les activités de génération de schémas en situations individuelles,  $t(24) = 1.39$ ,  $p = .179$ ,  $d = 0.28$ , ou collaboratives,  $t(24) = 1.25$ ,  $p = .224$ ,  $d = 0.25$ , leurs moyennes ne se différencient pas significativement de la moyenne théorique. Toutefois, les moyennes des enseignants de SVT uniquement montrent qu'ils mettent fréquemment en place cette activité dans des situations individuelles et collaboratives. Enfin, les enseignants<sup>6</sup> utilisent rarement les tablettes numériques pendant leurs enseignements puisque leur moyenne est significativement moins élevée que la moyenne théorique,  $t(18) = 4.23$ ,  $p < .001$ ,  $d = 0.97$ .

**Figure 16.** Moyennes et erreurs standards d'usage des enseignants en général et des enseignants de SVT selon les différentes activités évaluées.



<sup>6</sup> Sur les 25 enseignants interrogés, 19 disposent de tablettes numériques dans leur établissement. Les analyses d'usage des tablettes ont donc été conduites sur un échantillon de 19 participants.

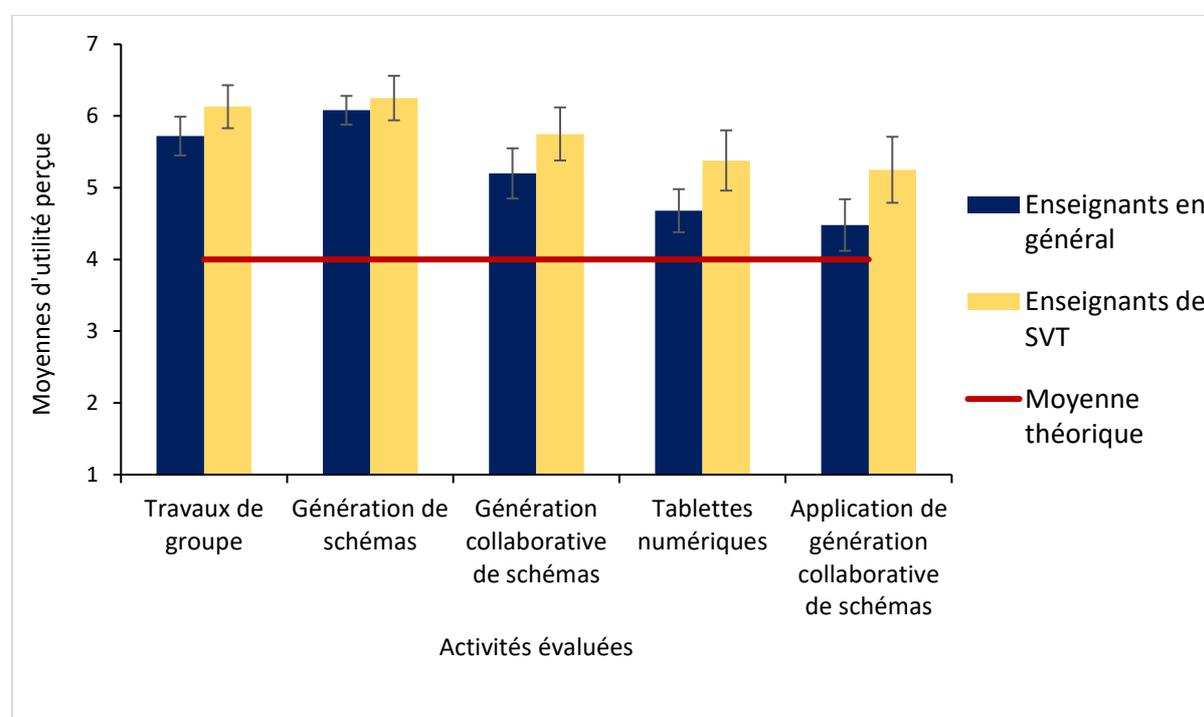
### 2.4.2.3. Utilité perçue

Les analyses (voir **Figure 17**) montrent que les moyennes des enseignants en général sont significativement plus importantes que la moyenne théorique pour les travaux de groupe,  $t(24) = 6.28, p < .001, d = 1.26$ , la génération de schémas dans des situations individuelles,  $t(24) = 10.43, p < .001, d = 2.09$ , et collaboratives,  $t(24) = 3.46, p = .002, d = 0.69$ , ou les tablettes numériques,  $t(24) = 2.24, p = .035, d = 0.45$ . Ainsi, ces activités semblent être, selon eux, très utiles pour leurs élèves.

Toutefois, les moyennes d'utilité perçue des enseignants pour l'application de génération de schémas ne se différencient pas significativement de la moyenne théorique,  $t(24) = 1.33, p = .196, d = 0.27$ .

Les analyses descriptives concernant uniquement les enseignants de SVT montrent qu'ils ont reporté un haut niveau d'utilité perçue pour l'ensemble des catégories évaluées.

**Figure 17.** Moyennes et erreurs standards d'utilité perçue des enseignants en général et des enseignants de SVT selon les différentes activités évaluées.

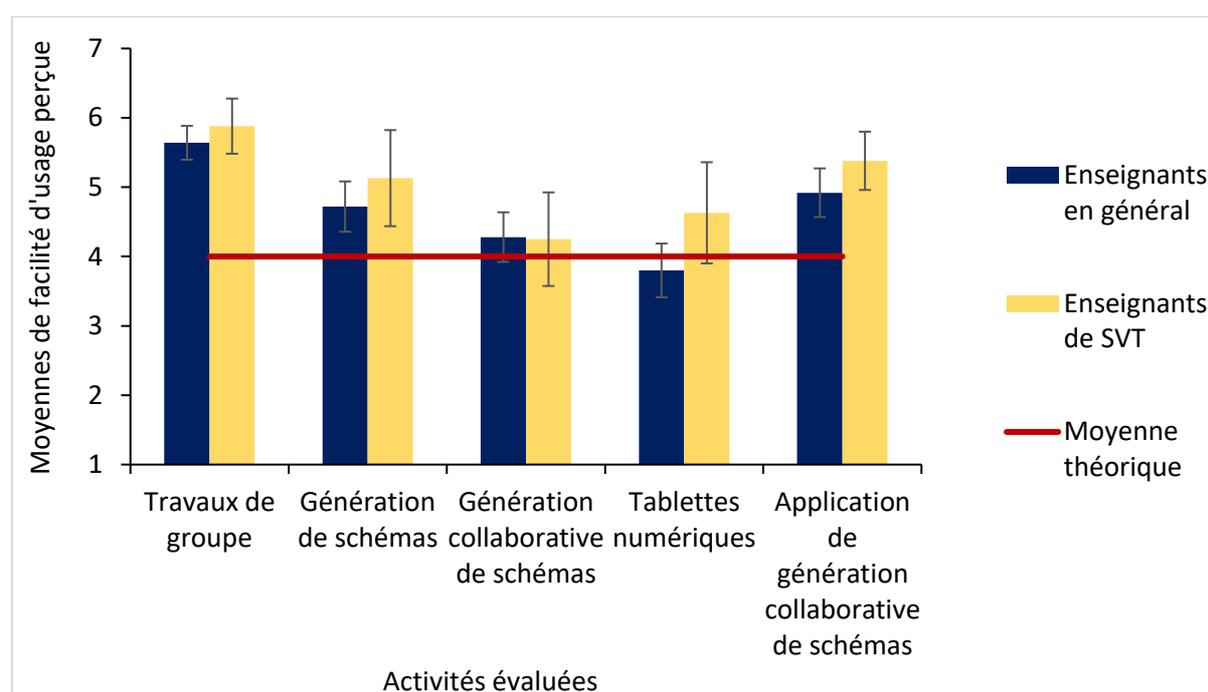


#### 2.4.2.4. Facilité d'usage perçue

Nos résultats (voir **Figure 18**) montrent que les enseignants perçoivent les travaux de groupe,  $t(24) = 6.72, p < .001, d = 1.34$ , et l'application collaborative de génération de schémas,  $t(24) = 2.02, p = .015, d = 0.52$ , comme très faciles à mettre en place avec leurs élèves puisque leurs moyennes sont significativement plus élevées que la moyenne théorique. Pour la génération de schémas dans des situations individuelles  $t(24) = 1.98, p = .059, d = 0.40$ , et collaboratives,  $t(24) = 0.78, p = .442, d = 0.16$ , ou les tablettes numériques,  $t(24) = 0.52, p = .610, d = 0.10$ , aucune différence significative n'a été montrée par les analyses.

Concernant les moyennes obtenues uniquement pour les enseignants de SVT, les analyses descriptives révèlent qu'ils trouvent que l'ensemble des activités évaluées dans cette enquête sont faciles à mettre en place.

**Figure 18.** Moyennes et erreurs standards de facilité d'usage perçue des enseignants en général et des enseignants de SVT uniquement selon les activités évaluées.



#### 2.4.2.5. Conditions facilitatrices et freins de l'application de génération collaborative de schémas

Une lecture flottante des réponses aux questions ouvertes a permis de créer une grille d'analyse thématique.

##### *Les conditions facilitatrices de l'application*

Le **Tableau 5** montre que les enseignants ont majoritairement mentionné le fait que les échanges et les discussions entre élèves, ainsi que les potentiels effets bénéfiques sur l'apprentissage pourraient être des conditions facilitatrices de l'application. Ceci faciliterait également l'activité de génération de schémas. De même, la possibilité de suivre le travail des élèves lors de l'activité, la propreté des schémas générés ou encore les facteurs motivationnels ont été soulevés. Enfin, très peu d'enseignants ne voient aucun avantage à cette application.

**Tableau 5.** Conditions facilitatrices citées, définitions et exemples.

Catégories	Définitions	Exemples
<b>Travail collaboratif</b> 9/25	Remarques liées aux échanges, discussions entre élèves.	« Cela favorise les échanges entre les élèves, cela oblige à un partage des tâches » « Faciliter le travail en groupe » « Cela offre la possibilité de collaborer, d'échanger en temps réel sur les propositions des uns et des autres. »
<b>Apprentissage</b> 9/25	Remarques sur les effets bénéfiques pour l'apprentissage des élèves	"Apprendre à modéliser un problème" "Meilleure compréhension du mécanisme étudié" "Faire progresser des élèves en difficultés sans besoin de recourir toujours à l'enseignant. » « Solliciter l'élève à se poser des questions sur ses réponses."
<b>Facilité d'usage pour les élèves</b> 8/25	Remarques liées à la facilité de modifier les schémas ou à la facilité de générer des schémas communs ou à les diffuser	« Facilement modifiable » « Chaque élève peut agir sur le même schéma mais chacun sur leur tablette » « Un schéma construit peut être, éventuellement, diffusé à d'autres groupes pour y ajouter des éléments. »
<b>Suivi du travail des élèves</b> 4/25	Remarques liées aux avantages comme la possibilité d'avoir un historique des tracés des élèves	« Les couleurs permettent de suivre l'investissement de chacun" « La sauvegarde des différentes étapes de la réalisation du schéma permet de garder une trace de l'évolution de la construction de la pensée autour d'une notion. »
<b>Propreté</b> 4/25	Remarques liées à la propreté du travail fourni par les élèves	« Plus propre » « Soin »

Catégories	Définitions	Exemples
<b>Autres</b> 4/25	Commentaires ne pouvant être catégorisé	« Déjà testé avec les élèves » « Je fais ce travail avec des post-it sur tableau blanc » « Eviter d'avoir à réaliser une fiche méthode »
<b>Sans réponses</b> 4/25		« / » « ? »
<b>Motivationnels</b> 3/25	Remarques portant sur le caractère ludique de l'application et l'intérêt qu'elle peut susciter chez les élèves	« Côté ludique et intérêt des élèves »
<b>Sans avantages</b> 2/25	Commentaires faisant références à aucun avantage de l'application	« Je ne vois aucun avantage »

### *Les freins de l'application*

Le **Tableau 6** montre que les freins formulés par les enseignants concernent la disponibilité des tablettes numériques. Les enseignants ont également soulevé les problèmes liés à la connexion des tablettes ou encore les temps de prise en main du matériel et de sa mise en place. Enfin, ils ont relevé le fait que l'utilisation de cette application pouvait déconcentrer les élèves en étant perçue comme un « jeu ». Elle nécessite également que les élèves en groupe s'entendent correctement pour réaliser l'exercice. Pour terminer, très peu d'entre eux préfèrent travailler dans des situations individuelles ou sur papier/crayon.

**Tableau 6.** *Freins reportés, définitions et exemples.*

<b>Catégories</b>	<b>Définitions</b>	<b>Exemples</b>
<b>Disponibilité du matériel</b> 9/25	Remarques liées à l'utilisation des tablettes et à la fiabilité du matériel	« Gestion du matériel » « Coût de matériel » « Fiabilité du programme »
<b>Connexions</b> 5/25	Remarques liées aux problèmes de connexion au réseau	« Problème de connexion » « Connexion défailante »
<b>Temps de prise en main du matériel, de maîtrise de l'outil</b> 5/25	Remarques liées aux temps de maîtrise de l'outil numérique ou à la scénarisation	« Temps d'adaptation de la prise en main » « La scénarisation » « Les élèves doivent maîtriser l'outil »
<b>Autres</b> 5/25	Commentaires ne pouvant être catégorisé	« Récupérer la production des élèves : borne wi-fi, clé,...? » « Il s'agirait pour l'enseignant.e de réfléchir à l'articulation entre l'utilisation collaborative de cette application et le travail individuel sur papier pour mesurer les progrès des élèves sur l'utilisation de schémas dans des contextes définis au préalable. »
<b>Temps de mise en place du matériel</b> 4/25	Remarques liées aux temps d'installation du matériel (application ou tablettes)	« Pas le temps pour mise en œuvre » « Temps d'installation de l'application » « C'est chronophage sur une séance »
<b>Déconcentration liée à l'application</b> 4/25	Remarques liées à un manque de concentration des élèves pendant l'utilisation de l'outil	« Amusement et dispersions des élèves » « Il faudrait tester, cependant des élèves pourraient ne pas "jouer" le jeu et s'amuser avec cet outil. »

Catégories	Définitions	Exemples
<b>Capacités collaboratives</b> 4/25	Difficultés liées aux processus collaboratifs et à l'entente entre les élèves	« Capacité ou pas de négociation » « Que les idées de chaque élève soient prises en compte et représenter sur le schéma » « Entente insuffisante entre élèves »
<b>Préférence pour un travail individuel</b> 2/25	Remarques portant sur une préférence pour le travail seul plutôt qu'à plusieurs	« Je préfère que les élèves fassent tous leur propre schéma » « Un schéma est proche d'une carte mentale, sa conception sera plus pertinente si elle émane des représentations de son créateur et non celle d'un groupe. »
<b>Préférence pour un travail papier/crayon</b> 2/25	Remarques liées à une préférence pour des outils qui ne sont pas numériques	« Je ne suis pas forcément pour le "tout" numérique » « Importance d'utiliser un crayon et une règle comme au DNB »
<b>Sans réponses</b> 2/25		« / » « Je ne sais pas »

### 2.4.3. Synthèse des résultats

Cette enquête avait pour objectif d'examiner les pratiques actuelles des enseignants au collège concernant les travaux de groupe, la génération de schémas dans des contextes individuels et collaboratifs et les tablettes avec leurs élèves. L'acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas développée dans ce projet a également été étudiée.

Cette enquête montre que les enseignants mettent fréquemment en place des travaux de groupe avec leurs élèves, qu'ils trouvent utiles et faciles à proposer. L'activité de génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives n'est, quant-à-elle, pas régulièrement proposée en classe, malgré le fait qu'elle soit perçue comme très utiles pour les élèves. Il est possible que les enseignants en général ne perçoivent pas cette activité comme facile à mettre en place avec les collégiens. Toutefois, il est nécessaire de noter que les enseignants de SVT proposent régulièrement ce type d'activité à leurs élèves. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la génération de schémas fait partie du programme scolaire de second cycle dans cette matière.

Malgré une forte utilité perçue de la tablette numérique qui montre l'intérêt des enseignants pour cet outil, ils ne l'utilisent que peu fréquemment avec les collégiens. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'elles ne sont pas perçues comme faciles d'usage. De plus, les résultats issus de nos questions ouvertes sur l'application montrent que les enseignants rencontrent des problèmes de disponibilité des tablettes dans leur établissement, ainsi que des temps de prise en main et de mise en place de l'outil trop longs.

Concernant l'application de génération collaborative de schémas, nos résultats suggèrent une bonne acceptabilité de l'outil de manière générale, et plus particulièrement chez les enseignants de SVT. Ceux-ci ont reporté mettre fréquemment en place l'activité collaborative de génération de schémas, pouvant expliquer cette utilité perçue importante. Globalement, ils y voient des avantages en termes pédagogiques pour leurs élèves car elle permettrait d'encourager le travail collaboratif et pourrait avoir des effets bénéfiques pour l'apprentissage des élèves. De même, l'application permettrait de faciliter l'activité de génération de schémas, qu'ils ne trouvaient que pas facile à mettre en place, et permettrait

aux élèves de générer des schémas propres. Enfin, cette application permettrait aux enseignants de suivre le travail des collégiens grâce au crayon de couleurs différentes.

Toutefois, différents freins ont été soulevés : la disponibilité des tablettes, les temps de mises en place et de prise en main de l'outil apparaissent comme les plus fréquemment relevés. Les problèmes de connexion des tablettes ont également été retenus par un certain nombre d'enseignants. Enfin, la déconcentration des élèves lors de l'utilisation de l'outil et leur entente apparaissent également comme des freins à l'utilisation de l'application mais dans une moindre mesure.

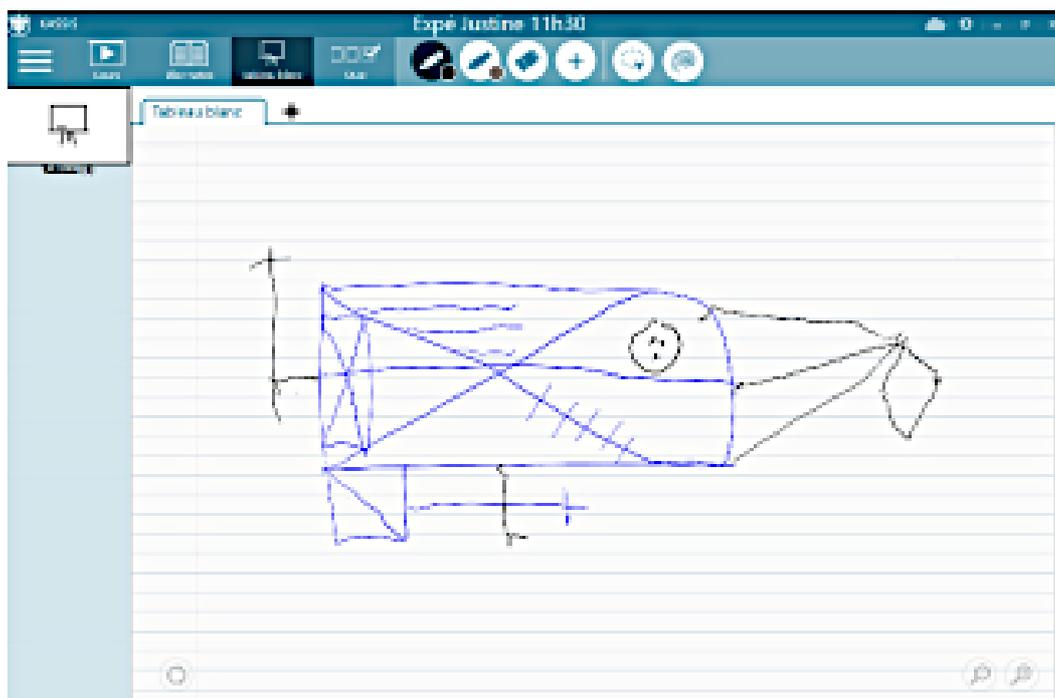
Dans l'ensemble, ces freins relèvent de problématiques externes à l'application : les difficultés liées à l'utilisation d'outils numériques et aux travaux de groupe entre élèves. Des facteurs internes liés aux changements pédagogiques que peut induire l'utilisation de ce type d'application n'ont pas ou peu été évoqués.

Cette enquête comporte plusieurs limites. Elle a été diffusée auprès des collègues partenaires au projet ACTIF et certains enseignants déjà impliqués ont ainsi pu y répondre. Par conséquent, nos résultats peuvent être biaisés par leur possible appétence aux outils numériques. De plus, notre échantillon est relativement faible, il serait donc intéressant de diffuser cette enquête à plus grande échelle. Enfin, nous avons souhaité proposer une enquête courte, ce qui ne nous a pas permis de mesurer l'ensemble des composantes de l'acceptabilité selon l'UTAUT (Venkatesh et al., 2003 ; Venkatesh et al., 2012). Or, ce modèle serait plus prédictif que le TAM concernant l'intention d'usage des enseignants (Amadiou et al., 2019).

## 2.5.Évaluation de l'utilisabilité du prototype de l'application

Dans le cadre du volet transversal CCU du projet ACTIF, des tests utilisateurs ont été conduits par des ergonomes du projet auprès des collégiens pour tester une version de l'application de génération (collaborative) de schémas (voir **Figure 19**). Elle était quasiment similaire à celle proposée aux enseignants pendant l'enquête ou aux élèves pendant les expérimentations de la thèse.

Figure 19. Interface de l'application Kassis Collège testée par les collégiens.



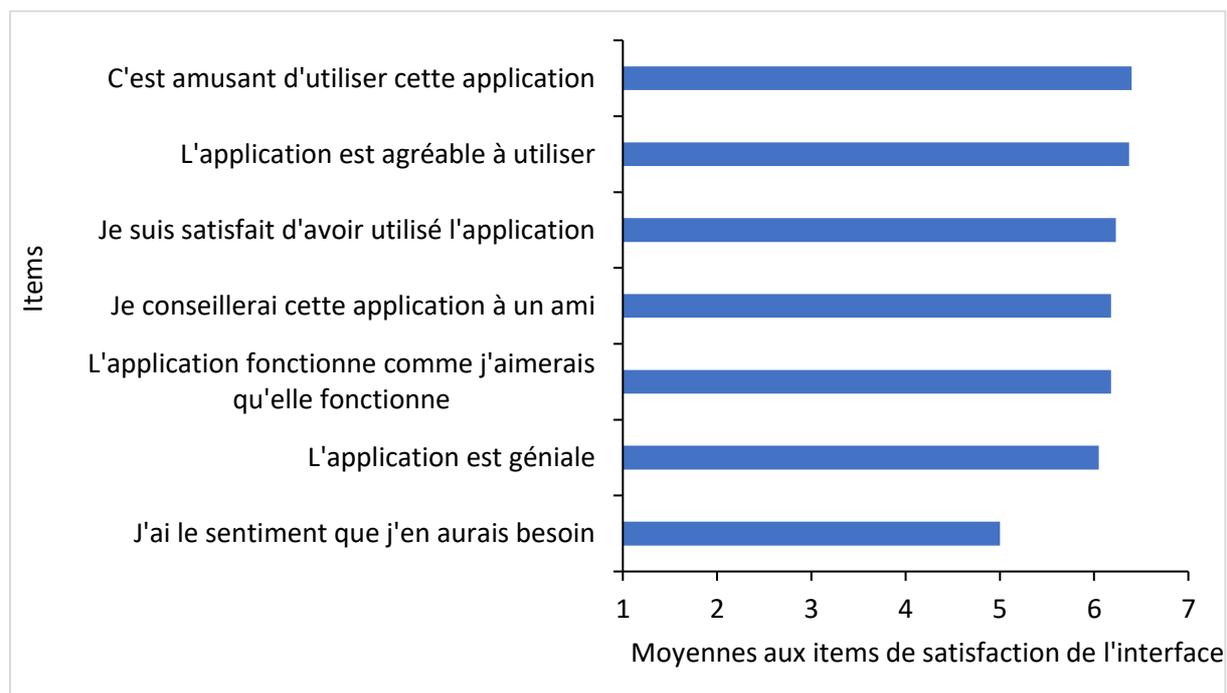
Parmi les objectifs de ce test, il s'agissait d'évaluer la satisfaction des élèves et les différentes fonctionnalités de l'application. Elle permettait aux collégiens de réaliser des schémas seuls, mais également par groupes de deux, tout en disposant chacun d'une tablette.

Ainsi, 42 collégiens en classe de cinquième dont 24 filles et 18 garçons ( $M = 11,95$  ans ;  $E.T. = 0,44$ ) issus d'un collège partenaire de l'Académie de Rennes ont participé à ce test utilisateur. Les élèves pouvaient travailler dans des situations individuelles ou collaboratives (en binômes) pour réaliser la figure de Rey (voir **Figure 19**). Plus précisément, certains d'entre eux généraient cette figure en groupe tout au long de l'exercice, tandis que d'autres la généraient d'abord seuls, puis en groupe, puis seuls. À la suite de l'activité, un questionnaire de satisfaction sur l'utilisation de l'interface inspiré de l'USE Questionnaire (Lund, 2001) était passé. Il était composé de sept items présentés sous la forme d'une échelle de Likert en 7 points et permettait de mesurer la satisfaction, l'utilité et la facilité d'usage perçues de l'interface. La satisfaction sur la collaboration a également été mesurée sur une échelle de Likert en 5 points (Tseng et al., 2009). Enfin, à la fin du test, un débriefing avec quatre groupes

d'élèves a été conduit pour savoir ce qu'ils avaient pensé de l'application et pour connaître leurs remarques sur les outils utilisés.

Globalement, les élèves ont reporté de hauts scores aux items de satisfaction de l'application avec des moyennes allant de 5 à 6.40 sur 7 (voir **Figure 20**).

**Figure 20.** Moyennes aux items du questionnaire de satisfaction de l'application.



Par conséquent, ils ont été très satisfaits de l'interface, l'ont trouvée très utile et facile d'usage. Ils ont également indiqué avoir apprécié réaliser ce travail en groupe avec un score moyen de 4.14/5. De plus, les résultats (voir **Tableau 7**) du débriefing conduit auprès de huit élèves, soit quatre groupes, montrent qu'ils ont apprécié l'interface de génération de schémas. Toutefois, parmi leurs remarques sur des points d'amélioration, la difficulté majeure rencontrée concerne la gomme. Celle-ci efface tout le trait alors que certains élèves aimeraient qu'elle n'en efface qu'une partie.

**Tableau 7.** Mots-clés évoqués par les groupes d'élèves (fréquence entre parenthèse) selon leur appréciation de l'interface et leurs remarques d'amélioration.

Catégories de réponses	Mots clés
Appréciation de l'interface	Bien (3/4)
	Très bien (1/4)
	Pratique au quotidien (1/4)
Remarques d'améliorations	La gomme (4/4)
	Avoir la possibilité de faire des traits droits (1/4)
	Permettre un retour en arrière grâce à un bouton (1/4)

Contrairement aux difficultés liées à l'écriture sur tablette avec stylet du fait de leur surface lisse (e.g., Gerth et al., 2016), aucune remarque n'a été formulée concernant des problèmes liés à la production du schéma ou à propos du stylet. Toutefois, cette application de génération collaborative de schémas n'a pas été comparée à un support papier-crayon. Il n'est donc pas possible de savoir dans quelle mesure cette application pourrait faciliter l'activité générative des élèves en groupe. Cromley et al. (2020) avaient relevé que les outils numériques proposés pour générer des schémas n'étaient pas nécessairement bien conçus, avec des temps de prise en main de l'outil pouvant impacter les temps d'apprentissage. Grâce à la démarche CCU suivie dans le cadre du projet et au support stylet, aucune difficulté liée à la prise en main de l'application n'a été relevée.

### 3. Choix de l'activité pédagogique et co-construction du matériel

Lors des travaux en classe réalisées dans le cadre de la thèse, des élèves de cinquième ont travaillé sur un document pédagogique, suivi de questions d'apprentissage. Les choix portant sur la thématique étudiée par les collégiens ainsi que la production du document

d'apprentissage ont été réalisés en collaboration avec deux enseignants de SVT au collège ainsi qu'un inspecteur de l'Académie de Rennes. Un formateur RÉSÉNTICE, coordinateur pédagogique avec le living lab Interactik et académique de la Wikiradio Interactik ainsi qu'un enseignant détaché au pôle numérique pédagogique DSII et de SVT a également été sollicité pendant une réunion pour en discuter.

Dans un premier temps, les thématiques enseignées au cours du cycle 4 en SVT ont été discutées lors de réunions avec les enseignants. En accord avec ces derniers et l'inspecteur de l'Académie de Rennes, nous souhaitons proposer une thématique s'intégrant dans le programme scolaire des collégiens pour s'inscrire dans un objectif pédagogique. Différents sujets ont ainsi été proposés comme le fonctionnement de l'appareil digestif, la fécondation, la tectonique des plaques et/ou la formation des tsunamis. Pour des besoins expérimentaux, différentes conditions devaient être validées. Premièrement, la thématique devait permettre aux élèves de créer des représentations visuelles. Deuxièmement, les élèves devaient avoir peu de connaissances préalables sur la thématique proposée. Par conséquent, certains sujets tels que les éruptions volcaniques ont été exclus car ils pouvaient avoir été étudiés au cours des années d'écoles élémentaires. Pour terminer, la thématique pédagogique devait être neutre et ne pas divertir les élèves dans leur activité. Par exemple, la reproduction chez l'être humain a été exclue car elle pouvait entraîner une forme d'amusement chez des collégiens. Par conséquent, pour répondre aux différentes contraintes liées au niveau scolaire de cette population et aux besoins de l'activité générative, le choix s'est porté sur la formation des tsunamis. Cette thématique pédagogique qui n'était pas étudiée par les apprenants au cours de leur année de sixième permettait la création de représentations visuelles et était relativement neutre. De plus, elle permettait d'introduire la thématique de la tectonique des plaques, enseignée généralement en quatrième et s'inscrivait donc dans une démarche pédagogique cohérente avec les enseignements proposés au collège.

Une fois la thématique validée et choisie par les expérimentateurs, les enseignants et l'inspecteur de l'Académie de Rennes, la conception du document pédagogique a pu être mise en place. Des rencontres et des échanges par emails ont ainsi été organisés avec les deux enseignants de SVT et l'inspecteur académique afin de discuter de différentes versions du document et des points de vocabulaire pour qu'il soit adapté aux élèves. De même, des

manuels scolaires de SVT ont été prêtés par un enseignant de collège (Azéma et al., 2017; Desrayaud et al., 2016) pour s'appuyer sur des informations adaptées à l'âge des apprenants pour construire notre propre matériel. Ainsi, la conception du matériel a suivi un cycle itératif, pour aboutir à une version pouvant convenir aux enseignants et élèves. Des modifications du matériel ont également été faites avec deux autres enseignants de SVT au collège tout au long des expérimentations de la thèse pour l'ajuster.

## 4. Conclusion

- Notre enquête montre qu'il y a un besoin des enseignants concernant l'activité de génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives mais des avancées technologiques sont nécessaires.
  - L'application de génération collaborative de schémas correspond aux besoins des enseignants de SVT.
- Les résultats des tests utilisateurs conduits auprès des collégiens montrent leur satisfaction vis-à-vis de l'application. De plus, les élèves ont facilement pris en main l'outil.
- Le choix de la thématique pédagogique s'est fait en concertation entre le corps enseignant et devait respecter certains critères pour s'adapter à l'activité de génération de schémas.
- Il s'agit désormais de savoir dans quelle mesure l'activité de génération de schémas améliore l'apprentissage des élèves en déterminant ses conditions d'efficacité.

## Partie III – Chapitres expérimentaux



# Chapitre 5. Étude 1. Les effets de la génération de schémas guidée par une illustration fournie sur la qualité des schémas et l'apprentissage

## 1. Introduction

La littérature a montré que des élèves qui génèrent des schémas avaient généralement de meilleures performances d'apprentissage que des élèves qui étudient des textes non illustrés (Fiorella & Zhang, 2018). En revanche, ces effets sont plus mitigés lorsque l'activité générative est comparée à un document composé d'un texte illustré et ils dépendraient de l'ajout de supports (Fiorella & Zhang, 2018). Fiorella et Zhang (2018) ont défini quatre niveaux de guidages (voir Chapitre 3) : 1) sans guidage additionnel (e.g., Leutner et al., 2009); 2) Entraînement à la génération de schémas (Scheiter, Schleinschok, et al., 2017) ; 3) Illustrations partielles (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014); et 4) Comparaison du schéma généré à une illustration fournie (e.g., Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006). Toutefois, l'efficacité de ces guidages n'est pas toujours avérée. Pour autant, à notre connaissance, très peu d'études ont testé les effets d'un guidage sous la forme d'une illustration fournie *pendant* la génération de schémas à partir d'un texte.

En effet, les études proposaient 1) la comparaison du schéma auto-généré avec une illustration fournie *après* la génération (e.g., Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006) ou 2) l'illustration était fournie aux étudiants *avant* la génération des schémas, puis elle était retirée pendant l'activité générative (Q. Zhang & Fiorella, 2019). Seulement deux études proposaient une activité de recopie. Dans la première étude (Edens & Potter, 2003), des élèves à l'école primaire devaient soit lire un texte puis écrire dessus, soit lire un texte puis recopier des illustrations, soit lire un texte puis générer des schémas à l'aide de questions d'incitations pour les aider lors de l'activité. Leurs résultats ont montré un effet bénéfique de la génération de schémas sur la compréhension conceptuelle par rapport au texte mais pas par rapport à l'activité de recopie. Cette dernière n'a pas permis aux enfants d'obtenir un meilleur

apprentissage que ceux qui disposaient seulement d'un texte. Dans cette étude, et contrairement à la littérature (principe multimédia, Mayer, 2001), la présentation d'un document illustré n'a donc pas été bénéfique pour les élèves. De plus, ces chercheurs n'ont pas examiné cette activité de recopie par rapport à un texte illustré et ils n'ont pas reporté de mesures de temps ou les statistiques descriptives sur les mesures de compréhension. Enfin, l'activité de génération était accompagnée de questions d'incitations, qui peuvent constituer un guidage de l'activité (Van Meter, 2001). Dans une deuxième étude portant sur une activité de recopie, les élèves généraient des schémas à partir d'animation vidéo et non d'un texte scientifique (Mason, Lowe, et al., 2013).

D'un côté, la littérature a montré que les illustrations pouvaient être traitées de manière superficielle (e.g., Cromley et al., 2010; Eitel, 2016; Folker et al., 2005; Hannüs & Hyönä, 1999; Hegarty & Just, 1993). Aussi, les faire recopier pourrait engager les apprenants à les traiter de manière plus approfondie. De plus, les illustrations pourraient agir comme un modèle analogique en guidant l'activité de génération pour la rendre moins complexe, améliorer la qualité des schémas générés et l'apprentissage. D'un autre côté, selon Van Meter et Firetto (2013), un guidage trop important de l'activité conduirait à la génération d'un schéma sans que le modèle mental de l'apprenant n'ait été construit, ayant pour conséquence d'altérer les effets bénéfiques de l'activité sur l'apprentissage.

Par conséquent, cette étude vise à examiner les effets de la génération de schémas guidée ou non par des illustrations fournies *pendant* la génération de schémas à partir de textes scientifiques. Ce guidage pourrait permettre d'améliorer la qualité des schémas générés et l'apprentissage. De plus, il pourrait réduire la complexité de la tâche générative.

La majorité des études a testé l'apprentissage des apprenants au moyen de tests immédiats et très peu ont examiné les effets de la génération de schémas sur l'apprentissage à long-terme (e.g., Fiorella & Kuhlmann, 2020; Mason, Lowe, et al., 2013; Schmidgall et al., 2019). Or, des traces mnésiques importantes peuvent être construites lors de cette activité générative puisqu'elle demande un engagement important dans l'apprentissage et elle pourrait entraîner une difficulté désirable (Schmidgall et al., 2019). Par conséquent, dans notre étude, ces effets seront étudiés sur des mesures d'apprentissage à court et à long-terme.

Cette étude a été réalisée auprès de collégiens en classe de 5<sup>ème</sup> qui travaillaient sur un document traitant de la formation des tsunamis à partir de tablettes numériques avec stylet. Les effets de la génération de schémas accompagnée ou non d'un guidage sous la forme d'une illustration fournie *pendant* l'activité ont été testés sur la qualité des schémas générés, l'apprentissage à court et long-terme, les temps d'activité, la difficulté perçue, l'intérêt situationnel et la précision du monitoring. Pour ce faire, nous avons mis en place une étude qui suivait un plan expérimental factoriel 2 x 2 avec des facteurs illustration (sans et avec) et génération (sans et avec). Les élèves étaient ainsi répartis dans une des quatre conditions. Les collégiens qui ne disposaient pas d'illustrations et qui ne généraient pas de schémas lisaient des textes seuls (condition « Textes seuls »). Les élèves qui disposaient d'illustrations mais ne généraient pas de schémas devaient lire des textes et regarder des illustrations (condition « Textes illustrés »). Ceux qui ne disposaient pas d'illustrations mais généraient des schémas devaient les réaliser à partir de textes (condition « Génération sans illustrations »). Enfin, les élèves qui disposaient d'illustrations et généraient des schémas devaient les réaliser à partir de textes et d'illustrations fournies (condition « Génération avec illustrations »). Après l'activité pédagogique, tous les élèves répondaient à une question de jugement de leur apprentissage, à des questions de mémorisation et de transfert, et à des questions de difficulté perçue et d'intérêt situationnel.

## 2. Hypothèses

Les élèves peuvent, grâce aux illustrations, visualiser une représentation complète et précise du phénomène étudié et donc générer des schémas complets et précis. Concernant les mesures de qualité des schémas, nous faisons donc les hypothèses que les élèves en condition « Génération avec illustrations » obtiendront de meilleurs scores de présence (i.e. éléments représentés dans les schémas) (H1a) et de précision (i.e. éléments représentés et ce, précisément) (H1b) que les élèves en condition « Génération sans illustrations », et ce quelle que soit la complexité des schémas. Des analyses complémentaires ont été réalisées en mesurant le nombre de légendes insérées au sein du schéma complexe et au sein des

schémas simples générés par les élèves. En condition « Génération avec illustrations », les collégiens avaient pour consigne de générer leurs schémas en se basant sur les éléments du texte et de l'illustration. L'illustration fournie ayant pu faciliter la sélection des éléments imagés lors de l'activité générative, il est possible que les élèves aient plus facilement sélectionné les éléments textuels et les aient donc insérés au sein de leurs schémas.

Concernant les mesures d'apprentissage, d'un côté la littérature suggère qu'un guidage trop important de l'activité générative n'engagerait pas les apprenants à construire un modèle mental *avant* leur production (Van Meter & Firetto, 2013). Toutefois, en disposant d'une illustration pendant l'activité de génération, les élèves pourraient la traiter de manière plus approfondie. De plus, cette illustration pourrait constituer un guidage en donnant un modèle aux apprenants et faciliter l'activité générative. Ainsi, nous supposons que la génération de schémas aura des effets bénéfiques sur la mémorisation immédiate des éléments imagés (i.e. éléments écrits dans le texte et représentés dans l'illustration ou à générer) (H2a) et le transfert immédiat (H2b) *uniquement* lorsqu'elle est guidée par une illustration fournie (condition « Génération avec illustrations »). En se basant sur l'idée que la génération de schémas est une difficulté désirable (Schmidgall et al., 2019) mais qu'elle nécessite d'être guidée (Fiorella & Zhang, 2018), nous faisons l'hypothèse que la génération de schémas aura des effets bénéfiques sur les mesures différées de mémorisation des éléments imagés (H2c) et de transfert (H2d) *uniquement* lorsqu'elle est guidée (condition « Génération avec illustrations »).

À notre connaissance, aucune étude n'a examiné les effets de la génération de schémas sur la mémorisation d'éléments qui ne sont pas nécessairement à représenter. Or, les études portant sur les effets des textes illustrés ont montré que les apprenants avaient tendance à se focaliser sur les éléments proposés au sein du texte (e.g., Hegarty & Just, 1993; Schmidt-Weigand et al., 2010; Schnotz & Wagner, 2018; Schüler et al., 2019). Ainsi, les effets des différentes conditions sur la mémorisation immédiate ou différée des éléments textuels (i.e. éléments écrits dans le texte et qui n'étaient pas représentés (ou à générer) dans l'illustration) seront étudiés de manière exploratoire.

La littérature a montré que la génération de schémas est coûteuse en temps (e.g., Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2011). Nous faisons donc l'hypothèse que les élèves

des conditions « Génération sans illustrations » et « Génération avec illustrations » prendront plus de temps à réaliser l'activité que ceux qui ne généreront pas de schémas. Nous supposons également qu'un guidage à la génération de schémas sous la forme d'une illustration fournie (condition « Génération avec illustrations ») réduira les temps d'activité (H3).

La génération de schémas est une activité pouvant entraîner une surcharge cognitive (e.g., Leutner et al., 2009; Schwamborn et al., 2011) mais des guidages peuvent la réduire (Fiorella & Zhang, 2018). Nous faisons donc l'hypothèse qu'elle entraînera un niveau de difficulté perçue plus important *uniquement* lorsqu'elle n'est pas guidée par une illustration fournie (condition « Génération sans illustrations ») (H4).

Les facteurs motivationnels seraient importants lors d'un apprentissage par génération (Fiorella & Mayer, 2015, 2016b). Or, à notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée pour examiner les effets de la génération de schémas sur l'intérêt situationnel des collégiens. Les effets de cette activité, guidée ou non, seront donc étudiés de manière exploratoire dans cette étude.

Pour terminer, d'après le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013), cette activité permettrait aux élèves de mieux autoréguler leur apprentissage. Des études ont en effet montré que la génération permettait aux apprenants d'avoir un jugement d'apprentissage plus précis (e.g., Kollmer et al., 2020; Wiley, 2018). Les élèves auraient davantage conscience de la qualité de leur apprentissage. Or, lorsque l'activité générative est guidée par un modèle, sous la forme d'une illustration fournie, les élèves pourraient ne pas avoir conscience de leur apprentissage réel. La présence d'illustrations peut entraîner un excès de confiance conduisant les apprenants à surestimer leur apprentissage (e.g., Ackerman & Leiser, 2014; Eitel, 2016; Jaeger & Wiley, 2014; Serra & Dunlosky, 2010). Nous faisons donc l'hypothèse que les élèves qui généreront des schémas auront une meilleure précision de leur monitoring *uniquement* lorsqu'ils ne sont pas guidés par un modèle sous la forme d'une illustration fournie (condition « Génération sans illustrations ») (H5).

## 3. Méthode

### 3.1. Participants et plan expérimental

Au total, 106 collégiens en classe de 5<sup>ème</sup> d'un collège de l'Académie de Rennes ont participé volontairement à cette étude. L'autorisation des parents quant-au traitement des données recueillies a été faite par le biais d'un formulaire de consentement. Les réponses de six élèves n'ont pas été prises en compte dans les analyses car ils n'ont pas participé à la première session de cette recherche ou n'ont pas travaillé sur l'une des quatre étapes de la formation des tsunamis. De plus, un élève a été exclu des analyses car ses données indiquent qu'il n'a pas correctement répondu aux questions d'apprentissage<sup>7</sup>. Ainsi, 99 participants dont 46 garçons et 53 filles ( $M = 12.73$  ans,  $E.T. = 0.49$ ) ont été pris en compte dans les analyses. Cette étude suivait un plan expérimental factoriel  $2 \times 2$  avec des facteurs illustrations (sans et avec) et génération (sans et avec). Les élèves étaient ainsi répartis aléatoirement dans une des quatre conditions : « Textes seuls » ( $n = 24$ ), « Textes illustrés » ( $n = 24$ ), « Génération sans illustrations » ( $n = 26$ ) et « Génération avec illustrations » ( $n = 25$ ). Un G\*Power a été réalisé afin de déterminer la taille d'échantillon requise (Faul et al., 2009) avec une taille d'effet moyenne de .25, un alpha à .05 et une puissance de .95 pour une ANOVA à effets fixes, spéciaux, effets principaux et d'interactions avec 4 groupes. L'échantillon idéal indiqué était de 210 participants. En raison des contraintes de terrain, ce dernier n'a pas pu être respecté et les résultats sont donc à prendre avec précautions.

---

<sup>7</sup> Les analyses réalisées sur les mesures principales d'apprentissage immédiat en prenant en compte ce participant révèlent des résultats similaires à ceux présentés dans cette thèse.

## 3.2. Matériel

### 3.2.1. Document pédagogique

Pour l'activité d'apprentissage, les élèves travaillaient sur un document traitant de la formation des tsunamis (voir **Annexe 3**). Au total, le document pédagogique contenait 333 mots proposés au sein de six paragraphes (sans les consignes). Chacun des paragraphes était présenté sur des diapositives différentes.

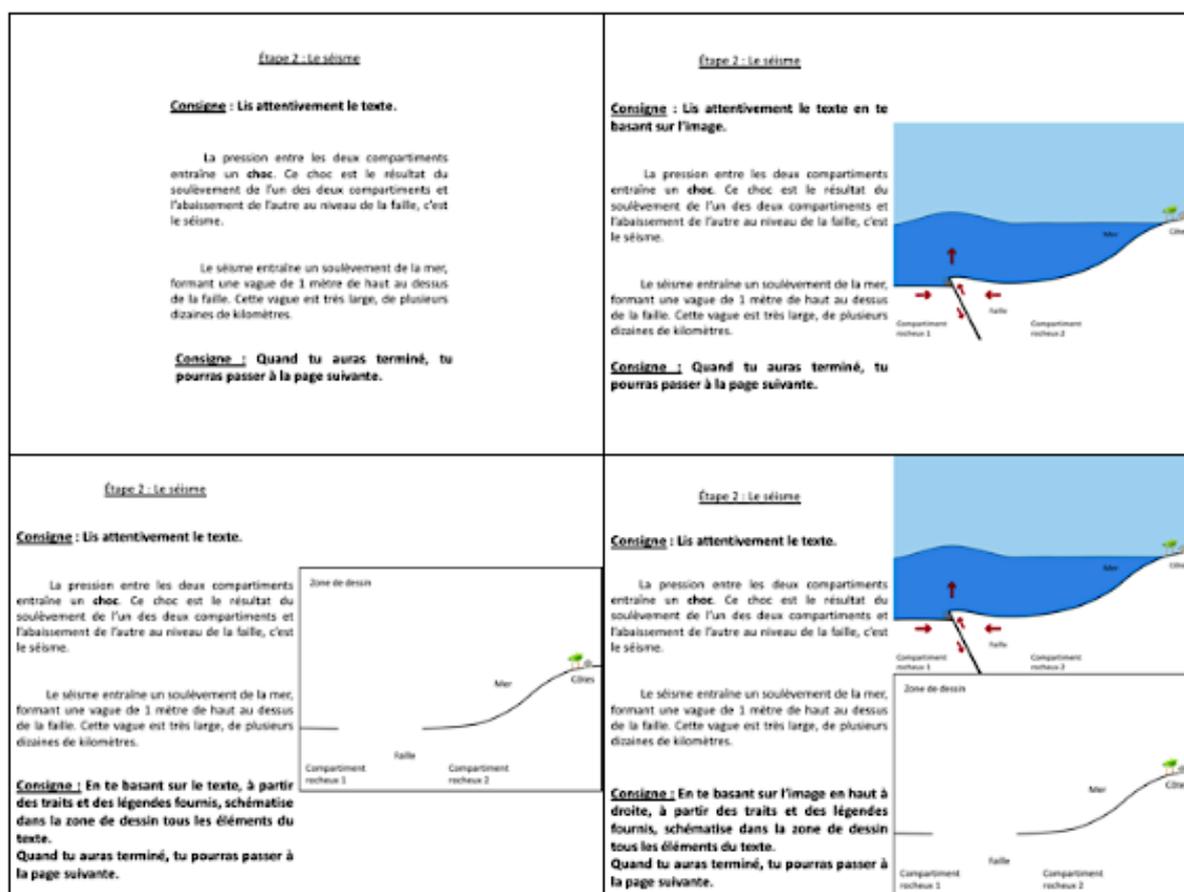
Le premier paragraphe présentait une **introduction** à la formation des tsunamis (70 mots) et précisait aux élèves qu'après l'activité, des questions sur leur apprentissage leur seraient posées. La présentation de l'introduction était la même pour tous les élèves.

Les paragraphes suivants présentaient respectivement la **première** (les failles sous l'océan, 45 mots), la **deuxième** (le séisme, 69 mots), la **troisième** (la séparation de la vague, 58 mots) et la **quatrième** (la vague du tsunami, 43 mots) **étape de la formation des tsunamis**. Selon les conditions expérimentales, les élèves disposaient de (voir **Figure 21**) :

1. Quatre textes seuls (« Textes seuls »),
2. Quatre textes illustrés (« Textes illustrés »),
3. Quatre textes associés à des figures de fond (« Génération sans illustrations »),
4. Quatre textes illustrés et des figures de fond (« Génération avec illustrations »).

Les figures de fond avaient une fonction d'aide analogique pour les apprenants qui n'avaient pas ou très peu de connaissances préalables sur la tectonique des plaques et les coupes transversales de la terre. Au total, les élèves des conditions génératives produisaient quatre schémas.

Figure 21. Diapositives de l'étape 2 de la formation des tsunamis selon les conditions.



Note. En haut à gauche : "Textes seuls" ; en haut à droite : "Textes illustrés" ; en bas à gauche : "Génération sans illustrations" ; en bas à droite : "Génération avec illustration ».

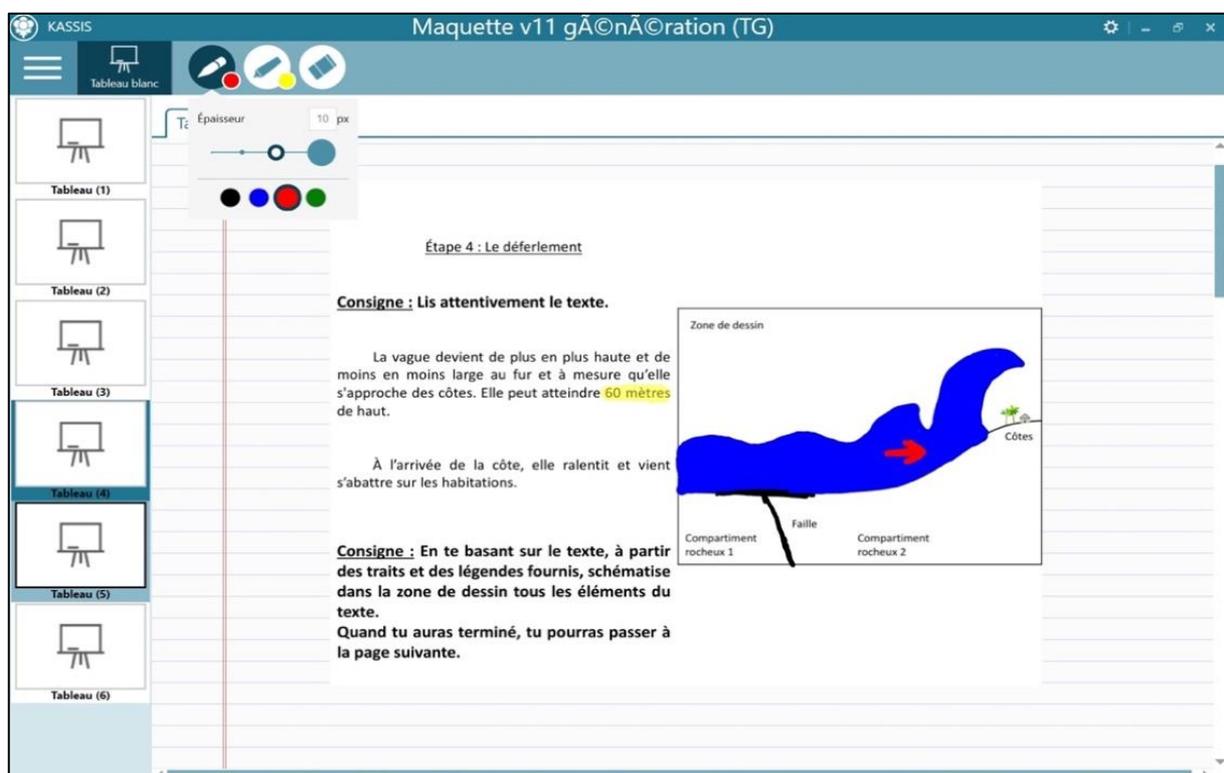
Pour terminer, le sixième paragraphe (48 mots) présentait une **conclusion** aux apprenants sous la forme d'un texte et d'une photo. Il était présenté de la même manière dans toutes les conditions.

### 3.2.2. Tablettes numériques avec stylet et application

Tous les élèves disposaient de tablettes numériques Dell Latitude – 5285 avec un écran tactile 31.2 cm (12.3") 3 : 2 (1920 x 1280) sur lesquelles ils avaient l'ensemble du document pédagogique. Les présentations du matériel pédagogique associées aux quatre conditions de cette étude étaient implémentées au sein de l'application KASSIS développée par l'entreprise

Learn&Go et l'équipe Intuidoc de l'IRISA de Rennes (voir **Figure 22**). Grâce à son interface, les élèves pouvaient tracer des traits au moyen de l'outil « crayon » de quatre couleurs (noir, bleu, rouge et vert) et d'épaisseurs différentes. Ils disposaient également de l'outil « surligneur » de quatre couleurs (cyan, magenta, jaune et marron) et d'épaisseurs différentes ainsi que de l'outil « gomme » qui effaçait les traits par tracés. Enfin, les élèves pouvaient faire autant d'allers-retours entre les diapositives qu'ils le souhaitaient au moyen des vignettes placées sur le côté gauche de l'application. Tous les élèves disposaient également d'un stylet actif Dell – PN557W qui leur permettait de réaliser l'activité sur tablette.

**Figure 22.** Interface de l'application Kassis utilisée dans cette étude.



### 3.3.Mesures

#### 3.3.1. Variables contrôles

Nous avons réalisé différentes mesures contrôles pour s'assurer de la comparabilité des différentes conditions expérimentales de cette étude.

Premièrement, **les compétences perçues en Sciences de la Vie et de la Terre** ont été mesurées au moyen de deux items (e.g., « *Je suis capable de comprendre facilement ce que j'apprends en Sciences de La Vie et de La Terre* »). Les réponses se faisaient sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *non, pas du tout d'accord* » à 7 « *oui, tout à fait d'accord* ». La moyenne des deux items était calculée et donnait des scores allant de 1 à 7 : plus ces derniers étaient élevés, plus les élèves se percevaient comme compétents en SVT. Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .83$ ).

**Les connaissances préalables** sur la formation des tsunamis étaient mesurées au moyen de cinq questions à choix unique. Elles ont été créées en collaboration avec deux enseignants de SVT ainsi qu'un inspecteur de l'Académie de Rennes. Chacune des questions comportait cinq réponses possibles dont la réponse « *je ne sais pas* » (e.g., « *Qu'est-ce qu'un tsunami ? un séisme ; une vague ; un séisme suivi d'une vague ou ; je ne sais pas* »). Chaque bonne réponse était codée par un point tandis qu'une réponse incorrecte était codée 0. Une somme de chacune des réponses était ensuite réalisée donnant un score allant de 0 à 5.

**La compréhension en lecture** a été mesurée au moyen du test de lecture silencieuse de l'INETOP étalonné pour des élèves de 5<sup>ème</sup> (Aubret & Blanchard, 1991). Ce dernier était composé de deux textes (Feuilles FI et FII), chacun suivi de cinq questions ouvertes. Chaque réponse correcte était codée par un point tandis qu'une réponse incorrecte était codée 0. Une somme de chacune des réponses était ensuite réalisée donnant un score de compréhension en lecture allant de 0 à 10.

Pour terminer, **les capacités visuo-spatiales** ont été mesurées au moyen du test de rotation mentale composé de 20 items (Vandenberg & Kuse, 1978) adapté en français par Albaret et Aubert (1996). Chaque item présente une figure étalon accompagnée de quatre autres figures. Parmi elles, deux représentent la figure étalon sous une autre orientation,

tandis que deux autres ne représentent pas la figure étalon. L'objectif de l'apprenant est d'identifier les deux figures représentant la figure étalon. Ce test se décompose en trois livrets ; 1) un livret donnant des explications et un entraînement ; 2) un livret proposant le premier test avec 10 items présentés ; et 3) un livret proposant le second test composé de 10 items. Lorsqu'ils avaient identifié les deux bonnes figures, la réponse était codée 2, si une seule bonne figure était identifiée sans en avoir identifiée une autre, la réponse était codée 1 et dans les autres cas, la réponse était codée 0 (cf. Albaret & Aubert, 1996). En raison d'un problème de temps, un seul des deux livrets avec des items a été passé et les apprenants n'ont donc répondu qu'à dix items. Une somme des items était ensuite réalisée et donnait des scores allant de 0 à 20.

### 3.3.2. Variables dépendantes

#### 3.3.2.1. La qualité des schémas générés

La qualité des schémas générés a été mesurée au moyen de deux indices ; la présence des éléments et leur précision. **La présence** correspondait au nombre d'éléments représentés au sein des schémas. Ces informations ont été prédéfinies grâce une grille de codage construite à partir des éléments clés du texte et définis en collaboration avec des enseignantes de collège en SVT. **La précision** correspondait aux éléments représentés et bien placés au sein des schémas. Elle a été évaluée pour chacun des schémas avec la même grille de codage utilisée pour évaluer la présence. Au total, 11 éléments étaient attendus et les schémas ont été distingués selon leur complexité (voir **Annexe 4**) :

- Schéma complexe : Six éléments devaient être représentés au sein du deuxième schéma (troisième paragraphe ; étape 2 de la formation des tsunamis). Il était complexe en termes de nombre d'éléments à représenter. Les scores de présence et de précision pour le schéma complexe allaient donc de 0 à 6.
- Schémas simples : Deux éléments devaient être représentés au sein du premier schéma (deuxième paragraphe ; étape 1 de la formation des tsunamis). Deux éléments étaient attendus dans le deuxième schéma (quatrième paragraphe ;

étape 3 de la formation des tsunamis) et un élément était à générer dans le troisième schéma (cinquième paragraphe ; étape 4 de la formation des tsunamis). Une somme des scores de présence et de précision était ensuite calculée pour ces trois schémas, donnant des scores de présence et de précision pour les schémas simples allant de 0 à 5.

Les scores de présence et de précision ont ensuite été convertis en pourcentages de réussite des schémas. Un double codage a été réalisé sur 63.26% des données pour les scores de présence et de précision. Les accords inter-juges calculés au moyen d'Alphas de Krippendorff pour la présence,  $\alpha = .96$ , et la précision,  $\alpha = .83$ , sont bons.

### 3.3.2.2. Mesures d'apprentissage

L'apprentissage a été évalué au moyen de deux questionnaires de mémorisation et un questionnaire de transfert. Les deux questionnaires de mémorisation mesuraient la mémorisation des éléments imagés ou textuels et comportaient chacun quatre questions à choix unique avec quatre réponses possibles dont la réponse « *je ne sais pas* ».

**La mémorisation des éléments imagés** correspondait aux informations notées dans le texte et représentées au sein de l'illustration correspondante ou bien à générer dans les conditions génératives (e.g., « *Que va faire la vague une fois qu'elle s'est formée au-dessus de la faille ? elle va se déplacer dans une direction ; elle va se séparer ; elle va s'abaisser ou je ne sais pas* »). Chaque bonne réponse était codée 1 tandis qu'une réponse incorrecte était codée 0. Une somme de tous les items était ensuite réalisée donnant donc un score allant de 0 à 4.

**La mémorisation des éléments textuels** correspondait aux informations notées dans le texte mais qui n'étaient pas représentées visuellement au sein de l'illustration correspondante ou bien à générer dans les conditions génératives (e.g., « *À quelle vitesse se déplace un tsunami quand il se dirige vers les côtes ? 8km/h ; 80 km/h ; 800 km/h ou je ne sais pas* »). Chaque bonne réponse était codée 1 tandis qu'une réponse incorrecte était codée 0. Une somme de tous les items était ensuite réalisée donnant donc un score allant de 0 à 4.

**Le transfert** était mesuré au moyen de cinq questions à choix unique constituées de quatre possibilités dont la réponse « *je ne sais pas* » (e.g., « *Lors de tempêtes extrêmement*

*puissantes, certaines vagues peuvent atteindre plusieurs mètres de haut. Peut-on dire que ces vagues sont des tsunamis ? oui, car la vague est haute et très destructrice ; non, car cette vague est créée par une tempête ; non, car la vague n'est pas assez haute pour être un tsunami ou je ne sais pas »).* Pour répondre à ces questions, l'apprenant devait connecter les différentes informations proposées dans le document et inférer les réponses. Chaque bonne réponse était codée 1 tandis qu'une réponse incorrecte était codée 0. Une somme de tous les items était ensuite réalisée donnant un score allant de 0 à 5.

#### 3.3.2.3. Les temps d'activité

Les temps d'activité (en secondes) ont été relevés sur les quatre diapositives présentant les quatre étapes de la formation des tsunamis qui différaient en termes de manipulation expérimentale. Une somme de ces temps a ensuite été calculée pour obtenir le temps total de réalisation de l'activité des élèves.

#### 3.3.2.4. La difficulté perçue

La difficulté perçue a été évaluée au moyen de deux items (Kalyuga et al., 1999) traduits et adaptés pour des élèves de 5<sup>ième</sup> sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *Non, pas du tout d'accord* » à 7 « *Oui, tout à fait d'accord* » (e.g., « *Pour toi, est-ce qu'il était difficile de comprendre la formation des tsunamis ?* »). La moyenne des deux items était calculée donnant un score allant de 1 à 7 et plus ces scores étaient élevés, plus les élèves percevaient l'exercice ou le document comme difficile. Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .74$ ).

#### 3.3.2.5. L'intérêt situationnel

L'intérêt situationnel des élèves vis-à-vis de l'exercice et de la thématique a été évalué au moyen de six items tirés de l'échelle d'intérêt situationnel de Rotgans et Schmidt (2014) (e.g., « *J'ai aimé travailler sur la formation des tsunamis* »). Ils ont été traduits et adaptés pour des élèves de 5<sup>ième</sup> qui répondaient sur une échelle de Likert en 7 points avec 1 « *Non, pas du tout d'accord* » et 7 « *Oui, tout à fait d'accord* ». La moyenne des items était calculée donnant

145

un score allant de 1 à 7 et plus ces scores étaient élevés, plus les élèves avaient un intérêt situationnel important vis-à-vis de la tâche. Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .77$ ).

#### 3.3.2.6. La précision du monitoring

Afin de mesurer la précision du monitoring, les élèves répondaient immédiatement après l'activité à un item de jugement d'apprentissage (Schleinschok et al., 2017) traduit et adapté sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *Non, pas du tout capable* » à 7 « *Oui, tout à fait capable* » (e.g., « *Te sens-tu capable de répondre correctement aux questions à venir sur la formation des tsunamis ?* » ). Par la suite, cet item était converti en une note sur 20 et une somme des mesures d'apprentissage des élèves était réalisée et convertie sur 20. La note de jugement d'apprentissage (sur 20) était ensuite soustraite par la note d'apprentissage des élèves (sur 20), donnant un score de précision du monitoring qui correspond à l'écart entre le score d'apprentissage perçue et le score d'apprentissage réel. Ainsi, plus ce score était proche de 0, meilleure était la précision du monitoring.

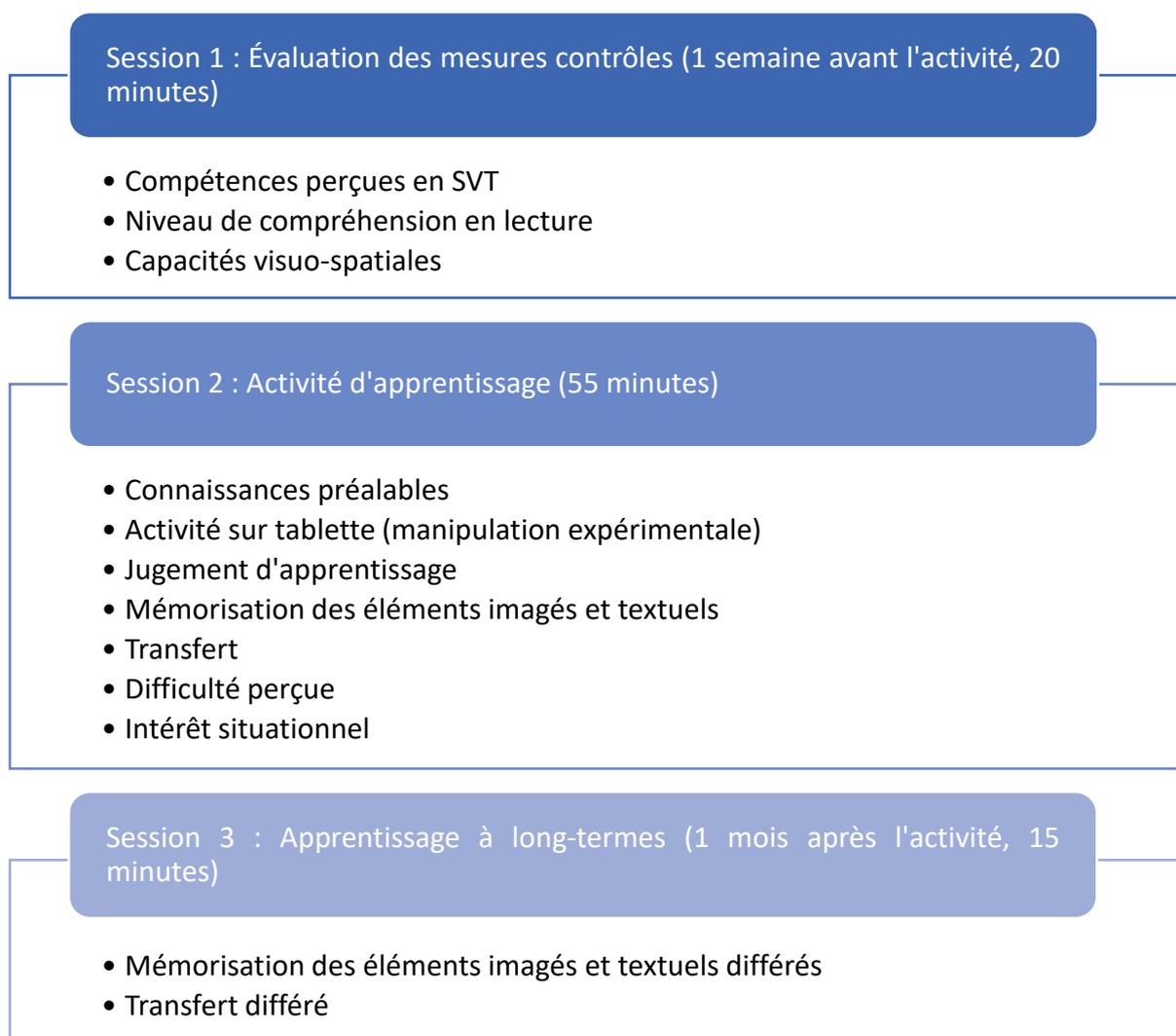
#### 3.3.3. Mesures complémentaires

Le **nombre de légendes** ajoutées a été codé pour le schéma complexe et pour les schémas simples. Ces légendes correspondent à des informations écrites apportées en plus par les élèves et qui ne sont pas représentés dans l'illustration que nous avons fournie (e.g., un élève écrit sur son schéma la hauteur de la vague). Pour les schémas simples (i.e., schémas représentant les étapes 1, 3 et 4 de la formation des tsunamis), une somme a été calculée, donnant un score total des légendes ajoutées dans les schémas simples.

### 3.4. Procédure

Les participants étaient issus de quatre classes d'un collège de l'Académie de Rennes et cette étude s'est déroulée sur trois sessions (voir **Figure 23**). Dans chacune d'entre elles, les élèves participaient individuellement aux passations dans leur salle de classe.

**Figure 23.** Déroulement des passations.



Lors de la première session, les mesures contrôles ont été évaluées avec un support papier. Les élèves étaient réunis en classe entière avec deux expérimentateurs. Une fois assis à leur table, un premier livret leur était distribué. Ils devaient y compléter leur identifiant (initiales du prénom et du nom ainsi que leur jour de naissance), leurs données socio-démographiques (genre et date de naissance), les deux items de compétences perçues en SVT et le test de compréhension en lecture. Ils disposaient de 10 minutes. À la suite, deux livrets leur étaient distribués face cachée. Ils comprenaient des explications et un entraînement pour le test de rotation mentale et la première partie de ce test (voir **Annexe 5**). Sur chacun de ces livrets, les collégiens devaient compléter leurs identifiants et leurs

données socio-démographiques. Les explications et l'entraînement au test de rotation mentale étaient présentés par l'expérimentateur, puis les élèves complétaient la première partie du test de rotation mentale pendant trois minutes.

La deuxième session était réalisée par classes de 6 à 8 élèves avec un expérimentateur. Dans un premier temps, quel que soit la manipulation expérimentale, les collégiens devaient compléter un livret sur papier avec les questions de connaissances préalables sur la formation des tsunamis (voir **Annexe 6**). Ils réalisaient ensuite l'activité sur tablette avec stylet selon leur condition expérimentale. Dans la condition « Textes seuls » (i.e., sans illustration et sans génération), les élèves avaient pour consigne de lire les textes seuls. Dans la condition « Textes illustrés » (i.e., avec illustration et sans génération), ils avaient pour consigne de lire les textes en se basant sur les illustrations associées. En condition « Génération sans illustrations » (i.e., sans illustration et avec génération), les élèves devaient lire attentivement les textes et, en se basant sur les traits et les légendes fournies, ils devaient schématiser tous les éléments des textes. Enfin, dans la condition « Génération avec illustration » (i.e., avec illustration et avec génération), les élèves avaient pour consigne de lire attentivement les textes et, en se basant sur les illustrations et les éléments des textes, ils devaient produire leurs schémas à partir des traits et des légendes fournis. Dans les conditions sans génération, la manière de changer de diapositive grâce à l'application était présentée par l'expérimentateur avant l'activité. Dans les conditions avec génération, l'expérimentateur présentait l'ensemble des fonctionnalités de l'application. Les élèves disposaient ensuite de 30 minutes. L'écran de leur tablette était enregistré au moyen du logiciel BBflashback®. S'ils terminaient avant la fin de l'exercice, ils pouvaient lever la main et un livret contenant la question de jugement d'apprentissage, les questions d'apprentissage, les items de difficultés perçues et d'intérêt situationnel leur était fourni en version papier (voir **Annexe 7**). Ils disposaient du temps restant pour y répondre. Au total, les passations pouvaient durer jusqu'à 55 minutes.

Enfin, la troisième session a eu lieu un mois après l'activité d'apprentissage. Elle se déroulait en classe entière avec un expérimentateur. Tous les élèves disposaient d'un livret sur papier contenant les questions d'apprentissage identiques à la deuxième session. Ils

complétaient leur identifiant, leurs données sociodémographiques et répondaient aux questions pendant 15 minutes.

## 4. Résultats

### 4.1. Analyses statistiques

Les résultats sont présentés en suivant nos hypothèses. Les analyses ont été réalisées au moyen du logiciel IBM SPSS version 25 avec un seuil de significativité à .05. Le logiciel Jamovi a été utilisé pour calculer les  $d$  de Cohen. Les hypothèses faites sur la qualité des schémas générés ont été testées au moyen de tests  $t$  de Student. Les autres hypothèses de cette étude ont été testées au moyen d'ANOVA 2 x 2 avec les facteurs illustration (sans et avec) et génération (sans et avec) en facteurs fixes et les mesures en variables dépendantes. Lorsque les conditions d'homoscédasticité n'étaient pas respectées, des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis étaient conduits, suivis de tests de Mann-Whitney lorsqu'ils étaient significatifs.

### 4.2. Vérifications préalables des variables contrôles entre les conditions

Avant de tester nos hypothèses, nous avons examiné si les conditions expérimentales différaient en termes de genre, de compétences perçues en SVT, d'âge, de compréhension en lecture, de capacités visuo-spatiales et de connaissances préalables sur la formation des tsunamis. Les moyennes et écarts-types pour les variables contrôles sont présentés dans le **Tableau 8**.

Les analyses de Khi carré n'ont pas révélé de différence significative de répartition filles/garçons entre les conditions,  $\chi^2(3, N = 99) = 1.20, p = .752$ .

Un élève n'a pas répondu aux items de compétences perçues en SVT. Par conséquent, les analyses ont été réalisées sur 98 participants avec 24 élèves en condition « Textes seuls »,

24 élèves en condition « Textes illustrés », 26 élèves en condition « Génération sans illustrations » et 24 élèves en condition « Génération avec illustrations ». Les analyses ne révèlent aucune différence entre les conditions  $H(3) = 3.31, p = .346^8$ .

Les analyses ne révèlent aucun effet principal significatif de l'illustration sur les variables contrôles : l'âge,  $F(1, 95) = 3.24, p = .075, \eta^2 = .033$ , la compréhension en lecture,  $F(1, 95) = 0.62, p = .434, \eta^2 = .006$ , les capacités visuo-spatiales,  $F(1, 95) = 0.06, p = .804, \eta^2 = .001$  et les connaissances préalables,  $F(1, 95) = 1.19, p = .279, \eta^2 = .012$ .

De même, aucun effet principal significatif de la génération n'a été révélé sur les variables contrôles : l'âge,  $F(1, 95) = 1.35, p = .248, \eta^2 = .014$ , la compréhension en lecture,  $F(1, 95) = 0.20, p = .658, \eta^2 = .002$ , les capacités visuo-spatiales,  $F(1, 95) = 0.76, p = .386, \eta^2 = .008$ , et les connaissances préalables,  $F(1, 95) = 0.85, p = .358, \eta^2 = .009$ .

Pour terminer, les analyses n'ont pas montré d'effet d'interaction significatif sur l'ensemble des variables contrôles : l'âge,  $F(1, 95) = 0.04, p = .847, \eta^2 < .001$ , la compréhension en lecture,  $F(1, 95) = 1.44, p = .233, \eta^2 = .015$ , les capacités visuo-spatiales,  $F(1, 95) = 0.10, p = .749, \eta^2 = .001$ , et les connaissances préalables,  $F(1, 95) = 0.09, p = .760, \eta^2 = .001$ .

Ainsi, les analyses montrent que les groupes sont homogènes pour l'ensemble des mesures contrôles de cette étude.

---

<sup>8</sup> Les analyses d'homogénéité des variances de Levene révèlent que cette condition n'est pas respectée,  $F(3, 94) = 3.08, p = .031$ .

**Tableau 8.** Moyennes et écarts-types des compétences perçues en SVT, d'âge, de la compréhension en lecture, des capacités visuo-spatiales et des connaissances préalables selon les conditions.

	Compétences perçues	Age	Compréhension en lecture	Capacités visuo-spatiales	Connaissances préalables
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>
Sans Génération					
Sans Illustration (Textes seuls)	5.28 (1.07)	12.75 (0.46)	7.58 (1.89)	6.79 (4.14)	1.71 (1.04)
Avec Illustration (Textes illustrés)	5.10 (1.59)	12.60 (0.46)	7.42 (2.28)	7.33 (5.57)	1.54 (1.14)
Avec Génération					
Sans Illustration (Génération sans illustrations)	4.75 (1.49)	12.88 (0.59)	6.92 (1.74)	6.27 (5.01)	1.58 (0.99)
Avec Illustration (Génération avec illustrations)	5.48 (1.09)	12.69 (0.40)	7.72 (2.05)	6.20 (4.03)	1.28 (1.06)

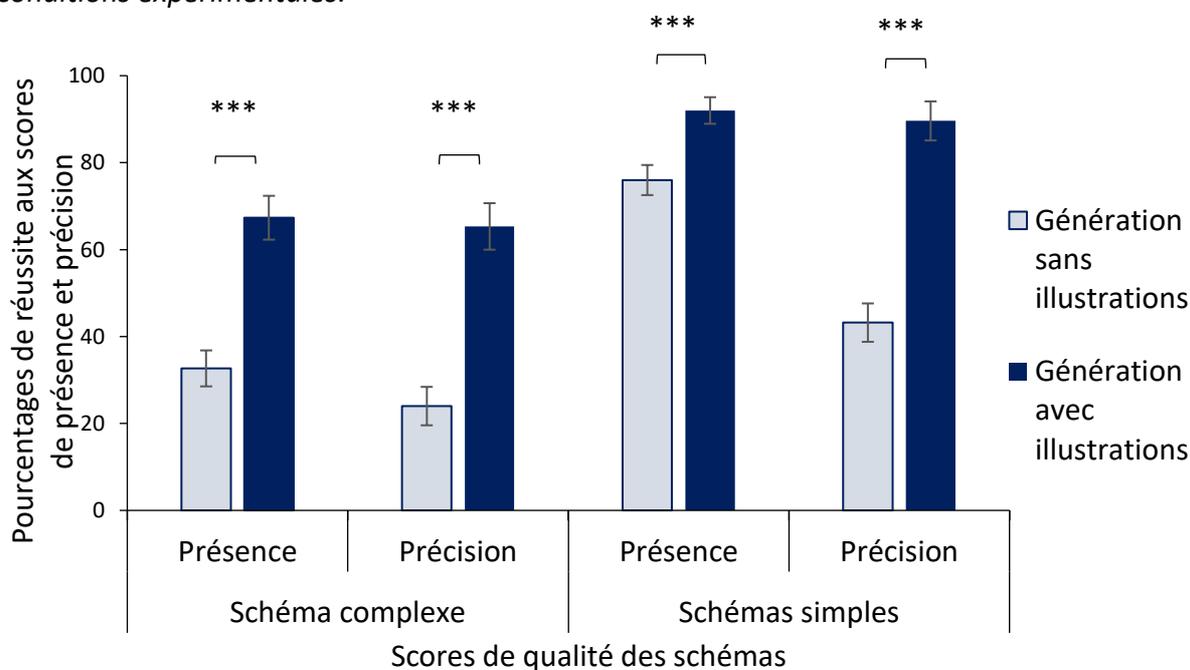
### 4.3. La qualité des schémas générés

Des problèmes techniques avec le logiciel BBflashback® ne nous ont pas permis de récupérer l'ensemble des travaux des élèves : les analyses ont été réalisées auprès de 50 participants avec 25 élèves dans chacune des conditions avec génération (voir **Figure 24**).

**Pour le schéma complexe**, les analyses indiquent que les élèves qui génèrent des schémas à l'aide d'illustrations ont obtenu de meilleurs scores de présence,  $t(48) = 5.31$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.50$  et de précision,  $t(48) = 5.96$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.69$ , avec des tailles d'effet importantes.

**Pour les schémas simples**, nos résultats indiquent que les élèves qui génèrent des schémas avec des illustrations ont obtenu de meilleurs scores de présence,  $t(48) = 3.46$ ,  $p = .001$ ,  $d = 0.98$ , et de précision,  $t(48) = 7.36$ ,  $p < .001$ ,  $d = 2.08$ , avec des tailles d'effet importantes.

**Figure 24.** Pourcentages de réussite des schémas complexes ou simples en fonction des conditions expérimentales.

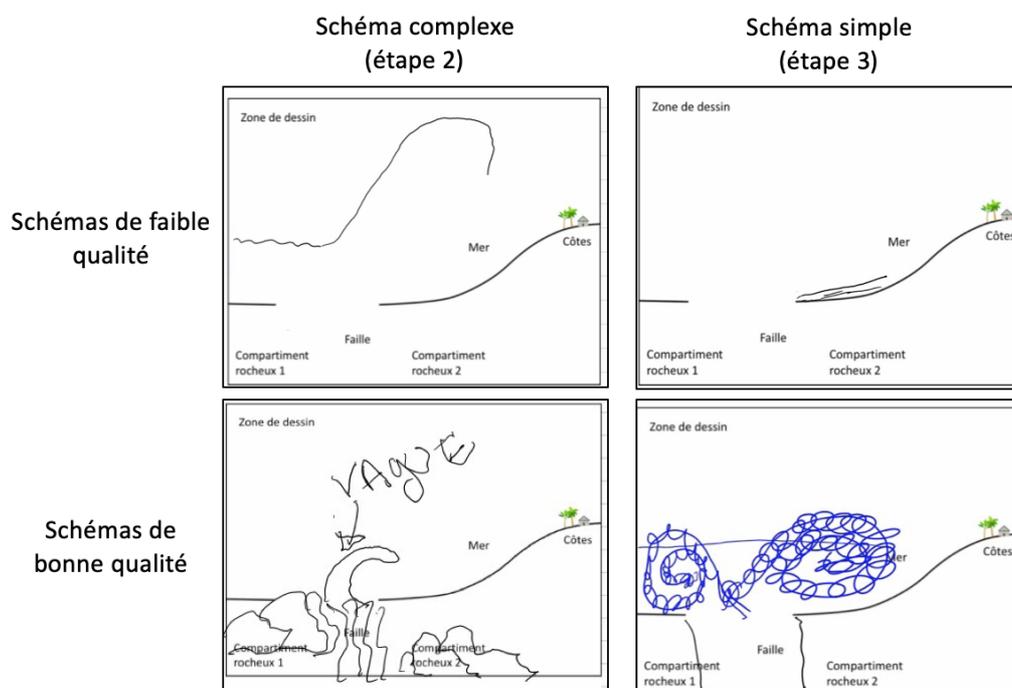


Note. \*\*\*  $p < .001$ .

En accord avec nos hypothèses H1a et H1b, les élèves qui disposaient d'un modèle sous la forme d'une illustration fournie ont généré des schémas de meilleure qualité en obtenant de plus hauts scores de présence et de précision que ceux qui ne disposaient pas de modèle, et ce quelle que soit la complexité des schémas à générer.

En revanche, globalement, nos résultats indiquent que les élèves ont généré des schémas de faible qualité lorsqu'ils n'étaient pas guidés par une illustration (voir **Figure 25**), et ce d'autant plus quand le schéma à générer était complexe (voir **Annexe 8** pour des exemples de schémas générés dans les deux conditions génératives de cette étude).

**Figure 25.** Exemples de schémas générés (de faible ou de bonne qualité) en condition « Génération sans illustrations » pour les schémas complexes et simples.



De plus, malgré la présence d'un modèle sous la forme d'une illustration fournie, les élèves n'ont pas généré 100% des éléments au sein de leurs schémas, particulièrement pour le schéma complexe. Les analyses descriptives ont montré que 68.00% des élèves avaient généré entre 80.00% et 100% des informations au sein de l'ensemble de leurs schémas. De plus, en décomposant les analyses élément par élément, elles révèlent que trois d'entre eux

avaient été moins représentés que les autres, tous au sein du schéma le plus complexe. Ainsi, le choc (ou séisme) a été représenté par seulement 24.00% des élèves, l'abaissement d'un des deux compartiments rocheux n'a été représenté que par 52.00% des élèves et la pression au sein du deuxième schéma a été représentée par seulement 56.00% des élèves.

Concernant **le nombre de légendes insérées**, pour le schéma complexe, les analyses *t* de student ne révèlent pas de différence significative entre la condition « Génération sans illustrations » ( $M = 0.92$ ,  $E.T. = 1.35$ ) et la condition « Génération avec illustrations » ( $M = 1.44$ ,  $E.T. = 1.50$ ),  $t(48) = 1.29$ ,  $p = .204$ ,  $d = 0.36$ .

Pour les schémas simples, les analyses ne révèlent pas non plus de différence significative entre la condition « Génération sans illustrations » ( $M = 1.56$ ,  $E.T. = 2.14$ ) et la condition « Génération avec illustrations » ( $M = 2.64$ ,  $E.T. = 2.50$ ),  $t(48) = 1.64$ ,  $p = .107$ ,  $d = 0.46$ .

#### 4.4. Mesures d'apprentissage

##### 4.4.1. Mesures immédiates d'apprentissage

Les moyennes et écarts-types sont présentés dans le **Tableau 9**. Concernant **la mémorisation des éléments imagés**, les analyses indiquent un effet principal significatif de l'illustration,  $F(1, 95) = 5.47$ ,  $p = .027$ ,  $\eta^2 = .051$ . Ainsi, les élèves qui disposaient d'une illustration ont eu de meilleurs scores de mémorisation des éléments imagés que les élèves en qui n'en disposaient pas. En revanche, les analyses ne révèlent aucun effet principal significatif de la génération,  $F(1, 95) = 0.16$ ,  $p = .689$ ,  $\eta^2 = .002$ , ou d'interaction,  $F(1, 95) = 0.21$ ,  $p = .649$ ,  $\eta^2 = .002$ .

Concernant la mesure de **transfert**, les analyses ne révèlent aucun effet principal de l'illustration,  $F(1, 95) = 0.17$ ,  $p = .678$ ,  $\eta^2 = .002$ , de la génération,  $F(1, 95) = 0.57$ ,  $p = .452$ ,  $\eta^2 = .006$ , ni d'interaction entre ces deux variables,  $F(1, 95) = 0.31$ ,  $p = .577$ ,  $\eta^2 = .003$ . Nos

résultats n'indiquent donc aucun effet des facteurs illustration et génération sur la mesure de transfert.

Contrairement à nos hypothèses H2a et H2b, les collégiens guidés par une illustration fournie lors de la génération de leurs schémas n'ont pas été plus performants sur les mesures de mémorisation des éléments imagés et de transfert.

Enfin, pour la **mesure de mémorisation des éléments textuels**, les résultats indiquent un effet principal marginal de l'illustration,  $F(1, 95) = 3.01, p = .086, \eta^2 = .031$ , et aucun effet principal de la génération,  $F(1, 95) = 1.04, p = .309, \eta^2 = .011$ , ou d'interaction,  $F(1, 95) = 0.87, p = .353, \eta^2 = .009$ . Nos résultats n'ont pas montré d'effet de la génération de schémas, qu'elle soit guidée ou non, sur la mémorisation des éléments textuels.

**Tableau 9.** Moyennes et écarts-types pour les mesures d'apprentissage immédiates selon les conditions.

	Mémorisation immédiate des éléments imagés	Transfert immédiat	Mémorisation immédiate des éléments textuels
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>
Sans Génération			
Sans Illustration (Textes seuls)	2.33 (0.96)	2.46 (1.44)	2.29 (0.99)
Avec Illustration (Textes illustrés)	2.71 (1.08)	2.42 (1.32)	2.46 (0.93)
Avec Génération			
Sans Illustration (Génération sans illustrations)	2.15 (1.08)	2.08 (1.57)	1.88 (1.14)
Avec Illustration (Génération avec illustrations)	2.72 (1.02)	2.36 (1.41)	2.44 (1.04)

#### 4.4.2. Mesures différées d'apprentissage

Sept élèves n'étaient pas présents lors de la troisième session, par conséquent, les analyses ont été conduites sur un échantillon de 92 collégiens. Les effectifs, moyennes et écarts-types sont présentés dans le **Tableau 10**.

Pour la **mesure de mémorisation différée des éléments imagés**, les analyses ne révèlent aucun effet principal significatif de l'illustration,  $F(1, 88) = 0.27, p = .601, \eta^2 = .003$ , et de la génération,  $F(1, 88) = 0.08, p = .777, \eta^2 = .001$ , ou d'effet significatif d'interaction entre les deux variables,  $F(1, 88) = 0.85, p = .360, \eta^2 = .010$ . Contrairement aux résultats des analyses sur les mesures immédiates montrant que les élèves qui disposaient d'une illustration ont mieux mémorisé les éléments imagés du document, les résultats sur la mesure différée n'indiquent aucun effet des facteurs illustration et génération sur la mesure de mémorisation des éléments imagés différée.

Concernant la **mesure de transfert différée**, les analyses n'ont montré aucun effet principal significatif de l'illustration,  $F(1, 88) = 0.14, p = .714, \eta^2 = .002$ , et de la génération,  $F(1, 88) = 2.03, p = .158, \eta^2 = .023$ , ou d'effet significatif d'interaction entre les deux variables,  $F(1, 88) = 0.74, p = .393, \eta^2 = .008$ . Nos résultats n'indiquent donc aucun effet des facteurs illustration et génération sur la mesure de transfert différée.

Ainsi, contrairement à nos hypothèses H2c et H2d, aucun effet de la génération, qu'elle soit guidée ou non, n'a été révélé pour les mesures de mémorisation des éléments imagés et de transfert à long terme.

Pour terminer, concernant la **mémorisation différée des éléments textuels**, les analyses n'ont révélé aucun effet principal significatif de l'illustration,  $F(1, 88) = 0.25, p = .621, \eta^2 = .003$ , et de la génération,  $F(1, 88) = 0.92, p = .340, \eta^2 = .010$ , ou d'effet significatif d'interaction,  $F(1, 88) = 0.52, p = .474, \eta^2 = .006$ . Ainsi, la génération de schémas, qu'elle soit guidée ou non, n'a pas eu d'effet sur la mémorisation des éléments textuels à long-terme.

**Tableau 10.** Effectifs, moyennes et écarts-types pour les mesures d'apprentissage différées des conditions.

	n	Mémorisation différée des éléments imagés	Transfert différé	Mémorisation différée des éléments textuels
		M (E.T.)	M (E.T.)	M (E.T.)
<b>Sans Génération</b>				
Sans Illustration (Textes seuls)	23	2.00 (0.90)	2.39 (1.08)	1.96 (0.88)
Avec Illustration (Textes illustrés)	22	2.27 (0.93)	2.27 (1.24)	1.72 (0.83)
<b>Avec Génération</b>				
Sans Illustration (Génération sans illustrations)	25	2.12 (0.88)	1.84 (1.07)	1.64 (0.95)
Avec Illustration (Génération avec illustrations)	22	2.04 (0.90)	2.14 (1.24)	1.68 (0.94)

#### 4.5. Les temps d'activité

En raison des difficultés rencontrées avec le logiciel BBflashback® au cours des passations, les temps de réalisation de l'activité n'ont été analysés que pour 87 participants avec 20 participants en condition « Textes seuls », 23 participants en condition « Textes illustrés », 20 participants en condition « Génération sans illustrations » et 24 participants en condition « Génération avec illustrations ».

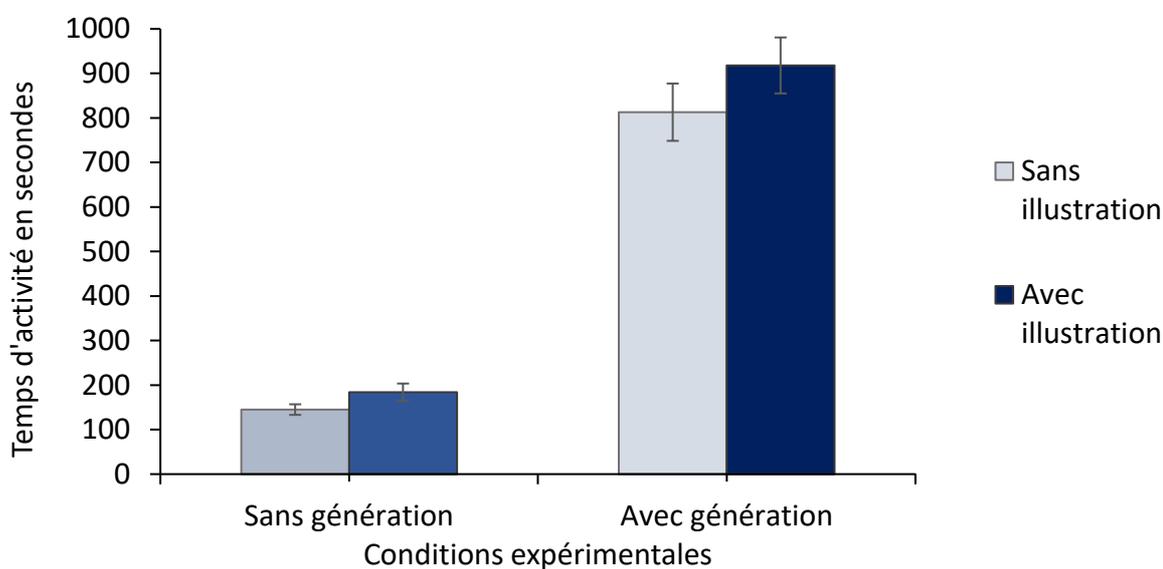
Les analyses (voir **Figure 26**) montrent une différence significative entre les conditions,  $H(3) = 64.62, p < .001$ .<sup>9</sup> Elles ne montrent pas de différences significatives entre les conditions

<sup>9</sup> Les analyses d'homogénéité des variances réalisées au moyen d'un test de Levene révèlent que cette condition n'est pas respectée,  $F(3, 83) = 9.05, p < .001$ .

« Textes seuls » et « Textes illustrés »,  $U = 190.00$ ,  $p = .330$ . En revanche, les élèves de la condition « Textes seuls » ont passé moins de temps à réaliser l'activité que les élèves des conditions « Génération sans illustrations »,  $U = 0.00$ ,  $p < .001$  et « Génération avec illustrations »,  $U = 0.00$ ,  $p < .001$ . De même, les élèves de la condition « Textes illustrés » ont passé moins de temps à réaliser l'activité que ceux des conditions « Génération sans illustrations »,  $U = 2.00$ ,  $p < .001$  et « Génération avec illustrations »,  $U = 3.00$ ,  $p < .001$ . Aucune différence significative n'a été montrée entre les conditions « Génération sans illustrations » et « Génération avec illustrations »,  $U = 179.00$ ,  $p = .150$ .

Ainsi, comme nous le supposions, l'activité de génération de schémas a augmenté les temps d'activité des apprenants et cet allongement est important puisque que ces derniers ont passé environ 5 fois plus de temps à réaliser l'activité. En revanche, contrairement à notre hypothèse H3, le guidage sous la forme d'une illustration fournie n'a pas permis de réduire les temps d'activité lorsque les élèves généraient des schémas.

**Figure 26.** Moyennes des temps d'activité (en secondes) selon les facteurs illustration et génération.



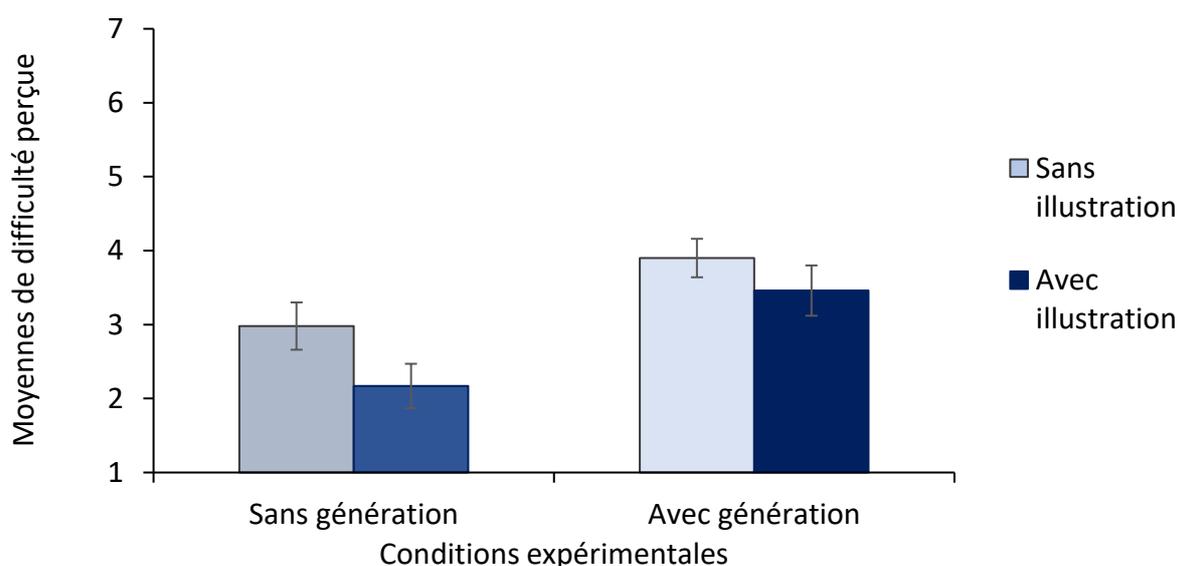
#### 4.6. La difficulté perçue

Un élève n'a pas répondu aux items de difficulté perçue, par conséquent, 98 participants ont été pris en compte pour les analyses avec 24 participants en condition « Textes seuls », 24 participants en condition « Textes illustrés », 26 participants en condition « Génération sans illustrations » et 24 participants en condition « Génération avec illustrations ».

Les analyses (voir **Figure 27**) indiquent un effet principal significatif de l'illustration,  $F(1, 94) = 4.23, p = .042, \eta^2 = .043$ . Les élèves qui disposaient d'une illustration ont ressenti moins de difficulté perçue que ceux qui n'en disposaient pas. Les analyses révèlent également un effet principal significatif de la génération,  $F(1, 94) = 13.14, p < .001, \eta^2 = .123$ . Les élèves qui généraient des schémas ont reporté davantage de difficulté perçue concernant l'activité que ceux qui n'en généraient pas. En revanche, aucun effet significatif d'interaction entre ces deux variables n'a été révélé,  $F(1, 94) = 0.36, p = .550, \eta^2 = .004$ .

Ainsi, notre hypothèse 4 est partiellement validée puisque la génération de schémas a entraîné un plus haut niveau de difficulté perçue chez les apprenants mais le guidage sous la forme d'une illustration fournie n'a pas permis de la réduire.

**Figure 27.** Moyennes des scores de difficulté perçue selon les facteurs illustration et génération.



#### 4.7.L'intérêt situationnel

Un élève n'a pas répondu aux items d'intérêt situationnel. Les analyses ont donc été conduites sur 98 participants. Les statistiques descriptives sont présentées dans le **Tableau 11**.

Les analyses ne révèlent aucun effet principal significatif des facteurs illustration,  $F(1, 94) = 0.26, p = .611, \eta^2 = .003$ , ou de génération,  $F(1, 94) = 0.84, p = .362, \eta^2 = .009$ , et aucun effet significatif d'interaction,  $F(1, 94) = 0.12, p = .729, \eta^2 = .001$ .

Ainsi, aucun effet de la génération de schémas n'a été montré, qu'elle soit guidée ou non, sur l'intérêt situationnel des apprenants. Il est très élevé puisqu'en moyenne, quelle que soit la condition, les élèves ont reporté un niveau de 4.93/7 d'intérêt situationnel.

**Tableau 11.** Moyennes et écarts-types pour l'intérêt situationnel selon les conditions.

	<i>n</i>	<i>M (E.T.)</i>
Sans Génération		
Sans Illustrations (Textes seuls)	24	4.94 (1.26)
Avec Illustrations (Textes illustrés)	24	5.14 (1.22)
Avec Génération		
Sans Illustrations (Génération sans illustrations)	26	4.80 (1.12)
Avec Illustration (Génération avec illustrations)	24	4.84 (1.14)

#### 4.8.La précision du monitoring

Cinq élèves n'ont pas répondu correctement à l'item de jugement d'apprentissage, les analyses ont donc été réalisées sur 92 participants. Pour rappel, plus les moyennes sont élevées, moins les élèves ont été précis sur leur monitoring.

Les analyses (voir **Tableau 12**) n'ont montré aucun effet significatif de l'illustration,  $F(1, 89) = 1.41, p = .239, \eta^2 = .016$ , ou de la génération,  $F(1, 89) = 0.13, p = .715, \eta^2 = .002$ . Nos résultats montrent un effet marginal d'interaction entre ces deux variables,  $F(1, 89) = 3.16, p = .079, \eta^2 = .034$ .

Ainsi, nos résultats ne valident pas notre hypothèse H5 selon laquelle les élèves qui généraient des schémas sans illustrations auraient un monitoring plus précis.

**Tableau 12.** Moyennes et écarts-types pour la précision du monitoring selon les conditions

	<i>n</i>	<i>M (E.T.)</i>
Sans Génération		
Sans Illustration (Textes seuls)	23	3.01 (3.69)
Avec Illustration (Textes illustrés)	22	3.51 (3.04)
Avec Génération		
Sans Illustration (Génération sans illustrations)	25	4.81 (5.18)
Avec Illustration (Génération avec illustrations)	23	2.32 (3.78)

## 5. Discussion

Cette étude visait à déterminer les effets de la génération de schémas avec ou sans un guidage prenant la forme d'une illustration fournie *pendant* l'activité d'élèves de cinquième.

Ils ont été testés sur la qualité des schémas générés, l'apprentissage immédiat et différé, les temps d'activité, la difficulté perçue, l'intérêt situationnel et la précision du monitoring.

### 5.1. Contributions empiriques et théoriques

Les guidages permettraient aux apprenants de générer des schémas de meilleure qualité (Fiorella & Zhang, 2018; Van Meter & Garner, 2005). Nous supposons que la présence d'une illustration *pendant* l'activité générative fournirait un modèle analogique, permettant aux apprenants de générer des schémas complets et précis. En accord avec nos hypothèses, les élèves qui disposaient d'une illustration pendant l'activité ont généré des schémas de meilleure qualité que ceux qui n'en disposaient pas. Ces derniers ont réalisé des schémas de faible qualité, particulièrement lorsque le schéma était complexe à générer en termes de nombre d'éléments, avec un score de présence de 32.67% et un score de précision de 24.00%. Lorsque les schémas étaient simples, les collégiens qui les généraient sans guidage ont obtenu de bons scores de présence (76.00%). En revanche, les éléments générés n'étaient pas précis (43.20%). Cette faible qualité, lorsque l'activité n'est pas suffisamment guidée, est en accord avec les résultats de la littérature (e.g., Schmidgall et al., 2019, 2020). Nos résultats suggèrent que les élèves rencontrent des difficultés à la fois dans le processus de sélection des éléments à générer, mais également dans l'emplacement de ces éléments.

Pour autant, malgré la présence d'une illustration, les élèves ont obtenu des scores de présence de 67.33% et de précision de 63.33% pour le schéma complexe et n'ont donc pas simplement recopié l'illustration. Nos analyses complémentaires indiquent que certaines informations de l'illustration ont été peu reproduites dans ce schéma. Plusieurs études de la littérature ont montré que les apprenants pouvaient ne traiter que très superficiellement les illustrations (e.g., Hannüs & Hyönä, 1999; Lenzner et al., 2013). Ainsi, dans notre étude, les collégiens ont pu ne pas reproduire certains éléments moins visibles que d'autres. De plus, ce résultat pourrait être lié à la consigne que nous proposons, qui ne stipulait pas précisément de recopier simplement l'illustration, mais de générer des schémas en se basant sur l'illustration et les éléments du texte. Toutefois malgré cette consigne, les élèves qui

généraient des schémas avec un guidage n'ont pas inséré davantage de légendes que ceux qui généraient des schémas sans guidage, et ce quelle que soit la complexité des schémas.

Nos résultats ont indiqué que les élèves qui généraient des schémas en étant guidés ou non par une illustration n'ont pas obtenu de meilleurs scores de mémorisation des éléments imagés, de transfert ou de mémorisation des éléments textuels, que les mesures soient immédiates ou différées. L'absence d'effet bénéfique de la génération de schémas sans un guidage de l'activité rejoint les résultats issus de la littérature (e.g., Fiorella & Zhang, 2018). Comme l'indique Brod (2020), des supports de l'activité doivent donc être fournis pour avoir des effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage des collégiens.

Fournir un modèle lors de la génération de schémas n'a pas eu d'effet bénéfique sur l'apprentissage. Comme le postulaient Van Meter et Firetto (2013), un guidage trop important cette activité générative peut ne pas avoir d'effets bénéfiques sur l'apprentissage car les apprenants ne construiraient pas de modèle mental *avant* de générer leur schéma. En effet, les élèves ne produiraient qu'une image perceptuelle pour réaliser leur schéma. Ces chercheurs illustrent cet effet en s'appuyant sur une étude qui proposait un guidage important de la génération de schémas (Hall et al., 1997). Des consignes très précises étaient fournies aux étudiants. Elles précisaient les éléments à produire, leur ordre, leur taille, leur forme et leur position. Les chercheurs n'ont pas montré d'effets bénéfiques de la génération de schémas guidée par rapport à un texte illustré. Comme cette étude menée auprès d'étudiants, nos résultats indiquent qu'un guidage important de l'activité générative n'améliore pas l'apprentissage de collégiens.

Nos résultats ont montré que les élèves qui disposaient d'une illustration ont mieux mémorisé les éléments imagés du document lorsqu'ils étaient évalués immédiatement après l'activité. Cet effet bénéfique des documents multimédias est en accord avec la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014a) et le principe multimédia (Mayer, 2001). En revanche, nos résultats ne montrent pas d'effet des illustrations sur la mesure de transfert, qui permet d'évaluer un apprentissage plus profond des apprenants (Mayer, 2014b). Cette absence de résultat pourrait être liée aux difficultés d'intégration des sources d'informations illustrées et textuelles que peuvent rencontrer les apprenants lorsqu'ils disposent de textes illustrés (e.g., Ainsworth, 1999, 2006; Renkl &

Scheiter, 2017), notamment lorsqu'ils ont peu de connaissances préalables (e.g. Ainsworth et al., 2002; Bodemer et al., 2004; Hegarty et al., 1991; Yerushalmy, 1991). Les illustrations peuvent conduire à l'élaboration d'un modèle mental incohérent et ainsi réduire les bénéfices des documents illustrés sur l'apprentissage (Scheiter, Schüler, et al., 2017).

Comme l'indiquent les études de la littérature, nos résultats ont montré que la génération de schémas est une activité coûteuse en temps (Fiorella & Zhang, 2018; Peeck, 1993). Notre étude montre qu'elle a très significativement allongé les temps d'activité des élèves puisque ces derniers ont passé plus de cinq fois plus de temps à réaliser l'exercice dans les conditions génératives. En revanche, le guidage sous la forme d'une illustration n'a pas permis de réduire les temps d'activité. Cette absence de différence pourrait être liée au fait que les élèves n'ont pas simplement recopié l'illustration.

La génération de schémas peut entraîner une surcharge cognitive (e.g., Leutner et al., 2009; Schwaborn et al., 2011) mais des guidages suffisants de l'activité pourraient réduire cette complexité (Fiorella & Zhang, 2018). Nos résultats indiquent que les élèves qui généraient des schémas, malgré la présence d'une figure de fond, ont reporté davantage de difficulté perçue que les élèves qui ne généraient pas de schémas, ce qui rejoint certains résultats de la littérature (e.g., Schwaborn et al., 2011). Contrairement à notre hypothèse, la génération de schémas guidée par une illustration n'a pas permis de diminuer la difficulté perçue des apprenants. Ce résultat pourrait être lié à la consigne que nous proposons aux élèves. Celle-ci leur stipulait de créer, à partir des éléments du texte et de l'illustration, des schémas. Cette formulation a pu rendre la compréhension et la réalisation de l'activité plus complexe. Nos résultats indiquent également que les collégiens qui disposaient d'une illustration ont reporté moins de difficulté perçue que les élèves qui n'en disposaient pas, ce qui est cohérent avec les résultats de Schwaborn et al. (2011).

Notre étude n'a pas montré d'effets de la génération de schémas, guidée ou non, sur l'intérêt situationnel des élèves et révèle que les collégiens ont globalement reporté un haut niveau d'intérêt situationnel avec un score moyen de 4.93/7. Ce dernier pourrait être lié à l'utilisation de tablettes numériques avec stylet pour lesquelles les apprenants peuvent avoir une perception positive (voir Amadiou & Tricot, 2020; Mulet et al., 2019, pour des revues de la littérature).

Enfin, selon la littérature, la génération de schémas aurait des effets bénéfiques sur les processus métacognitifs (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005). Nous supposons que l'ajout d'une illustration à la génération de schémas n'aurait pas d'effets bénéfiques sur la précision du monitoring, et ce notamment à cause de l'excès de confiance que peuvent induire les illustrations (e.g., Ackerman & Leiser, 2014; Eitel, 2016; Jaeger & Wiley, 2014; Serra & Dunlosky, 2010). Or, nos résultats ne montrent pas d'effet positif de la génération de schémas sur la précision de leur monitoring comparée à des textes seuls ou illustrés. Ces résultats ne vont pas dans le sens de ceux obtenus dans certaines études de la littérature, mais ces dernières étaient réalisées auprès d'étudiants et non de collégiens (e.g., Kollmer et al., 2020; Schleinschok et al., 2017). Les processus métacognitifs mis en œuvre lors de la génération de schémas pourraient ainsi être différents selon le niveau scolaire des apprenants et des guidages de l'activité seraient donc nécessaires.

## 5.2.Limites et perspectives

Cette étude comprend plusieurs limites. Premièrement, la consigne que nous proposons dans la condition de génération guidée ne stipulait pas aux élèves de simplement recopier l'illustration présentée. D'autres études nécessitent d'être réalisées en proposant simplement une consigne de recopie.

Dans notre étude, les élèves ont travaillé sur le phénomène de la formation des tsunamis en complétant des figures de fond représentant des coupes transversales de la terre. Or, les apprenants n'ont généralement peu ou pas du tout de représentations visuelles de ces coupes ou des éléments terrestres comme des failles sismiques, ce qui a pu réduire d'autant plus la qualité de leurs schémas. Il serait ainsi nécessaire de leur proposer de visualiser une coupe transversale de la terre pour leur fournir des connaissances préalables en termes de représentation visuelle avant leur production.

### 5.3.Conclusion

Cette étude permet de tirer deux conclusions :

1) Guider les apprenants de manière trop importante ne les engage pas dans une activité générative, comme le proposent Van Meter et Firetto (2013), malgré une bonne qualité des schémas générés. Le guidage testé a pu empêcher l'apprenant de s'engager dans un mode constructif (cf. ICAP, Chi & Wylie, 2014).

2) Lorsque les apprenants ne disposent pas de guidage de l'activité, les élèves génèrent des schémas de faible qualité et leur apprentissage n'est pas amélioré. Ainsi, des guidages de l'activité sont tout de même nécessaires, allant de le sens des résultats de la littérature (e.g., Fiorella & Zhang, 2018). Les résultats de notre étude suggèrent que, lorsque la génération de schémas n'est pas guidée, les apprenants rencontrent des difficultés dans la sélection des informations à générer et sur leur emplacement. Pour les aider dans le processus de sélection des éléments à générer, il est possible de mettre en saillance dans le texte les éléments attendus dans le schéma. Ce type de guidage, jamais étudié à notre connaissance, a donc été examiné dans la deuxième étude de cette thèse.

## Chapitre 6. Étude 2. Les effets d'un guidage de type marquage typographique à la génération de schémas sur la qualité des schémas et l'apprentissage

### 1. Introduction

Comme le suggèrent la littérature (Fiorella & Zhang, 2018) et notre précédente étude, la génération de schémas nécessite d'être guidée, particulièrement lorsque ses effets sont comparés à ceux de documents présentant des textes illustrés. Les effets mitigés de l'activité générative non guidée seraient notamment liés à la qualité des schémas générés qui influence la qualité de l'apprentissage (effet prévisionnel des schémas, Schwaborn et al., 2010). En effet, sans guidage, les apprenants ne génèrent pas spontanément des schémas de bonne qualité (Q. Zhang & Fiorella, 2019). De plus, les résultats de notre précédente étude ont montré que, même en étant guidés sur des schémas complexes, les collégiens peuvent avoir des difficultés à identifier les informations à générer.

Au regard de ces différents éléments théoriques, cette étude vise à étudier les effets d'une nouvelle forme de guidage : le marquage typographique. Les marquages typographiques correspondent à la mise en saillance des éléments dans le texte en les soulignant, en les mettant en gras ou en italique (Lorch, 1989; Lorch et al., 1995). Ils agissent comme des signaux et dirigent l'attention de l'apprenant vers certaines informations d'un document (e.g., Gaddy et al., 2001; Lemarié et al., 2008; Lorch, 1989; Lorch et al., 1995; Yeari et al., 2017) qui sont généralement mieux mémorisées lorsqu'elles sont marquées (e.g., Lorch et al., 1995). En revanche, les marquages typographiques peuvent également entraîner un traitement plus superficiel des informations non marquées (Yeari et al., 2017). Yeari et al. (2017) ont en effet montré que, lorsque les informations centrales d'un document sont mises en saillance, celles qui sont périphériques (ou moins centrales) sont moins traitées. Pour autant, la plupart des études n'ont pas montré d'incidence des marquages typographiques sur la mémorisation des éléments non marqués (e.g., Golding & Fowler, 1992; Hartley et al.,

1980; Lorch et al., 1995) et très peu, à notre connaissance, ont montré d'effets négatifs (e.g., Glynn & Di Vesta, 1979).

Dans le contexte de la génération de schémas, en dirigeant l'attention des apprenants vers les éléments à générer au sein du texte, le marquage typographique faciliterait le processus de sélection des informations pertinentes, nécessaires à la production de schémas de qualité. Il constituerait donc une forme possible de guidage. Dans ce sens également, Van Meter et Firetto (2013) ont indiqué que, pour obtenir des effets bénéfiques de la génération de schémas, il est possible de proposer des signaux dans le texte. Selon ces auteurs, en proposant ces signaux textuels, le réseau propositionnel de l'apprenant serait enrichi. Ce réseau propositionnel permet d'améliorer la construction du modèle mental et du schéma.

Au regard de ces différents éléments, nous pouvons supposer que les marquages typographiques agissent comme des guidages de l'activité de génération de schémas en améliorant la qualité des schémas générés et donc l'apprentissage, en réduisant la complexité de la tâche et en facilitant les processus métacognitifs.

Dans cette présente étude, des collégiens en classe de 5<sup>ième</sup> ont travaillé à partir de tablettes numériques avec stylet sur un document traitant de la formation des tsunamis. L'objectif était d'examiner les effets de la génération de schémas guidée ou non par un marquage typographique sur la qualité des schémas, l'apprentissage, la difficulté perçue, l'intérêt situationnel, la précision du monitoring et les temps d'activité des élèves. Ce guidage sous la forme de marquage typographique à la génération de schémas était comparé à une activité de génération de schémas sans ce guidage et à des textes illustrés. Dans la première condition (condition « Textes illustrés »), les élèves disposaient de textes illustrés et ils devaient lire les textes et regarder attentivement les illustrations associées. Dans la deuxième condition (condition « Génération sans marquage »), les élèves devaient générer des schémas à partir des textes. Enfin, dans la troisième condition (condition « Génération avec marquage »), les élèves devaient générer les éléments mis en gras dans les textes pour créer leurs schémas. Dans les deux conditions génératives, les élèves disposaient de zones de schématisation dans lesquelles une figure de fond était préalablement tracée. Après avoir terminé l'activité pédagogique, tous les élèves répondaient à une question de jugement de

leur apprentissage, à des questions de mémorisation et de transfert, ainsi qu'à des questions de difficulté perçue et d'intérêt situationnel.

## 2. Hypothèses

En dirigeant l'attention des apprenants vers les informations clés à générer au sein des schémas grâce à leur mise en saillance (e.g., Gaddy et al., 2001; Lemarié et al., 2008; Lorch, 1989; Lorch et al., 1995; Yeari et al., 2017), nous supposons que les élèves de la condition « Génération avec marquage » obtiendront de plus hauts scores de présence (i.e. nombre d'éléments représentés au sein des schémas) (H1a) et de précision (i.e. nombre d'éléments représentés et placés au bon endroit dans les schémas) (H1b) que les élèves de la condition « Génération avec marquage », quelle que soit la complexité des schémas générés.

Concernant les performances d'apprentissage, nous supposons que les élèves de la condition « Génération avec marquage » obtiendront de meilleurs scores de mémorisation des éléments imagés (H2a) et de transfert (H2b) que les élèves des conditions « Textes illustrés » et « Génération sans marquage ». La littérature ayant montré que la génération de schémas sans un guidage important ne permet pas d'améliorer l'apprentissage comparé à un texte illustré (Fiorella & Zhang, 2018), aucune différence entre les conditions « Textes illustrés » et « Génération sans marquage » n'est attendue. Au regard de la littérature sur les effets des marquages typographiques sur la mémorisation des éléments non-marqués (e.g., Golding & Fowler, 1992; Hartley et al., 1980; Lorch et al., 1995), il est possible d'envisager qu'ils n'auront pas d'influence sur cette mesure. En revanche, si à l'instar des travaux de Yeari et al. (2017), la mise en saillance de certains éléments centraux lors de l'activité de génération de schémas réduit les temps de traitement des éléments non-marqués, ces derniers pourraient être moins bien mémorisés. Ainsi, les effets des différentes conditions sur la mémorisation des éléments non-marqués seront étudiés de manière exploratoire dans cette étude.

L'activité de génération de schémas est coûteuse en temps (Fiorella & Zhang, 2018; Peeck, 1993), nous supposons donc que les élèves dans les conditions « Génération avec

marquage » et « Génération sans marquage » prendront plus de temps à réaliser l'exercice que les élèves en condition « Textes illustrés » (H3a). Le processus de sélection des éléments à générer pouvant être facilité par le marquage typographique, nous faisons l'hypothèse que les élèves en condition « Génération avec marquage » prendront moins de temps à réaliser l'activité que les élèves en condition « Génération sans marquage » (H3b).

L'activité de génération peut se révéler complexe et entraîner une surcharge cognitive (e.g., Leutner et al., 2009; Schwaborn et al., 2011). En revanche, les guidages de la génération de schémas peuvent la réduire (Fiorella & Zhang, 2018). Par conséquent, nous supposons que les élèves en condition « Génération sans marquage » percevront davantage de difficulté que ceux des conditions « Textes illustrés » et « Génération avec marquage » (H4).

Comme dans notre première étude, l'intérêt situationnel a été évalué mais, à notre connaissance, aucune étude n'a examiné les effets de l'activité de génération de schémas, guidée ou non, sur cette mesure. Par conséquent, les effets des différentes conditions sur cette variable sont étudiés de manière exploratoire.

Pour terminer, selon la littérature, la génération de schémas entraîne une meilleure régulation de l'apprentissage (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005) et des études réalisées auprès d'étudiants ont montré un effet bénéfique de cette activité sur la précision de leur jugement d'apprentissage (e.g., Kollmer et al., 2020; Wiley, 2018). Nous supposons donc que les élèves en condition « Génération sans marquage » auront un monitoring plus précis que les élèves en condition « Textes illustrés » (H5a). De plus, les guidages de la génération de schémas peuvent agir comme des *feedback* d'autorégulation (Van Meter & Firetto, 2013). Une étude a montré que les élèves qui disposaient d'un guidage important de la génération de schémas avaient un meilleur self-monitoring que ceux qui n'en disposaient pas (Van Meter, 2001). Par conséquent, nous supposons que les élèves en condition « Génération avec marquage » obtiendront de meilleurs scores de précision du monitoring que les élèves en condition « Textes illustrés » (H5b) et en condition « Génération sans marquage » (H5c).

## 3. Méthode

### 3.1. Participants et plan expérimental

Au total, 76 élèves en classe de 5<sup>ème</sup> de deux collèges de l'Académie de Rennes ont participé volontairement à cette étude. Des formulaires de consentement ont été signés par les parents de ces élèves avant le début des passations. Les réponses de cinq participants des conditions avec génération n'ont pas été prises en compte dans les analyses car ils n'avaient pas suivi les consignes qui leur étaient données en ne réalisant aucun schéma. Ainsi, 71 participants (30 filles et 41 garçons) avec un âge moyen de 12.47 ans ( $E.T. = 0.38$ ) ont été pris en compte dans les analyses. Les participants ont été aléatoirement répartis dans une des trois conditions de cette étude : « Textes illustrés » ( $n = 24$ ), « Génération sans marquage » ( $n = 24$ ) et « Génération avec marquage » ( $n = 23$ ). Pour déterminer la taille idéale d'échantillon, un G\*Power a été réalisé (Faul et al., 2009) avec une taille d'effet moyenne de .25, un alpha à .05 et une puissance de .95 pour une ANOVA à effets fixes, spéciaux, effets principaux et d'interactions avec trois groupes. L'échantillon idéal indiqué était de 251 participants. Comme dans notre première étude, les contraintes du terrain ne nous ont pas permis de réaliser l'expérimentation avec autant de collégiens et les résultats sont donc à prendre avec précautions.

### 3.2. Matériel

#### 3.2.1. Document pédagogique

Le même document sur la formation des tsunamis que dans notre première étude a été proposé. En revanche, quelques modifications ont été faites en collaboration avec une enseignante de SVT. Au total, le document pédagogique contenait 388 mots proposés au sein de six paragraphes (sans les consignes). Chacun des paragraphes était présenté sur des diapositives différentes (voir **Annexe 9**).

Le premier paragraphe présentait une **introduction** à la formation des tsunamis (49 mots) et précisait aux élèves qu'après l'activité, des questions sur leur apprentissage leur seraient posées. La présentation de l'introduction était la même pour tous les élèves.

Le deuxième paragraphe (66 mots) présentait la **première étape de la formation des tsunamis** et traitait des failles sous l'océan en prenant la forme d'un texte illustré (voir **Figure 28**). Tous les élèves avaient pour consigne de lire très attentivement le texte et de bien regarder l'image. Contrairement à l'étude précédente, cette première étape était présentée sous la forme d'un texte illustré dans toutes les conditions car nos résultats ont montré que les apprenants pouvaient rencontrer des difficultés concernant la représentation de la faille ou des compartiments rocheux. Elle visait donc à leur fournir une représentation visuelle préalable pour les aider dans la génération de leur schéma.

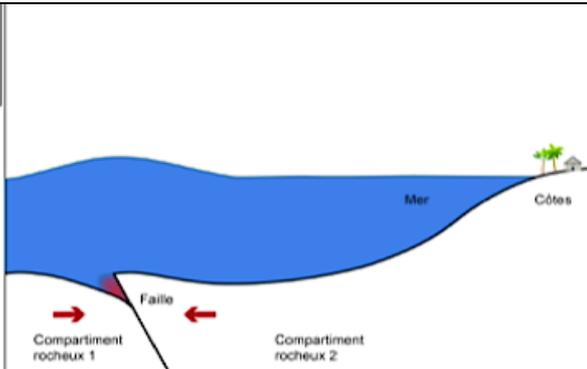
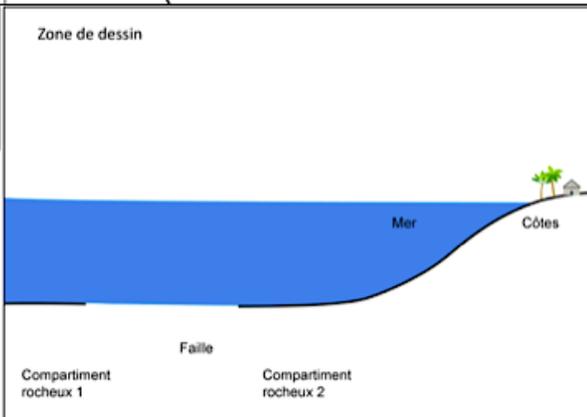
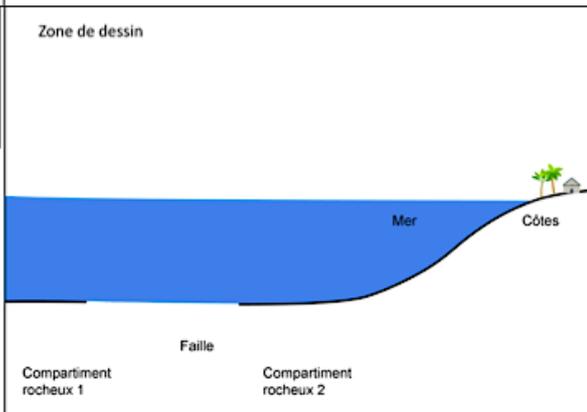
**Figure 28.** Diapositive présentant la première étape de la formation des tsunamis.

<p><b>Consigne :</b> Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p><u>Étape 1 : Les failles sous l'océan</u></p> <p>La surface de la Terre est constituée de compartiments rocheux qui sont collés les uns aux autres. L'endroit où les compartiments rocheux se touchent s'appelle la faille. Elles sont sous l'océan et sur les continents. La faille est donc une fracture entre deux compartiments rocheux. À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux.</p>	

Les paragraphes suivants présentaient respectivement la **deuxième étape de la formation des tsunamis** (le séisme, 81 mots), la **troisième étape de la formation des tsunamis** (la séparation de la vague, 72 mots) et la **quatrième étape de la formation des tsunamis** (la vague du tsunami, 56 mots). Selon les conditions, les élèves disposaient soit de trois textes illustrés (condition « Textes illustrés »), soit de trois textes associés à des figures de fond (conditions « Génération sans marquage » et « Génération avec marquage »). Les élèves en condition « Génération avec marquage » avaient, au sein des trois textes, les

éléments à générer mis en gras (voir **Figure 29**). Ainsi, dans l'étape 2, cinq éléments étaient mis en gras, pour l'étape 3, deux éléments étaient mis en gras et pour l'étape 4, un élément était mis en gras. Au total, les élèves des deux conditions génératives produisaient trois schémas.

**Figure 29.** Formats de présentation de la deuxième étape de la formation des tsunamis selon les conditions expérimentales.

<p><b>Consigne :</b> Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p>Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p>Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de <b>la faille</b> qu'elle entraîne un <b>choc</b>, c'est le séisme. Ce choc entraîne le <b>soulèvement d'un des deux compartiments</b> et <b>l'abaissement de l'autre</b> au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme <b>une vague</b> de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p>	<p>Zone de dessin</p>

*Note.* En haut : "Textes illustrés" ; au milieu : « Génération sans marquage » ; et en bas "Génération avec marquage".

Pour terminer, le sixième paragraphe (64 mots) présentait une **conclusion** aux apprenants sous la forme d'un texte et d'une photo. Il était présenté de la même manière dans toutes les conditions.

### 3.2.2. Tablettes numériques avec stylet et application

Les élèves ont travaillé sur les mêmes tablettes numériques avec stylets et avec la même application que dans la première étude.

## 3.3. Mesures

### 3.3.1. Variables contrôles

Les différentes mesures contrôles étaient identiques à celles de la première étude. **Les compétences perçues en SVT** ( $\alpha = .35$ ), **les connaissances préalables** sur la formation des tsunamis, **la compréhension en lecture** (Aubret & Blanchard, 1991) et **les capacités visuo-spatiales** (Albaret & Aubert, 1996) ont donc été évaluées.

### 3.3.2. Variables dépendantes

#### 3.3.2.1. La qualité des schémas générés

Comme dans notre première étude, la qualité des schémas générés a été mesurée au moyen de deux indices ; **la présence des éléments** (i.e., nombre d'éléments générés) **et leur précision** (i.e., nombre d'éléments générés et représentés au bon endroit) en fonction de la complexité des schémas à générer.

- **Schéma complexe** : Cinq éléments devaient être représentés au sein du premier schéma (troisième paragraphe ; étape 2 de la formation des tsunamis). Ce schéma

était complexe en termes du nombre d'éléments à représenter. Les scores de présence et de précision allaient donc de 0 à 5.

- Schémas simples : Deux éléments étaient attendus dans le deuxième schéma (quatrième paragraphe ; étape 3 de la formation des tsunamis) et un élément était attendu dans le troisième schéma (cinquième paragraphe ; étape 4 de la formation des tsunamis). Une somme des scores de présence et de précision était ensuite calculée pour ces deux schémas, donnant des scores de présence et de précision pour les schémas simples allant de 0 à 3.

Au total, huit éléments étaient attendus au sein de l'ensemble des schémas (voir **Annexe 4**). Les scores de présence et de précision ont ensuite été convertis en pourcentages de réussite des schémas. Un double codage a été réalisé sur 46.80% des données pour chacun des scores. Les accords inter-juges ont été calculés au moyen d'Alphas de Krippendorff et sont bons pour la présence  $\alpha = .97$  et la précision  $\alpha = .91$ .

#### 3.3.2.2. Mesures d'apprentissage

L'apprentissage a été évalué au moyen des mêmes questions que dans l'étude 1. La mémorisation des éléments imagés a été mesurée par quatre items. La mémorisation des éléments non marqués (i.e, qui n'étaient pas mis en gras dans le texte, aussi appelés textuels dans la première étude) était également mesurée par quatre items. Enfin, le transfert a été évalué par cinq items.

#### 3.3.2.3. Les temps d'activité

Les temps d'activité (en secondes) ont été relevés sur les quatre diapositives présentant les étapes de la formation des tsunamis. En revanche, nous avons analysé les temps de réalisation de l'activité sur les trois diapositives présentant les étapes 2, 3 et 4 de la formation des tsunamis qui différaient en termes de manipulation expérimentale. Une somme de ces temps a ensuite été calculée pour obtenir le temps total de réalisation de l'activité des élèves.

#### 3.3.2.4. La difficulté perçue

La difficulté perçue a été évaluée au moyen des deux mêmes items que dans la première étude sur une échelle de Likert en 7 points (Kalyuga et al., 1999). Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .71$ ).

#### 3.3.2.5. L'intérêt situationnel

Comme dans notre première étude, l'intérêt situationnel des élèves vis-à-vis de l'exercice et de la thématique a été évalué au moyen de 6 items sur une échelle de Likert en 7 points tirés de l'échelle d'intérêt situationnel de Rotgans et Schmidt (2014). Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .83$ ).

#### 3.3.2.6. La précision du monitoring

Comme dans notre première étude, le jugement d'apprentissage a été évalué par un item sur une échelle de Likert en 7 points (Schleinschok et al., 2017). Les trois scores aux mesures d'apprentissage ont été additionnés puis convertis sur 20, comme l'item de jugement d'apprentissage. Ils ont ensuite été soustraits, donnant un score de précision du monitoring qui correspond à l'écart entre le score d'apprentissage perçue et le score d'apprentissage réel. Ainsi, plus ce score est proche de 0, meilleure est la précision du monitoring.

### 3.3.3. Mesures complémentaires

Dans les deux conditions génératives, les **temps de génération de schémas** pour chacune des diapositives présentant les étapes 2, 3 et 4 de la formation des tsunamis ont été codés. Une somme de ces temps était ensuite calculée.

De plus, le **nombre de modifications** que les élèves ont faites au sein de chacun de leurs trois schémas a été relevé. Ces modifications ont été codées selon deux critères : esthétique et sémantique. Les **modifications esthétiques** correspondent aux modifications du schéma pour refaire un élément sans fondamentalement le changer (e.g., gommer la

vague pour la refaire de la même manière au même endroit). Les **modifications sémantiques** correspondaient aux modifications faites par un élève pour changer la représentation ou la place d'un élément (e.g., changement de la taille de la vague). Une somme de l'ensemble des modifications était ensuite calculée pour chacun des critères et une somme des modifications globales a également été réalisée.

### 3.4.Procédure

Les collégiens, issus de quatre classes différentes, étaient répartis aléatoirement dans une des trois conditions de cette étude. Ils ont participé individuellement aux passations dans leur salle de classe par groupe de 15 maximum avec deux expérimentateurs.

Une fois assis à leur table, ils disposaient de cinq livrets en version papier. Le premier comprenait les questions de connaissances préalables sur la formation des tsunamis qu'ils complétaient pendant deux minutes (voir **Annexe 6**). Le deuxième présentait les questions de compétences perçues en SVT et le test de compréhension en lecture qu'ils remplissaient en 10 minutes. Le troisième livret comprenait des explications et des exemples du test de capacités visuo-spatiales qu'ils lisaient avec l'expérimentateur (voir **Annexe 5**). Pour terminer, le quatrième et le cinquième livret comprenaient les deux parties du test des capacités visuo-spatiales qu'ils complétaient pendant trois minutes chacun. Sur tous les livrets, hormis celui de l'explication et des exemples des capacités visuo-spatiales, les élèves renseignaient leur identifiant (initiales du prénom et du nom ainsi que leur jour de naissance) et leurs données sociodémographiques (leur sexe et leur date de naissance).

Dans un second temps, les élèves réalisaient l'activité sur tablettes numériques avec stylet. Leur écran était enregistré au moyen du logiciel BBflashback®. Les expérimentateurs leur montraient comment se servir de l'application, en présentant la manière dont ils pouvaient changer de diapositives, utiliser le crayon, le surligneur et la gomme. Les collégiens étaient informés des consignes et du fait que l'activité serait suivie de questions d'apprentissage. Ils disposaient ensuite de 15 minutes pour réaliser l'activité. Les élèves de la condition « Textes illustrés » avaient pour consigne de lire attentivement le texte en regardant bien l'image qui leur était présentée. Les élèves de la condition « Génération sans

marquage » avaient pour consigne de 1) lire attentivement le texte et 2) dessiner les éléments du texte pour compléter l'image. Pour terminer, dans la condition « Génération avec marquage », les élèves devaient 1) lire attentivement le texte et 2) dessiner les éléments mis en gras dans le texte pour compléter l'image. Les élèves qui terminaient l'activité avant les 15 minutes pouvaient lever la main pour passer à la suite.

Après l'activité, les élèves disposaient d'un dernier livret en version papier et répondaient aux questions de jugement de leur apprentissage, de mémorisation et de transfert, de difficulté perçue et d'intérêt situationnel (voir **Annexe 7**). Pour ce faire, ils disposaient du temps restant. Au total, l'expérimentation durait 55 minutes.

## 4. Résultats

### 4.1. Analyses statistiques

Les résultats sont présentés en suivant nos hypothèses. Les analyses statistiques ont été réalisées au moyen du logiciel IBM SPSS version 25 et du logiciel Jamovi avec un niveau de significativité de .05. Nos hypothèses concernant la qualité des schémas générés ont été testées au moyen de tests t de student avec les conditions génératives en facteur inter-sujets et les scores de présence et de précision en variables dépendantes. Nos autres hypothèses ont été testées en conduisant des ANOVA univariées avec les trois conditions de cette étude en facteur inter-sujets et nos différentes mesures en tant que variables dépendantes. Quand les analyses étaient significatives, elles étaient suivies d'analyses de contrastes. Lorsque nos analyses étaient exploratoires, des tests de Bonferonni de comparaisons multiples étaient conduits. Pour terminer, quand les conditions d'homoscédasticité n'étaient pas respectées, des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis étaient réalisés, suivis de tests de Mann Withney lorsqu'ils étaient significatifs.

## 4.2. Vérifications préalables des variables contrôles entre les conditions

Avant de tester nos hypothèses, nous avons examiné si les conditions expérimentales différaient en termes de genre, d'âge, de compétences perçues en SVT, de compréhension en lecture, de capacités visuo-spatiales et de connaissances préalables sur la formation des tsunamis. Une analyse de Khi carré pour le genre montre un effet marginal de la répartition filles/garçons dans les conditions,  $\chi^2(2, N = 71) = 5.17, p = .075$ .

Les analyses d'ANOVA univariées n'ont pas montré de différences significatives pour l'âge entre les conditions « Textes illustrés » ( $M = 12.41; E.T. = 0.36$ ), « Génération sans marquage » ( $M = 12.47; E.T. = 0.39$ ), et « Génération avec marquage » ( $M = 12.50; E.T. = 0.42$ ),  $F(2, 68) = 0.35, p = .704, \eta^2 = .010$ . De même, elles n'ont également pas révélé de différence significative entre les conditions pour les compétences perçues en SVT,  $F(2, 68) = 0.11, p = .893, \eta^2 = .003$ , et les connaissances préalables sur la formation des tsunamis,  $F(2, 68) = 0.68, p = .511, \eta^2 = .020$ , (voir **Tableau 13**).

Les analyses ne révèlent pas de différence significative entre les conditions pour la compréhension en lecture,  $H(2) = 2.99, p = .224$ , et les capacités visuo-spatiales,  $H(2) = 1.49, p = .475$ .<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Les analyses d'homogénéité des variances réalisées au moyen du test de Levene révèlent que cette condition n'est pas respectée pour les mesures de compréhension en lecture,  $F(2, 68) = 3.19, p = .047$  et de capacités visuo-spatiales,  $F(2, 68) = 3.67, p = .031$ .

**Tableau 13.** Moyennes et écarts-types des compétences perçues, de la compréhension en lecture, des capacités visuo-spatiales et des connaissances préalables pour chacune des trois conditions.

	Compétences perçues	Compréhension en lecture	Capacités visuo- spatiales	Connaissances préalables
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>
Textes illustrés	4.64 (1.07)	7.50 (1.50)	12.79 (7.89)	1.46 (0.93)
Génération sans marquage	4.54 (1.03)	6.37 (2.20)	13.21 (5.56)	1.79 (1.14)
Génération avec marquage	4.50 (1.16)	6.95 (2.38)	14.00 (5.42)	1.48 (1.24)

#### 4.3. La qualité des schémas générés

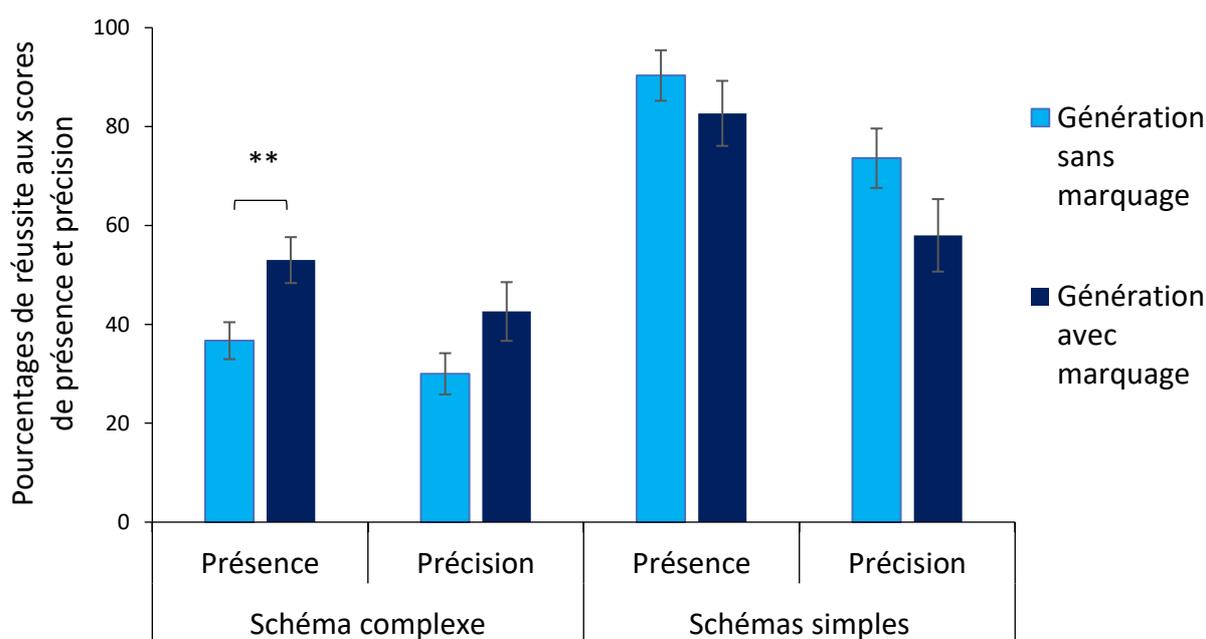
**Pour les schémas complexes** (voir **Figure 30**), les analyses ont révélé que les élèves qui généraient des schémas en étant guidés par un marquage typographique ont obtenu de meilleurs scores de présence que ceux qui ne disposaient pas de guidage,  $t(45) = 2.76$ ,  $p = .008$ ,  $d = 0.80$ . En revanche, aucune différence significative n'a été révélée entre les conditions pour les scores de précision,  $t(45) = 1.75$ ,  $p = .087$ ,  $d = 0.51$ . Globalement, nos résultats montrent que les élèves ont généré des schémas de faible qualité lorsque ces derniers étaient complexes, que ce soit sur les scores de présence ou de précision et quelle que soit la condition expérimentale (voir **Annexe 8** pour des exemples de schémas générés par les élèves).

**Pour les schémas simples** (voir **Figure 30**), les analyses ne révèlent pas de différences significatives entre les conditions pour les scores de présence,  $t(45) = 0.92$ ,  $p = .360$ ,  $d = 0.27$  et de précision,  $t(45) = 1.66$ ,  $p = .105$ ,  $d = 0.48$ . Nos résultats montrent que les scores de

présence sont relativement bons lorsque les schémas sont simples et que les scores de précision sont plutôt moyens.

Nos résultats indiquent donc que le guidage de la génération de schémas sous la forme d'un marquage typographique a eu des effets bénéfiques sur le nombre d'éléments générés *uniquement* lorsque les schémas étaient complexes, ce qui est partiellement en accord avec notre hypothèse H1a. Contrairement à notre hypothèse H1b, le guidage de type marquage typographique n'a pas eu d'effet bénéfique sur la précision des éléments, que les schémas soient simples ou complexes.

**Figure 30.** Pourcentages de réussite aux scores de présence et de précision selon la complexité des schémas en fonction des conditions génératives.



Note. \*\*  $p < .010$ .

#### 4.4. Performances d'apprentissage

Les analyses (voir **Tableau 14**) ne révèlent aucune différence significative entre les conditions pour la mémorisation des éléments imagés,  $F(2, 68) = 0.87, p = .422, \eta^2 = .025$ , et le transfert,  $F(2, 68) = 0.66, p = .518, \eta^2 = .019$ .

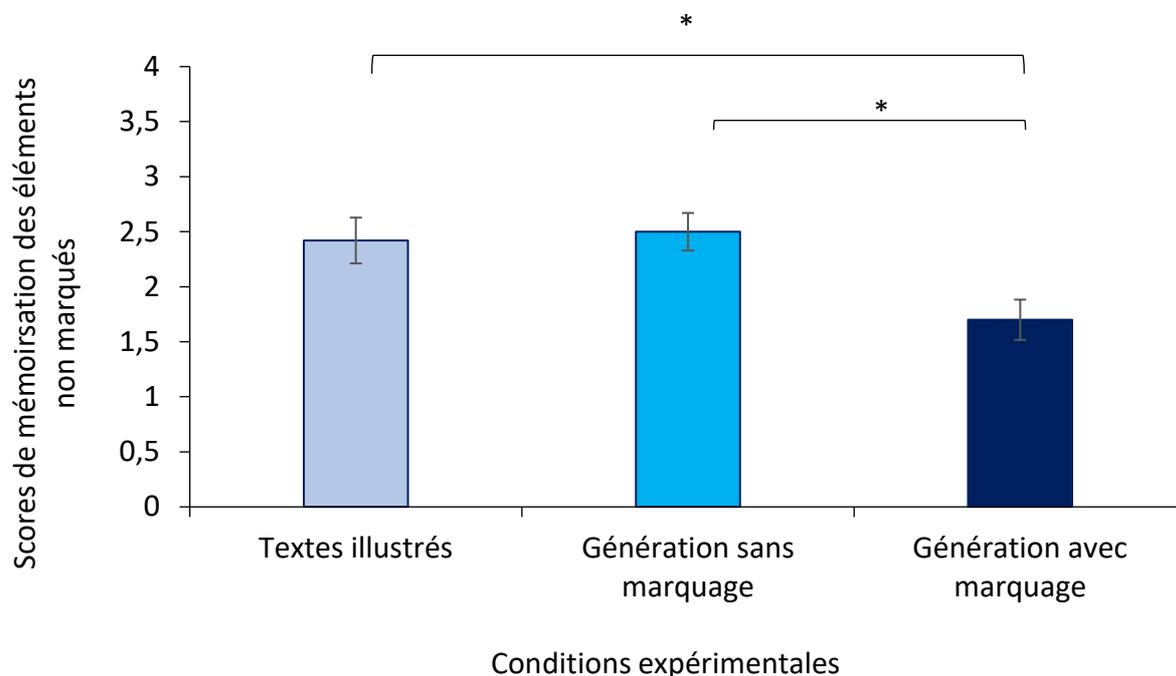
Ainsi, contrairement à nos hypothèses H2a et H2b, les élèves qui génèrent des schémas en étant guidés par un marquage typographique n'ont pas obtenu de meilleurs scores de mémorisation des éléments imagés et de transfert que les élèves des deux autres conditions.

**Tableau 14.** Moyennes et écarts-types des mesures de mémorisation des éléments imagés et de transfert selon les conditions de cette étude.

	Mémorisation des éléments imagés	Transfert
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>
Textes illustrés	2.17 (0.87)	2.00 (1.61)
Génération sans marquage	2.54 (1.06)	1.96 (1.36)
Génération avec marquage	2.48 (1.20)	2.39 (1.23)

Concernant la mesure de mémorisation des éléments non-marqués, les analyses ont révélé une différence significative entre les conditions,  $F(2, 68) = 5.47, p = .006, \eta^2 = .139$ . Les analyses post-hoc avec des tests de Bonferroni de comparaisons multiples (voir **Figure 31**) ont montré que les élèves de la condition « Génération avec marquage » ont obtenu de plus faibles scores de mémorisation des éléments non-marqués que les élèves des conditions « Texte illustrés »,  $t(68) = 2.71, p = .026, d = 0.79$ , et « Génération sans marquage »,  $t(68) = 3.02, p = .011, d = 0.88$ . En revanche, ces deux dernières conditions ne diffèrent pas entre elles,  $t(68) = 0.32, p = 1.000, d = 0.09$ .

**Figure 31.** Scores de mémorisation des éléments non-marqués et erreurs standards moyennes selon les trois conditions de cette étude.



Note. \* $p < .050$ .

#### 4.5. Temps d'activité

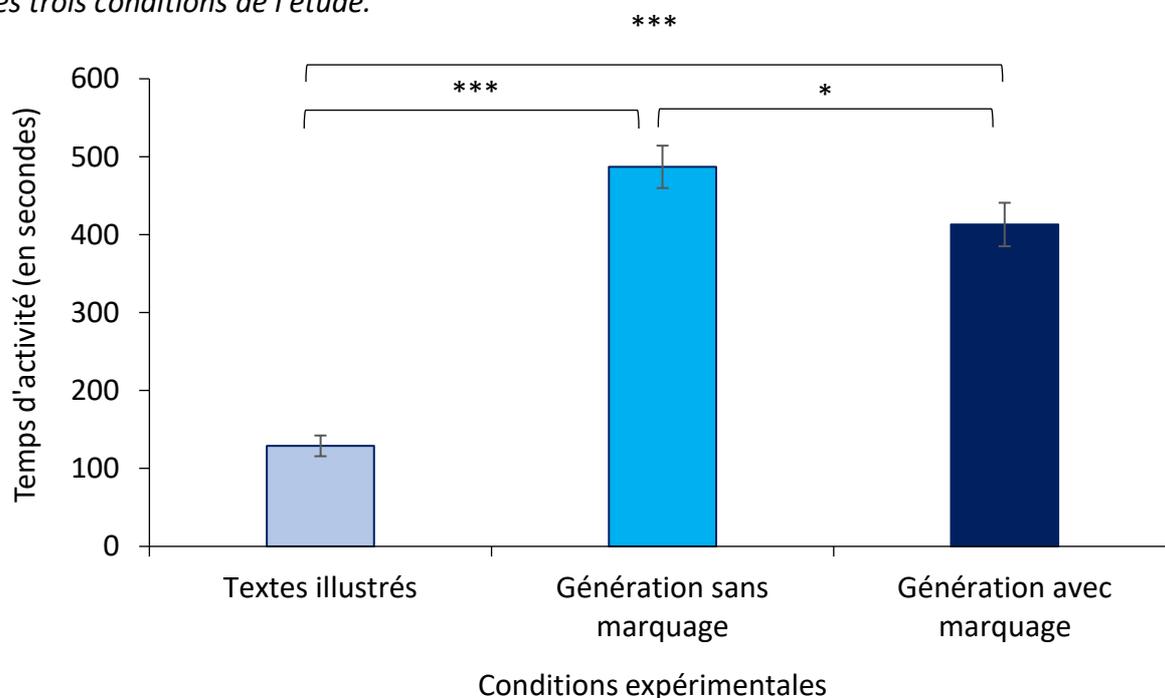
Les temps d'activité *uniquement* sur les diapositives des étapes 2, 3 et 4 de la formation des tsunamis ont été analysés. Les analyses révèlent une différence significative entre les conditions,  $H(2) = 45.80$ ,  $p < .001$ <sup>11</sup> (voir **Figure 32**). Des tests non-paramétriques U de Mann-Withney ont ensuite été réalisés. Ces derniers révèlent que les élèves de la condition « Textes illustrés » ont passé moins de temps à réaliser l'activité que ceux des conditions

<sup>11</sup> Les analyse de Levene d'égalité des variances révèlent que les temps d'activité ne respectent pas les conditions d'homogénéité des variances,  $F(2, 68) = 6.88$ ,  $p = .002$ .

« Génération sans marquage »,  $U = 6.00$ ,  $p < .001$ , et « Génération avec marquage »,  $U = 13.00$ ,  $p < .001$ . Ceci est en accord avec notre hypothèse H3a.

Les analyses ont également révélé une différence significative entre les conditions « Génération sans marquage » et « Génération avec marquage »,  $U = 182.50$ ,  $p = .047$ . Comme nous le supposions dans notre hypothèse H3b, les élèves qui disposaient d'un guidage de type marquage typographique ont passé moins de temps à réaliser l'activité que ceux qui ne disposaient pas de guidage.

**Figure 32.** Moyennes des temps d'activité (en secondes) et erreurs standards moyennes selon les trois conditions de l'étude.



Note. \*  $p < .050$ . \*\*\*  $p < .001$ .

#### 4.6. La difficulté perçue

Les analyses n'ont révélé aucune différence significative entre les conditions « Textes illustrés » ( $M = 2.58$ ,  $E.T. = 1.83$ ), « Génération sans marquage » ( $M = 3.23$ ,  $E.T. = 1.67$ ) et « Génération avec marquage » ( $M = 3.20$ ,  $E.T. = 1.44$ ), pour la difficulté perçue,  $F(2, 68) = 1.17$ ,  $p = .320$ ,  $\eta^2 = .033$ .

Notre hypothèse H4 n'est donc pas validée puisque les élèves qui génèrent des schémas sans un guidage de type marquage typographique n'ont pas reporté plus de difficulté perçue que les autres.

#### 4.7.L'intérêt situationnel

Concernant l'intérêt situationnel, les analyses n'indiquent pas de différences significatives entre les conditions « Textes illustrés » ( $M = 5.33, E.T. = 1.12$ ), « Génération sans marquage » ( $M = 5.30, E.T. = 1.33$ ) et « Génération avec marquage » ( $M = 5.35, E.T. = 1.18$ ),  $F(2, 68) = 0.02, p = .978, \eta^2 = .001$ .

#### 4.8.La précision du monitoring

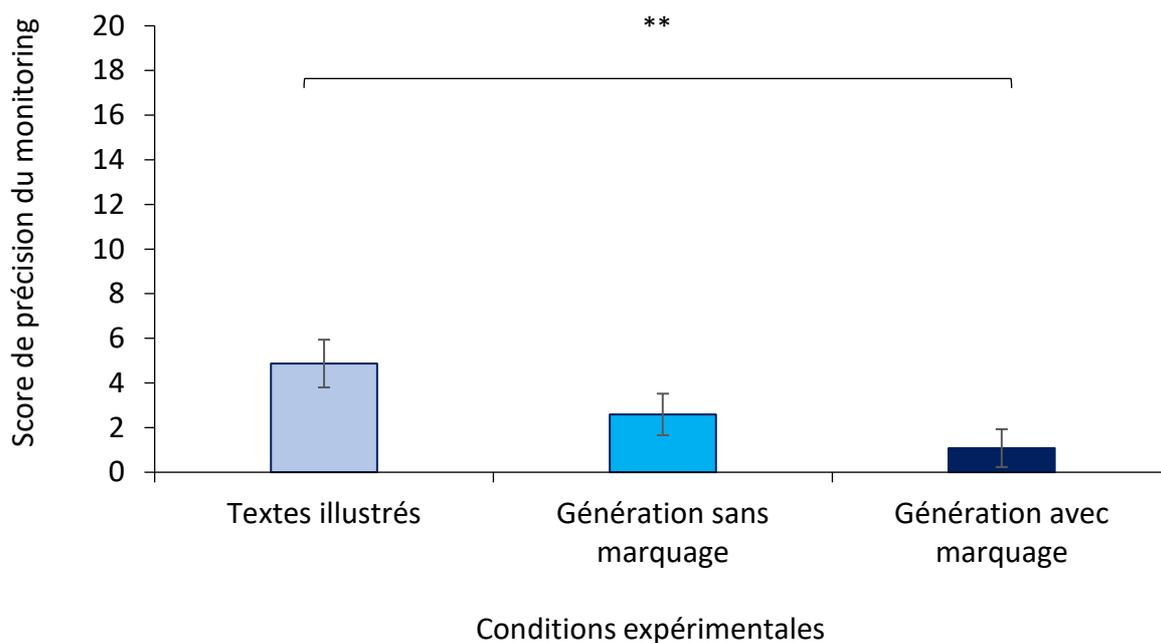
Deux apprenants n'ont pas répondu correctement à l'item de jugement d'apprentissage. Par conséquent, les analyses ont été réalisées sur un échantillon de 69 participants. Pour rappel, plus le score est faible, meilleure est la précision du monitoring. Les analyses ont révélé une différence significative entre les conditions pour cette mesure,  $F(2, 66) = 4.01, p = .023, \eta^2 = .108$ .

Les analyses de contrastes ont montré que les élèves de la condition « Génération avec marquage » ont été plus précis dans leur monitoring que les élèves de la condition « Textes illustrés »,  $t(66) = 2.81, p = .006, d = 0.83$  (voir **Figure 33**). En revanche, elles n'ont pas montré de différence significative entre les conditions « Génération sans marquage » et « Génération avec marquage »,  $t(66) = 1.12, p = .267, d = 0.33$ , et entre les conditions « Textes illustrés » et « Génération sans marquage »,  $t(66) = 1.69, p = .095, d = 0.50$ .

Ainsi, contrairement à notre hypothèse H5a, les élèves qui génèrent des schémas sans guidage n'ont pas eu une meilleure précision de leur monitoring que ceux qui disposaient d'un texte illustré. En revanche, en accord avec notre hypothèse H5b, les élèves qui disposaient d'un guidage sous la forme d'un marquage typographique ont été plus précis vis-à-vis de leur monitoring que ceux qui disposaient de textes illustrés. Enfin, contrairement à

notre hypothèse H4c, le guidage de type marquage typographique de la génération de schémas n'a pas permis aux élèves d'obtenir une meilleure précision de leur monitoring que ceux qui génèrent des schémas sans ce guidage.

**Figure 33.** Moyennes et erreurs-standards moyennes de la précision du monitoring selon chacune des conditions.



Note. \*\*  $p < .010$ .

#### 4.9. Analyses complémentaires

Afin d'examiner les effets des conditions « Génération sans marquage » et « Génération avec marquage » sur les temps de schématisation et les modifications réalisées au sein des schémas, qu'elles soient esthétiques, sémantiques ou globales, des tests de t de student ont été conduits. Pour toutes les mesures, aucune différence significative n'a été révélée par les analyses (voir **Tableau 15**).

**Tableau 15.** Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les temps de schématisation et le nombre de modifications faites sur les schémas.

		Génération sans marquage	Génération avec marquage	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
		<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Temps de schématisation (en secondes)		156.58 (81.71)	141.61 (75.59)	0.65	.518	0.19
Modifications	Esthétiques	4.54 (3.65)	4.43 (4.53)	0.09	.929	0.03
	Sémantiques	5.21 (3.91)	6.09 (3.63)	0.79	.429	0.23
	Globales	9.75 (5.88)	10.52 (6.24)	0.44	.665	0.13

## 5. Discussion

Dans cette étude, nous avons cherché à déterminer les effets de la génération de schémas guidée ou non par un marquage typographique des informations à représenter. Ils ont été testés sur la qualité des schémas générés par des élèves de 5<sup>ème</sup>, leur apprentissage, leur difficulté perçue, leur intérêt situationnel, leur précision du monitoring et les temps d'activité.

### 5.1. Contributions empiriques et théoriques

Différentes études ont montré que des élèves génèrent des schémas de moyenne à bonne qualité lorsqu'ils disposent de guidages (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014). Quand ils ne sont pas aidés, les apprenants n'en génèrent pas nécessairement de bonne qualité (Q. Zhang & Fiorella, 2019). Ainsi, selon nos premières hypothèses, les élèves disposant d'un guidage sous la forme d'un marquage typographique généreraient des schémas de meilleure qualité que ceux n'en disposant pas, quelle que soit leur complexité. De manière intéressante, nos résultats indiquent que le guidage sous la forme d'un marquage

typographique a permis aux élèves de représenter plus d'éléments *uniquement* pour les schémas complexes en termes du nombre d'éléments à générer. Il est possible que, plus le nombre d'éléments à générer au sein d'un schéma est important, plus le processus de sélection de ces informations est complexe pour des collégiens. Dans ce cadre, un guidage de type marquage typographique permettrait de réduire cette complexité et donc d'améliorer la qualité des schémas. Ces résultats pourraient donc suggérer que l'efficacité d'un guidage de type marquage typographique dépend de la complexité du processus de sélection.

Pour autant, nos résultats indiquent que les scores de qualité des schémas sont relativement faibles lorsqu'ils sont complexes. En effet, spécifiquement dans la condition guidée, les apprenants savaient quels éléments devaient être générés puisqu'ils étaient indiqués par une mise en saillance. Or, seulement 53.00% des informations ont été représentées au sein du schéma complexe. Premièrement, ce résultat peut indiquer que les difficultés des élèves ne relèvent pas de la sélection des éléments à générer mais seraient plutôt liées à des difficultés de représentations analogiques des informations. En effet, selon Schmidgall et al. (2020) qui s'appuient sur le modèle de Kosslyn (1994, cité dans Schmidgall et al., 2020), la génération de schémas peut se révéler complexe car les apprenants doivent récupérer en mémoire à long-terme leurs fichiers d'images, les manipuler, les orienter et les transformer. Ce processus permet aux élèves de former une représentation imagée interne et de générer leur schéma. Or, s'ils ont peu de fichiers d'image en mémoire à long-terme ou s'ils ont des difficultés à les manipuler, ils peuvent ne pas produire des schémas de bonne qualité (Schmidgall et al., 2020) et ne pas représenter certaines informations, ne sachant pas *comment* les représenter. Deuxièmement, les analyses complémentaires de cette étude n'ont pas montré de différence entre les conditions génératives en termes de temps de schématisation ou de modifications faites au sein des schémas. Ces résultats suggèrent que ce guidage n'a pas significativement influencé le processus de génération de schémas.

Les élèves ont généré des schémas peu précis lorsqu'ils étaient complexes, qu'ils aient été guidés (42.60%) ou non (30.00%). Le guidage sous la forme d'un marquage typographique des éléments à générer permettrait de diriger l'attention des apprenants vers ces informations (e.g., Lemarié et al., 2008; Lorch, 1989; Lorch et al., 1995) et faciliterait donc le

processus de sélection mais pas le processus d'organisation et il n'aurait donc pas permis d'améliorer significativement la précision des schémas.

Selon la littérature, il est nécessaire de guider l'activité générative pour que cette dernière soit plus efficace sur l'apprentissage qu'un texte illustré (Fiorella & Zhang, 2018). Or, nos résultats n'ont pas montré d'effet bénéfique d'un guidage de type marquage typographique sur la mémorisation des éléments imagés et le transfert. Cette absence d'effet de l'activité sur des mesures d'apprentissage, même lorsqu'elle est guidée, est retrouvée dans certaines études de la littérature (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schwaborn et al., 2011). Dans notre étude, l'inefficacité de l'ajout d'un guidage de type marquage typographique pourrait être liée à la qualité relativement moyenne des schémas générés. En effet, selon *l'effet prévisionnel* des schémas (Schwaborn et al., 2010), meilleure est la qualité des schémas générés, meilleur est l'apprentissage des apprenants.

Nos résultats ont montré un effet négatif du guidage de type marquage typographique à la génération de schémas sur la mémorisation des éléments non-marqués. En effet, ces derniers ont été moins bien mémorisés. La littérature a montré que les marquages typographiques pouvaient entraîner un traitement plus superficiel des informations non marquées (e.g., Yeari et al., 2017) mais très peu d'études, à notre connaissance, ont présenté des effets négatifs (e.g., Glynn & Di Vesta, 1979). Colliot et Jamet (2021) ont récemment introduit la notion *d'effet de traitement ciblé* ; l'attention vers les éléments qui ne sont pas signalés au sein d'un document étant plus faible, leur mémorisation serait diminuée. Les résultats de notre étude pourraient ainsi aller dans ce sens.

En accord avec la littérature (e.g., Schmeck et al., 2014), nos résultats ont montré que l'activité de génération de schémas est coûteuse en termes de temps. Les élèves qui généraient des schémas ont passé environ deux fois plus de temps à réaliser l'activité que ceux qui disposaient d'un texte illustré. En revanche, il est intéressant de constater que le guidage de type marquage typographique a permis de réduire significativement les temps d'activité comparé aux élèves qui généraient des schémas sans ce guidage. Ainsi, contrairement à certains types de guidage de la génération de schémas, comme la comparaison du schéma généré à une illustration fournie (e.g., Van Meter, 2001; Van Meter

et al., 2006), le marquage typographique a permis de réduire les temps d'activité en facilitant le processus de sélection des éléments à générer au sein des schémas.

La génération de schémas peut être complexe et certaines études ont montré qu'elle pouvait entraîner une importante charge cognitive (e.g., Leutner et al., 2009). Pour autant, guider cette activité permettrait de réduire la charge cognitive extrinsèque qu'elle induit (Fiorella & Zhang, 2018). Contrairement à notre première étude, nos résultats n'ont pas montré d'effet négatif de la génération de schémas, qu'elle soit guidée ou non, sur la difficulté perçue des apprenants. Ces résultats sont retrouvés dans certaines études de la littérature mais ces dernières étaient réalisées auprès d'étudiants (e.g., L. Lin et al., 2017). À la différence la précédente étude, la première étape de la formation des tsunamis était présentée sous la forme d'un texte illustré. Elle permettait de fournir une représentation visuelle des plaques tectoniques et des coupes transversales de la terre aux élèves avant qu'ils ne génèrent leurs schémas. Cette aide a pu réduire la difficulté perçue des apprenants lors de leur activité générative non guidée.

De manière exploratoire, nous avons examiné les effets des conditions de notre étude sur l'intérêt situationnel des élèves. Nos résultats n'ont révélé aucune différence significative entre les conditions. Par ailleurs, comme dans notre première étude, les statistiques descriptives montrent que les élèves ont reporté un haut niveau d'intérêt situationnel, quelle que soit la condition. Ces hauts résultats pourraient être liés à l'utilisation des tablettes numériques avec stylet pour lesquelles les collégiens ont une perception positive (voir Amadiou & Tricot, 2020; Mulet et al., 2019, pour des revues de la littérature).

Nos résultats ont montré que seuls les élèves qui généraient des schémas avec un guidage ont eu monitoring plus précis que ceux qui disposaient d'un texte illustré. Selon Van Meter et Firetto (2013), les guidages de la génération de schémas peuvent avoir une fonction de feedback d'autorégulation car ils montrent aux apprenants leurs erreurs de compréhension et pourraient donc améliorer les processus métacognitifs. Ces résultats pourraient suggérer que la génération de schémas améliore la précision du monitoring de collégiens en classe de cinquième *uniquement* lorsqu'elle est guidée par un marquage typographique.

## 5.2.Limites et perspectives de recherche

Cette étude comporte différentes limites. Premièrement, nos mesures ne permettent pas de s'assurer que les élèves ont bien dirigé leur attention vers les éléments clés mis en gras dans le document. Il serait nécessaire de réaliser cette recherche en incluant des mesures d'eye-tracking et d'examiner les processus cognitifs mis en œuvre lors de la génération de schémas. Deuxièmement, nous avons uniquement mesuré la difficulté perçue dans cette étude. Pour évaluer de manière plus précise la charge cognitive induite par cette activité, une mesure d'effort mental investi aurait été nécessaire.

Cette recherche testait les effets d'une nouvelle forme de guidage de la génération de schémas, en la comparant à une activité de génération de schémas sans ce type de guidage et à un texte illustré. Nos résultats n'ont pas montré d'effets positifs d'un guidage de type marquage typographique sur l'apprentissage. Au contraire, ce dernier a eu un effet délétère sur la mémorisation des éléments qui n'étaient pas mis en gras dans le texte. Par contre, il est intéressant de constater que ce type de guidage a permis d'améliorer la précision du monitoring des élèves et de réduire les temps d'activité des apprenants. Des études supplémentaires seraient nécessaires afin d'étudier de manière plus approfondie les effets de ce type de marquage sur les processus métacognitifs des apprenants.

Un résultat intéressant de cette étude concerne l'effet positif du guidage de type marquage typographique sur le nombre d'éléments représentés *uniquement* au sein du schéma le plus complexe en termes d'informations à générer. Ce résultat pourrait suggérer que l'efficacité d'un guidage de type marquage typographique dépend de la complexité du processus de sélection des éléments à générer. Il serait donc intéressant de mener davantage d'études sur un matériel plus complexe, en proposant ce type de guidage. En outre, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux effets des guidages de la génération de schémas selon la complexité des schémas à générer, que ce soit en termes de nombre d'éléments à représenter ou en termes de représentation analogique.

### 5.3.Conclusion

Globalement, cette étude montre une nouvelle fois que la génération de schémas non guidée n'améliore pas l'apprentissage des collégiens. Ces travaux montrent également certains effets positifs et parfois paradoxaux d'un guidage de type marquage typographique lors de la génération de schémas. Les élèves sont davantage conscients de la qualité de leur apprentissage lorsqu'ils produisent des schémas à l'aide d'un guidage de type marquage typographique. Pour autant, malgré la présence de ce guidage, les collégiens génèrent des schémas de faible qualité. Les résultats de notre étude pourraient suggérer que les apprenants rencontrent des difficultés quant aux représentations analogiques des informations à représenter. Ces difficultés peuvent être réduites en proposant des éléments visuels prédéfinis à générer, comme l'ont proposé certaines études (e.g., Hellenbrand et al., 2019; Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2010). En revanche, ce type de guidage ne permet pas aux élèves d'avoir des feedbacks quant aux schémas qu'ils génèrent.

Pour fournir des feedbacks sur la construction et la précision des schémas réalisés par les élèves, il est envisageable de leur proposer un travail collaboratif avec des pairs. La collaboration entre deux ou plusieurs élèves lors de la génération de schémas pourrait ainsi faciliter l'activité de génération. Les élèves, au cours de leurs échanges, pourraient se donner des feedbacks réciproques sur leurs schémas et donc augmenter leur qualité. De plus, les discussions et les échanges entre les membres d'un groupe lors de la génération d'un contenu serait plus bénéfiques sur l'apprentissage que la génération individuelle d'un contenu (Chi & Wylie, 2014). Ainsi, les effets d'une situation collaborative de génération de schémas ont été testés dans la troisième étude de cette thèse.

## Chapitre 7. Étude 3. Faciliter la génération de schémas par la collaboration entre élèves : comparaison d'une activité de génération de schémas individuelle à une activité collaborative

### 1. Introduction

Nos deux précédentes études n'ont pas montré d'effets bénéfiques des guidages individuels de la génération de schémas sur les mesures d'apprentissage. De plus, dans notre deuxième étude, malgré la mise en saillance des éléments à générer, les élèves n'ont pas représenté l'ensemble des informations au sein de leurs schémas. Nos résultats indiquent donc que les élèves peuvent avoir des difficultés dans la représentation analogique des éléments et ne savent pas où les représenter. Les guidages de type figures prédécoupées à insérer au sein d'une illustration de fond (cf., Fiorella & Zhang, 2018) pourraient remédier à cette difficulté. Toutefois, ils n'ont pas toujours d'effets bénéfiques sur l'apprentissage des apprenants (Cromley et al., 2020). Dans ce contexte, d'autres formes de supports doivent être testées. La littérature indique que la présence fictive ou non d'autrui pourrait intervenir comme un support de l'activité générative (Fiorella et al., 2019, 2020; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Fiorella & Mayer, 2015, 2016a; Gijlers et al., 2013). De plus, dans leur méta-analyse, Cromley et al. (2020) ont montré que la génération collaborative de schémas avait des effets sur la mémorisation des apprenants avec une taille d'effet importante. Dans ces études, des élèves de primaire ou collègue généraient des schémas, à deux, sur des tablettes numériques avec stylet.

Les travaux de l'ICAP (Chi et al., 2018; Chi & Wylie, 2014) présentent une hiérarchisation de quatre conceptions/paradigmes d'apprentissage : passif < actif < constructif < interactif (voir chapitre 3). Nos deux précédentes études ont permis de tester les effets d'un mode constructif au travers de la génération de schémas. Le mode interactif renverrait à une activité de génération collaborative de schémas et serait plus bénéfique pour l'apprentissage grâce aux discussions et aux interactions entre élèves, ce qui leur

permettraient de créer des connaissances qu'un individu seul n'aurait pas pues avoir. Dans ce sens, une récente méta-analyse a montré que les interactions entre élèves avaient des effets bénéfiques sur l'apprentissage par rapport à des élèves travaillant seuls (Tenenbaum et al., 2020).

Différents processus sociocognitifs et cognitifs peuvent expliquer les mécanismes de la génération collaborative de schémas. En se basant sur la théorie du conflit sociocognitif (Doise & Mugny, 1997), faire travailler des apprenants en groupe sur des documents identiques leur permettrait de les comprendre de plusieurs manières, les conduisant à confronter leur point de vue alternatifs (Buchs, Butera, & Mugny, 2004). Cela serait bénéfique pour l'apprentissage (Doise et al., 1998; Gilly, 1989). En outre, lors de la génération de schémas, ces différents points de vue sur les informations à générer (comment les représenter et à quel endroit) pourraient leur permettre de produire des schémas de meilleure qualité.

La génération collaborative de schémas serait également bénéfique car elle permettrait aux groupes d'élèves de créer un modèle mental partagé de la tâche, qui correspond à des « *structures de connaissances ou informations détenues en commun* » (Kozlowski & Ilgen, 2006, p.83, notre traduction) et qui a des effets bénéfiques sur les performances collectives (e.g., Mathieu et al., 2000). Une forme spécifique des modèles mentaux partagés est la mémoire transactive, initialement proposée par Wegner (1986). Il s'agit d'un système partagé qui permet de libérer des capacités en mémoire individuelle (E. Michinov & Michinov, 2013; Ren & Argote, 2011). De plus, des études ont montré que le développement d'un système de mémoire transactive était relié à de meilleures performances académiques lors d'un travail en groupes d'étudiants (e.g., N. Michinov & Michinov, 2009). Ces capacités libérées en mémoire lors d'apprentissage collaboratif sont également proposées dans la théorie de la charge cognitive collaborative (P. A. Kirschner et al., 2018). Selon cette dernière, au travers de la formation d'une mémoire collective de travail (F. Kirschner et al., 2009a, 2009b; F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2014), les apprenants en groupe disposeraient de plus de capacités individuelles en mémoire de travail pour traiter un document complexe. La génération collaborative de schémas serait donc bénéfique car, grâce à ces capacités libérées, les apprenants seraient plus efficaces : ils

reporteraient moins d'effort mental et auraient de meilleures performances d'apprentissage que des élèves travaillant seuls.

Pour terminer, lors de travaux collaboratifs, les élèves peuvent se donner des feedbacks et s'encourager à réviser leurs schémas (Ainsworth & Scheiter, 2021). En outre, l'apprentissage est régulé de trois manières : autorégulation, corégulation et régulation socialement partagée de l'apprentissage. Cette dernière aurait des effets bénéfiques sur l'apprentissage (Järvelä et al., 2016). En groupes, l'apprentissage est régulé grâce à des cycles pendant lesquels les élèves mettent en place des processus de monitoring collectifs (Hadwin et al., 2017). Cette régulation conjointe de leur apprentissage pourrait avoir des incidences sur leur monitoring individuel (King, 2007). Ainsi, la génération collaborative de schémas permettrait aux apprenants de mieux comprendre les standards de la tâche et de détecter leurs incompréhensions.

Au regard de ces différents éléments théoriques, la collaboration entre élèves lors de la génération de schémas pourrait permettre de réduire l'effort mental et la difficulté perçue des apprenants, d'améliorer la qualité des schémas générés, l'apprentissage et la précision de leur monitoring. Par ailleurs, les activités collaboratives ont des effets bénéfiques sur la satisfaction des apprenants et l'intérêt situationnel des élèves vis-à-vis de la tâche (e.g., Lo, 2010; Plass et al., 2013). En effet, lors de travaux de groupe, la perspective motivationnelle est une composante majeure car, pour atteindre un but, les apprenants doivent s'encourager (e.g., Slavin, 2014). D'autres études montrent que les discussions influencent la motivation intrinsèque des apprenants dans le contexte d'apprentissage basé sur des problèmes (voir Dolmans & Schmidt, 2006). Ainsi, les effets de la génération collaborative de schémas seront étudiés sur l'intérêt situationnel des collégiens.

Cette étude a donc pour objectif de répondre à trois questions de recherche :

1. Apprend-on mieux seul ou à deux lors d'une activité de génération de schémas ?
2. Comment les binômes d'élèves génèrent-ils leurs schémas ?
3. Certains binômes d'élèves réussissent-ils mieux que d'autres ?

La première question de recherche vise à déterminer si la collaboration peut intervenir comme un support de la génération de schémas. Les deux dernières questions de recherche ont pour but d'expliquer les résultats liés à la première question de recherche et de savoir quels guidages de la collaboration peuvent être mis en place pour favoriser cette activité.

Dans cette troisième étude, des collégiens en classe de 5<sup>ème</sup> ont travaillé à partir de tablettes numériques avec stylet sur un document traitant de la formation des tsunamis. Les effets de la génération de schémas dans des situations individuelles et collaboratives ont été étudiés sur l'effort mental, la difficulté perçue, la qualité des schémas générés selon leur complexité, l'apprentissage, les temps d'activité, l'intérêt situationnel et la précision du monitoring des collégiens. Dans la première condition (condition « Génération individuelle »), les élèves devaient générer seuls des schémas à partir de textes. Dans la seconde condition (condition « Génération collaborative »), des binômes d'élèves devaient générer ensemble des schémas à partir de textes. Pour ce faire, chacun des élèves disposait d'une tablette numérique et d'un stylet et ils produisaient leurs schémas au moyen d'un espace partagé de génération.

## 2. Hypothèses

H1 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » rapportent moins d'effort mental et de difficulté perçue que les élèves en condition « Génération individuelle ».

H2 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » tracent des schémas de meilleure qualité que les élèves en condition « Génération individuelle ». Les travaux de Kirschner (e.g., F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011; P. A. Kirschner et al., 2018) indiquant que les bénéfices du travail collaboratif dépendent de la complexité du document, l'effet positif de la génération collaborative devrait être plus important pour les schémas complexes.

H3 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » obtiennent de meilleures performances de mémorisation des éléments imagés et de transfert

que les élèves en condition « Génération individuelle ». La mémorisation des éléments textuels n'ayant jamais été mesurée dans le contexte de la génération collaborative de schémas, les effets de l'activité générative sur cette mesure ont été étudiés de manière exploratoire.

H4 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » prennent plus de temps à réaliser l'exercice que les élèves en condition « Génération individuelle ».

H5 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » reportent plus d'intérêt situationnel que ceux en condition « Génération individuelle ».

H6 : Nous attendons que les élèves en condition « Génération collaborative » aient un monitoring plus précis que ceux en condition « Génération individuelle ».

### 3. Méthode

#### 3.1. Participants et plan expérimental

Au total, 119 élèves en classe de 5<sup>ème</sup> de deux collèges de l'Académie de Rennes ont participé volontairement à cette étude. Des formulaires de consentement étaient distribués aux collégiens et à leurs parents avant le début des passations. En raison de problèmes techniques avec le matériel (e.g., déconnexion du réseau autonome, erreurs de l'application Kassis), 24 élèves ont dû être exclus des analyses. Sept collégiens ont également travaillé seuls alors qu'ils étaient affectés à la condition collaborative ou étaient accompagnés d'une auxiliaire de vie scolaire et leurs réponses ont été retirées des analyses. Dix élèves n'ayant pas réalisé tout l'exercice ou n'étant pas présents en première session ont aussi été enlevés des analyses. Ainsi, 78 participants (38 garçons et 40 filles) âgés en moyenne de 12.73 ans ( $E.T. = 0.56$ ) ont été pris en compte dans les analyses. Ils étaient répartis aléatoirement dans deux conditions : 1) « Génération individuelle » ( $n = 28$ ) et 2) « Génération collaborative » ( $n = 50$ ). La taille d'échantillon requise a été calculée au moyen du G\*Power (Faul et al., 2009)

avec une taille d'effet moyenne de .05, un alpha à .05 et une puissance de .95 pour un test t de student. L'échantillon idéal indiqué était de 176 participants, mais en raison des contraintes de terrain, ce dernier n'a pas pu être respecté.

## 3.2. Matériel

### 3.2.1. Document d'entraînement

Avant de démarrer l'activité d'apprentissage, les élèves ont pu s'entraîner sur un document pédagogique traitant de la photosynthèse contenant 57 mots. Il se décomposait en quatre diapositives (**Annexe 10**).

Une première diapositive présentait une consigne différente en fonction de la condition expérimentale. En condition « Génération individuelle », les élèves devaient lire le texte puis passer à la diapositive suivante. En condition « Génération collaborative », les élèves devaient lire le document, puis, une fois que leur partenaire avait terminé, passer à la diapositive suivante. Elle était suivie d'une diapositive présentant un texte seul sur la photosynthèse commune à toutes les conditions.

Dans une troisième diapositive, les élèves disposaient d'une consigne adaptée à leur condition expérimentale. En condition « Génération individuelle », les élèves devaient générer seuls les éléments du texte pour compléter le dessin sur la partie droite de la diapositive. En condition « Génération collaborative », les élèves avaient à générer ensemble les éléments du texte pour compléter le dessin sur la partie droite de la diapositive. Pour ce faire, ils devaient partager leurs idées et communiquer. Pour terminer, tous les élèves disposaient d'une diapositive avec le texte sur la photosynthèse sur la partie gauche de la diapositive et d'une figure de fond pour les aider à générer leur schéma sur la partie droite. La présentation de ce document d'entraînement était similaire à celle proposée dans le document pédagogique d'apprentissage.

### 3.2.2. Document pédagogique

Pour l'activité d'apprentissage, les élèves travaillaient sur un document pédagogique traitant de la formation des tsunamis sur lequel nous avons réalisé des modifications comparées aux études 1 et 2. Au total, le document comprenait 22 diapositives : 11 diapositives présentaient des consignes, quatre diapositives présentaient des textes seuls, quatre diapositives présentaient des textes accompagnés de figure de fond pour générer des schémas, une diapositive présentait un texte illustré et deux diapositives présentaient une introduction et une conclusion (voir **Annexe 11**).

Premièrement, une **introduction** à la formation des tsunamis (46 mots) était présentée sur une diapositive et elle précisait aux élèves qu'après l'activité, des questions sur leur apprentissage leur seraient posées. La présentation de l'introduction était la même pour tous les élèves.

Deuxièmement, la **première étape de la formation des tsunamis** (67 mots ; les failles sous l'océan) était présentée sous la forme d'un texte illustré dans les deux conditions de cette étude. Comme dans notre deuxième étude, cette étape permettait de fournir une représentation visuelle de la faille, des compartiments rocheux et des coupes transversales de la Terre. Cette diapositive était précédée d'une diapositive commune à l'ensemble des conditions présentant une consigne stipulant aux élèves de lire attentivement le texte et de regarder l'image à droite (voir **Figure 34**).

**Figure 34.** Diapositives de consigne et de l'étape 1 de la formation des tsunamis.

Consigne : Lis attentivement le texte et regarde l'image à droite.

Quand tu auras terminé, attends la diapositive suivante.

Étape 1 : Les failles sous l'océan

La surface de la Terre est constituée de compartiments rocheux qui sont collés les uns aux autres.

L'endroit où les compartiments rocheux se touchent s'appelle la faille. Les failles sont sous l'Océan et sur les continents.

La faille est donc une fracture entre deux compartiments rocheux. À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux.

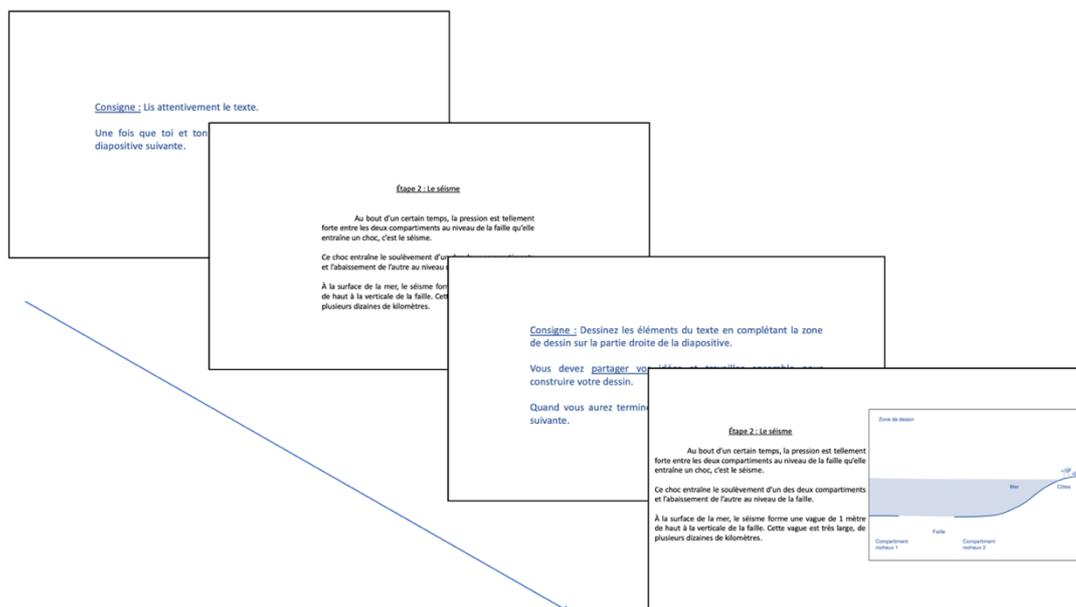
La diapositive suivante présentait une consigne générale aux élèves selon leur condition d'affiliation :

- En condition « **Génération individuelle** », les élèves avaient la consigne : « *Maintenant, tu vas lire quatre textes sur quatre diapositives différentes. Après chacun des textes, tu devras construire un dessin sur la diapositive suivante. Au total, tu vas réaliser quatre dessins. Lis bien les consignes.* »
- En condition « **Génération collaborative** », les élèves avaient la consigne : « *Maintenant, vous allez lire quatre textes sur quatre diapositives différentes. Après chacun des textes, vous devrez construire ENSEMBLE un dessin sur la diapositive suivante. Au total, vous allez réaliser quatre dessins. **Aidez-vous l'un l'autre, échangez vos idées et discutez pour créer ensemble vos dessins.** Lisez bien les consignes. »*

Par la suite, **l'étape 2** (le séisme, 81 mots), **l'étape 3** (la séparation de la vague, 71 mots), **l'étape 4** (la propagation des vagues du tsunami, 61 mots) et **l'étape 5** (le déferlement, 25 mots) de la formation des tsunamis étaient présentées. Pour chacune de ces étapes, les élèves disposaient de :

1. Une diapositive « consigne de lecture » qui différait selon la condition expérimentale :
  - En **condition « Génération individuelle »**, les élèves avaient la consigne : « *Lis attentivement le texte. Une fois la lecture terminée, passe à la diapositive suivante* ».
  - En **condition « Génération collaborative »**, les élèves avaient la consigne : « *Lis attentivement le texte. Une fois que toi et ton partenaire aurez terminé, passez à la diapositive suivante* ».
2. Une diapositive présentant le texte seul sur lequel une des étapes de la formation des tsunamis était décrite (Diapositive « texte »). Elle était commune dans les deux conditions.
3. Une diapositive présentant une consigne de génération différente selon la condition expérimentale (Diapositive « consigne de génération de schémas ») :
  - En **condition « Génération individuelle »**, les élèves avaient pour consigne : « *Dessine les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.* ».
  - En **condition « Génération collaborative »**, les élèves avaient pour consigne : « *Dessinez les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive. Vous devez partager vos idées et travailler ensemble pour construire votre dessin. Quand vous aurez terminé, vous pourrez passer à la diapositive suivante.* ».
4. Une diapositive présentant le texte à gauche (le même que dans la diapositive « texte ») et une figure de fond à droite sur laquelle les élèves pouvaient générer leur schéma (Diapositive « génération de schémas »). Elle était commune dans toutes les conditions (voir **Figure 35**).

**Figure 35.** Exemple de la présentation des diapositives "consignes de lecture", "texte", « consignes de génération de schémas » et "génération de schémas" en condition collaborative.



Pour terminer, la sixième diapositive (64 mots) présentait une **conclusion** aux apprenants sous la forme d'un texte et d'une photo. Elle était précédée d'une diapositive présentant une consigne de lecture aux élèves. Elles étaient présentées de la même manière dans les deux conditions. Au total, le document pédagogique était composé de 415 mots (sans les consignes).

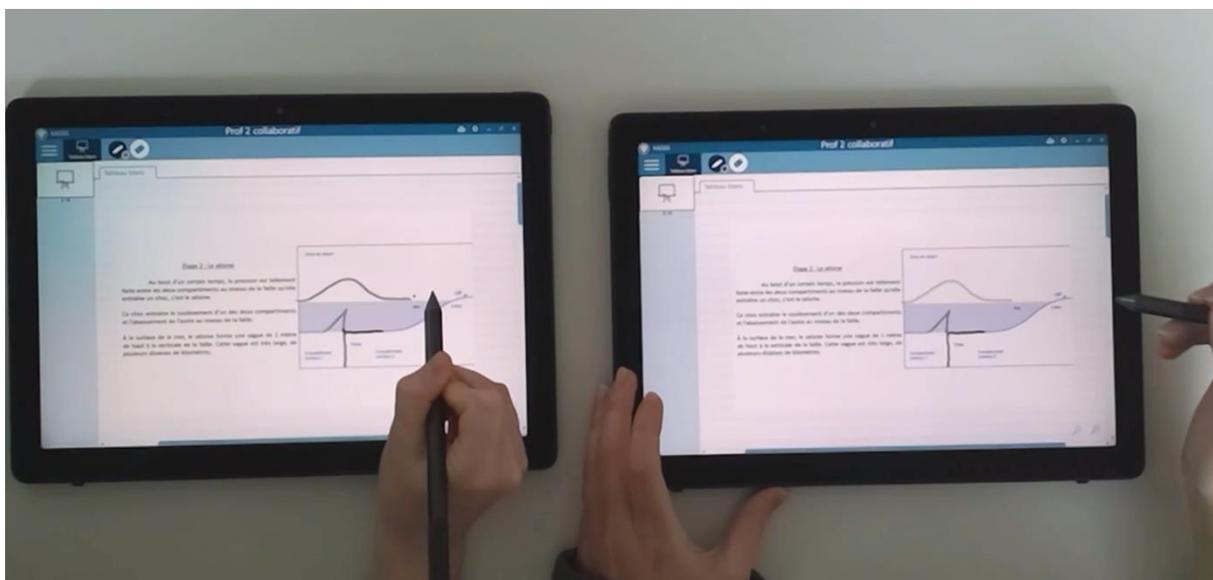
### 3.2.3. Tablettes numériques avec stylet et application

Les mêmes tablettes avec stylet fournies dans la première et deuxième étude ont été utilisées pour cette expérimentation. En revanche, des modifications de l'interface de l'application Kassis ont été réalisées. Les élèves pouvaient tracer des traits au moyen de l'outil « crayon » avec une couleur grise ou noire et avec des épaisseurs différentes. Ils disposaient également de l'outil « gomme » qui effaçait les traits par tracés. Enfin, les élèves pouvaient faire autant d'allers-retours entre les diapositives qu'ils le souhaitaient au moyen de vignettes placées sur le côté gauche. Grâce à l'application, les élèves pouvaient travailler seuls ou

simultanément à plusieurs, c'est-à-dire qu'ils pouvaient créer un schéma commun en disposant chacun d'une tablette (voir **Figure 36**).

Tous les tracés des élèves pouvaient ainsi être retransmis sur la tablette de leur partenaire. De même, les élèves pouvaient effacer ce qu'avait fait leur partenaire. Afin de permettre le partage des schémas entre deux élèves, un réseau autonome constitué d'un raspberry, d'un point d'accès wifi et d'un routeur était mis en place.

**Figure 36.** Utilisation des tablettes numériques et des stylets lors du travail de génération collaborative de schémas.



### 3.3. Mesures

#### 3.3.1. Variables contrôles

Les variables contrôles mesurées étaient identiques à celles des études 1 et 2. Ainsi, **les compétences perçues en SVT, la compréhension en lecture** (Aubret & Blanchard, 1991), **les capacités visuo-spatiales** (Vandenberg & Kuse, 1978), et **les connaissances préalables** sur la formation des tsunamis ont été évaluées.

### 3.3.2. Variables dépendantes

#### 3.3.2.1. L'effort mental et la difficulté perçue

L'effort mental perçu des élèves a été évalué au moyen d'un item traduit et adapté en français sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 « *Non, pas du tout d'accord* » à 7 « *Oui, tout à fait d'accord* » (« *J'ai dû faire beaucoup d'efforts pour réaliser cette activité* ») (Paas, 1992). Les deux items de difficulté perçue étaient les mêmes que dans les études 1 et 2 (Kalyuga et al., 1999). Les analyses révèlent une bonne fiabilité pour cette échelle ( $\alpha = .77$ ).

#### 3.3.2.2. La qualité des schémas générés

La qualité des schémas générés par les élèves a été appréciée par trois indicateurs. Les deux premiers étaient similaires à ceux des études 1 et 2 de la thèse (scores de présence et précision).

##### *Indicateurs de présence et de précision*

La présence des éléments et leur précision ont été évalués en fonction de la complexité des schémas générés :

- **Schéma complexe** : cinq éléments étaient attendus dans le premier schéma (étape 2 de la formation des tsunamis). Il était le plus complexe en termes de nombre d'éléments à générer et les scores de présence et de précision allaient de 0 à 5.
- **Schémas simples** : ils correspondent aux schémas des étapes 3, 4 et 5 de la formation des tsunamis. Deux éléments étaient attendus dans chacun des schémas des étapes 3 et 4 de la formation des tsunamis. Un élément était attendu dans le schéma de l'étape 5 de la formation des tsunamis. Une somme des scores de présence et de précision pour chacun de ces schémas a été calculée donnant des scores de présence et de précision des schémas simples allant de 0 à 5.

Au total, les élèves devaient générer 10 éléments (voir **Annexe 4**) et les scores de présence et de précision ont ensuite été convertis en pourcentages de réussite des schémas. Un double codage a été effectué sur 43.60% des données pour les scores de présence et de

précision. Les accords inter-juges calculés avec des Alphas de Krippendorff pour la présence  $\alpha = .99$  et la précision  $\alpha = .99$  sont bons.

#### *Évaluation d'enseignant de Sciences de La Vie et de la Terre*

Un nouvel indicateur a été pris en compte dans cette étude avec l'évaluation par un enseignant en SVT. Cet indicateur a permis d'avoir de nouveaux indices de qualité des schémas comme par exemple la prise en compte des proportions des éléments attendus. Cette mesure est également plus proche d'une évaluation de terrain.

La grille de cotation a été construite par l'enseignant et diffère donc de celle que nous avons proposée. Pour chacun des schémas, l'enseignant notait la représentation de trois éléments attendus selon trois critères : non réalisé (0 point), partiellement réalisé (1 point) et conforme (2 points). Ainsi, chacun des schémas était noté sur six points, donnant un score global de qualité des schémas de 24. Par conséquent, les scores pour le schéma complexe pouvaient aller de 0 à 6. Pour les schémas simples, les scores pouvaient aller de 0 à 18. L'ensemble des scores a ensuite été converti en pourcentage de réussite des schémas.

Pour le schéma complexe, les analyses de corrélations (coefficient de Spearman) révèlent que l'évaluation de l'enseignant corrèle de manière significative avec les scores de présence,  $r = .62$ ,  $p < .001$  et de précision,  $r = .63$ ,  $p < .001$ . Concernant les schémas simples, elles montrent que l'évaluation de l'enseignant corrèle de manière significative avec les scores de précision,  $r = .41$ ,  $p = .002$ , mais pas de présence,  $r = .24$ ,  $p = .079$ .

#### 3.3.2.3. Mesures d'apprentissage

La **mémorisation des éléments imagés** était mesurée au moyen de six items où chaque bonne réponse était codée 1 et chaque mauvaise réponse était codée 0. Ces scores allaient donc de 0 à 6. La **mémorisation des éléments textuels** était évaluée au moyen de cinq items, où chaque bonne réponse était codée 1 et chaque mauvaise réponse était codée 0. Ces scores allaient donc de 0 à 5. Les cinq questions de **transfert** étaient similaires à celles des études 1 et 2, avec des scores allant de 0 à 5.

#### 3.3.2.4. Les temps d'activité

Les temps (en secondes) ont été recueillis sur les diapositives « génération de schémas » et « texte ».

#### 3.3.2.5. L'intérêt situationnel

Comme dans nos études 1 et 2, l'intérêt situationnel des élèves vis-à-vis de l'exercice et de la thématique a été évalué au moyen de six items sur une échelle de Likert en 7 points tirés de l'échelle de Rotgans et Schmidt (2014). Les analyses révèlent une fiabilité acceptable pour cette échelle ( $\alpha = .73$ ).

#### 3.3.2.6. La précision du monitoring

Comme dans les deux premières études, les élèves répondaient immédiatement après l'activité à un item de jugement d'apprentissage traduit et adapté pour des élèves de 5<sup>ième</sup> sur une échelle de Likert en 7 points (Schleinschok et al., 2017). Par la suite, cet item était converti sur une note sur 20 et les trois mesures d'apprentissage des élèves ont été additionnées. Leur somme était ensuite convertie sur 20. La note de jugement d'apprentissage était soustraite par la note d'apprentissage des élèves, donnant un score de précision du monitoring qui correspond à l'écart entre le score d'apprentissage perçue et le score d'apprentissage réel. Ainsi, plus ce score est proche de 0, meilleure est la précision du monitoring.

#### 3.3.3. Mesures des processus de collaboration durant l'activité de génération

Pour répondre aux deux dernières questions de recherche, certains indicateurs des processus de collaboration ont été recueillis *uniquement* dans la condition « Génération collaborative ».

### 3.3.3.1. Répartition du travail de schématisation entre partenaires

Les membres d'un binôme disposaient d'une couleur différente tout au long de l'activité, ce qui a permis de distinguer l'investissement de chacun dans la production finale des schémas. Pour rappel, un total de 10 éléments était attendu au sein des schémas : 5 pour le schéma complexe et 5 pour les schémas simples. Chaque élément présent a été codé et attribué à l'élève qui l'a représenté. Ainsi, pour chaque information présente, l'élève du binôme l'ayant produite avait un score de 1 tandis que son partenaire avait 0. Cependant si les deux membres du binôme avaient représenté un élément, alors les deux obtenaient le score de 1. Ainsi, pour chacune des informations représentées, les binômes d'élèves obtenaient soit le score de 1, soit le score de 2. Ce score de 2 permettait d'indiquer la redondance au sein des schémas, c'est-à-dire le nombre d'éléments représentés par les deux élèves au sein de chaque binôme.

Une moyenne du nombre d'éléments représentés par chacun des élèves était également calculée pour le schéma complexe et les schémas simples. Pour déterminer la répartition des tracés au sein de chaque binôme, ces moyennes étaient soustraites et converties en valeur absolue, donnant des scores de groupe allant de 0 à 1. Ce dernier correspondait à l'écart de répartition des tracés pour chaque binôme et plus ces scores étaient proches de 0, plus les élèves s'étaient répartis les tracés au sein de leur schéma de manière équitable.

### 3.3.3.2. Interactions des élèves dans le groupe collaboratif

Un codage des interactions pour chacun des élèves au sein de leur binôme a été réalisé au moyen d'une grille de codage adaptée et traduite de celles proposées par Buchs et Butera (2004) et Buchs et al. (2004). Les interactions ont été évaluées au moyen d'une échelle de Likert en 5 points avec 1 « *Très peu fréquent* » et 5 « *Très fréquent* ».

Un double codage a été effectué sur 36.00% des interactions des élèves en binôme. Les accords inter-juges ont été calculés au moyen de coefficients de corrélation intra-classe pour chacune des sous catégories. En se basant sur les valeurs d'ICCs acceptables selon Koo et Li (2016), l'ensemble de nos ICCs sont bons (voir **Tableau 16** pour une présentation de la grille de codage et des corrélations intra-classe).

**Tableau 16.** Grille de codage des interactions pour chacun des élèves dans leur binôme.

Catégories	Sous-catégories	Exemples	ICC
Interactions centrées sur la tâche	Poser des questions	L'élève demande des explications à son partenaire	.94
	Donner des explications	L'élève explique ce qu'il est en train de faire à son partenaire ou répond à sa question	.93
	Compréhension	L'élève dit ne pas avoir compris ou avoir compris ce que son partenaire va faire ou a fait	.96
	Faire des propositions	L'élève propose de schématiser un élément de telle manière ou de travailler en se répartissant les rôles...	.92
	Argumentations	Après un désaccord, l'élève explique son point de vue à son partenaire	.90
Interactions socio-affectives	Donner des ordres	L'élève donne des ordres à son partenaire	.90
	Critiquer son partenaire	L'élève s'énerve contre son partenaire, l'insulte...	.94
	Donner des encouragements	L'élève dit à son partenaire être content de leur travail	.86
	Imposer son point de vue	Après un désaccord, l'élève impose son point de vue en ne laissant pas la parole à son partenaire	.96
Absence d'interactions		Après avoir lu le texte, les élèves n'interagissent pas ou plus, réalisent le schéma sans discuter	.96
Interactions non reliées à la tâche (off-task)		Les élèves discutent d'autre chose que de l'activité	.91

*Note.* Tous les ICCs sont significatifs à  $p < .010$ .

### 3.3.3.3. Le système de mémoire transactive

Le système de mémoire transactive a été mesuré au moyen de l'échelle du système de mémoire transactive (SMT, Lewis, 2003), validée en français et adaptée en contexte académique pour des étudiants (E. Michinov, 2007). Les items ont toutefois été reformulés pour les adapter à des collégiens. Cette échelle est initialement composée de 15 items dont 4 items inversés sur une échelle de Likert en 5 points allant de 1 « *Non, pas du tout d'accord* » à 5 « *Oui, tout à fait d'accord* » et est constitué de trois sous-composantes (i.e., spécialisation des expertises, confiance dans les expertises et coordination). Les analyses d'alpha de cronbachs pour chaque sous-composante sont mauvaises (spécialisation des expertises,  $\alpha = .43$  ; confiance dans les expertises,  $\alpha = .69$  ; et coordination,  $\alpha = .50$ ). Elles montrent que les items 6 et 12 de notre questionnaire doivent être retirés. En retirant ces deux items, l'analyse factorielle exploratoire montre un ajustement correct aux données,  $\chi^2(78) = .187, p < .001$  (RMSEA = .05 ; TLI = .90). Par conséquent, les analyses ont été conduites à partir du score global de SMT avec 13 items au lieu de 15. L'analyse de fiabilité interne sur le score global est bonne ( $\alpha = .82$ ).

## 3.4. Procédure

Les participants étaient issus de six classes de deux collèges de l'Académie de Rennes et cette étude s'est déroulée sur deux sessions (voir **Figure 37**).

**Figure 37.** Déroulement des passations de l'étude 3

Session 1 : Évaluation des mesures contrôles (1 semaine avant l'activité, 20 minutes)

- Compétences perçues en SVT
- Niveau de compréhension en lecture
- Capacités visuo-spatiales

Session 2 : Activité d'apprentissage (55 minutes)

- Connaissances préalables
- Entraînement sur la photosynthèse (manipulation expérimentale)
- Étude des diapositives d'introduction et de l'étape 1 de la formation des tsunamis sur tablette
- Activité de génération de schémas sur tablette (manipulation expérimentale)
- Jugement d'apprentissage
- Mémorisation des éléments imagés et textuels
- Transfert
- Effort mental et difficulté perçue
- Intérêt situationnel
- Familiarité au sein des groupes (condition "Génération collaborative")
- Mémoire transactive (condition "Génération collaborative")

Lors de la première session, les mesures contrôles ont été recueillies. Les élèves étaient réunis en classe entière dans leur salle de classe avec deux expérimentateurs et ils répondaient individuellement aux différents items. Une fois assis à leur table, un premier livret en version papier leur était distribué sur lequel ils devaient compléter leur identifiant (initiales du prénom et du nom ainsi que leur jour de naissance), leurs données socio-démographiques (genre et date de naissance), les deux items de compétences perçues en SVT et le test de compréhension en lecture pendant 10 minutes. À la suite, trois livrets en version papier leur était distribués face cachée (voir **Annexe 5**). Ils comprenaient des explications et un entraînement pour le test de rotation mentale et les deux parties de ce test. Sur chacun de ces livrets, les élèves devaient compléter leurs identifiants et leurs données socio-démographiques. Les explications et l'entraînement au test de rotation

210

mentale étaient présentés par l'expérimentateur, puis les élèves complétaient les deux parties du test de rotation mentale, chacune pendant trois minutes.

La seconde session s'est déroulée dans les salles de classe des collégiens avec trois expérimentateurs et les élèves étaient répartis dans une des deux conditions expérimentales par classe de 16 maximum. Dans un premier temps, tous les élèves devaient compléter individuellement un livret en version papier contenant les questions de connaissances préalables sur la formation des tsunamis pendant 2 minutes (voir **Annexe 6**). Par la suite, l'activité sur tablette débutait. En condition « Génération individuelle », les élèves devaient générer seuls des schémas à l'aide de textes et de figures de fond sur tablettes numériques avec stilet. En condition « Génération collaborative », les élèves devaient générer, à deux, des schémas à l'aide de textes et de figures de fond en disposant chacun d'une tablette et d'un stilet. Leur tablette était connectée à celle de leur partenaire grâce à un réseau autonome. Les binômes étaient composés d'élèves du même sexe, regroupés par deux selon leur préférence<sup>12</sup>. L'expérimentateur présentait l'ensemble des fonctionnalités de l'application aux élèves, selon leur condition expérimentale. Ensuite, en respectant les consignes spécifiques à leur condition, ils réalisaient en entraînement à partir d'un document traitant de la photosynthèse pendant 5 minutes. Cet entraînement avait pour but de les familiariser avec l'application et l'activité de génération.

Par la suite, ils disposaient de 3 minutes pour lire et étudier l'introduction et la première étape de la formation des tsunamis. L'expérimentateur lisait ensuite les consignes avec les élèves selon leur condition expérimentale et leur montrait la manière dont était présenté le matériel. Pour terminer, ils réalisaient, soit seuls, soit en binôme, l'activité de génération de schémas sur la formation des tsunamis pendant 15 minutes. L'écran de leur tablette et leurs voix (en condition « Génération collaborative ») étaient enregistrés au moyen du logiciel BBflashback®.

---

<sup>12</sup> La familiarité au sein des dyades d'élèves a été mesurée par deux items sur une échelle de Likert en 5 points après l'activité collaborative. Les élèves avaient un haut niveau de familiarité dans leur binôme ( $M = 4.43$  ;  $E.T. = 0.74$ ).

S'ils terminaient avant la fin de l'activité, ils pouvaient lever la main et un livret en version papier leur était donné. Peu importe la condition expérimentale, tous les élèves y répondaient seuls. Il contenait l'item de jugement d'apprentissage, les questions d'apprentissage, les items de difficultés perçues et d'intérêt situationnel leur était fourni en condition « Génération individuelle », ce à quoi étaient ajoutées deux questions de familiarité dans le groupe et les items de mémoire transactive en condition « Génération collaborative » (voir **Annexe 12**). Ils disposaient du temps restant pour y répondre. Au total, les passations duraient 55 minutes.

## 4. Résultats

### 4.1. Analyses statistiques

Les résultats sont présentés en suivant nos questions de recherche et nos hypothèses. Les analyses ont été conduites au moyen du logiciel IBM SPSS version 25 avec un seuil de significativité à .05. Les  $d$  de Cohen ont été calculés avec le logiciel Jamovi. Pour tester les différences entre les conditions sur les différentes mesures, des analyses de  $t$  de student ont été réalisées. Lorsque les conditions d'homoscédaticité n'étaient pas respectées, des tests non-paramétriques  $U$  de Mann-Whitney étaient conduits. Des analyses de corrélations avec des coefficients de Spearman ont également été réalisées. Ce coefficient a été retenu en raison du faible échantillon de participants dans cette étude.

Les analyses statistiques ont été réalisées à deux niveaux :

1) Niveau individuel : Un fichier de données comportant l'ensemble des données de tous les participants ( $N = 78$  ; condition « Génération individuelle »,  $n = 28$  ; condition « Génération collaborative »,  $n = 50$ ) a été utilisé.

2) Niveau groupal : Un fichier de données agrégées ( $N = 53$ ) contenait les données des élèves en condition « Génération individuelle » ( $n = 28$ ) et les données des élèves en condition

« Génération collaborative » agrégées à partir de la moyenne des scores des élèves au sein des binômes ( $n = 25$ ).

#### 4.2. Agrégation des données individuelles au sein des binômes

Dans la condition « Génération collaborative », les apprenants travaillaient en binômes pendant l'activité, mais ils ont répondu individuellement à l'ensemble des questions d'effort mental et de difficulté perçue, d'apprentissage, de jugement d'apprentissage, ainsi que d'intérêt situationnel ou du système de mémoire transactive. Les scores individuels ainsi obtenus ne sont pas indépendants et dépendent des interactions entre les élèves, et ils nécessitent une analyse au niveau groupal (Kenny et al., 2002). Ainsi, les scores individuels de chacun des membres du binôme ont été agrégés pour obtenir un score groupal.

Pour vérifier la possibilité de cette agrégation des données au sein de chaque binôme d'élèves, des coefficients de corrélation intra-classe (ICCs) ont été calculés pour chacune des variables précédemment citées. Pour l'ICC(1), la valeur minimale acceptable est de .10 (James, 1982) et pour l'ICC(2), les valeurs satisfaisantes vont de -.50 à 1 (Bliese, 2000; Kenny et al., 2002). Pour déterminer la variabilité inter-groupes pour l'ensemble des variables, des tests F sont également présentés (**Tableau 17**).

La majorité de nos ICC(2) est inférieure aux valeurs recommandées et la variabilité entre les binômes est non significative pour un certain nombre de mesures. Toutefois, les valeurs des ICC(2) sont supérieures à celles des ICC(1) pour l'ensemble des variables, ce qui les rend acceptables (Bliese, 2000). Ces résultats peuvent être expliqués par la faible taille d'échantillon dans cette étude (Bliese, 2000). Pour les mesures d'effort mental, de difficulté perçue, de mémorisation des éléments imagés, de mémorisation des éléments textuels, d'intérêt situationnel, de précision du monitoring, et d'interactions socio-affectives, les résultats analysés au niveau groupal seront à prendre avec précautions.

**Tableau 17.** Valeurs des ICCs pour chacune des mesures avec agrégation et valeurs des tests *F* associées.

	ICC(1)	ICC(2)	<i>F</i>	<i>p</i>
Effort mental	.310	.473	1.90	.070
Difficulté perçue	.268	.423	1.73	.120
Mémorisation des éléments imagés	.092	.168	1.20	.328
Transfert	.330	.496	1.98	.050
Mémorisation des éléments textuels	.269	.424	1.74	.092
Intérêt situationnel	.086	.158	1.19	.342
Jugement d'apprentissage	.088	.193	0.84	.666
Interactions centrées sur la tâche	.873	.932	14.71	< .001
Interactions socio-affectives	.087	.161	1.19	.353
Absences d'interactions	.872	.905	10.55	< .001
Interactions non reliées à la tâche	.536	.698	3.31	.006
Système de mémoire transactive	.741	.851	6.71	< .001

#### 4.3. Vérification préalable de l'effet des variables contrôles entre les conditions

Les analyses, conduites au niveau individuel ( $N = 78$ ), n'ont pas montré de différence significative entre les conditions pour l'ensemble des mesures contrôles (voir **Tableau 18**). Les résultats sont les mêmes lorsque les analyses sont conduites au niveau groupal.

**Tableau 18.** Moyennes, écarts-types et test *t* de student des variables contrôles (niveau individuel).

	Génération individuelle	Génération collaborative	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Age	12.87 (0.52)	12.65 (0.58)	1.66	.101	0.39
Compétences perçues	4.32 (1.38)	4.63 (1.35)	0.96	.340	0.23
Compréhension en lecture	7.71 (1.70)	8.14 (1.60)	1.10	.274	0.26
Capacités visuo-spatiales	16.54 (8.57)	15.16 (8.53)	0.68	.497	0.16
Connaissances préalables	1.54 (0.92)	1.72 (1.05)	0.77	.440	0.18

#### 4.4. Apprend-on mieux seul ou à deux ?

##### 4.4.1. Effort mental et difficulté perçue

Concernant l'effort mental, deux élèves n'ont pas répondu à l'item. Les analyses ont donc été réalisées avec 28 élèves en condition « Génération individuelle » et 23 binômes d'élèves en condition « Génération collaborative » (niveau groupal ;  $N = 51$ ). Concernant la difficulté perçue, un élève n'a pas répondu aux deux items. Les analyses ont donc été conduites auprès de 28 élèves en condition « Génération individuelle » et 24 binômes d'élèves en condition « Génération collaborative » (niveau groupal ;  $N = 52$ ).

Contrairement à l'hypothèse 1, les élèves qui généraient des schémas de manière collaborative n'ont pas reporté moins d'effort mental et de difficulté perçue que ceux qui les généraient seuls (voir **Tableau 19**). Les résultats ne diffèrent pas lorsque les analyses sont conduites au niveau individuel.

**Tableau 19.** Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures d'effort mental et de difficulté perçue (niveau groupal).

	Génération individuelle	Génération collaborative	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Effort mental	3.36 (1.62)	2.96 (1.20)	0.98	.330	0.28
Difficulté perçue	2.87 (1.75)	2.46 (1.17)	0.99	.326	0.28

#### 4.4.2. La qualité des schémas générés

La qualité des schémas générés correspond à une production individuelle en condition « Génération individuelle » et à une production de groupe en condition « Génération collaborative », l'ensemble des analyses a donc été conduit au niveau groupal (voir **Tableau 20**).

**Tableau 20.** Pourcentages de réussite de qualité des schémas (niveau groupal).

			Génération individuelle	Génération collaborative
Indicateurs de présence et de précision	Schéma complexe	Présence	48.60%	48.80%
		Précision	37.20 %	40.80%
	Schémas simples	Présence	74.20%	84.80%
		Précision	55.80%	64.40%
Évaluation d'enseignant de SVT	Schéma complexe		30.33%	26.00%
	Schémas simples		30.94%	32.67%

Concernant **le schéma complexe**, les analyses n'ont pas mis en évidence de différence significative entre les conditions pour le score de présence,  $t(51) = 0.03$ ,  $p = .976$ ,  $d = 0.01$ , le

score de précision,  $t(51) = 0.46$ ,  $p = .647$ ,  $d = 0.13$ , ou l'évaluation de l'enseignant de SVT,  $t(51) = 0.87$ ,  $p = .386$ ,  $d = 0.24$ . Concernant **les schémas simples**, les analyses n'ont pas montré de différence significative entre les conditions pour les scores de présence<sup>13</sup>,  $U = 291.00$ ,  $p = .262$ , de précision,  $t(51) = 1.00$ ,  $p = .320$ ,  $d = 0.28$ , ou l'évaluation de l'enseignant de SVT,  $t(51) = 0.38$ ,  $p = .706$ ,  $d = 0.10$ .

Contrairement à notre hypothèse 2, la collaboration entre élèves ne leur a pas permis de générer des schémas de meilleure qualité, et ceci quelle que soit leur complexité. Les résultats montrent également que, pour les schémas complexes, la qualité des schémas est relativement faible dans les deux conditions (voir **Annexe 8** pour des exemples de schémas générés par des élèves dans cette étude).

#### 4.4.3. Mesures d'apprentissage

Les analyses présentées dans le **Tableau 21** ont été conduites au niveau groupal ( $N = 53$ ). Contrairement à notre hypothèse 3, les élèves en binôme n'ont pas obtenu de meilleurs scores de transfert et de mémorisation des éléments imagés que les élèves seuls. Par ailleurs, les résultats montrent que les élèves seuls ont obtenu de meilleurs scores de mémorisation des éléments textuels que les élèves en binôme. Les résultats obtenus en réalisant les analyses au niveau individuel ( $N = 78$ ) ne diffèrent pas de ceux obtenus au niveau groupal.

---

<sup>13</sup> Les analyses d'homogénéité des variances réalisées au moyen d'un test de Levene révèlent que cette condition n'est pas respectée,  $F(1, 51) = 12.17$ ,  $p = .001$

**Tableau 21.** Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures d'apprentissage selon les conditions expérimentales (niveau groupal).

	Génération individuelle	Génération collaborative	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Transfert	2.39 (1.37)	1.96 (1.05)	1.28	.207	0.35
Mémorisation des éléments imagés	4.14 (1.24)	3.86 (1.04)	0.90	.375	0.25
Mémorisation des éléments textuels	3.43 (1.10)	2.46 (0.97)	3.38	<.001	0.93

#### 4.4.4. Temps d'activité

En raison d'un problème technique avec le logiciel bbflashback®, les temps d'activité pour un élève en condition « Génération collaborative » n'ont pas pu être codés. Les analyses ont été effectuées au niveau individuel sur 28 élèves en condition « Génération individuelle » et 49 élèves en condition « Génération collaborative » ( $N = 77$ ). En accord avec notre hypothèse H4, elles montrent que les élèves qui génaient des schémas de manière collaborative ont passé plus de temps sur les diapositives « génération de schémas » mais pas sur les diapositives « texte » (voir **Tableau 22**). Les résultats obtenus en analysant les données au niveau groupal ( $N = 52$ ) ne diffèrent pas de ceux obtenus au niveau individuel.

**Tableau 22.** Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures de temps (en secondes) sur les diapositives "génération de schémas" et "texte" selon les conditions expérimentales (niveau individuel).

	Génération individuelle	Génération collaborative	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Temps sur les diapositives « génération de schémas »	372.86 (164.83)	547.00 (157.40)	4.59	< .001	1.09
Temps sur les diapositives « texte »	131.00 (83.44)	131.00 (68.00)	0.01	.992	< .01

#### 4.4.5. L'intérêt situationnel

Un élève n'a pas répondu aux items d'intérêt situationnel. Les analyses ont donc été conduites au niveau groupal auprès de 28 élèves en condition « Génération individuelle » et 24 binômes d'élèves en condition « Génération collaborative » ( $N = 52$ ). Contrairement à notre hypothèse 5, les binômes d'élèves qui généraient des schémas de manière collaborative ( $M = 5.33$ ;  $E.T. = 0.68$ ) n'ont pas reporté davantage d'intérêt situationnel sur l'activité que ceux qui généraient des schémas seuls ( $M = 4.85$ ;  $E.T. = 1.34$ ),  $U = 270.50$ ,  $p = .229^{14}$ . Les analyses conduites au niveau individuel ( $N = 77$ ) montrent un effet marginal des conditions expérimentales sur cette variable,  $t(75) = 1.94$ ,  $p = .056$ ,  $d = 0.46$ .

#### 4.4.6. La précision du monitoring

Un élève n'a pas répondu à l'item de jugement d'apprentissage. Les analyses ont donc été réalisées au niveau groupal avec 27 élèves en condition « Génération individuelle » et 25 binômes d'élèves en condition « Génération collaborative » ( $N = 52$ ). Contrairement à notre

<sup>14</sup> Les analyses d'homogénéité des variances réalisées au moyen d'un test de Levene montrent que cette condition n'est pas respectée,  $F(1, 50) = 6.64$ ,  $p = .013$ .

hypothèse 6, les résultats n'indiquent pas de différence significative de précision du monitoring entre les élèves de la condition « Génération individuelle » ( $M = 2.31$  ;  $E.T. = 4.60$ ) et ceux de la condition « Génération collaborative » ( $M = 3.19$  ;  $E.T. = 3.31$ ),  $t(50) = 0.78$ ,  $p = .437$ ,  $d = 0.22$ . Les résultats des analyses conduites au niveau individuel ( $N = 77$ ) ne diffèrent pas de ceux obtenus au niveau groupal.

#### 4.4.7. Résumé des résultats

Nos hypothèses ne sont pas validées puisque nos analyses n'ont pas révélé d'effet bénéfique de la génération collaborative de schémas sur les différentes mesures effectuées dans cette étude. Pour déterminer dans quelle mesure des guidages doivent être fournis lorsque des élèves travaillent en binômes, des analyses ont été faites pour 1) savoir comment les binômes d'élèves génèrent leurs schémas et 2) si certains binômes d'élèves réussissent mieux que d'autres.

### 4.5. Comment les binômes d'élèves génèrent-ils leurs schémas ?

Pour déterminer comment les binômes d'élèves génèrent leurs schémas, nous avons recueilli des *mesures objectives* et *auto-rapportées* complémentaires. La répartition des tracés entre élèves sur la génération de schémas, les interactions dans les binômes, ainsi que la qualité de leur collaboration perçue ont été recueillies.

#### 4.5.1. La répartition des tracés entre élèves sur la génération de schémas

Les analyses de répartition des tracés entre élèves au sein des schémas ont été réalisées sur 20 binômes pour les schémas simples parmi les 25 groupes dans cette étude (les réponses de 5 binômes n'ont pas pu être analysées car ils ont changé de couleur au cours de l'activité). Pour le schéma complexe, les schémas de seulement 17 binômes ont été analysés (5 binômes ont changé de couleur au cours de l'activité et 3 binômes ont travaillé sur la diapositive mais n'ont pas rendu de production pour ce schéma, ils n'ont donc pas pu être pris en compte dans les analyses).

Pour les schémas simples seulement une ou deux informations étaient attendues au sein de chacune des productions. Une proportion de 32.40% des éléments a été représenté par les deux élèves. Ainsi, les binômes d'élèves ont été relativement redondants dans leurs représentations.

Les analyses sur l'écart de répartition des tracés montrent que 35.00% des binômes d'élèves ont un score de 0, c'est-à-dire que ces élèves se sont répartis de manière complètement équitable les tracés au sein des schémas. On constate que 30.00% des binômes d'élèves ont un score d'écart de répartition des schémas inférieur à .50, c'est-à-dire que la répartition est plutôt égale, malgré le fait qu'un des élèves du binôme a généré un peu plus de tracés que son partenaire. Au total, 25.00% des binômes ont eu un score compris entre .50 et .75, qui indique qu'un élève a représenté la majorité des informations. Pour terminer, dans seulement 10.00% des binômes, un élève a réalisé tous les tracés alors que son partenaire n'a rien fait. Par conséquent, pour les schémas simples, la majorité des élèves au sein de chaque binôme se sont plutôt bien répartis les tracés au sein de leur schéma.

Concernant les schémas complexes, les analyses ont permis de montrer que les élèves avaient été assez peu redondants puisque seulement 10.40% des éléments ont été représentés par les deux élèves.

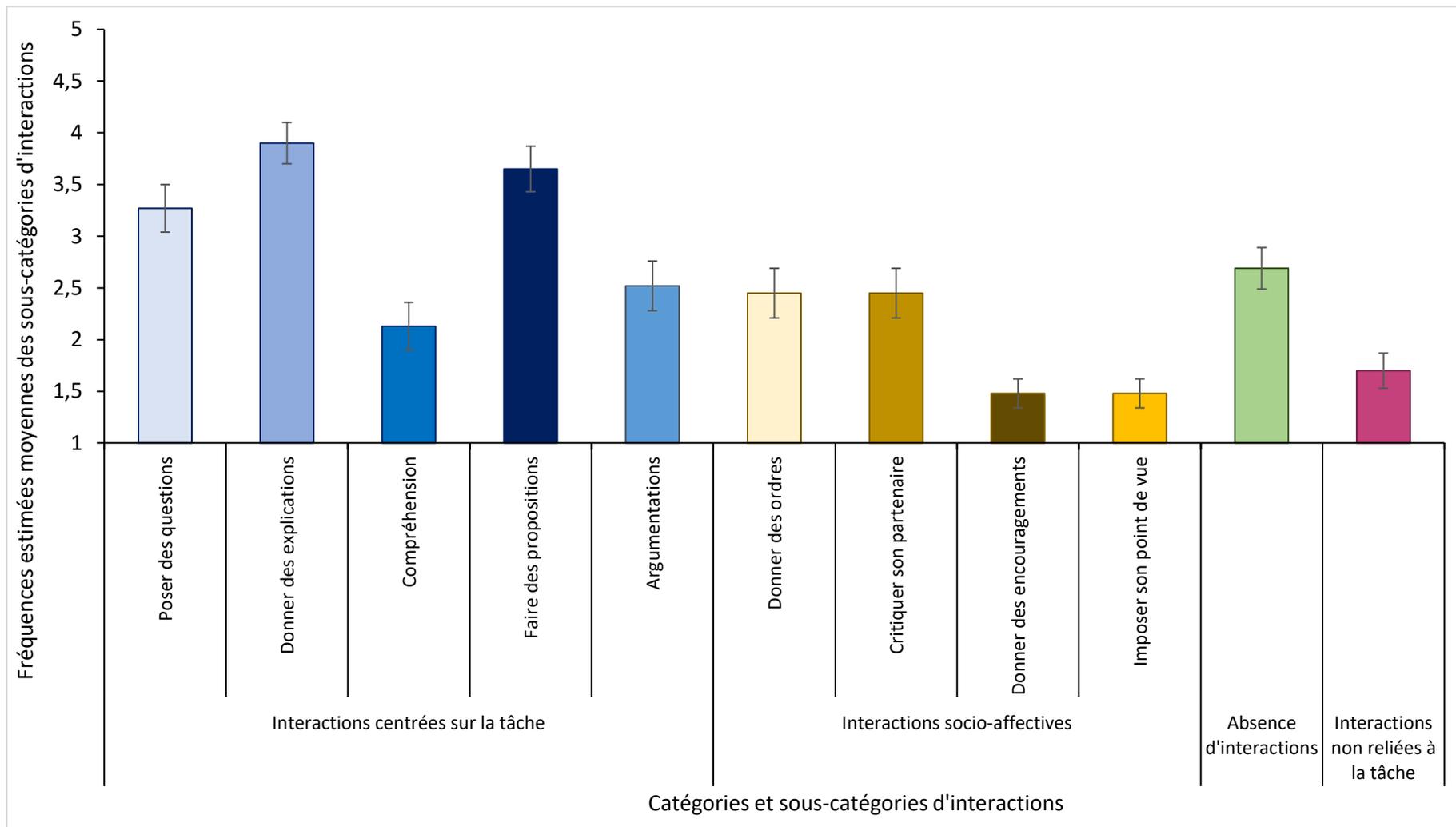
Les analyses sur l'écart de répartition des tracés montrent que seulement 17.60% des binômes d'élèves ont un score de 0, c'est-à-dire qu'ils se sont répartis de manière complètement équitable les tracés au sein des schémas. On constate que 35.30% des binômes d'élèves ont un score d'écart de répartition des schémas compris entre .25 et .50, c'est-à-dire que la répartition est plutôt égale dans les binômes. Une proportion de 29.50% des binômes ont eu un score égal ou supérieur à .50 qui indiquent qu'un élève a représenté la majorité des éléments. Pour terminer, 17.60% des binômes ont eu un score de 1, indiquant qu'un des deux élèves a réalisé tous les tracés au sein du schéma. Globalement, pour les schémas complexes, les élèves se sont répartis les tracés des schémas de manière moins équitable que pour les schémas simples. Toutefois, dans la majorité des binômes, les deux élèves ont participé à la réalisation des tracés.

#### 4.5.2. Les interactions au sein des binômes

Pour déterminer si certains binômes sont meilleurs que d'autres, des mesures objectives ont été relevées en examinant les interactions des élèves au sein de leur binôme. Sur les 25 binômes d'élèves, cinq ont été exclus des analyses car ils n'ont pas fourni de consentement d'enregistrement de la voix ou certains enregistrements étaient inaudibles. Les analyses ont donc été réalisées à partir de 20 binômes d'élèves, soit 40 participants. Pour rappel, les interactions ont été codées pour *chacun* des élèves au sein des binômes selon des jugements et non selon des occurrences d'interactions.

Les analyses descriptives ( $N = 40$ , voir **Figure 38**) indiquent que les élèves au sein de leur binôme ont davantage eu d'interactions centrées sur la tâche, représentées au moyen des sous catégories « poser des questions », « donner des réponses », « compréhension », « faire des propositions » et « argumentations » en comparaison avec les autres catégories, suivi de la catégorie « Absence d'interactions ». Elles montrent également que les élèves ont eu peu d'interactions liées à la compréhension ou d'interactions argumentatives. Pour terminer, il apparaît que les élèves ont eu peu d'interactions socio-affectives, particulièrement sur le fait de se donner des encouragements. De même, ils ont eu peu d'interactions non reliées à la tâche (*off task*).

**Figure 38.** Fréquence estimée des sous-catégories d'interactions.



#### 4.5.3. Qualité de la collaboration

Les analyses sur les scores du système de mémoire transactive (SMT) ont été réalisées sur 48 participants car deux d'entre eux n'ont pas répondu à l'ensemble du questionnaire. Elles montrent que les élèves ont reporté un score global de mémoire transactive modéré ( $M = 3.79$ ,  $E.T. = 0.69$ ).

Des analyses de corrélation de Spearman entre les scores de SMT, de qualité des schémas, d'apprentissage et de précision du monitoring ont été faites au niveau groupal ( $N = 23$ ) et au niveau individuel ( $N = 48$ ). Dans l'ensemble les analyses ne montrent aucune corrélation significative (voir **Annexe 13** pour une présentation des corrélations au niveau groupal).

#### 4.6. Certains binômes d'élèves réussissent-ils mieux que d'autres ?

Afin d'examiner si certains binômes sont plus performants que d'autres, des analyses plus approfondies ont été conduites en se basant sur les interactions des élèves.

##### 4.6.1. Relation entre les scores d'interactions, de qualité des schémas et d'apprentissage

Des analyses de corrélations (coefficients de Spearman) ont été réalisées entre les catégories et sous-catégories d'interactions, les indicateurs de qualité des schémas et les mesures d'apprentissage au niveau groupal ( $N = 20$ ) (voir **Tableau 23**). Les analyses de corrélation conduites au niveau individuel ( $N = 40$ ) conduisent aux mêmes résultats.

Les analyses de corrélation entre la qualité des schémas selon leur complexité et les catégories et sous-catégorie d'interaction révèlent que plus les binômes d'élèves se donnaient des encouragements, meilleurs étaient leurs scores de présence,  $r = .53$ ,  $p = .016$ , et de précision,  $r = .51$ ,  $p = .023$ , pour les schémas complexes. De même, plus ils avaient des interactions non reliées à la tâche, moins ils avaient de bons scores de présence,  $r = -.49$ ,  $p =$

.027 et de précision,  $r = -.49$ ,  $p = .029$ , pour les schémas complexes. Aucune autre corrélation n'est significative.

Pour les mesures d'apprentissage, les analyses montrent que plus les binômes d'élèves avaient des interactions centrées sur la tâche, meilleure était leur mémorisation des éléments imagés (voir **Tableau 23**). Plus précisément, plus ils donnaient des explications et plus ils faisaient de propositions, meilleure était leur mémorisation des éléments imagés. Enfin, moins les élèves avaient d'interactions, moins leurs scores de mémorisation des éléments imagés étaient bons.

Ces résultats indiquent des relations entre les scores d'interactions centrées sur la tâche et l'apprentissage. Pour étudier plus précisément leur impact, une comparaison des binômes à interactions faibles et à interactions élevées a été effectuée.

**Tableau 23.** *Corrélations entre les catégories d'interactions, les scores de qualité des schémas et les mesures d'apprentissage*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1.	-																			
2.	<b>.64**</b>	-																		
3.	<b>.85**</b>	<b>.65**</b>	-																	
4.	<b>.63**</b>	.38	.33	-																
5.	<b>.85**</b>	.27	<b>.72**</b>	<b>.46*</b>	-															
6.	<b>.56*</b>	.03	.38	.07	<b>.56*</b>	-														
7.	.23	.08	.07	.13	.05	<b>.48*</b>	-													
8.	.17	.03	.12	.03	-.05	<b>.49*</b>	<b>.79**</b>	-												
9.	.10	.18	.03	.15	-.11	.12	<b>.84**</b>	<b>.54*</b>	-											
10.	.34	-.14	.20	.15	<b>.47*</b>	.38	.11	.10	-.21	-										
11.	.15	.34	.09	.00	-.11	.31	<b>.68**</b>	<b>.43†</b>	<b>.51*</b>	-.13	-									
12.	<b>-.70**</b>	-.09	<b>-.48*</b>	<b>-.56*</b>	<b>-.76**</b>	<b>-.58**</b>	-.09	-.09	.16	<b>-.43†</b>	.02	-								
13.	-.20	.11	-.34	.09	-.04	-.18	.39	.25	<b>.56**</b>	-.40	.35	<b>.44†</b>	-							
14.	.22	-.17	.17	.06	.26	.34	-.01	.24	-.19	<b>.58**</b>	-.32	-.29	<b>-.52*</b>	-						
15.	.32	-.04	.32	.13	.33	.35	.08	.36	-.05	.36	-.25	-.28	-.41	<b>.81**</b>	-					
16.	.17	.25	.36	-.29	.24	.18	-.12	-.07	-.11	.04	.09	.02	-.14	-.05	.12	-				
17.	<b>.50*</b>	.30	<b>.47*</b>	.32	<b>.47*</b>	.03	.15	-.10	-.14	.29	-.24	<b>-.49*</b>	-.34	.10	.15	-.01	-			
18.	.26	.18	.29	.11	.29	.15	.10	-.01	.30	-.04	-.22	.08	.05	.25	<b>.46*</b>	.21	<b>.39†</b>	-		
19.	.38	.42	.31	.33	.21	-.11	-.27	-.30	-.02	.02	-.28	-.23	.09	.36	.37	-.08	<b>.59**</b>	.20	-	

*Note.* 1. Score global d'interactions centrées sur la tâche. 2. Poser des questions. 3. Donner des explications. 4. Compréhension. 5. Faire des propositions. 6. Argumentations. 7. Score global d'interactions socio-affectives. 8. Donner des ordres. 9. Critiquer son partenaire. 10. Encouragements. 11. Imposer son point de vue. 12. Score global d'absence d'interaction. 13. Score global d'interactions non reliées à la tâche. 14. Présence. 15. Précision. 16. Évaluation de l'enseignant de SVT. 17. Mémorisation des éléments imagés. 18. Transfert. 19. Mémorisation des éléments textuels.

Les corrélations entre les variables 14, 15, 16, 17, 18 et 19 ont été faites sur un échantillon de 25 binômes d'élèves.

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . † $p < .06$ .

#### 4.6.2. Les effets des interactions centrées sur la tâche

Afin de comparer les binômes d'élèves à fortes ou à faibles interactions centrées sur la tâche, nous avons calculé la valeur médiane qui est 3.05 (niveau groupal). Les binômes d'élèves en dessous de cette valeur ont été codés 1 (interactions centrées sur la tâche faibles,  $n = 10$ ) et ceux supérieurs ou égaux à cette valeur ont été codés 2 (interactions centrées sur la tâche élevées,  $n = 10$ ). En raison de la taille de l'échantillon ( $N = 20$ ), des analyses t de Welch ont été conduites.

##### 4.6.2.1. Vérifications préalables

Les analyses au niveau groupal (et au niveau individuel) révèlent que les binômes d'élèves à fortes ou faibles interactions centrées sur la tâche ne se différencient pas pour la répartition filles/garçon<sup>15</sup>, l'âge, la compréhension en lecture, les capacités visuo-spatiales, les connaissances préalables et les interactions socio-affectives et non reliées à la tâche (voir **Annexe 14**).

Les corrélations intra-classe présentées précédemment ont révélé que les binômes sont homogènes sur leurs interactions centrées sur la tâche. Autrement dit, la majorité des groupes étaient constituée soit de deux élèves qui avaient chacun des interactions centrées sur la tâche élevées, soit de deux élèves qui avaient chacun des interactions centrées sur la tâche faibles.

Les analyses montrent que les binômes d'élèves avec des interactions centrées sur la tâche élevées ( $M = 5.32$ ;  $E.T. = 0.32$ ) avaient également reporté plus de compétences perçues en SVT que ceux avec de faibles interactions centrées sur la tâche ( $M = 4.00$ ;  $E.T. = 0.97$ ),  $t(17.6) = 3.26$ ,  $p = .004$ ,  $d = 1.46$  (niveau groupal,  $N = 20$ ).

---

<sup>15</sup>  $\chi^2(1, N = 20) = 0.00$ ,  $p = .100$

#### 4.6.2.2. Les effets du niveau d'interactions centrées sur la tâche sur la qualité des schémas

Les analyses ne montrent pas de différence sur les indicateurs de qualité des schémas entre les binômes d'élèves à forte ou faible interactions centrées sur la tâche (voir **Tableau 24**).

**Tableau 24.** Pourcentages des scores de qualité des schémas générés selon le niveau d'interactions centrées sur la tâche des binômes d'élèves.

			Interactions centrées sur la tâche faibles	Interactions centrées sur la tâche élevées	<i>t de Welch</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Indicateurs de présence et précision	Schéma complexe	Présence	42.00%	48.00%	0.51	.617	0.23
		Précision	34.00%	44.00%	0.79	.438	0.35
	Schémas simples	Présence	84.00%	86.00%	0.34	.736	0.15
		Précision	63.00%	72.00%	0.73	.476	0.32
Évaluation de l'enseignant de SVT	Schéma complexe		21.67%	33.33%	1.48	.156	0.66
	Schémas simples		30.55%	37.22%	1.05	.310	0.47

À titre complémentaire, nous avons comparé les scores des binômes d'élèves à fortes versus faibles interactions centrées sur la tâche de la condition « Génération collaborative » avec ceux de la condition « Génération individuelle » pour les schémas simples et le schéma complexe.

Concernant le **schéma complexe**, les scores des binômes d'élèves à fortes interactions centrées sur la tâche sont légèrement supérieurs à ceux des élèves en condition « Génération individuelle » pour la précision des schémas (condition « Génération individuelle » = 37.20%) ou pour l'évaluation de l'enseignant (condition « Génération individuelle » = 30.33%), mais pas la présence des éléments (condition « Génération individuelle » = 48.60%).

Pour **les schémas simples**, les pourcentages de réussite aux trois indicateurs de qualité des schémas pour les binômes d'élèves avec des interactions centrées sur la tâche élevées sont meilleurs que ceux des élèves en condition « Génération individuelle » (présence : 74.20% ; précision : 55.80% ; évaluation de l'enseignant de SVT : 30.94%).

Nos résultats ne montrent pas d'effet du niveau d'interactions centrées sur la tâche sur la qualité des schémas générés. Pour autant, en comparant les pourcentages de réussite aux indicateurs de qualité des schémas générés, les résultats montrent que les élèves avec des interactions centrées sur la tâche élevées ont généré des schémas simples de meilleure qualité que les élèves en condition « Génération individuelle ».

4.6.2.3. Les effets du niveau d'interactions centrées sur la tâche sur les variables dépendantes

Les moyennes et écarts-types faits au niveau groupal sont présentées dans le **Tableau 25**.

**Tableau 25.** Scores aux variables dépendantes selon les niveaux d'interactions centrées sur la tâche des binômes d'élèves (niveau groupal).

	Interactions	Interactions	<i>t de Welch</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	centrées sur la tâche faibles	centrées sur la tâche élevées			
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
<b>Transfert</b>	<b>1.70 (0.79)</b>	<b>2.50 (0.88)</b>	<b>2.14</b>	<b>.047</b>	<b>0.96</b>
Mémorisation des éléments imagés	3.55 (1.23)	4.15 (0.97)	1.21	.244	0.54
Mémorisation des éléments textuels	2.15 (1.11)	2.80 (0.54)	1.67	.119	0.75
Temps sur les diapositives « génération »	500.45 (146.26)	591.95 (169.42)	1.29	.213	0.58
Temps sur les diapositives « textes »	113.50 (63.65)	137.35 (61.23)	0.85	.404	0.38
Effort mental	3.17 (1.06)	2.72 (1.39)	0.76	.458	0.36
Difficulté perçue	2.45 (1.03)	1.92 (0.81)	1.25	.224	0.57
Intérêt situationnel	5.17 (0.66)	5.37 (0.71)	0.65	.523	0.30
Précision du monitoring	3.46 (3.64)	2.47 (2.70)	0.69	.499	0.31
SMT	3.81 (0.60)	3.62 (0.80)	0.56	.581	0.27

Les analyses montrent que les binômes d'élèves avec un niveau d'interactions centrées sur la tâche élevé ont obtenu de meilleurs scores de transfert que ceux avec un niveau faible. Pour les deux autres mesures de mémorisation, les différences ne sont pas significatives. Il est à noter que les analyses conduites au niveau individuel ( $N = 40$ ) montrent que les élèves avec des interactions centrées sur la tâche élevées ont obtenu de meilleurs scores de mémorisation des éléments imagés que ceux avec de faibles interactions centrées sur la tâche,  $t(39) = 2.28$ ,  $p = .028$ ,  $d = 0.72$  (voir **Annexe 15**).

## 5. Discussion

### 5.1. Contributions empiriques et théoriques

Dans cette étude, l'objectif était de comparer les effets d'activités de génération individuelle et collaborative de schémas sur l'effort mental, la difficulté perçue, la qualité des schémas générés, l'apprentissage, les temps de réalisation de l'exercice, l'intérêt situationnel et la précision du monitoring d'élèves de cinquième. Il s'agissait de répondre aux trois questions de recherche suivantes : 1) Apprend-on mieux seuls ou à deux ? ; 2) Comment les binômes d'élèves génèrent-ils leurs schémas ? ; et 3) Certains binômes d'élèves réussissent-ils mieux que d'autres ?

#### **1) Apprend-on mieux seul ou à deux ?**

Selon la théorie de la charge cognitive collaborative (P. A. Kirschner et al., 2018), des individus travaillant en groupe sur une tâche complexe ressentent moins de charge cognitive individuelle car la charge cognitive intrinsèque est distribuée entre les membres du groupe. Or, dans notre étude, contrairement à notre première hypothèse, les élèves qui généraient des schémas en binôme n'ont pas reporté moins d'effort mental et de difficulté perçue que les élèves en situation individuelle. Une explication possible concerne le coût transactionnel lié à la communication et à la coordination pendant la collaboration qui peut imposer une charge additionnelle et inhiber les bénéfices du travail de groupe sur la charge cognitive individuelle (e.g., P. A. Kirschner et al., 2018). Dans notre étude, il est possible que l'effort mental et la difficulté perçue des apprenants n'aient pas été réduits car *l'avantage de distribution* de la mémoire collective de travail n'a pas compensé l'effort mental investi par le coût transactionnel (F. Kirschner, Paas, & Kirschner, 2011).

Contrairement à nos attentes, la génération collaborative n'a pas eu d'effet positif sur la qualité des schémas générés. Comme dans nos deux précédentes études, les élèves ont généré des schémas de faible qualité, particulièrement pour la précision des schémas complexes (« Génération individuelle » : 37.20% ; « Génération collaborative » : 40.80%). De

même, les scores attribués par l'enseignant de SVT se révèlent faibles pour les schémas simples ou complexes. Par ailleurs, selon le modèle de l'ICAP (Chi & Wylie, 2014), des apprenants en groupe ont un apprentissage plus profond grâce à leurs interactions. Pour autant, dans notre étude et contrairement à notre hypothèse, les élèves en binômes n'ont pas eu de meilleurs scores de transfert ou de mémorisation des éléments imagés que les élèves seuls. En outre, la génération collaborative a eu des effets délétères sur la mémorisation des éléments textuels alors que les élèves en binôme ont passé plus de temps à réaliser l'activité. Ces temps plus longs de réalisation de l'exercice peuvent être liés aux interactions entre élèves pendant leur activité collaborative. L'effet négatif de la collaboration sur la mémorisation des éléments textuels pourrait s'expliquer par le fait que ces élèves ont pu davantage se focaliser sur la construction du schéma, en discutant moins des éléments qui ne devaient pas nécessairement être représentés.

Plusieurs pistes peuvent être avancées pour justifier cette absence d'effet de la collaboration sur la qualité des schémas générés et sur l'apprentissage. Premièrement, les élèves ont eu relativement peu d'interactions argumentatives correspondant à des confrontations de points de vue. Or, selon la théorie du conflit sociocognitif, les interactions entre apprenants ne sont bénéfiques que dans la mesure où il y a confrontations de point de vue (Doise & Mugny, 1997). Dans cette étude, nous n'avons pas contrôlé le niveau des élèves quand les groupes ont été formés. Pour qu'il y ait des confrontations d'arguments, une asymétrie entre les partenaires en termes d'expertises est nécessaire, mais elle ne doit pas être trop importante, car elle peut conduire à des conflits qui ne sont pas nécessairement efficaces sur l'apprentissage (Bourgeois & Nizet, 2005). Nos résultats ne vont pas, pour autant dans ce sens. Ils montrent que les élèves ont eu des interactions centrées sur la tâche plutôt que socio-affectives. Autrement dit, les élèves se sont davantage engagés dans des interactions épistémiques plutôt que relationnelles.

Une autre explication pourrait être liée au fait que les élèves étaient informés avant de collaborer qu'ils auraient des épreuves individuelles à la fin de l'activité. La collaboration entre élèves au sein du binôme a donc pu se réaliser dans un climat compétitif favorisant les régulations de complaisance entre élèves, peu propices au traitement en profondeur des informations (Buchs, Pulfrey, et al., 2009). De même, les élèves ont pu ressentir une certaine

menace de leur compétence lors de l'activité, qui peut être délétère pour l'apprentissage (Buchs, Chatard, et al., 2009; Darnon et al., 2002). Pour autant, nos résultats sur les interactions entre élèves au sein des binômes ne semblent pas aller dans ce sens car les collégiens se sont peu critiqués, ils ont très peu imposé leur point de vue et ont eu peu « d'absence d'interactions ». De plus, la perception qu'avaient les apprenants de la compétence de leur partenaire n'a pas été mesurée : nous ne pouvons donc pas vérifier cette interprétation et cela mériterait d'être étudiée dans des études futures.

Une autre explication est que, pour rendre un travail de groupe efficace, différentes conditions sont nécessaires, comme l'expérience de groupe sur une tâche et les guidages du travail collaboratif (P. A. Kirschner et al., 2018). Or, dans notre étude, les élèves ne se sont que rapidement entraînés, seuls ou à deux, sur une tâche similaire à l'activité pédagogique et ils n'ont pas été guidés lors de leur travail collaboratif.

Nos résultats n'indiquent pas non plus d'effets bénéfiques de la collaboration sur l'intérêt situationnel des élèves. Comme dans nos deux précédentes études, les élèves ont reporté de hauts niveaux d'intérêt, qui pourraient être liés à l'utilisation de tablettes numériques pendant l'activité, envers lesquelles les élèves ont une perception globalement positive (voir Mulet et al., 2019).

La génération collaborative de schémas n'a pas eu d'effet sur la précision du monitoring des élèves. Les processus individuels mis en jeu lors de la régulation de l'apprentissage en groupe sont nécessaires et sont parallèles à la régulation socialement partagée de l'apprentissage (Hadwin et al., 2017; Järvenoja et al., 2015). Toutefois, lors de travaux collaboratifs, d'autres types de régulation émergent (Hadwin et al., 2011, cités dans Hadwin et al., 2017 ; Hadwin et al., 2017 ; Järvelä & Hadwin, 2013). Les processus métacognitifs, et notamment de monitoring sont ainsi partagés entre les membres du groupe (Hadwin et al., 2017). Dans notre étude, la précision du monitoring des apprenants n'a été évaluée que d'un point de vue individuel et grâce à un item de jugement d'apprentissage. Or les études sur la régulation de l'apprentissage pendant les travaux de groupe sont principalement réalisées à partir d'observations vidéo (voir Panadero & Järvelä, 2015, pour une revue de la littérature).

Dans l'ensemble, les résultats ne montrent pas d'effet bénéfique de la collaboration lors de la génération de schémas. Simplement demander à des apprenants de travailler ensemble ne garantit pas qu'ils s'engageront dans des processus collaboratifs efficaces et auront de meilleures performances d'apprentissage (Dillenbourg, 1999; P. A. Kirschner et al., 2014; Weinberger et al., 2005). Nos résultats vont dans ce sens et indiquent qu'il est nécessaire de guider les apprenants lors de la génération collaborative de schémas. Les deux questions de recherche suivantes ont ainsi permis de déterminer 1) comment les binômes d'élèves génèrent leurs schémas et 2) savoir si des binômes d'élèves réussissent mieux que d'autres, pour mettre en place des guidages à la collaboration adaptés au contexte de la génération de schémas.

## **2) Comment les élèves génèrent leurs schémas à deux ?**

Une série d'indicateurs (i.e. répartition des tracés des élèves au sein des schémas, fréquence estimée de leurs interactions et leur perception de la qualité de la collaboration) a permis d'analyser plus finement la manière dont les élèves ont généré les schémas à deux. Premièrement, le recueil des tracés indique que les élèves se sont globalement bien réparti la tâche de génération pour les schémas simples. Pour ces schémas, ils ont eu tendance à représenter les mêmes éléments (redondance), ce qui peut s'expliquer par le fait que peu d'informations étaient à générer au sein des schémas simples (entre un et deux), les conduisant à faire ensemble un même élément. Pour les schémas complexes, cette répartition n'est pas complètement équitable, mais globalement, les élèves au sein des binômes ont participé à la réalisation du schéma. Ce dernier impliquait la réalisation de cinq informations ; quatre au niveau des plaques tectoniques qui expliquaient *pourquoi* une vague se forme et un représentant cette vague. Il est possible qu'une répartition des tâches ait eu lieu au sein des binômes où un élève représentait certaines informations liées aux plaques tectoniques et l'autre, la vague, conduisant un élève à faire plus d'éléments que l'autre.

De plus, l'analyse de la répartition des tracés a été faite sur les schémas finaux des élèves. Or, leur construction est un processus dynamique impliquant des interactions lorsqu'elle est produite à deux. Ainsi, il est possible qu'un élève ait réalisé certains éléments du schéma en discutant avec son partenaire ou sous ses instructions. Par conséquent, savoir

qui a réalisé l'information au sein du binôme ne reflète pas nécessairement *qui a fait quoi* au sein du schéma.

Pour déterminer la qualité perçue de la collaboration entre élèves, le système de mémoire transactive a été mesuré et les résultats montrent que les élèves ont perçu leur collaboration comme qualitative. Pour autant, le niveau de système de mémoire transactive n'influence pas la qualité des schémas générés ou l'apprentissage. Une explication possible est que ce questionnaire a été traduit en français auprès d'une population étudiante et non de collégiens (E. Michinov, 2007). Il est initialement constitué de trois sous-composantes, qui ne sont pas observés dans nos analyses de fiabilité. Les items, que nous avons essayé d'adapter, n'étaient peut-être pas assez compréhensibles pour des élèves jeunes, rendant les résultats à prendre avec précaution. Il est également possible que les temps d'activités aient été trop courts pour le développement d'un système de mémoire transactive qui peut être favorisé par l'entraînement de groupe (Lewis & Herndon, 2011).

Ces résultats montrent que, globalement, chacun des élèves au sein des binômes a participé à la réalisation du schéma, ne permettant pas de conclure qu'ils doivent être guidés pour mieux se répartir le travail de schématisation. Les interactions entre élèves montrent que ces derniers se sont engagés dans des interactions davantage épistémiques plutôt que relationnelles. Pour autant, les élèves ont eu assez peu d'interactions argumentatives mais se sont donnés un certain nombre d'explications, ce qui peut influencer la qualité de l'apprentissage (voir Webb & Mastergeorge, 2003, pour une revue de la littérature).

### **3) Certains binômes d'élèves réussissent-ils mieux que d'autres ?**

Au regard de la littérature et notamment selon le modèle de l'ICAP (Chi & Wylie, 2014), le fait de générer un contenu de manière collaborative permet aux apprenants d'avoir un apprentissage plus profond grâce à leurs interactions. Par conséquent, il semblait intéressant d'étudier si certains binômes réussissent mieux que d'autres en se basant sur leurs interactions.

De manière intéressante, les binômes d'élèves qui se sentaient compétents en Sciences de la Vie et de la Terre se sont engagés dans davantage d'interactions centrées sur

la tâche. Le fait de travailler sur des documents comportant des informations identiques peut entraîner une menace des compétences, où les apprenants ont moins d'interactions constructives (Buchs, Butera, & Mugny, 2004, étude 2). Des binômes d'élèves se percevant comme peu compétents auraient pu ne pas s'engager dans de nombreuses interactions centrées sur la tâche en raison de la menace de leurs compétences. Toutefois, nous n'avons pas de mesure sur le sentiment de menace des compétences et cette explication reste à vérifier.

Concernant la qualité des schémas générés, les analyses montrent une relation positive entre le fait d'encourager son partenaire et la qualité des schémas complexes. Ces résultats suggèrent qu'un climat socio-affectif positif doit être favorisé par des guidages de l'activité. À l'inverse, plus les élèves ont eu des interactions non reliées à la tâche, moins leurs scores de présence et précision sont bons pour les schémas complexes. Il est possible que ce type d'interactions ait détourné l'attention des apprenants des informations à représenter, les conduisant à générer des schémas de moins bonne qualité. Enfin, les niveaux d'interactions centrées sur la tâche ou ses sous-catégories ne sont pas reliés à la qualité des schémas générés. Pour autant, d'un point de vue descriptif, nos résultats suggèrent que les binômes d'élèves avec des interactions centrées sur la tâche élevées pourraient générer des schémas simples de meilleure qualité que des élèves seuls. Toutefois, pour les schémas complexes à un niveau descriptif, ces bénéfices sont moins saillants par rapport aux élèves travaillant seuls et leur qualité est relativement faible. L'ensemble de ces éléments semblent montrer que des guidages spécifiques à la génération de schémas de bonne qualité sont nécessaires.

Concernant les scores d'apprentissage, nos résultats indiquent que plus les binômes d'élèves donnaient des explications et faisaient des propositions, meilleur était leur score de mémorisation des éléments imagés. Cet effet positif des explications données pendant la génération de schémas sur la mémorisation des apprenants est retrouvé dans l'étude de Fiorella et Kuhlman (2020) et les travaux de Webb et Mastergeorge (2003). Ainsi, nos résultats suggèrent que plus les élèves ont des interactions centrées sur la tâche, meilleure est leur mémorisation des éléments imagés.

Les élèves qui se sont fortement engagés dans des interactions centrées sur la tâche ont obtenu de meilleures performances de transfert que ceux à faible niveau d'interactions

centrées sur la tâche. Ce résultat peut être mis en lien avec le modèle de l'ICAP (Chi & Wylie, 2014) selon lequel, grâce à leurs interactions, les élèves qui génèrent un contenu en groupe ont de meilleures performances à des mesures d'apprentissage profond. Ainsi, plus ces interactions sont de qualité et sont importantes, meilleur serait l'apprentissage des élèves. Il est intéressant de noter que les discussions influencent l'apprentissage sans pour autant que les élèves aient besoin de produire un schéma de qualité. Cela peut être mis en lien avec les études sur la génération collaborative de schémas (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014) qui montraient que certains binômes d'élèves ont de meilleures performances d'apprentissage, sans pour autant générer des schémas de meilleure qualité. Ce même pattern de résultat est trouvé pour la mémorisation des éléments imagés lorsque les données sont conduites au niveau individuel. En raison du manque de puissance statistiques, nous ne retrouvons pas cet effet au niveau des binômes.

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que la collaboration entre élèves nécessite d'être guidée pour être efficace, notamment par des scripts (e.g., King, 2007; Kollar et al., 2006, 2007; Weinberger et al., 2005). Ces scripts pourraient permettre d'engager davantage les apprenants dans des interactions centrées sur la tâche, notamment dans des confrontations de point de vue.

## 5.2.Limites et perspectives

Une des limites de cette étude concerne le nombre de participants. En raison des problématiques liées au terrain et des problèmes techniques rencontrés avec le matériel, beaucoup de données ont été perdues. Ce faible échantillon peut être à l'origine des ICCs insatisfaisants reportés dans cette étude, et nécessite de prendre avec précaution les résultats issus des analyses réalisées au niveau groupal. De plus, des analyses multiniveaux auraient pu être envisagées, mais la taille de l'échantillon ne le permet pas.

Deuxièmement, nous avons fait le choix d'étudier la précision du monitoring des élèves d'un point de vue individuel, mais la collaboration implique également des processus métacognitifs partagés que nous n'avons pas mesurés dans cette étude (Hadwin et al., 2017; Panadero & Järvelä, 2015). Or, les régulations de l'apprentissage, qu'elles soient individuelles

ou socialement partagées, sont des processus parallèles (Järvenoja et al., 2015). Il semblerait donc intéressant dans de futures études de mesurer ces processus métacognitifs partagés.

Troisièmement, nous avons analysé les tracés des élèves en binôme sur le produit final de leur schéma. La génération est pour autant un processus dynamique pendant lequel les apprenants font des allers-retours entre le texte et leur schéma (Hellenbrand et al., 2019). Il aurait été intéressant de coder les modifications apportées aux schémas pour mieux comprendre les dynamiques engagés, notamment en binôme.

Pour terminer, les binômes d'élèves en condition « Génération collaborative » ont été formés selon leur préférence, sans prendre en compte leur niveau d'expertise ou la compétence perçue entre partenaires. Or, les recherches montrent que la perception d'une menace des compétences a des effets sur la qualité des interactions et l'apprentissage des élèves (e.g., Buchs, Butera, & Mugny, 2004, étude 2; Darnon et al., 2002). De futures recherches devraient prendre en compte ces éléments.

Différentes conditions sont nécessaires pour rendre un travail collaboratif efficace comme par exemple, le fait d'entraîner les groupes d'élèves à collaborer (P. A. Kirschner et al., 2018). En effet, des études ont montré que des apprenants pouvaient tirer des avantages d'un exercice à la collaboration avant de collaborer (Buchs et al., 2016; Prichard et al., 2006; Zambrano et al., 2019a). De plus, le développement d'un système de mémoire transactive est favorisé par l'entraînement de groupe (Lewis & Herndon, 2011). En outre, les entraînements à la génération de schémas constituent un guidage de l'activité (Fiorella & Zhang, 2018). Il pourrait donc être utile dans de futures études de tester les effets de la génération collaborative de schémas après un entraînement à la collaboration.

Par ailleurs, pour rendre efficace une activité collaborative, il semble également important de guider les apprenants en leur proposant des scripts à la collaboration (e.g., P. A. Kirschner et al., 2014; Weinberger et al., 2005). Dans le contexte de la génération collaborative de schémas, à notre connaissance, très peu d'études ont été menées (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). Elles ont souligné que les scripts amélioreraient la performance des élèves en termes d'apprentissage par rapport à des activités sans scripts. De plus, Gijlers et al. (2013) ont montré que la génération collaborative scriptée permettait aux élèves de davantage poser de questions à leur partenaire pour avoir des informations, les

aidaient également à construire des idées à partir de celles de leur partenaire et d'intégrer des points de vue multiples. De même, ils critiquent davantage les contributions de leur partenaire et ont davantage de processus de coordination. En revanche, l'étude de Van Dijk et al. (2014) n'a pas montré d'effet de la génération collaborative scriptée sur les discours des élèves ou sur la qualité des schémas générés par rapport à une activité sans guidage. Ainsi, de futures études peuvent être mises en place pour étudier les effets de la génération collaborative de schéma scriptée, avec des guidages spécifiques pour améliorer la qualité des schémas produits.

### 5.3. Conclusion

Cette étude a permis de comparer une activité de génération de schémas individuelle à une activité collaborative pendant laquelle des élèves travaillaient à deux sur leur schéma. Ainsi, la première question de recherche était de savoir si des élèves apprennent mieux seuls ou à deux pendant l'activité générative. Dans cette étude, les élèves en binôme n'ont pas généré des schémas de bonne qualité et n'ont pas obtenu de meilleures performances d'apprentissage que des élèves travaillant seuls.

Afin de mieux comprendre les processus mis en œuvre pendant la génération collaborative de schémas, deux questions de recherche ont permis de déterminer comment les élèves généraient leurs schémas en binôme et si certains binômes étaient plus performants que d'autres. Elles avaient pour but de savoir quels types de guidage étaient nécessaires à la génération collaborative de schémas. Nos résultats montrent que les élèves se sont globalement bien répartis les tracés au sein de leurs schémas. Par ailleurs, nos résultats ont montré qu'un climat socio-affectif positif doit être encouragé pour que les élèves génèrent des schémas de qualité, de même que les interactions centrées sur la tâche qui semblent influencer la qualité de l'apprentissage. Elles peuvent être encouragées par des scripts, qui ont des effets bénéfiques lors de travaux collaboratifs (e.g., King, 2007; Kollar et al., 2006, 2007; Weinberger et al., 2005).

# Discussion générale

## 1. Contributions empiriques et théoriques

Dans cette thèse, deux démarches complémentaires ont été suivies. Dans un premier temps, une approche de co-conception d'une application de génération collaborative de schémas a été conduite.

Dans un deuxième temps, dans le cadre d'une démarche expérimentale avec des collégiens en classe de cinquième, deux objectifs ont été formulés :

1. Étudier les effets de la génération de schémas accompagnée ou non de guidages auprès d'élèves en classe de cinquième sur tablettes avec stylet.
2. Examiner les effets d'un support de type collaboratif sur la génération de schémas auprès d'élèves de cinquième sur tablette avec stylet.

### 1.1. Démarche de co-conception de l'application de génération collaborative de schémas

Les résultats de l'enquête conduite auprès des enseignants de collège ont montré une pratique très fréquente des activités de groupe. Globalement, l'activité de génération de schémas en classe dans des situations individuelles et collaboratives n'est pas fréquemment proposée par les enseignants. Elle est pourtant considérée comme utile pour les élèves mais pas facile à mettre en place. La génération de schémas ne peut être conduite que dans des contextes où des représentations visuelles peuvent être créées (Van Meter & Firetto, 2013; Van Meter & Garner, 2005) et ne concerne donc pas toutes les activités pédagogiques. En revanche, les enseignants de SVT la mettent régulièrement en place avec leurs élèves. Ce même pattern de résultat est trouvé pour l'utilisation des tablettes numériques avec les élèves.

Concernant l'acceptabilité de l'application de génération collaborative de schémas, globalement, les enseignants ont reporté une utilité moyenne pour leurs élèves mais elle leur paraît facile d'usage. Toutefois, les enseignants de SVT la perçoivent comme très utile pour leurs élèves. Selon l'ensemble des enseignants, l'application permettrait d'encourager le travail collaboratif, qu'ils mettent fréquemment en place pendant leurs cours, et elle pourrait avoir des effets bénéfiques sur l'apprentissage des collégiens. L'activité de génération de schémas est également un des facteurs facilitateurs les plus cités par les enseignants. Cet avantage de l'application est intéressant à la lumière des résultats obtenus sur leurs pratiques actuelles. En effet, selon les enseignants, cette activité générative n'est pas facile à mettre en place avec leurs élèves. L'application qui a été développée pourrait donc répondre à cette problématique. Enfin, elle permettrait aux enseignants de suivre le travail des élèves grâce au crayon de couleurs différentes.

En revanche, la disponibilité des tablettes, les temps de mise en place et de prise en main de l'outil apparaissent comme les freins majeurs de cette application. Les résultats d'enquêtes et d'entretiens ont montré que des infrastructures et des soutiens techniques adaptés à l'outil tablette devaient être mis en place (Amadiou, 2019; Ifenthaler & Schweinbenz, 2013; Khlaif, 2018). Concernant plus particulièrement la problématique liée aux temps de prises en main de l'outil, Dündar et Akçayir (2014) avaient montré que certains enseignants de lycée pouvaient, en effet, mettre du temps à apprendre à utiliser les tablettes. Ces difficultés peuvent être réduites grâce à la démarche ergonomique de conception centrée utilisateurs.

Les problèmes de connexion des tablettes ont également été soulevés par un certain nombre d'enseignants dans notre enquête et ont été relevés dans d'autres études par des collégiens, des lycéens et des enseignants (Soffer & Yaron, 2017; Soykan, 2015). Dans le cadre de ce projet, le développement d'un réseau autonome a été proposé pour pallier à cette difficulté. Il permet de connecter les tablettes entre elles. La problématique de la distraction des élèves citée dans notre enquête a également été relevée dans d'autres études, que ce soit du point de vue des enseignants ou des élèves (e.g., Dündar & Akçayir, 2014; Soffer & Yaron, 2017). Pour autant, les résultats de notre troisième étude ont montré que les élèves en groupe ont eu peu d'interactions non reliées à la tâche.

L'ensemble de ces éléments montrent que les freins à l'utilisation de l'application de génération collaborative de schémas sont davantage externes (liés souvent à des difficultés du matériel) qu'internes avec un rejet du numérique en classe ou de l'activité de génération de schémas.

Les tests utilisateurs ont montré une forte satisfaction des élèves liée à l'utilisation de l'application sur tablettes. De plus, dans nos trois études, les collégiens ont également reporté un degré élevé d'intérêt situationnel. Ces résultats sont en accord avec les études issues de la littérature qui montrent que les élèves perçoivent l'outil tablette comme utile et facile d'usage (voir Mulet et al., 2019, pour une revue de la littérature). L'effet de nouveauté lié à l'utilisation de l'application sur tablettes peut également avoir augmenté l'intérêt situationnel des élèves. Toutefois, il est également possible que la formation des tsunamis ait intéressé les élèves. Pour déterminer dans quelle mesure l'intérêt situationnel a été influencé par le matériel numérique ou par le matériel pédagogique, il serait nécessaire de tester l'activité proposée sur papier ou sur tablette.

## 1.2. Démarche expérimentale auprès des collégiens

### 1.2.1. L'activité de génération de schémas non guidée

Dans nos trois études, les élèves ont généré des schémas d'assez faible qualité quand l'activité n'était pas guidée et particulièrement pour les schémas complexes. Ces résultats confirment ceux obtenus dans la littérature qui montrent que les apprenants ne génèrent pas spontanément des schémas de bonne qualité lorsque l'activité n'est pas guidée (Q. Zhang & Fiorella, 2019).

De même, la génération de schémas non guidée n'a pas eu d'effets bénéfiques sur les mesures d'apprentissage dans nos deux premières études, en comparaison à des documents présentés sous la forme de textes illustrés. Les temps d'activité ont, en outre, été rallongés, ce qui rend l'activité générative non guidée inefficace pour les apprenants. Ce résultat ne va pas dans le sens de *l'effet de la génération de schémas* (Schwamborn et al., 2010), selon lequel la génération de schémas aide les apprenants à mieux apprendre un document.

Comme le signale la littérature, la génération de schémas doit être accompagnée de supports de l'activité pour être efficace (Fiorella & Zhang, 2018), particulièrement pour des jeunes élèves (Brod, 2020) ou pour des novices (Q. Zhang & Fiorella, 2021). Toutefois, les guidages que nous avons testés dans nos études amènent à des résultats mitigés sur la qualité des schémas générés et sur l'apprentissage.

#### 1.2.2. Fournir une illustration pendant l'activité générative

Notre première étude a montré que les élèves qui disposaient d'une illustration pendant l'activité de génération ont produit des schémas de meilleure qualité que ceux qui n'en disposaient pas. Pour autant, malgré la présence de ce modèle analogique, les schémas générés n'étaient pas parfaits, particulièrement lorsqu'ils étaient complexes.

De plus, ce guidage n'a pas permis d'améliorer l'apprentissage des élèves ou la conscience de la qualité de leur apprentissage. Selon Van Meter et Firetto (2013), un guidage trop important de la génération de schémas peut ne pas avoir d'effets bénéfiques car les apprenants pourraient directement construire une image perceptuelle et ne produiraient pas de modèle mental *avant* de générer leur schéma. Il s'agirait donc d'un guidage qui, paradoxalement, rendrait les élèves moins actifs dans le traitement des documents.

#### 1.2.3. Indiquer les informations à générer par une mise en saillance dans le texte

Notre deuxième étude a permis de tester les effets d'un marquage typographique lors de la génération de schémas. Une récente étude a mis en place un guidage relativement similaire en montrant que des étudiants qui généraient des schémas à l'aide de légendes labellisées ont réalisé des schémas de meilleure qualité que ceux qui n'avaient pas ces légendes (Q. Zhang & Fiorella, 2021). Nos résultats vont globalement dans ce sens : indiquer les éléments à générer au sein du texte permet aux élèves de produire plus d'informations au sein des schémas *uniquement* complexes. Les marquages typographiques pourraient donc dépendre de la complexité d'un document et ils faciliteraient le processus de sélection des

informations générées. Toutefois, nos résultats indiquent que les apprenants rencontrent des difficultés liées à la représentation analogique des informations à générer.

De plus, ce guidage de l'activité générative n'a pas permis d'améliorer l'apprentissage des apprenants. Ce résultat ne va pas dans le sens du postulat de Van Meter et Firetto (2013) : utiliser des signaux dans le texte permettrait aux élèves de construire un réseau propositionnel de meilleure qualité, ce qui améliorerait leur modèle mental. Au contraire, dans notre étude, ce guidage a eu des effets néfastes sur la mémorisation des éléments non marqués du document. Selon *l'effet du traitement ciblé* (Colliot & Jamet, 2021), la mémorisation des informations non marquées au sein d'un document serait plus faible puisque l'attention des apprenants n'est pas dirigée vers ces éléments.

Il s'avère, toutefois, que le guidage de type marquage typographique a eu des effets bénéfiques sur la précision du monitoring des élèves. Les éléments à générer au sein des schémas étaient indiqués, pour autant les apprenants ne les ont pas tous représentés. Ils ont pu ainsi avoir davantage conscience de leurs erreurs de compréhension, comme le suggèrent Van Meter et Firetto (2013).

#### 1.2.4. Le travail collaboratif comme support de l'activité générative

Pour terminer, notre troisième étude n'a pas montré d'effet bénéfique de la collaboration sur la qualité des schémas générés ou sur l'apprentissage des collégiens. Au contraire le travail collaboratif entre élèves pendant la génération de schémas a diminué leur mémorisation des éléments textuels du document. Différentes explications ont été formulées : certaines conditions d'efficacité des travaux de groupe existent, elles incluent les entraînements au travail collaboratif, mais également des guidages collaboratifs, comme des scripts (P. A. Kirschner et al., 2018), que nous n'avons pas proposé pendant l'activité des élèves.

Nos analyses ont montré que les interactions centrées sur la tâche sont en lien avec la qualité de l'apprentissage. En conséquence, il semble nécessaire d'envisager des guidages qui encouragent ce type d'interactions pendant l'activité générative. Ce point est développé dans la partie suivante en tant que perspective de recherche de la thèse.

## 2. Limites et perspectives de recherche

### 2.1. Le matériel utilisé dans les études

Dans toutes nos études, l'activité de génération de schémas a été étudiée à partir d'un document traitant de la formation des tsunamis, présenté par étapes sur différentes diapositives. Les collégiens généraient donc plusieurs schémas pour représenter un phénomène dynamique où toutes les informations sont liées entre elles. Par conséquent, ils ne disposaient pas d'une représentation générale, en une seule illustration auto-générée, du phénomène étudié. Cette présentation a donc pu complexifier l'activité et impose que les résultats des études soient pris avec précautions. Il aurait pu sembler plus pertinent de fusionner l'ensemble des étapes de la formation des tsunamis en une seule diapositive pour que les élèves n'aient à générer qu'un seul schéma. Toutefois, demander aux élèves de produire un seul schéma aurait d'autant plus complexifié sa construction. En effet, le phénomène de la formation des tsunamis est dynamique, certains événements entraînent d'autres. Ainsi, pour représenter l'ensemble des événements, les élèves auraient dû effacer certains éléments pour en représenter d'autres.

La formation des tsunamis est dynamique : il s'agit d'un processus où chaque événement entraîne un autre. Or, pour ce type de phénomène, Ainsworth et Scheiter (2021) recommandent des approches de modélisation. Ces chercheuses avancent que l'efficacité de la génération de schémas peut dépendre de la nature du document. Par conséquent, il serait intéressant d'étudier les supports de la génération de schémas que nous avons testés en utilisant un autre matériel pédagogique ne renvoyant pas à un phénomène dynamique ou en utilisant une animation pour accompagner le texte.

### 2.2. Les connaissances préalables des élèves

Nous avons fait le choix de proposer une activité de génération de schémas à partir d'une thématique pédagogique peu, voire pas du tout, maîtrisée par les élèves. En effet, en

se basant sur l'effet inversé d'expertise (Kalyuga, 2007; Sweller et al., 2011b), des apprenants experts ne bénéficieraient pas de la génération de schémas car l'information deviendrait redondante (L. Lin et al., 2017). De plus, les études sur la génération de schémas se sont très majoritairement intéressées à cette activité auprès de participants avec peu ou pas de connaissances préalables (e.g., Schmeck et al., 2014; Schwamborn et al., 2010; Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006). Or, la thématique de la formation des tsunamis demande la génération de concepts ou de phénomènes particuliers, qui, sans une représentation préalable, peuvent s'avérer complexes à représenter. Comme le suggèrent Schmidgall et al. (2020), pour générer une représentation visuelle interne, les apprenants doivent consulter leurs fichiers d'images en mémoire à long-terme. Si ces images ne sont pas connues des apprenants, alors le processus génératif peut se révéler particulièrement complexe si des guidages visuels importants ne sont pas fournis aux apprenants.

Dans nos trois études, nous avons fourni une figure de fond pour essayer de limiter cette problématique. Or, selon nos résultats, cette aide n'apparaît pas comme un support de la génération de schémas. En effet, dans nos trois recherches, l'activité de génération de schémas, accompagnée ou non de supports, était réalisée par les élèves avec une figure de fond. Or, les collégiens ont généré des schémas de faible qualité et n'ont pas eu de meilleures performances d'apprentissage que ceux qui ne généraient pas de schémas. Ceci va dans le sens des résultats de la littérature. En effet, deux études récentes, publiées après celles conduites dans la thèse, amènent à des résultats similaires. Schmidgall et al. (2020) n'avaient pas montré d'effets bénéfiques de la présence d'une figure de fond sur la qualité des schémas générés par des étudiants. Kollmer et al. (2020) ont montré que des étudiants ne généraient pas des schémas de bonne qualité à l'aide d'une figure de fond. Schmidgall et al. (2020) avaient émis l'hypothèse que ce type de support devait se constituer à la fois d'éléments visuels à recopier et d'une figure de fond pour être efficace.

Dans le contexte d'un enseignement à l'école, il serait intéressant d'évaluer l'efficacité de l'activité de génération de schémas après un cours sur cette thématique, pour fournir un schéma bilan. Ainsi, les apprenants ne seraient pas considérés comme expert du domaine en question, mais bénéficieraient des connaissances visuelles nécessaires pour réaliser leurs schémas.

### 2.3. La généralisation des résultats aux contextes scolaires

Les résultats obtenus ont été trouvés dans le contexte de recherches en classe et non dans le contexte pédagogique habituel. Par conséquent, leur généralisation au contexte naturel est à nuancer.

Ceci est d'autant plus vrai pour les interactions entre élèves dans notre troisième étude. En effet, les apprenants réalisaient l'activité dans un cadre expérimental et pas en cours avec leur enseignant. De plus, ils étaient informés que leurs interactions étaient enregistrées. Par conséquent, leurs dialogues ont pu être dénaturés par le contexte et peuvent ne pas être représentatifs.

### 2.4. Les entraînements à la génération de schémas et à la collaboration

Les trois études de cette thèse ont été menées sans qu'un entraînement à la génération de schémas ne soit fourni aux élèves. De plus, les enseignants interrogés dans notre enquête ont reporté ne pas mettre fréquemment en place cette activité, que ce soit en situation individuelle ou collaborative. Les élèves peuvent donc ne pas être très habitués à cet exercice. Or, selon Fiorella et Zhang (2018), un entraînement à la génération de schémas constitue un guidage de l'activité et peut améliorer la qualité des schémas générés et l'apprentissage.

Dans notre troisième étude sur l'activité de génération collaborative de schémas, les élèves n'ont reçu aucun entraînement sur la manière de générer des schémas *ensemble*. Or, ces entraînements à la collaboration font partis de ses conditions d'efficacité (P. A. Kirschner et al., 2018).

Il pourrait donc s'avérer intéressant de tester un entraînement de la génération collaborative de schémas dans de futures études. Ainsi, fusionner un entraînement à la collaboration et un entraînement à la génération de schémas pourrait être un support efficace et des études devraient le tester.

## 2.5. Encourager les interactions entre élèves

Les interactions ont été évaluées à partir d'un jugement de fréquence d'interactions et non d'un codage précis. Dans de futures études, il pourrait être intéressant de les coder de manière plus fine, comme l'avaient proposées les quelques recherches sur la génération collaborative de schémas (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). De même, ce type de codage pourrait permettre de relever les processus d'autorégulation de l'apprentissage lors de travaux de groupe : la corégulation et la régulation socialement partagée (Hadwin et al., 2017), comme l'ont fait Järvelä et al. (2016).

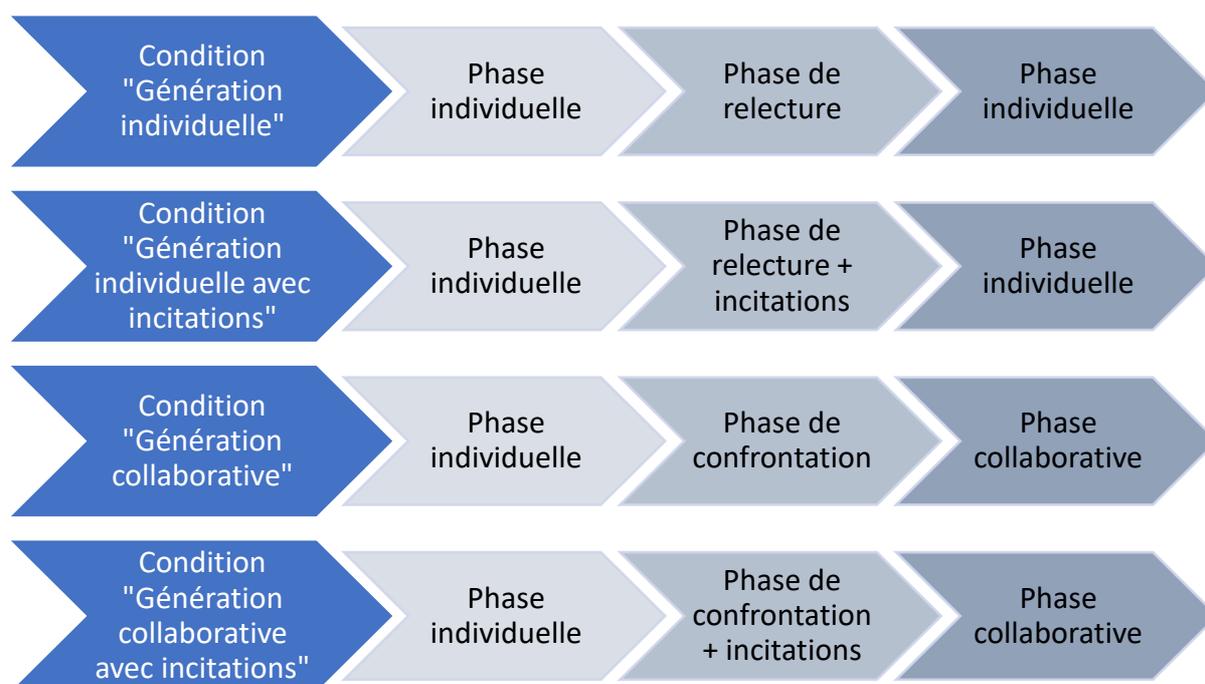
Nous avons fait le choix d'étudier la génération collaborative de schémas sans la guider. Cela nous a permis d'examiner les processus mis en place par les apprenants lors de l'activité, par rapport à des élèves qui travaillaient seuls. Cette démarche nous a donné l'opportunité d'envisager les types de guidages de la génération collaborative de schémas nécessaires pour rendre cette activité de groupe efficace. En effet, simplement demander à des apprenants de travailler ensemble n'assure pas qu'ils collaboreront de manière efficace et auront un bon apprentissage (Dillenbourg, 1999; P. A. Kirschner et al., 2014; Weinberger et al., 2005). La littérature indique que certaines conditions d'efficacité sont nécessaires pour rendre les travaux de groupe efficaces (P. A. Kirschner et al., 2018) et notamment la présence de scripts déjà testée dans la littérature sur la génération collaborative de schémas (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014).

Une quatrième étude devait être conduite dans le cadre de cette thèse. En raison de la crise sanitaire, elle n'a pu être réalisée. Les études sur la génération collaborative de schémas à partir de textes scientifiques n'ont pas comparé une activité individuelle de génération de schémas à une activité collaborative scriptée (Bollen et al., 2015; Gijlers et al., 2013; van Dijk et al., 2014). De plus, la troisième étude de la thèse a montré que les apprenants en groupe ne généraient pas nécessairement des schémas de bonne qualité. Pour les orienter dans leur génération, il est notamment possible de leur fournir des incitations stratégiques (*prompts*). Ces dernières ont été proposées dans les études de Van Meter (Van Meter, 2001; Van Meter et al., 2006) pour inciter les apprenants à comparer leur schéma à

une illustration fournie. Elles leur ont ainsi permis de générer des schémas de meilleure qualité que ceux qui n'en disposaient pas (Van Meter, 2001).

Par conséquent, dans la quatrième étude de cette thèse, nous souhaitons étudier les effets d'une activité collaborative de génération de schémas scriptée, additionnée ou non, d'incitations stratégiques. Pour ce faire, nous souhaitons mettre en place une étude suivant un plan factoriel expérimental 2 x 2 avec des facteurs de collaboration (sans et avec) et d'incitations (sans et avec). Ainsi, des élèves de cinquième auraient été répartis dans quatre conditions et l'activité pédagogique sur tablette aurait été scriptée en trois phases (voir **Figure 39**) :

**Figure 39.** Les trois phases de l'activité de génération selon les conditions expérimentales.



Les incitations auraient pris la forme suivante :

- Avez-vous bien représenté tous les éléments du texte au sein de vos schémas ?
- Avez-vous bien représenté les éléments au bon endroit au sein de vos schémas ?

### 3. Conclusion générale

L'utilisation des outils numériques, et particulièrement des tablettes, est de plus en plus fréquente au collège, mais ces outils doivent être adaptés aux besoins des enseignants. Il s'avère que proposer une application de génération collaborative de schémas aux enseignants sur tablettes pourrait faciliter ce type d'activité et serait utile pour les enseignants de SVT.

Dans le domaine de l'éducation, rendre l'apprenant actif est recommandé par différentes théories (e.g., Fiorella & Mayer, 2016b; Mayer, 2014a; Wittrock, 1989). Pour autant, ces recommandations sont à prendre avec précaution : il est possible de rendre les collégiens actifs pour leur permettre de mieux apprendre un document, **mais la génération de schémas doit être accompagnée de supports**, comme l'indiquent Brod (2020) et les résultats de nos études. Des supports de l'activité générative devraient donc être systématiquement proposés par les enseignants au collège. Pour autant, **tous les supports proposés ne sont pas efficaces et peuvent, dans certains cas, être délétères sur l'apprentissage**. Globalement, nos résultats semblent également indiquer que les élèves ont des difficultés liées à la représentation analogique des informations à générer ainsi que dans la création de schémas précis. Des supports spécifiques pour améliorer la précision des schémas devraient donc être mis en place. Il serait notamment intéressant d'étudier les effets d'incitations stratégiques, qui amèneraient les apprenants à se questionner sur la précision de leurs schémas.

Enfin, les enseignants font régulièrement travailler leurs élèves dans des situations collaboratives. De plus, la collaboration entre élèves apparaît comme un support potentiel de la génération de schémas grâce aux interactions. Pourtant, il apparaît que **l'activité collaborative doit être guidée pour encourager les interactions centrées sur la tâche**. Il est notamment possible de fournir des scripts de la génération collaborative de schémas.



## Bibliographie

### A

- Ackerman, R., & Leiser, D. (2014). The effect of concrete supplements on metacognitive regulation during learning and open-book test taking. *British Journal of Educational Psychology, 84*(2), 329-348. <https://doi.org/10.1111/bjep.12021>
- Ackerman, R., Leiser, D., & Shpigelman, M. (2013). Is comprehension of problem solutions resistant to misleading heuristic cues? *Acta Psychologica, 143*(1), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.02.004>
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education, 33*(2), 131-152. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Ainsworth, S. (2006). DeFT : A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*(3), 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S., Bibby, P., & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences, 11*(1), 25-61. [https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101\\_2](https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_2)
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science, 333*(6046), 1096-1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ainsworth, S., & Scheiter, K. (2021). Learning by drawing visual representations : Potential, purposes, and practical implications. *Current Directions in Psychological Science, 096372142097958*. <https://doi.org/10.1177/0963721420979582>
- Albaret, J.-M., & Aubert, E. (1996). Test de rotation mentale de Vandenberg : Étalonnage 15-19 ans. *Evolutions Psychomotrices, 8*, 206-215.

- Alemdag, E., & Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers & Education*, 125, 413-428. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023>
- Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial–verbal and analytic–holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 73(3), 358-368. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.73.3.358>
- Amadiou, F. (2019). *Rapport enquête sur les représentations des tablettes en classe chez les enseignants*. <https://letacop.files.wordpress.com/2019/09/rapport-enquecc82te-perceptions-des-tablettes-par-les-enseignants.pdf>
- Amadiou, F., Mulet, J., Van der Linden, J., Lombard, J., & Van de Leemput, C. (2019). Acceptabilité des technologies d'apprentissage mobile : Le cas des tablettes. *Éducation permanente*, 2019, 31-40.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2020). *Apprendre avec le numérique : Mythes et réalités*. Retz.
- Ames, G. J., & Murray, F. B. (1982). When two wrongs make a right : Promoting cognitive change by social conflict. *Developmental Psychology*, 18(6), 894-897. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.18.6.894>
- Anglin, G. J., Vaez, H., & Cunningham, K. L. (2004). Visual representations and learning : The role of static and animated graphics. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (p. 865-916). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Aubret, J., & Blanchard, S. (1991). *L'Évaluation des compétences d'un lecteur : Présentation d'épreuves relatives à la maîtrise de la langue française et de la lecture silencieuse*. Editions EAP ; Service de recherches CNAM-INETOP.
- Azéma, G., Boutigny, D., Delabre, C., Etnier, C., Frayon, S., Hasnaoui, C., Lepouder, N., Peric, B., Seyed, R., Werthe, A., Rebulard, S., Rebulard, S., Pothet, A., & Boutigny, D. (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre, 4e cycle 4 : Nouveau programme*. Belin Education.

## B

- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Becchetti-Bizot, C. (2017). *Repenser la forme scolaire à l'heure du numérique : Vers de nouvelles manières d'apprendre et d'enseigner* (N° 2017-056). Igen. <https://www.education.gouv.fr/repenser-la-forme-scolaire-l-heure-du-numerique-vers-de-nouvelles-manieres-d-apprendre-et-d-2678>
- Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (p. 287-296). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.019>
- Bliese, P. D. (2000). Within-group agreement, non-independence, and reliability : Implications for data aggregation and analysis. In K. J. Klein, & S. W. J. Kozlowski (Eds.), *Multilevel theory, research, and methods in organizations : Foundations, extensions, and new directions* (p. 349-381). Jossey-Bass.
- Bobek, E., & Tversky, B. (2016). Creating visual explanations improves learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0031-6>
- Bobillier-Chaumon, M.-É., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : Quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain*, 72(4), 355-382. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/th.724.0355>
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I., & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14(3), 325-341. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.006>
- Bollen, L., Gijlers, H., & van Joolingen, W. (2015). Drawings in computer-supported collaborative learning—Empirical and technical results. *Computing and Informatics*, 34, 559-587.

- Bonneton-Botté, N., Fleury, S., Girard, N., Le Magadou, M., Cherbonnier, A., Renault, M., Anquetil, E., & Jamet, E. (2020). Can tablet apps support the learning of handwriting? An investigation of learning outcomes in kindergarten classroom. *Computers & Education*, 151, 103831. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103831>
- Bourgeois, É., & Nizet, J. (2005). Chapitre VIII. Interactions sociales et apprentissage. In É. Bourgeois & J. Nizet (Éds.), *Education et formation: Vol. 3e éd.* (p. 155-200). Presses Universitaires de France.
- Brod, G. (2020). Generative learning : Which strategies for what age? *Educational Psychology Review*. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09571-9>
- Brooks, M. (2009). Drawing, visualisation and young children's exploration of "big ideas". *International Journal of Science Education*, 31(3), 319-341. <https://doi.org/10.1080/09500690802595771>
- Buchs, C., & Bourgeois, É. (2017). Chapitre 16. Conflits sociocognitifs et apprentissage. In P. Carré & P. Caspar, *Traité des sciences et des techniques de la Formation* (p. 329-345). Dunod.
- Buchs, C., & Butera, F. (2004). Socio-cognitive conflict and the role of student interaction in learning. *New Review of Social Psychology*, 3, 80-87.
- Buchs, C., Butera, F., & Mugny, G. (2004). Resource interdependence, student interactions and performance in cooperative learning. *Educational Psychology*, 24(3), 291-314. <https://doi.org/10.1080/0144341042000211661>
- Buchs, C., Butera, F., Mugny, G., & Darnon, C. (2004). Conflict elaboration and cognitive outcomes. *Theory Into Practice*, 43(1), 23-30. [https://doi.org/10.1207/s15430421tip4301\\_4](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4301_4)
- Buchs, C., Chatard, A., Desrichard, O., & Mugny, G. (2009). Social dynamics in judgment and performance in academic settings. *European Journal of Psychology of Education*, 24(2), 125-128.

- Buchs, C., Darnon, C., Quiamzade, A., Mugny, G., & Butera, F. (2008). Conflits et apprentissage. Régulation des conflits sociocognitifs et apprentissage. *Revue française de pédagogie*, 163, 105-125. <https://doi.org/10.4000/rfp.1013>
- Buchs, C., Gilles, I., Antonietti, J.-P., & Butera, F. (2016). Why students need to be prepared to cooperate : A cooperative nudge in statistics learning at university. *Educational Psychology*, 36(5), 956-974. <https://doi.org/10.1080/01443410.2015.1075963>
- Buchs, C., Pulfrey, C., Gabarrot, F., & Butera, F. (2009). Competitive conflict regulation and informational dependence in peer learning. *European Journal of Social Psychology*, 40, 418-435. <https://doi.org/10.1002/ejsp.631>
- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams : Promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 182-197. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.1.182>
- Butcher, K. R. (2014). The multimedia principle. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 174-205). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.010>

## C

- Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (2001). Reflections on shared cognition. *Journal of Organizational Behavior*, 22(2), 195-202. <https://doi.org/10.1002/job.82>
- Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14(1), 5-26. <https://doi.org/10.1023/A:1013176309260>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2)

- Cheng, L., & Beal, C. R. (2020). Effects of student-generated drawing and imagination on science text reading in a computer-based learning environment. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 225-247. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09684-1>
- Chi, M. T. H. (2009). Active-constructive-interactive : A conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 73-105. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x>
- Chi, M. T. H., Adams, J., Bogusch, E. B., Bruchok, C., Kang, S., Lancaster, M., Levy, R., Li, N., McEldoon, K. L., Stump, G. S., Wylie, R., Xu, D., & Yaghmourian, D. L. (2018). Translating the icap theory of cognitive engagement into practice. *Cognitive Science*, 42(6), 1777-1832. <https://doi.org/10.1111/cogs.12626>
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The icap framework : Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Chou, C. C., & Block, L. (2019). The mismatched expectations of ipad integration between teachers and students in secondary schools. *Journal of Educational Computing Research*, 57(5), 1281-1302. <https://doi.org/10.1177/0735633118784720>
- Clark, J. M., & Paivio, A. (1987). A dual coding perspective on encoding processes. In M. A. McDaniel & M. Pressley (Éds.), *Imagery and Related Mnemonic Processes : Theories, Individual Differences, and Applications* (p. 5-33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4676-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4676-3_1)
- Colliot, T., & Jamet, É. (2021). Improving students' learning by providing a graphic organizer after a multimedia document. *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 252-265. <https://doi.org/10.1111/bjet.12980>
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(98\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(98)00051-6)

- Cox, R., & Brna, P. (1995). Supporting the use of external representations in problem solving : The need for flexible learning environments. *Journal of Artificial Intelligence in Education, 6*(2-3), 239-302.
- Cromley, J. G., Du, Y., & Dane, A. P. (2020). Drawing-to-learn : Does meta-analysis show differences between technology-based drawing and paper-and-pencil drawing? *Journal of Science Education and Technology, 29*(2), 216-229. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09807-6>
- Cromley, J. G., Snyder-Hogan, L. E., & Luciw-Dubas, U. A. (2010). Cognitive activities in complex science text and diagrams. *Contemporary Educational Psychology, 35*(1), 59-74. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2009.10.002>
- Cummings, J., & Hill, S. (2015). Enhancing the classroom experience : Instructor use of tablets. *Information Systems Education Journal, 13*(5), 62-70.

## D

- Darnon, C., Buchs, C., & Butera, F. (2002). Epistemic and relational conflicts in sharing identical vs. Complementary information during cooperative learning. *Swiss Journal of Psychology, 61*(3), 139-151. <https://doi.org/10.1024//1421-0185.61.3.139>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Debue, N., Oufi, N., & Van de Leemput, C. (2020). An investigation of using a tablet computer for searching on the web and the influence of cognitive load. *The Quantitative Methods for Psychology, 16*(3), 226-239. <https://doi.org/10.20982/tqmp.16.3.p226>
- Desrayaud, B., Lelièvre-Bellini, O., Loche, J., Pelé, M., Williatte, F., & Gardarein, J.-M. (2016). *SVT : Sciences de la vie et de la Terre : manuel de cycle 4 : nouveaux programmes 2016*. Hatier.

- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning? In P. Dillenbourg (Éd.), *Collaborative-learning : Cognitive and computational approaches* (p. 1-19). Elsevier.
- Doise, W., & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. InterEditions.
- Doise, W., & Mugny, G. (1997). *Psychologie sociale et développement cognitif*. Armand Collin.
- Doise, W., Mugny, G., & Pérez, J. A. (1998). The social construction of knowledge : Social marking and socio-cognitive conflict. In G. Duveen (Éd.), *The psychology of the social* (p. 77-90). Cambridge University Press.
- Dolmans, D. H. J. M., & Schmidt, H. G. (2006). What do we know about cognitive and motivational effects of small group tutorials in problem-based learning? *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, 11(4), 321-336. <https://doi.org/10.1007/s10459-006-9012-8>
- Dündar, H., & Akçayır, M. (2012). Tablet vs. paper : The effect on learners' reading performance. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 4, 441-450.
- Dündar, H., & Akçayır, M. (2014). Implementing tablet PCs in schools : Students' attitudes and opinions. *Computers in Human Behavior*, 32, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.11.020>
- Dunlosky, J., & Rawson, K. A. (2012). Overconfidence produces underachievement : Inaccurate self evaluations undermine students' learning and retention. *Learning and Instruction*, 22(4), 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.08.003>

## E

- Edens, K. M., & Potter, E. (2003). Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. *School Science and Mathematics*, 103(3), 135-144. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2003.tb18230.x>

- Eitel, A. (2016). How repeated studying and testing affects multimedia learning : Evidence for adaptation to task demands. *Learning and Instruction, 41*, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.10.003>
- Eitel, A., Scheiter, K., & Schüler, A. (2013). How inspecting a picture affects processing of text in multimedia learning : How picture inspection fosters text comprehension. *Applied Cognitive Psychology, 27*(4), 451-461. <https://doi.org/10.1002/acp.2922>
- Eitel, A., Scheiter, K., Schüler, A., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2013). How a picture facilitates the process of learning from text : Evidence for scaffolding. *Learning and Instruction, 28*, 48-63. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.002>
- Essen, G. van, & Hamaker, C. (1990). Using self-generated drawings to solve arithmetic word problems. *The Journal of Educational Research, 83*(6), 301-312. <https://doi.org/10.1080/00220671.1990.10885976>

## F

- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1 : Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods, 41*(4), 1149-1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Fiévez, A., & Karsenti, T. (2018). Usages et perceptions des enseignants lors de l'utilisation de la tablette en contexte scolaire. *Formation et profession, 26*(1), 55. <https://doi.org/10.18162/fp.2018.394>
- Fiorella, L., & Kuhlmann, S. (2020). Creating drawings enhances learning by teaching. *Journal of Educational Psychology, 112*(4), 811-822. <https://doi.org/10.1037/edu0000392>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity : Eight learning strategies that promote understanding*. Cambridge University Press.
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016a). Effects of observing the instructor draw diagrams on learning from multimedia messages. *Journal of Educational Psychology, 108*(4), 528-546. <https://doi.org/10.1037/edu0000065>

- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016b). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 717-741. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2017). Spontaneous spatial strategy use in learning from scientific text. *Contemporary Educational Psychology*, 49, 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.01.002>
- Fiorella, L., Stull, A. T., Kuhlmann, S., & Mayer, R. E. (2019). Instructor presence in video lectures : The role of dynamic drawings, eye contact, and instructor visibility. *Journal of Educational Psychology*, 111(7), 1162-1171. <https://doi.org/10.1037/edu0000325>
- Fiorella, L., Stull, A. T., Kuhlmann, S., & Mayer, R. E. (2020). Fostering generative learning from video lessons : Benefits of instructor-generated drawings and learner-generated explanations. *Journal of Educational Psychology*, 112(5), 895-906. <https://doi.org/10.1037/edu0000408>
- Fiorella, L., & Zhang, Q. (2018). Drawing boundary conditions for learning by drawing. *Educational Psychology Review*, 30(3), 1115-1137. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8>
- Fletcher, J. D., & Tobias, S. (2005). The multimedia principle. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (1<sup>re</sup> éd., p. 117-134). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.008>
- Fokides, E., & Mastrokourou, A. (2018). Results from a study for teaching human body systems to primary school students using tablets. *Contemporary Educational Technology*, 9(2), 154-170. <https://doi.org/10.30935/cet.414808>
- Folker, S., Ritter, H., & Sichelschmidt, L. (2005). Processing and integrating multimodal material : The influence of color-coding. *Proceedings of the 27th annual conference of the cognitive science society*.

## G

- Gaddy, M. L., Broek, P. W. van den, & Sung, Y.-C. (2001). The influence of text cues on the allocation of attention during reading. *Text Representation*, 89.
- Gerth, S., Klassert, A., Dolk, T., Fliesser, M., Fischer, M. H., Nottbusch, G., & Festman, J. (2016). Is handwriting performance affected by the writing surface? Comparing preschoolers', second graders', and adults' writing performance on a tablet vs. paper. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01308>
- Gijlers, H., Weinberger, A., van Dijk, A. M., Bollen, L., & van Joolingen, W. (2013). Collaborative drawing on a shared digital canvas in elementary science education : The effects of script and task awareness support. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 8(4), 427-453. <https://doi.org/10.1007/s11412-013-9180-5>
- Gilly, M. (1989). The psychosocial mechanisms of cognitive constructions : Experimental research and teaching perspectives. *International Journal of Educational Research*, 13(6), 607-621. [https://doi.org/10.1016/0883-0355\(89\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0883-0355(89)90044-X)
- Glynn, S. M., & Di Vesta, F. J. (1979). Control of prose processing via instructional and typographical cues. *Journal of Educational Psychology*, 71(5), 595-603.
- Gobert, J. D., & Clement, J. J. (1999). Effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. *Journal of research in science teaching*, 36(1), 39-53.
- Golding, J. M., & Fowler, S. B. (1992). The limited facilitative effect of typographical signals. *Contemporary Educational Psychology*, 17(2), 99-113. [https://doi.org/10.1016/0361-476X\(92\)90052-Z](https://doi.org/10.1016/0361-476X(92)90052-Z)
- Guo, D., McTigue, E. M., Matthews, S. D., & Zimmer, W. (2020). The impact of visual displays on learning across the disciplines : A systematic review. *Educational Psychology Review*, 32(3), 627-656. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09523-3>

Guo, D., Zhang, S., Wright, K. L., & McTigue, E. M. (2020). Do you get the picture? A meta-analysis of the effect of graphics on reading comprehension. *AERA Open*, 6(1), 233285842090169. <https://doi.org/10.1177/2332858420901696>

## H

Hadwin, A., Järvelä, S., & Miller, M. (2017). *Self-regulation, co-regulation and shared regulation in collaborative learning environments*.

Hall, V. C., Bailey, J., & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 89(4), 677-681. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.89.4.677>

Hammer, M., Göllner, R., Scheiter, K., Fauth, B., & Stürmer, K. (2021). For whom do tablets make a difference? Examining student profiles and perceptions of instruction with tablets. *Computers & Education*, 166, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104147>

Hannüs, M., & Hyönä, J. (1999). Utilization of illustrations during learning of science textbook passages among low- and high-ability children. *Contemporary educational psychology*, 24, 95-123. <https://doi.org/10.1006/ceps.1998.0987>

Hartley, J., Bartlett, S., & Branthwaite, A. (1980). Underlining can make a difference— Sometimes. *The Journal of Educational Research*, 73(4), 218-224. <https://doi.org/10.1080/00220671.1980.10885239>

Haßler, B., Major, L., & Hennessy, S. (2016). Tablet use in schools : A critical review of the evidence for learning outcomes: Tablet use in schools: a critical review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(2), 139-156. <https://doi.org/10.1111/jcal.12123>

Hegarty, M. (2014). Spatial Thinking in Undergraduate Science Education. *Spatial Cognition & Computation*, 14(2), 142-167. <https://doi.org/10.1080/13875868.2014.889696>

Hegarty, M., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1991). Diagrams in the comprehension of scientific texts. In *Handbook of reading research*, (Vol. 2, p. 641-668). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32(6), 717-742. <https://doi.org/10.1006/jmla.1993.1036>

Heinrich, P. (2012). *The ipad as a tool for education—A case study*. Naace Research Papers.

Hellenbrand, J., Mayer, R. E., Opfermann, M., Schmeck, A., & Leutner, D. (2019). How generative drawing affects the learning process : An eye-tracking analysis. *Applied Cognitive Psychology*, 33(6), 1147-1164. <https://doi.org/10.1002/acp.3559>

Hinsz, V. B., Tindale, R. S., & Vollrath, D. A. (1997). The emerging conceptualization of groups as information processors. *Psychological Bulletin*, 121(1), 43-64. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.43>

Hythecker, V. I., Dansereau, D. F., & Rocklin, T. R. (1988). An analysis of the processes influencing the structured dyadic learning environment. *Educational Psychologist*, 23(1), 23-37. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2301\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2301_2)

I

Ifenthaler, D., & Schweinbenz, V. (2013). The acceptance of Tablet-PCs in classroom instruction : The teachers' perspectives. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 525-534. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.11.004>

## J

- Jaeger, A. J., Velazquez, M. N., Dawdanow, A., & Shipley, T. F. (2018). Sketching and summarizing to reduce memory for seductive details in science text. *Journal of Educational Psychology, 110*(7), 899-916. <https://doi.org/10.1037/edu0000254>
- Jaeger, A. J., & Wiley, J. (2014). Do illustrations help or harm metacomprehension accuracy? *Learning and Instruction, 34*, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.08.002>
- James, L. R. (1982). Aggregation bias in estimates of perceptual agreement. *Journal of Applied Psychology, 67*(2), 219-229. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.67.2.219>
- Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior, 32*, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.11.013>
- Jamet, E., Trémenbert, J., Deguillard, G., & Erhel, S. (2011). Un exemple de méthodologie de conception centrée sur l'utilisateur de produits innovants : Le projet duoTV. In G. Dang Nguyen & P. Créach (Éds.), *Recherches sur la société du numérique et ses usages*. L'Harmattan.
- Järvelä, S., & Hadwin, A. F. (2013). New frontiers : Regulating learning in cscl. *Educational Psychologist, 48*(1), 25-39. <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.748006>
- Järvelä, S., Malmberg, J., & Koivuniemi, M. (2016). Recognizing socially shared regulation by using the temporal sequences of online chat and logs in CSCL. *Learning and Instruction, 42*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.10.006>
- Järvenoja, H., Järvelä, S., & Malmberg, J. (2015). Understanding regulated learning in situative and contextual frameworks. *Educational Psychologist, 50*(3), 204-219. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1075400>
- Johnson, C. I., & Mayer, R. E. (2012). An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 18*(2), 178-191. <https://doi.org/10.1037/a0026923>
- Johnson-Laird, P. n. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science, 4*(1), 71-115. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog0401\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0401_4)

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading : From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*(4), 329-354. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.4.329>

## K

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, *19*(4), 509-539. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9054-3>

Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, *13*(4), 351-371. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199908\)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6)

Karsenti, T., & Fievez, A. (2013). *L'ipad à l'école : Usages, avantages et défis : Résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada)*. CRIFPE. [https://denc.gouv.nc/sites/default/files/documents/rapport\\_ipad\\_karsenti\\_fievez.pdf](https://denc.gouv.nc/sites/default/files/documents/rapport_ipad_karsenti_fievez.pdf)

Kenny, D. A., Mannetti, L., Pierro, A., Livi, S., & Kashy, D. A. (2002). The statistical analysis of data from small groups. *Journal of Personality and Social Psychology*, *83*(1), 126-137.

Khlaif, Z. (2018). Teachers' perceptions of factors affecting their adoption and acceptance of mobile technology in k-12 settings. *Computers in the Schools*, *35*(1), 49-67. <https://doi.org/10.1080/07380569.2018.1428001>

King, A. (1991). Effects of training in strategic questioning on children's problem-solving performance. *Journal of Educational Psychology*, *83*(3), 307-317. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.83.3.307>

King, A. (2007). Scripting collaborative learning processes : A cognitive perspective. In F. Fischer, I. Kollar, H. Mandl, & J. M. Haake (Éds.), *Scripting Computer-Supported Collaborative Learning* (p. 13-37). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-36949-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-0-387-36949-5_2)

- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009a). A cognitive load approach to collaborative learning : United brains for complex tasks. *Educational Psychology Review*, 21(1), 31-42. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9095-2>
- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009b). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks : Effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 306-314. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.008>
- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2011). Task complexity as a driver for collaborative learning efficiency : The collective working-memory effect. *Applied Cognitive Psychology*, 25(4), 615-624. <https://doi.org/10.1002/acp.1730>
- Kirschner, F., Paas, F., Kirschner, P. A., & Janssen, J. (2011). Differential effects of problem-solving demands on individual and collaborative learning outcomes. *Learning and Instruction*, 21(4), 587-599. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.01.001>
- Kirschner, P. A., Kirschner, F., & Janssen, J. (2014). The collaboration principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 547-575). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.027>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano, J. (2018). From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213-233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- Klimoski, R., & Mohammed, S. (1994). Team mental model : Construct or metaphor? *Journal of Management*, 20(2), 403-437. <https://doi.org/10.1177/014920639402000206>
- Kollar, I., Fischer, F., & Hesse, F. W. (2006). Collaboration scripts – A conceptual analysis. *Educational Psychology Review*, 18(2), 159-185. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9007-2>
- Kollar, I., Fischer, F., & Slotta, J. D. (2007). Internal and external scripts in computer-supported collaborative inquiry learning. *Learning and Instruction*, 17(6), 708-721. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.021>

- Kollmer, J., Schleinschok, K., Scheiter, K., & Eitel, A. (2020). Is drawing after learning effective for metacognitive monitoring only when supported by spatial scaffolds? *Instructional Science*. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09521-6>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, *15*(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kostons, D., & de Koning, B. B. (2017). Does visualization affect monitoring accuracy, restudy choice, and comprehension scores of students in primary education? *Contemporary Educational Psychology*, *51*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.05.001>
- Kozlowski, S. W. J., & Ilgen, D. R. (2006). Enhancing the effectiveness of work groups and teams. *Psychological Science in the Public Interest*, *7*(3), 77-124. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2006.00030.x>
- Kühl, T., Scheiter, K., Gerjets, P., & Gemballa, S. (2011). Can differences in learning strategies explain the benefits of learning from static and dynamic visualizations? *Computers & Education*, *56*(1), 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.08.008>

## L

- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). Sara : A text-based and reader-based theory of signaling. *Educational Psychologist*, *43*(1), 27-48. <https://doi.org/10.1080/00461520701756321>
- Lenzner, A., Schnotz, W., & Müller, A. (2013). The role of decorative pictures in learning. *Instructional Science*, *41*(5), 811-831. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9256-z>
- Leopold, C., & Leutner, D. (2012). Science text comprehension : Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, *22*(1), 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.05.005>

- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J., & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*, 67(5), 636-642. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.67.5.636>
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension : Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.010>
- Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). The generative drawing principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 433-448). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.022>
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations : A review of research. *Educational Communication & Technology Journal*, 30(4), 195-232.
- Lewis, K. (2003). Measuring transactive memory systems in the field : Scale development and validation. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 587-604. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.587>
- Lewis, K., & Herndon, B. (2011). Transactive memory systems : Current issues and future research directions. *Organization Science*, 22(5), 1254-1265. <https://doi.org/10.1287/orsc.1110.0647>
- Lewis, K., Lange, D., & Gillis, L. (2005). Transactive memory systems, learning, and learning transfer. *Organization Science*, 16(6), 581-598. <https://doi.org/10.1287/orsc.1050.0143>
- Liang, D. W., Moreland, R., & Argote, L. (1995). Group versus individual training and group performance : The mediating role of transactive memory. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21(4), 384-393. <https://doi.org/10.1177/0146167295214009>
- Lin, C.-P., Wong, L.-H., & Shao, Y.-J. (2012). Comparison of 1:1 and 1:m CSCL environment for collaborative concept mapping : 1:1 and 1:m CSCL environment comparison. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(2), 99-113. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00421.x>

- Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S., & Wu, H. (2017). The effect of learner-generated drawing and imagination in comprehending a science text. *The Journal of Experimental Education*, 85(1), 142-154. <https://doi.org/10.1080/00220973.2016.1143796>
- Lo, C. (2010). Student learning and student satisfaction in an interactive classroom. *The Journal of General Education*, 59, 238-263. <https://doi.org/10.1353/jge.2010.0025>
- Lorch, R. F. (1989). Text-signaling devices and their effects on reading and memory processes. *Educational Psychology Review*, 1(3), 209-234.
- Lorch, R. F., Pugzles Lorch, E., & Klusewitz, M. A. (1995). Effects of typographical cues on reading and recall of text. *Contemporary Educational Psychology*, 20(1), 51-64. <https://doi.org/10.1006/ceps.1995.1003>
- Lund, A. M. (2001). Measuring usability with the use questionnaire<sup>12</sup>. *Usability interface*, 8(2), 3-6.

## M

- Maillard, A. (2015). *Améliorer l'exactitude de l'auto-évaluation : Quels dispositifs pour quels apprenants ?* [These de doctorat, Toulouse 2].
- Martin, N., Jamet, É., Erhel, S., & Rouxel, G. (2016). Evaluation of technological products in mobility context : First steps toward new scales with single items. *Actes de la 28ième conference francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, 237-245.
- Mason, L., Lowe, R., & Tornatora, M. C. (2013). Self-generated drawings for supporting comprehension of a complex animation. *Contemporary Educational Psychology*, 38(3), 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.04.001>
- Mason, L., Pluchino, P., & Tornatora, M. C. (2015). Eye-movement modeling of integrative reading of an illustrated text : Effects on processing and learning. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 172-187. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.01.004>

- Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education*, 60(1), 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.011>
- Mathieu, J. E., Heffner, T., Goodwin, G., Salas, E., & Cannon-Bowers, J. (2000). The influence of shared mental models on team process and performance. *The Journal of applied psychology*. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.85.2.273>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (p. 31-48). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014a). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 43-71). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>
- Mayer, R. E. (2014b). Introduction to multimedia learning. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 1-24). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.002>
- Mayer, R. E. (2014c). Principles based on social cues in multimedia learning : Personalization, voice, image, and embodiment principles. In R. E. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> éd., p. 345-368). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.017>
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.4.715>
- Menekse, M., Stump, G. S., Krause, S., & Chi, M. T. H. (2013). Differentiated overt learning activities for effective instruction in engineering classrooms : Differentiated overt learning activities. *Journal of Engineering Education*, 102(3), 346-374. <https://doi.org/10.1002/jee.20021>

- Michinov, E. (2007). Validation de l'échelle de mémoire transactive en langue française et adaptation au contexte académique. *European Review of Applied Psychology*, 57(1), 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.03.001>
- Michinov, E., & Michinov, N. (2013). Travail collaboratif et mémoire transactive : Revue critique et perspectives de recherche. *Le travail humain*, 76(1), 1. <https://doi.org/10.3917/th.761.0001>
- Michinov, N., & Michinov, E. (2009). Investigating the relationship between transactive memory and performance in collaborative learning. *Learning and Instruction*, 19(1), 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.01.003>
- Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse. (2018). *Connaître les pratiques numériques des enseignants*. Profetic. [https://cache.media.eduscol.education.fr/file/ETIC\\_et\\_PROFETIC/51/8/Rapport\\_PROFETIC\\_2018\\_v8\\_1098518.pdf](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/ETIC_et_PROFETIC/51/8/Rapport_PROFETIC_2018_v8_1098518.pdf)
- Mulet, J., Van de Leemput, C., & Amadiou, F. (2019). A critical literature review of perceptions of tablets for learning in primary and secondary schools. *Educational Psychology Review*, 31(3), 631-662. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09478-0>

## O

- OCDE. (2015). *Connectés pour apprendre ? Les élèves et les nouvelles technologies*. PISA. <https://www.oecd.org/fr/education/scolaire/Connectes-pour-apprendre-les-eleves-et-les-nouvelles-technologies-principaux-resultats.pdf>
- O'Keefe, P. A., Letourneau, S. M., Homer, B. D., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Learning from multiple representations : An examination of fixation patterns in a science simulation. *Computers in Human Behavior*, 35, 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.02.040>
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science : A generative process. *Science Education*, 67(4), 489-508. <https://doi.org/10.1002/sce.3730670406>

Osborne, R., & Wittrock, M. C. (1985). The Generative Learning Model and its Implications for Science Education. *Studies in Science Education*, 12(1), 59-87. <https://doi.org/10.1080/03057268508559923>

## P

Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>

Paik, E. S., & Schraw, G. (2013). Learning with animation and illusions of understanding. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 278-289. <https://doi.org/10.1037/a0030281>

Paivio, A. (1986). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press.

Palinscar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1(2), 117-175. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0102\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0102_1)

Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning : Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 422. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00422>

Panadero, E., & Järvelä, S. (2015). Socially shared regulation of learning : A review. *European Psychologist*, 20, 190-203. <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000226>

Park, S. Y. (2009). An analysis of the technology acceptance model in understanding university students' behavioral intention to use e-learning. *Educational Technology & Society*, 12, 150-162.

Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3(3), 227-238. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(93\)90006-L](https://doi.org/10.1016/0959-4752(93)90006-L)

- Plass, J., O’Keefe, P., Homer, B., Case, J., Hayward, E., Stein, M., & Perlin, K. (2013). The impact of individual, competitive, and collaborative mathematics game play on learning, performance, and motivation. *Journal of Educational Psychology, 105*, 1050-1066. <https://doi.org/10.1037/a0032688>
- Ploetzner, R., & Fillisch, B. (2017). Not the silver bullet : Learner-generated drawings make it difficult to understand broader spatiotemporal structures in complex animations. *Learning and Instruction, 47*, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.10.002>
- Potocki, A., & Billottet, E. (2020). *Incidence du numérique sur l’apprentissage du lire, dire, écrire.* Cnesco. [https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2020/10/201015\\_Cnesco\\_PotockiBillottet\\_Numerique\\_Francais-1.pdf](https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2020/10/201015_Cnesco_PotockiBillottet_Numerique_Francais-1.pdf)
- Prichard, J. S., Stratford, R. J., & Bizo, L. A. (2006). Team-skills training enhances collaborative learning. *Learning and Instruction, 16*(3), 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.005>

## R

- Rellensmann, J., Schukajlow, S., & Leopold, C. (2017). Make a drawing. Effects of strategic knowledge, drawing accuracy, and type of drawing on students’ mathematical modelling performance. *Educational Studies in Mathematics, 95*(1), 53-78. <https://doi.org/10.1007/s10649-016-9736-1>
- Ren, Y., & Argote, L. (2011). Transactive memory systems 1985–2010 : An integrative framework of key dimensions, antecedents, and consequences. *Academy of Management Annals, 5*(1), 189-229. <https://doi.org/10.5465/19416520.2011.590300>
- Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying Visual Displays : How to Instructionally Support Learning. *Educational Psychology Review, 29*(3), 599-621. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9340-4>

- Retnowati, E., Ayres, P., & Sweller, J. (2017). Can collaborative learning improve the effectiveness of worked examples in learning mathematics? *Journal of Educational Psychology, 109*(5), 666-679. <https://doi.org/10.1037/edu0000167>
- Rossing, J. P., Miller, W. M., Cecil, A. K., & Stamper, S. E. (2012). iLearning : The Future of Higher Education? Student Perceptions on Learning with Mobile Tablets. *Journal of Scholarship of Teaching and Learning, 12*(2), 1-26.
- Rotgans, J., & Schmidt, H. (2014). Situational interest and learning : Thirst for knowledge. *Learning and Instruction, 32*, 37-50.
- Rummel, N., Levin, J. R., & Woodward, M. M. (2003). Do pictorial mnemonic text-learning aids give students something worth writing about? *Journal of Educational Psychology, 95*(2), 327-334. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.2.327>

## S

- Sanchez, C. A., & Wiley, J. (2006). An examination of the seductive details effect in terms of working memory capacity. *Memory & Cognition, 34*(2), 344-355. <https://doi.org/10.3758/BF03193412>
- Scheiter, K., & Eitel, A. (2015). Signals foster multimedia learning by supporting integration of highlighted text and diagram elements. *Learning and Instruction, 36*, 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.11.002>
- Scheiter, K., Schleinschok, K., & Ainsworth, S. (2017). Why sketching may aid learning from science texts : Contrasting sketching with written explanations. *Topics in Cognitive Science, 9*(4), 866-882. <https://doi.org/10.1111/tops.12261>
- Scheiter, K., Schöler, A., & Eitel, A. (2017). Learning from multimedia : Cognitive processes and instructional support. In S. Schwan & U. Cress (Éds.), *The Psychology of Digital Learning* (p. 1-19). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49077-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49077-9_1)

- Schleinschok, K., Eitel, A., & Scheiter, K. (2017). Do drawing tasks improve monitoring and control during learning from text? *Learning and Instruction*, 51, 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.02.002>
- Schmeck, A., Mayer, R. E., Opfermann, M., Pfeiffer, V., & Leutner, D. (2014). Drawing pictures during learning from scientific text : Testing the generative drawing effect and the prognostic drawing effect. *Contemporary Educational Psychology*, 39(4), 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.07.003>
- Schmidgall, S. P., Eitel, A., & Scheiter, K. (2019). Why do learners who draw perform well? Investigating the role of visualization, generation and externalization in learner-generated drawing. *Learning and Instruction*, 60, 138-153. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.006>
- Schmidgall, S. P., Scheiter, K., & Eitel, A. (2020). Can we further improve tablet-based drawing to enhance learning? An empirical test of two types of support. *Instructional Science*, 48(4), 453-474. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09513-6>
- Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2010). Explaining the modality and contiguity effects : New insights from investigating students' viewing behaviour. *Applied Cognitive Psychology*, 24(2), 226-237. <https://doi.org/10.1002/acp.1554>
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14, 101-120. <https://doi.org/10.1023/A:1013136727916>
- Schnotz, W. (2014). Integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Éd), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (2<sup>e</sup> éd., p. 72-103). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.006>
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)

- Schnotz, W., & Wagner, I. (2018). Construction and elaboration of mental models through strategic conjoint processing of text and pictures. *Journal of Educational Psychology, 110*(6), 850-863. <https://doi.org/10.1037/edu0000246>
- Schraw, G. (2009). A conceptual analysis of five measures of metacognitive monitoring. *Metacognition and Learning, 4*(1), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s11409-008-9031-3>
- Schüler, A., Pazzaglia, F., & Scheiter, K. (2019). Specifying the boundary conditions of the multimedia effect : The influence of content and its distribution between text and pictures. *British Journal of Psychology, 110*(1), 126-150. <https://doi.org/10.1111/bjop.12341>
- Schwamborn, A., Mayer, R. E., Thillmann, H., Leopold, C., & Leutner, D. (2010). Drawing as a generative activity and drawing as a prognostic activity. *Journal of Educational Psychology, 102*(4), 872-879. <https://doi.org/10.1037/a0019640>
- Schwamborn, A., Thillmann, H., Opfermann, M., & Leutner, D. (2011). Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations. *Comput. Hum. Behav., 27*(1), 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.028>
- Schwonke, R., Berthold, K., & Renkl, A. (2009). How multiple external representations are used and how they can be made more useful. *Applied Cognitive Psychology, 23*(9), 1227-1243. <https://doi.org/10.1002/acp.1526>
- Serra, M. J., & Dunlosky, J. (2010). Metacomprehension judgements reflect the belief that diagrams improve learning from text. *Memory, 18*(7), 698-711. <https://doi.org/10.1080/09658211.2010.506441>
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction, 13*(2), 227-237. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00022-1)
- Slavin, R. E. (2014). Cooperative learning and academic achievement : Why does groupwork work? *Anales de Psicología / Annals of Psychology, 30*(3), 785-791. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.201201>

- Soffer, T., & Yaron, E. (2017). Perceived learning and students' perceptions toward using tablets for learning : The mediating role of perceived engagement among high school students. *Journal of Educational Computing Research*, 55(7), 951-973. <https://doi.org/10.1177/0735633117689892>
- Soykan, E. (2015). Views of students', teachers' and parents' on the tablet computer usage in education. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 228-244. <https://doi.org/10.18844/cjes.v1i1.68>
- Stalbovs, K., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2015). Implementation intentions during multimedia learning : Using if-then plans to facilitate cognitive processing. *Learning and Instruction*, 35, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.09.002>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011a). *Cognitive load theory*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011b). The expertise reversal effect. In J. Sweller, P. Ayres, & S. Kalyuga, *Cognitive Load Theory* (p. 155-170). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4_12)

## T

- Tamim, R., Borokhovski, E., Pickup, D., & Bernard, R. M. (2015). *Large-scale, government-supported educational tablet initiatives*.
- Tenenbaum, H., Winstone, N. E., Leman, P., & Avery, R. E. (2020). *How effective is peer interaction in facilitating learning? A meta-analysis*. <https://doi.org/10.1037/edu0000436>
- Tindale, R. S., & Kameda, T. (2000). « Social sharedness » as a unifying theme for information processing in groups. *Group Processes & Intergroup Relations*, 3(2), 123-140. <https://doi.org/10.1177/1368430200003002002>
- Tricot, A., & Chesné, J.-F. (2020). *Numérique et apprentissages scolaires : Rapport de synthèse*. Cnesco. <http://www.cnesco.fr/fr/numerique-et-apprentissages-scolaires/>

Tseng, H., Ku, H.-Y., Wang, C.-H., & Sun, L. (2009). Key factors in online collaboration and their relationship to teamwork satisfaction. *Quarterly Review of Distance Education*, 10(2), 195-206.

## V

Van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93, 129-140. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.129>

Van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31(2), 142-166. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.04.001>

Van Meter, P., & Firetto, C. (2013). Cognitive model of drawing construction : Learning through the construction of drawings. In G. Schraw, M. T. McCrudden, & D. R. Robison (Éds.), *Learning through visual displays* (p. 247-280). Information Age Publishing.

Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing : Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285-325. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-8136-3>

Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>

van Dijk, A. M., Gijlers, H., & Weinberger, A. (2014). Scripted collaborative drawing in elementary science education. *Instructional Science*, 42(3), 353-372. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9286-1>

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.

Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology : Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*, 36(1), 157-178. <https://doi.org/10.2307/41410412>

# W

- Webb, N. M., & Mastergeorge, A. (2003). Promoting effective helping behavior in peer-directed groups. *International Journal of Educational Research*, 39(1-2), 73-97. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(03\)00074-0](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(03)00074-0)
- Wegner, D. M. (1986). Transactive memory : A contemporary analysis of the group mind. In B. Mullen & G. R. Goethals (Éds.), *Theories of Group Behavior* (p. 185-208). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4634-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4634-3_9)
- Weidenmann, B. (1989). When good pictures fail : An information-processing approach to the effect of illustrations. In H. Mandl & J. R. Levin (Éds.), *Advances in Psychology* (Vol. 58, p. 157-170). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62153-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62153-6)
- Weinberger, A., Ertl, B., Fischer, F., & Mandl, H. (2005). Epistemic and social scripts in computer-supported collaborative learning. *Instructional Science*, 33(1), 1-30. <https://doi.org/10.1007/s11251-004-2322-4>
- Wiley, J. (2018). Picture this ! Effects of photographs, diagrams, animations, and sketching on learning and beliefs about learning from a geoscience text. *Applied Cognitive Psychology*, acp.3495. <https://doi.org/10.1002/acp.3495>
- Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In *Metacognition in educational theory and practice* (p. 277-304). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11(2), 87-95. <https://doi.org/10.1080/00461527409529129>
- Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24(4), 345-376. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2404\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2404_2)
- Wittrock, M. C. (1991). Generative teaching of comprehension. *The Elementary School Journal*, 92(2), 169-184. <https://doi.org/10.1086/461686>
- Wittrock, M. C. (1992). Generative Learning Processes of the Brain. *Educational Psychologist*, 27(4), 531-541. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2704\\_8](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2704_8)

## Y

Yeari, M., Oudega, M., & van den Broek, P. (2017). The effect of highlighting on processing and memory of central and peripheral text information: Evidence from eye movements. *Journal of Research in Reading, 40*(4), 365-383. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.12072>

Yerushalmy, M. (1991). Student perceptions of aspects of algebraic function using multiple representation software. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(1), 42-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00223.x>

## Z

Zambrano, J., Kirschner, F., Sweller, J., & Kirschner, P. A. (2019a). Effects of group experience and information distribution on collaborative learning. *Instructional Science, 47*(5), 531-550. <https://doi.org/10.1007/s11251-019-09495-0>

Zambrano, J., Kirschner, F., Sweller, J., & Kirschner, P. A. (2019b). Effects of prior knowledge on collaborative and individual learning. *Learning and Instruction, 63*, 101214. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.011>

Zhang, Q., & Fiorella, L. (2019). Role of generated and provided visuals in supporting learning from scientific text. *Contemporary Educational Psychology, 59*, 101808. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101808>

Zhang, Q., & Fiorella, L. (2021). Learning by drawing : When is it worth the time and effort? *Contemporary Educational Psychology, 101990*. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101990>

Zhang, Z. H., & Linn, M. C. (2013). Learning from chemical visualizations : Comparing generation and selection. *International Journal of Science Education, 35*(13), 2174-2197. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.792971>

## Annexes

<b>Annexe 1.</b> Applications de génération collaborative de schémas avec leurs fonctionnalités.....	285
<b>Annexe 2.</b> Enquête diffusée aux enseignants dans le cadre de la démarche de co-conception de l'application de génération collaborative de schémas. ....	287
<b>Annexe 3.</b> Document pédagogique fourni aux élèves dans la première étude (les six diapositives sont présentées dans l'ordre). ....	293
<b>Annexe 4.</b> Grille de codage de la qualité des schémas générés dans nos trois études. ....	299
<b>Annexe 5.</b> Les trois livrets du test de rotation mentale (Explications et exemples / Partie 1 / Partie 2 du test).....	301
<b>Annexe 6.</b> Questionnaire évaluant les connaissances préalables des élèves, fourni dans les trois études de la thèse.....	310
<b>Annexe 7.</b> Questionnaire fourni aux collégiens après l'activité sur tablette dans les études 1 et 2.....	313
<b>Annexe 8.</b> Exemples de schémas générés selon leur complexité par les élèves dans les trois études.....	319
<b>Annexe 9.</b> Matériel pédagogique présenté aux élèves dans la deuxième étude. ....	323
<b>Annexe 10.</b> Présentation des différentes diapositives du document d'entraînement des élèves.....	328
<b>Annexe 11.</b> Matériel pédagogique utilisé dans la troisième étude (présenté dans l'ordre).....	329
<b>Annexe 12.</b> Questionnaire proposé aux élèves après l'activité sur tablette dans la troisième étude de la thèse. ....	335
<b>Annexe 13.</b> Tableau de corrélation entre les scores de SMT, de qualité des schémas générés et d'apprentissage (niveau groupal) .....	344

**Annexe 14.** Comparaison des variables contrôles selon le niveau d'interactions centrées sur la tâche en fonction des fichiers de données individuelles (Niveau individuel) et agrégées (Niveau groupal). ..... 345

**Annexe 15.** Comparaison des mesures d'apprentissage selon le niveau d'interaction centrées sur la tâche des élèves à partir du fichier de données individuelles. .... 347

**Annexe 1.** Applications de génération collaborative de schémas avec leurs fonctionnalités.

Noms	Plateforme	Prix	Fonctionnalités
ScketchBoard.io©	Site Web	Partiellement payant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crayon</li> <li>- Retour en arrière</li> <li>- Insertion de figures prédéfinies (rectangles...) ou d'images prédéfinies (schémas de visages, dessins de téléphone) ou d'éléments électroniques</li> <li>- Insertion de texte</li> <li>- Tchat</li> <li>- Insertion d'images (payant)</li> <li>- Export (payant)</li> </ul>
PencilBox©	Application	Gratuite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crayon</li> <li>- Effaceur</li> <li>- Insertion de figures géométriques et de texte</li> <li>- Insertion d'images</li> <li>- Règle, compas</li> <li>- Sauvegarde et téléchargement du schéma</li> </ul>
Explain Everything©	Application	Payant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crayon</li> <li>- Effaceur</li> </ul>

Noms	Plateforme	Prix	Fonctionnalités
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insertion de figures géométriques et de texte</li> <li>- Insertion d'images et retouches</li> <li>- Pointeur</li> <li>- Sauvegarde et téléchargement du schéma</li> <li>- Enregistrement de l'écran avec son (création de vidéos)</li> </ul>
JamBoard©	Outil google	Gratuit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crayon</li> <li>- Effaceur</li> <li>- Pense-bête</li> <li>- Insertion d'images</li> <li>- Insertion de figures géométriques</li> <li>- Insertion de texte</li> <li>- Pointeur</li> </ul>
Pratico©	Application	Gratuit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crayon</li> <li>- Effaceur</li> <li>- Insertion d'images</li> </ul>

**Annexe 2. Enquête diffusée aux enseignants dans le cadre de la démarche de co-conception de l'application de génération collaborative de schémas.**

## **ACTIVITES COLLABORATIVES ET USAGE DES TABLETTES NUMÉRIQUES AU COLLEGE**

Dans le cadre d'une thèse en psychologie sur le projet e-fran ACTIF (Apprentissage et Collaboration sur Tablettes, Interactions et Feedback)<sup>16</sup>, nous souhaitons connaître votre avis concernant le travail en groupe et l'utilisation des tablettes numériques pour la réalisation de schémas.

Ce questionnaire dure moins de 10 minutes.

En répondant à ce questionnaire, vous consentez à participer à notre étude et déclarez savoir que :

- (1) Votre participation est entièrement volontaire et anonyme.
- (2) l'ensemble des informations recueillies et des données traitées est non-nominatif et strictement confidentiel.

Merci de cliquer sur "Je comprends et j'accepte de participer à cette étude" pour participer

- Je comprends et j'accepte de participer à cette étude  
Si vous souhaitez avoir davantage d'informations sur le projet, vous pouvez nous contacter au mail et numéro suivant :

---

<sup>16</sup> Le Projet ACTIF (Apprentissage et Collaboration sur Tablettes, Interactions et Feedback) vise à expérimenter des outils et méthodes pédagogiques qui facilitent l'apprentissage "actif" et "collaboratif" à partir de tablettes avec stylets.

1) Vous êtes :\*

- Un homme
- Une femme
- Je ne souhaite pas le préciser

2) Quel âge avez-vous ?\*

.....

3) Vous enseignez :

- Au collège
- Au lycée
- Les deux

4) Quelle matière enseignez-vous ?\*

.....

5) Depuis combien de temps enseignez-vous ?\* .....

6) Quels outils numériques utilisez-vous avec vos élèves ?\*

.....  
.....

7) Utilisez-vous des applications/sites/logiciels avec vos élèves lors d'exercices collaboratifs ?\*

- Oui
- Non

8) Si oui, lesquels ?\*

.....  
.....  
.....

1- Questions sur le travail en groupe, la réalisation de schémas seul ou à plusieurs et l'utilisation de tablettes numériques **pendant vos cours**

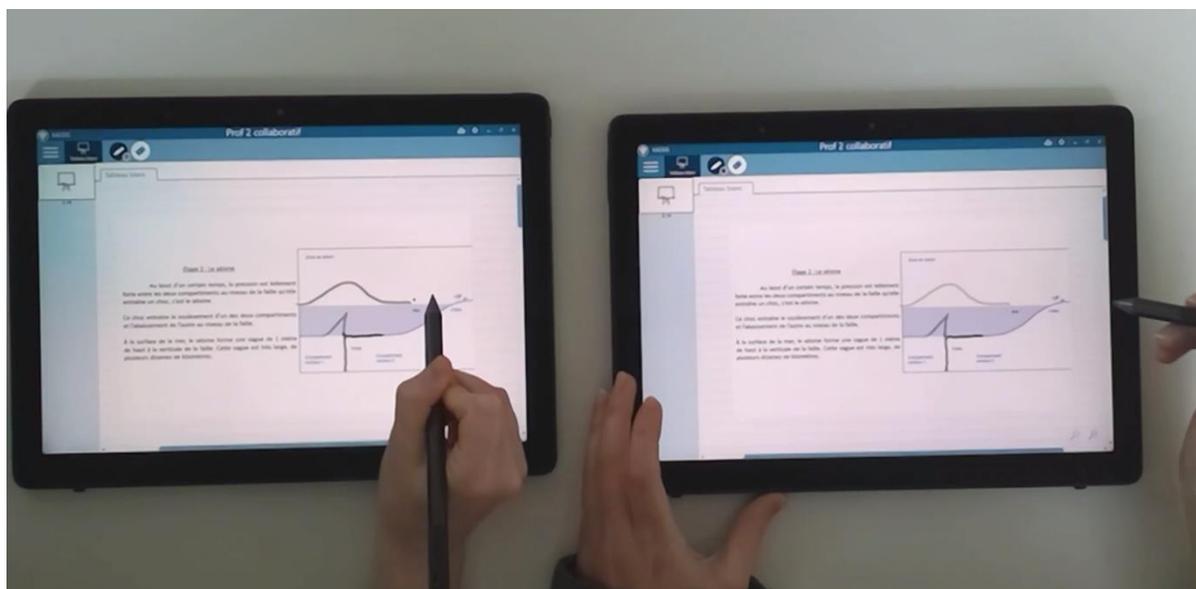
		1	2	3	4	5	6	7	
<b>Travail en groupe pendant vos cours</b>									
1) Je fais travailler mes élèves par groupe*	Jamais								Presque toujours
2) Le travail en groupe me semble utile pour mes élèves *	Pas du tout d'accord								Tout à fait d'accord
3) Le travail en groupe me semble facile à mettre en place*									
<b>Travail de réalisation de schémas pendant vos cours</b>									
4) Je fais travailler mes élèves sur la réalisation de schémas*	Jamais								Presque toujours
5) La réalisation par les élèves de schémas me semble utile pour leur apprentissage*	Pas du tout d'accord								Tout à fait d'accord
6) La réalisation par les élèves de schémas me semble facile à mettre en place *									

<b>Travail de réalisation de schémas à plusieurs <u>pendant vos cours</u></b>										
7) Je fais travailler mes élèves par <b>petits groupes</b> sur la réalisation de schémas*	Jamais									Presque toujours
8) Faire réaliser des schémas par <b>petits groupes</b> d'élèves me semble utile pour leur apprentissage*	Pas du tout d'accord									Tout à fait d'accord
9) Faire réaliser des schémas par <b>petits groupes</b> d'élèves me semble facile à mettre en place*										
<b>Travail sur tablettes numériques pendant vos cours</b>										
10) Je fais travailler mes élèves sur des tablettes numériques  • <b>Pas concerné (pas de tablette à disposition)</b>	Jamais									Presque toujours
11) Travailler sur tablette numérique me semble utile pour mes élèves*	Pas du tout d'accord									Tout à fait d'accord
12) Travailler sur tablette numérique me semble facile à mettre en place*										

## 2- Proposition d'un espace partagé de réalisation de schémas sur tablette numérique avec stylet

Dans le cadre du projet Actif, nous avons développé, avec des enseignants, une application innovante qui permet, entre autres, de réaliser des schémas sur tablette. Pour utiliser cette application, chacun des élèves d'un groupe dispose d'une tablette numérique équipée d'un stylet, avec à l'écran, un texte et une zone pour réaliser leur schéma. Grâce à l'application d'espace partagé de réalisation de schémas, tous les tracés d'un des élèves du groupe sont retransmis sur la tablette de son/ses partenaire(s) et inversement. De même, chacun des élèves peut gommer les traits de son/ses partenaire(s). L'application propose un crayon de différentes couleurs et une gomme.

Un exemple des tablettes numériques avec stylet et de l'application sont présentées dans la vidéo suivante :



Utilisation d'un espace partagé de réalisation de schémas sur tablette numérique avec stylet								
1) Je pense que l'application d'espace partagé de réalisation de schémas serait utile pour mon travail avec mes élèves*	Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
2) Si vous disposiez de tous les outils nécessaires, seriez-vous prêt à utiliser cette application ? *								
3) Selon vous, quels sont les avantages qu'offrent cette application d'espace partagé de réalisation de schémas sur tablette numérique avec stylet ?	..... .....							
4) Selon vous, quels pourraient-êtré les freins à l'utilisation de cette application d'espace partagé de réalisation de schémas sur tablette numérique avec stylet ?	..... .....							

Commentaires / Remarques

..... .....
----------------

Merci pour votre collaboration, si vous souhaitez les résultats de cette enquête vous pouvez me contacter à l'adresse mail suivante : [julie.rochat@univ-rennes2.fr](mailto:julie.rochat@univ-rennes2.fr).

**Annexe 3.** Document pédagogique fourni aux élèves dans la première étude (les six diapositives sont présentées dans l'ordre).

Les diapositives d'introduction et de conclusion étaient communes à toutes les conditions. Les diapositives présentant les étapes 1, 2, 3 et 4 sont présentées sous la forme suivante :

- En haut à gauche : condition « Textes seuls »
- En haut à droite : condition « Textes illustrés »
- En bas à gauche : condition « Génération sans illustrations »
- En haut à droite : condition « Génération avec illustration »

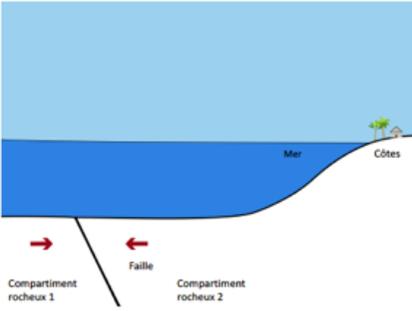
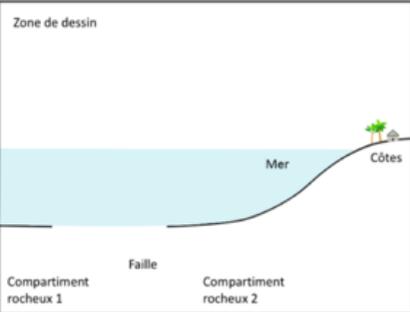
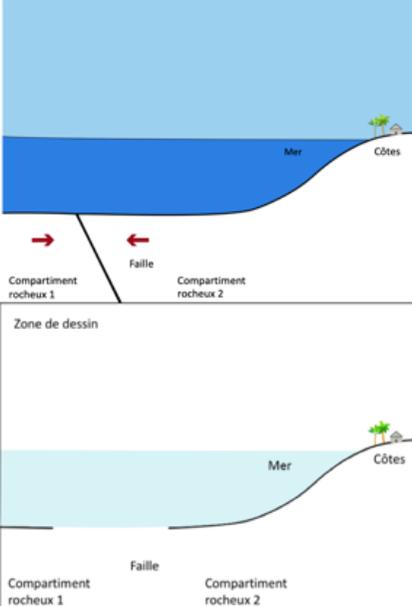
## Introduction

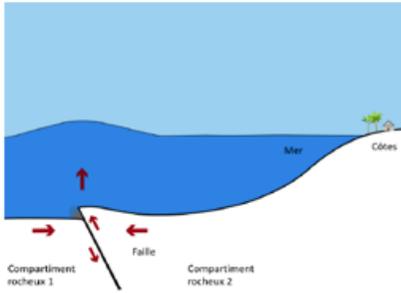
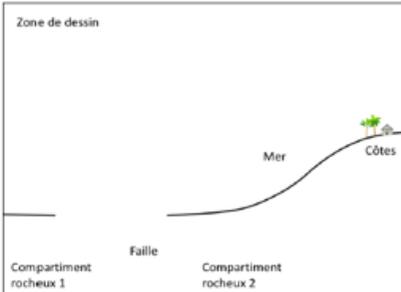
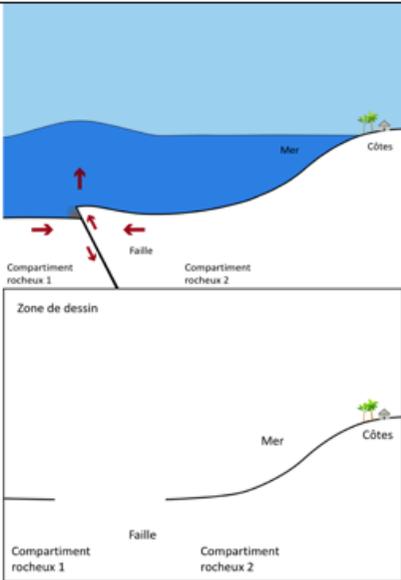
Tu as peut-être déjà entendu parler de très violentes vagues que l'on appelle **Tsunami**. C'est une catastrophe naturelle qui peut provoquer des dégâts très importants.

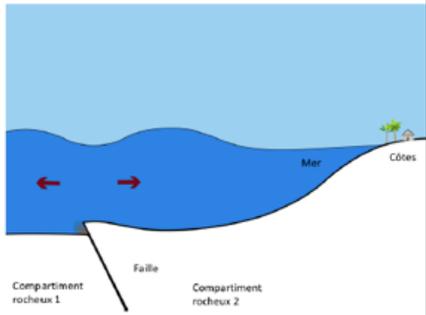
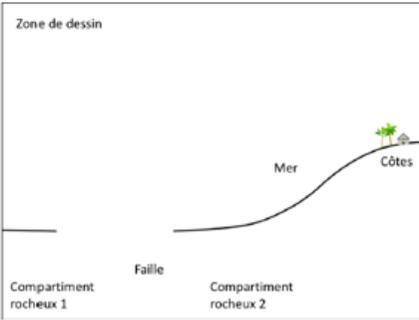
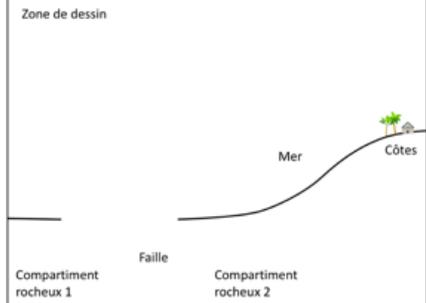
Dans ce document, tu vas découvrir comment se crée un tsunami et ses différentes étapes.

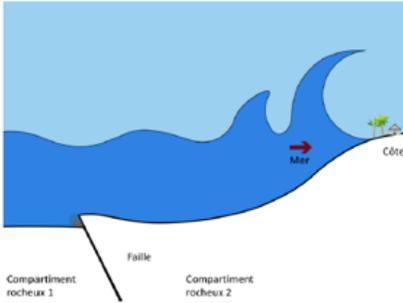
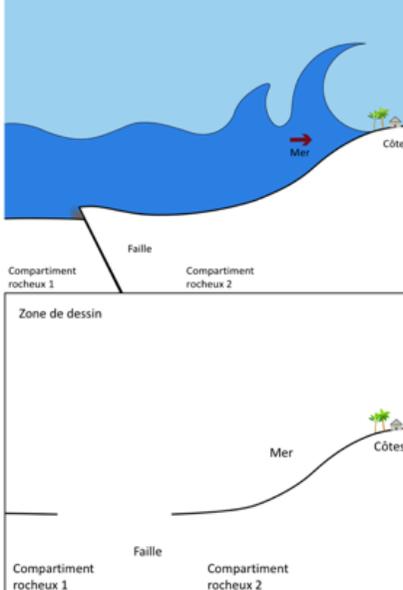
À la fin de l'activité, tu devras **répondre à des questions** pour voir si tu as bien compris le phénomène de Tsunami, et aussi comment tu as apprécié l'activité.

**Consigne : Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.**

<p align="center"><u>Étape 1 : Les failles sous l'Océan</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>Dans l'Océan, il existe des <b>failles</b>. Une faille est une cassure entre deux compartiments rocheux.</p> <p>À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux. L'état de la mer est dans ce cas normal.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p>	<p align="center"><u>Étape 1 : Les failles sous l'Océan</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte en te basant sur l'image.</p> <p>Dans l'Océan, il existe des <b>failles</b>. Une faille est une cassure entre deux compartiments rocheux.</p> <p>À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux. L'état de la mer est dans ce cas normal.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 
<p align="center"><u>Étape 1 : Les failles sous l'Océan</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>Dans l'Océan, il existe des <b>failles</b>. Une faille est une cassure entre deux compartiments rocheux.</p> <p>À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux. L'état de la mer est dans ce cas normal.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 	<p align="center"><u>Étape 1 : Les failles sous l'Océan</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>Dans l'Océan, il existe des <b>failles</b>. Une faille est une cassure entre deux compartiments rocheux.</p> <p>À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux. L'état de la mer est dans ce cas normal.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 

<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La pression entre les deux compartiments entraîne un <b>choc</b>. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.</p> <p>Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte en te basant sur l'image.</p> <p>La pression entre les deux compartiments entraîne un <b>choc</b>. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.</p> <p>Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 
<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La pression entre les deux compartiments entraîne un <b>choc</b>. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.</p> <p>Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 	<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La pression entre les deux compartiments entraîne un <b>choc</b>. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.</p> <p>Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 

<p style="text-align: center;"><u>Étape 3 : La propagation de la vague</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.</p> <p>Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres vers les côtes.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Étape 3 : La propagation de la vague</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte en te basant sur l'image.</p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.</p> <p>Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres vers les côtes.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 
<p style="text-align: center;"><u>Étape 3 : La propagation de la vague</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.</p> <p>Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres vers les côtes.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 	<p style="text-align: center;"><u>Étape 3 : La propagation de la vague</u></p> <p><b>Consigne :</b> Lis attentivement le texte.</p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.</p> <p>Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres vers les côtes.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 

<p style="text-align: center;"><u>Étape 4 : Le déferlement</u></p> <p><b>Consigne : Lis attentivement le texte.</b></p> <p>La vague devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut.</p> <p>À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Étape 4 : Le déferlement</u></p> <p><b>Consigne : Lis attentivement le texte en te basant sur l'image.</b></p> <p>La vague devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut.</p> <p>À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 
<p style="text-align: center;"><u>Étape 4 : Le déferlement</u></p> <p><b>Consigne : Lis attentivement le texte.</b></p> <p>La vague devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut.</p> <p>À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p> <p><b>Consigne :</b> Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Étape 4 : Le déferlement</u></p> <p><b>Consigne : Lis attentivement le texte.</b></p> <p>La vague devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut.</p> <p>À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p> <p><b>Consigne :</b> En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.</p> 

Conclusion :

Les tsunamis provoquent des dégâts matériels et humains très importants.

Par exemple, au Japon en 2011, ils ont entraîné des dégâts sur une centrale nucléaire.

En Thaïlande en 2004, ils ont fait des centaines de milliers de morts.



*Note.* Photo prise par le Sergent Morse (2011) dans le cadre de l'U.S. Air Force.

**Annexe 4.** Grille de codage de la qualité des schémas générés dans nos trois études.

	<b>Étude 1</b>	<b>Étude 2</b>
<b>Étape 1 de la formation des tsunamis</b>	Faille Pression	/
<b>Étape 2 de la formation des tsunamis</b>	Faille Pression Choc Abaissement d'un compartiment rocheux Soulèvement d'un compartiment rocheux Vague qui se forme au-dessus de la faille	Faille Choc Abaissement d'un compartiment rocheux Soulèvement d'un compartiment rocheux Vague qui se forme au-dessus de la faille
<b>Étape 3 de la formation des tsunamis</b>	Vague allant d'un côté Vague allant de l'autre côté	Vague allant d'un côté Vague allant de l'autre côté
<b>Étape 4 de la formation des tsunamis</b>	Vague qui s'abat sur les côtes	Vague qui s'abat sur les côtes

	<b>Étude 3</b>
<b>Étape 1 de la formation des tsunamis</b>	/
<b>Étape 2 de la formation des tsunamis</b>	Faille Choc Abaissement d'un compartiment rocheux Soulèvement d'un compartiment rocheux Vague qui se forme au-dessus de la faille
<b>Étape 3 de la formation des tsunamis</b>	Vague allant d'un côté Vague allant de l'autre côté
<b>Étape 4 de la formation des tsunamis</b>	Formation de plusieurs vagues Reflux
<b>Étape 5 de la formation des tsunamis</b>	Vague qui s'abat sur les côtes

**Annexe 5.** *Les trois livrets du test de rotation mentale (Explications et exemples / Partie 1 / Partie 2 du test)*

**Test :**

**Identifiant (initiales prénom et nom / jour de naissance) :**

*Exemple Julie Rochat née le 18 novembre : JR18 :*

**Date de naissance : ...../...../.....**

**Sexe :**

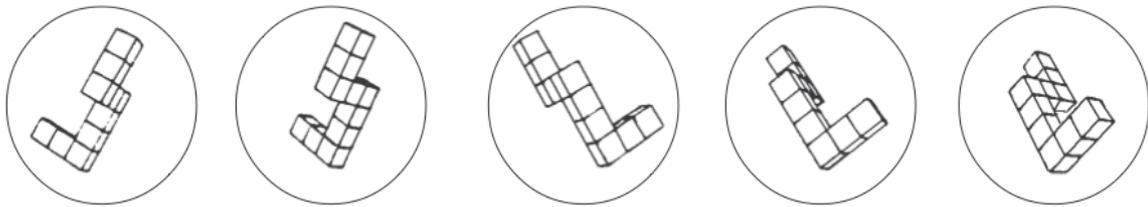
Garçon

Fille

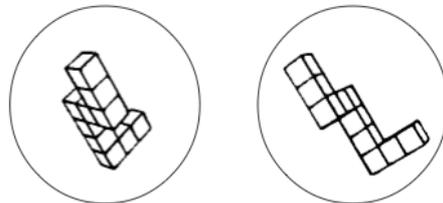
**Consigne : Remplis les questionnaires en suivant les consignes.**

## Test visuo-spatial :

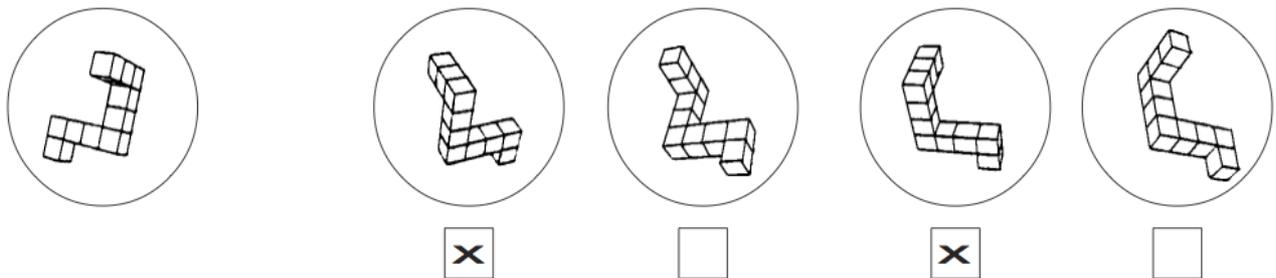
Ceci est un test destiné à mesurer ta capacité à reconnaître le dessin d'un objet par un ensemble d'objets différents. La seule différence entre l'objet original et l'objet à trouver consiste en une modification de l'angle sous lequel il est vu. Une illustration de cela est ci-dessous, où la même figure est présentée dans cinq positions. Regarde chacun d'entre eux pour te rendre compte qu'ils ont simplement été présenté sous un angle différent l'un de l'autre.

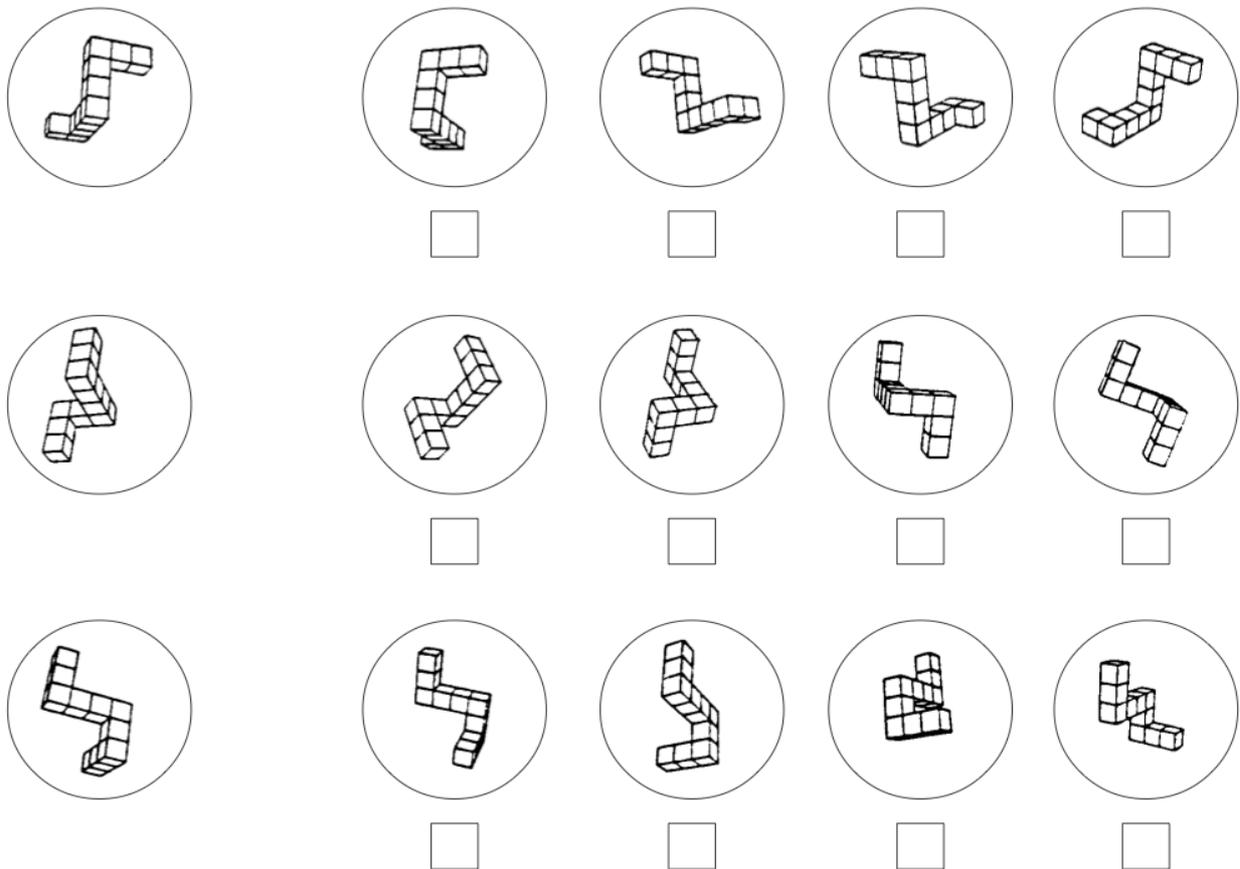


“Ci-dessous, vous voyez deux dessins d'un nouvel objet. Ils ne peuvent pas être appariés avec les cinq dessins ci-dessus. Notez que vous ne pouvez pas retourner les objets. Voyez vous-mêmes qu'ils sont différents.”



“Maintenant, vous allez faire quelques problèmes en guise d'exemple. Pour chaque problème il y a un premier dessin tout à fait à gauche. Vous devez indiquer parmi les quatre structures à droite, les deux qui sont semblables au modèle donné à gauche. Dans chaque problème, il y a toujours deux dessins semblables à celui de gauche. Mettez un x dans les cases sous les dessins corrects et laissez un blanc dans celles qui sont incorrectes. Le premier exemple est déjà complété.”





“Réponses : 1 - Premier et second dessins corrects  
 2 - Premier et troisième dessin corrects  
 3 - Deuxième et troisième dessins corrects

Ce test comprend deux parties. Tu as 3 minutes pour chacune. Chaque partie a deux pages. Quand tu as terminé la partie 1, arrête-toi. Ne commence pas la partie suivante avant que je te l’ai demandé. Rappelle-toi qu’il y a toujours 2 bonnes réponses par ligne.

Travaille aussi rapidement que tu peux sans négliger l’exactitude. Ton score à ce test dépend des réponses correctes et incorrectes. Cependant, tu n’as pas intérêt à deviner sans avoir une idée sur l’exactitude de ton choix.

## Partie 1 : 3 minutes

Identifiant (initiales prénom et nom / jour de naissance) :

*Exemple Julie Rochat née le 18 novembre : JR18 :*

Date de naissance : ...../...../.....

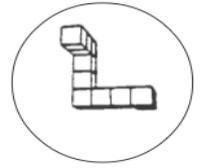
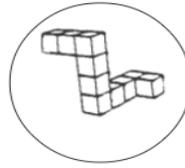
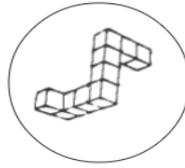
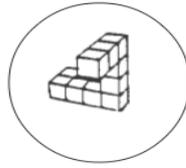
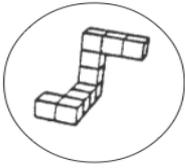
Sexe :

Garçon

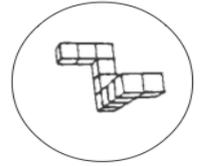
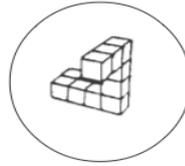
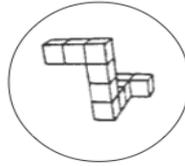
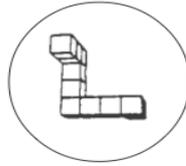
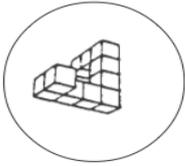
Fille

**ATTENTION : Il y a deux réponses correctes à chaque fois**

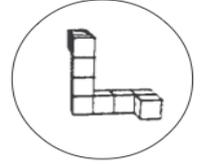
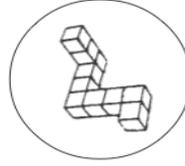
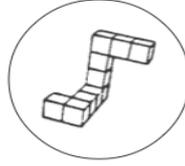
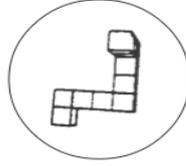
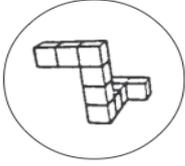
1



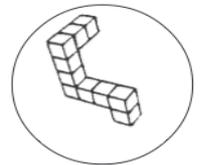
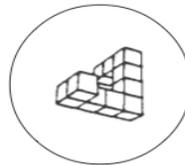
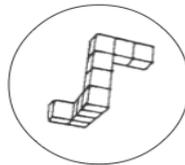
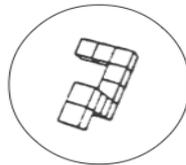
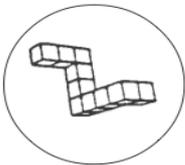
2



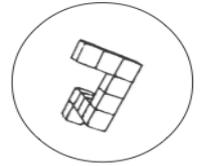
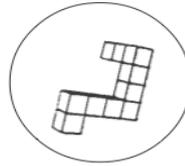
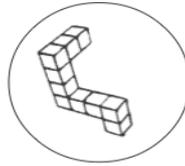
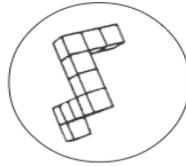
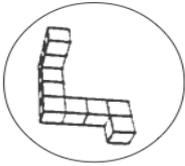
3

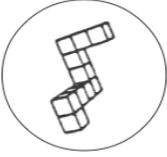
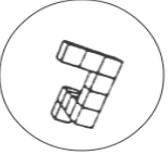
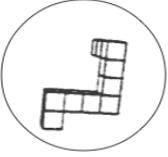
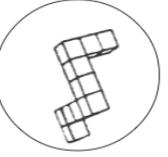
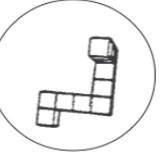
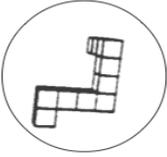
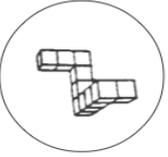
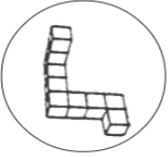
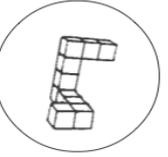
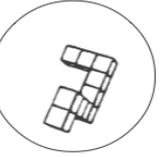
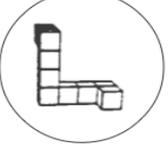
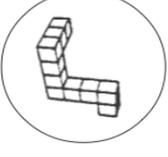
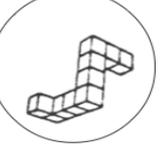
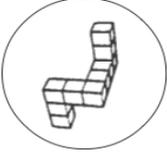
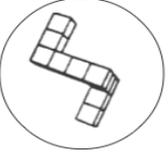
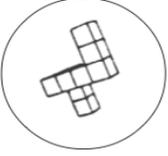
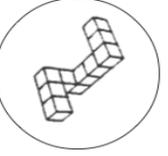
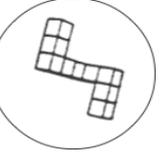
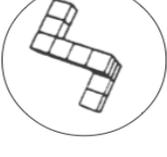
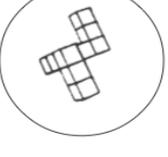
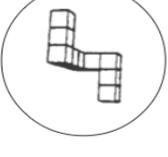
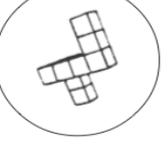
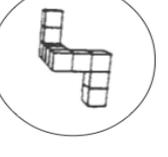


4



5



6					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10					
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **TEST VISUEL : PARTIE 2**

Identifiant (initiales prénom et nom / jour de naissance) :

*Exemple (Julie Rochat née le 18 novembre) : JR18*

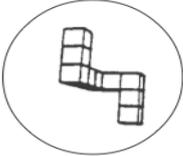
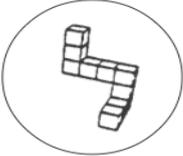
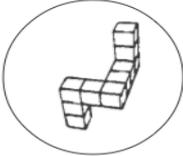
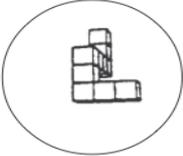
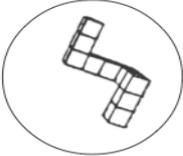
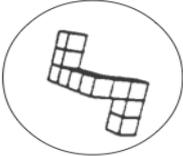
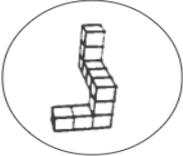
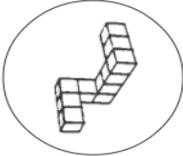
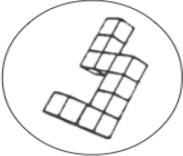
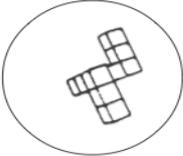
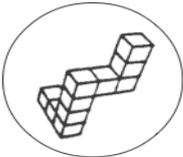
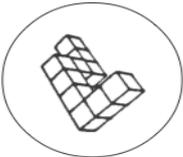
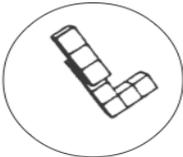
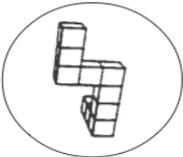
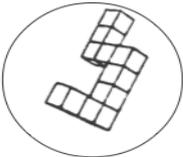
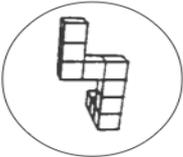
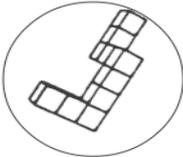
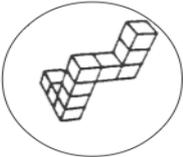
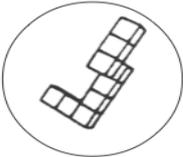
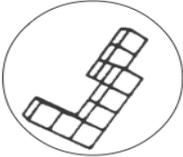
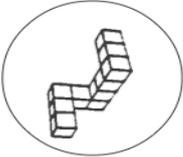
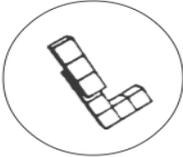
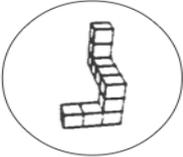
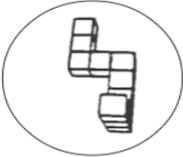
Date de naissance : ..... /..... /.....

Sexe :

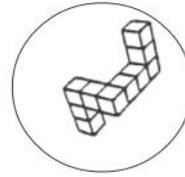
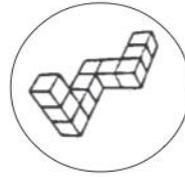
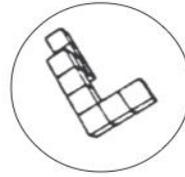
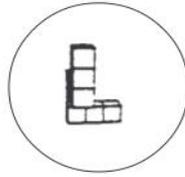
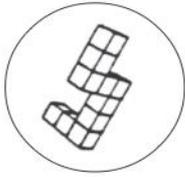
Garçon

Fille

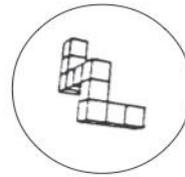
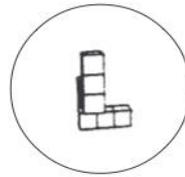
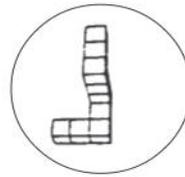
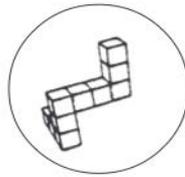
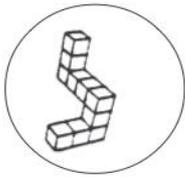
**ATTENTION : il y a deux réponses correctes à chaque fois**

<b>11</b>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>12</b>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>13</b>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>14</b>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>15</b>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

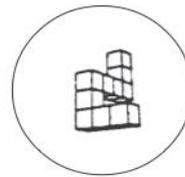
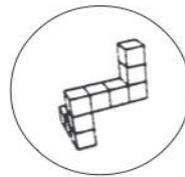
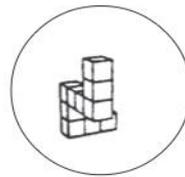
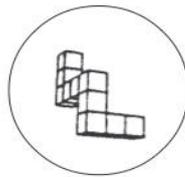
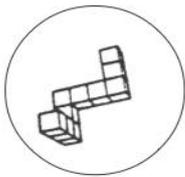
16



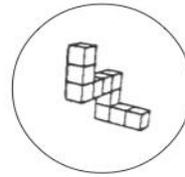
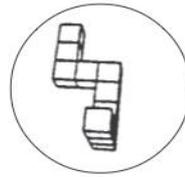
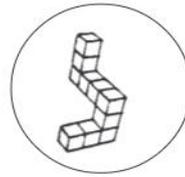
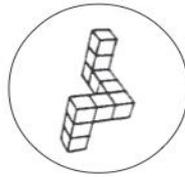
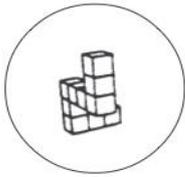
17



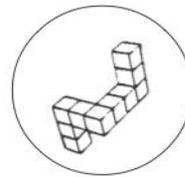
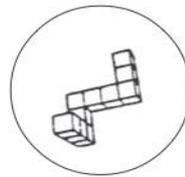
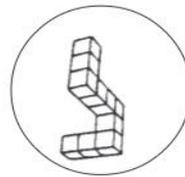
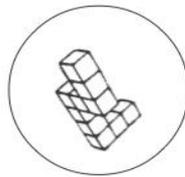
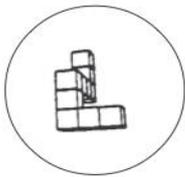
18



19



20



**Merci de ta participation !**

**Annexe 6.** Questionnaire évaluant les connaissances préalables des élèves, fourni dans les trois études de la thèse.

## Questionnaire 1 : Tes connaissances

Identifiant (initiales prénom-nom - jour de naissance) :

.....

*Exemple Julie Rochat née le 18 novembre : J-R-18*

Date de naissance : ...../...../.....

Sexe :       Garçon

Fille

**Consigne : Remplis le questionnaire avant de commencer l'exercice.**

1. Questions sur tes connaissances sur la formation des tsunamis.

**Consignes : Nous aimerions savoir ce que tu connais sur les tsunamis.  
Réponds à ces 5 questions en cochant UNE SEULE réponse.**

1) Qu'est-ce qu'un tsunami ?

- Un séisme
- Une vague
- Un séisme suivi d'une vague
- Une tempête
- Je ne sais pas

2) Dans quel pays a eu lieu le dernier tsunami ?<sup>17</sup>

- La Thaïlande
- Le Japon
- Les États Unis
- L'Australie
- Je ne sais pas

---

<sup>17</sup> Dans les études 2 et 3 de la thèse, la réponse « Les États-Unis » a été remplacée par l'Indonésie.

3) Quel événement provoque un séisme ?

- Des éruptions volcaniques
- De violentes tempêtes
- Le mouvement de compartiments rocheux
- Des éboulements rocheux
- Je ne sais pas

4) Le tsunami de 2004 a fait combien de victimes humaines ?

- Entre 1.600 et 5.000 personnes
- Entre 26.000 et 50.000 personnes
- Entre 216.000 et 250.000 personnes
- Entre 2.160.000 et 2.250.000 personnes
- Je ne sais pas

5) Une fois que le tsunami s'est abattu, que va faire la mer ?

- Elle se retire
- Son niveau s'élève
- Elle va rester sur les côtes
- Elle revient à son état avant le tsunami
- Je ne sais pas

**Annexe 7.** Questionnaire fourni aux collégiens après l'activité sur tablette dans les études 1 et 2.

## Questionnaire 2 :

Identifiant (initiales prénom et nom / jour de naissance) :

.....

*Exemple Julie Rochat née le 18 novembre : JR18*

Date de naissance : ...../...../.....

Sexe :

Garçon

Fille

**Consigne : Remplis les questionnaires en suivant les consignes.**

## 1. Questionnaire de jugement de ton apprentissage

**Consigne : Tu vas bientôt répondre à des questions sur les tsunamis. Avant, réponds le plus honnêtement possible à la question suivante où 1 = « Non, pas du tout capable » et 7 = « Oui, tout à fait capable ».**

	Non, pas du tout capable <span style="float: right;">Oui, tout à fait capable</span>						
	1	2	3	4	5	6	7
1) Te sens-tu capable de répondre correctement aux questions à venir sur les tsunamis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 2. Questions de mémorisation

**Consigne : En t'appuyant sur ce que tu viens d'apprendre, réponds aux questions suivantes en cochant UNE SEULE réponse.**

1) Au-dessus de la faille, quelle est la largeur de la vague ?

- Plusieurs kilomètres
- Plusieurs dizaines de kilomètres
- Plusieurs centaines de kilomètres
- Je ne sais pas

2) Que va faire la vague une fois qu'elle s'est formée au-dessus de la faille ?

- Elle va se déplacer dans une direction
- Elle va se séparer
- Elle va s'abaisser
- Je ne sais pas

3) À quelle vitesse se déplace un tsunami quand il se dirige vers les côtes ?

- 8 km/h
- 80 km/h
- 800 km/h
- Je ne sais pas

4) Sur combien de kilomètres peut se déplacer la vague du tsunami ?

- Des centaines de kilomètres
- Des milliers de kilomètres
- Des dizaines de milliers de kilomètres
- Je ne sais pas

5) Qu'est-ce qui crée un séisme ?

- La pression entre deux compartiments rocheux
- Une faille entre deux compartiments rocheux
- Une cassure entre deux compartiments rocheux
- Je ne sais pas

6) Quand elle s'approchera des côtes, la vague sera... ?

- Plus petite qu'au-dessus de la faille
- Plus haute qu'au-dessus de la faille
- De la même hauteur qu'au-dessus de la faille
- Je ne sais pas

7) Quelle est la hauteur que peut atteindre un tsunami ?

- 30 mètres
- 60 mètres
- 90 mètres
- Je ne sais pas

8) Que se passe-t-il au niveau des compartiments de roches quand il y a un séisme ?

- Un compartiment se soulève et l'autre s'abaisse
- Les deux compartiments se soulèvent
- Les deux compartiments s'abaissent
- Je ne sais pas

### 3. Questions « problèmes » :

**Consigne :** En t'appuyant sur ce que tu viens d'apprendre, réponds aux questions suivantes en cochant UNE SEULE réponse.

1) Il existe une faille à quelques centaines de kilomètres de la France, est-ce possible qu'un tsunami s'abatte sur les côtes françaises ?

- Oui, s'il y a un séisme
- Oui, s'il y a beaucoup de vent formant de grandes vagues
- Non, la faille est trop loin pour atteindre les côtes françaises
- Je ne sais pas

2) Un bateau se situe au-dessus de la faille lors d'un séisme, un autre se trouve sur les côtes. À ton avis, qui sera renversé par la vague du tsunami ?

- Celui qui est sur les côtes sera renversé
- Celui qui est au-dessus de la faille sera renversé
- Les deux seront renversés
- Je ne sais pas

3) Un séisme a lieu à 100 kilomètres de l'Asie et 1000 kilomètres de l'Afrique, qui sera frappé par le tsunami ?

- L'Asie situé à 100 kilomètres du séisme
- L'Afrique situé à 1000 kilomètres du séisme
- L'Afrique et l'Asie
- Je ne sais pas

4) Lors de tempêtes extrêmement puissantes, certaines vagues peuvent atteindre plusieurs mètres de haut. Peut-on dire que ces vagues sont des tsunamis ?

- Oui, car la vague est haute et très destructrice
- Non, car cette vague est créée par une tempête
- Non, car la vague n'est pas assez haute pour être un tsunami
- Je ne sais pas

5) Comment peut-on prévoir l'arrivée d'un tsunami sur les côtes ?

- En observant les vagues dans l'Océan
- En détectant un séisme dans l'Océan
- Il n'y a aucun moyen de le prévoir
- Je ne sais pas

#### 4. Questions finales :

**Consigne :** Lis attentivement les questions suivantes et réponds-y le plus sincèrement possible. Il n’y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Coche la case qui représente ce que tu penses avec 1 = « Non, pas du tout d’accord » et 7 = « Oui, tout à fait d’accord ».

	Non, pas du tout d'accord							Oui, tout à fait d'accord
	1	2	3	4	5	6	7	
1) Pour toi, il a été difficile de comprendre la formation des tsunamis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2) Pour toi, il a été difficile de comprendre le document présenté ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3) Je me suis ennuyé(e) pendant que je travaillais sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4) J'ai aimé travailler la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5) Je pense que le thème sur la formation des tsunamis est intéressant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6) J'étais très concentré(e) quand je travaillais sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7) J'aimerais connaître plus de choses sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8) Je pense bien connaître le sujet sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Merci de ta participation !

**Annexe 8. Exemples de schémas générés selon leur complexité par les élèves dans les trois études.**

**Schéma complexe**

**Étude 1 :**

**Schéma complexe de bonne qualité**  
(condition « Génération sans illustrations »)

Étape 2 : Le séisme

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La pression entre les deux compartiments entraîne un choc. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.

Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

**Consigne :** En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.

Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

**Schéma complexe de mauvaise qualité**  
(condition « Génération avec illustrations »)

Étape 2 : Le séisme

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La pression entre les deux compartiments entraîne un choc. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.

Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

**Consigne :** En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.

Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

**Schéma simple de bonne qualité** (condition « Génération avec illustrations »)

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La pression entre les deux compartiments entraîne un choc. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.

Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

**Consigne :** En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.

Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

**Schéma simple de mauvaise qualité** (condition « Génération avec illustrations »)

Étape 2 : Le séisme

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La pression entre les deux compartiments entraîne un choc. Ce choc est le résultat du soulèvement de l'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille, c'est le séisme.

Le séisme entraîne un soulèvement de la mer, formant une vague de 1 mètre de haut au dessus de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

**Consigne :** En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte.

Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

## Étude 2 :

Schéma complexe de faible qualité  
(condition « Génération sans marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite.  
Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

**Étape 2 : Le séisme**

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

Schéma complexe de faible qualité  
(condition « Génération avec marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments écrits en gras dans le texte pour compléter l'image à droite.  
Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

**Étape 2 : Le séisme**

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

Schéma complexe de bonne qualité  
(condition « Génération avec marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments écrits en gras dans le texte pour compléter l'image à droite.  
Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

**Étape 2 : Le séisme**

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

## Étude 3 :

Schéma complexe de faible qualité  
(condition « Génération collaborative »)

**Étape 2 : Le séisme**

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme.

Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille.

À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

Schéma complexe de bonne qualité  
(condition « Génération collaborative »)

**Étape 2 : Le séisme**

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme.

Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille.

À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

## Schémas simples

### Étude 1 :

Schéma simple de bonne qualité (condition « Génération avec illustrations »)

Étape 3 : La propagation de la vague

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.

Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres vers les côtes.

**Consigne :** En te basant sur l'image en haut à droite, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

Schéma simple de mauvaise qualité (condition « Génération sans illustrations »)

Étape 4 : Le déferlement

**Consigne :** Lis attentivement le texte.

La vague devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut.

À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.

**Consigne :** En te basant sur le texte, à partir des traits et des légendes fournis, schématise dans la zone de dessin tous les éléments du texte. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la page suivante.

### Étude 2 :

Schéma simple de bonne qualité (condition « Génération sans marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

Étape 3 : La séparation de la vague

La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille. Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes. Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.

Schéma simple de faible qualité (condition « Génération sans marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

Étape 4 : La vague du tsunami

La vague qui se dirige vers les côtes devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut. À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.

Schéma simple de bonne qualité (condition « Génération avec marquage »)

**Consigne :** 1) Lis très attentivement le texte.  
2) Dessine les éléments écrits en gras dans le texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.

Étape 4 : La vague du tsunami

La vague qui se dirige vers les côtes devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut. À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.

### Étude 3

Schéma simple de bonne qualité  
(condition « Génération collaborative »)

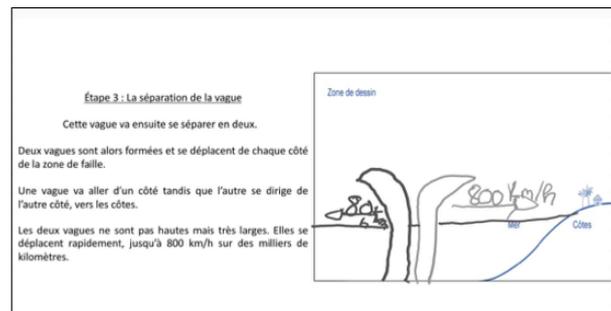


Schéma simple de bonne qualité  
(condition « Génération collaborative »)

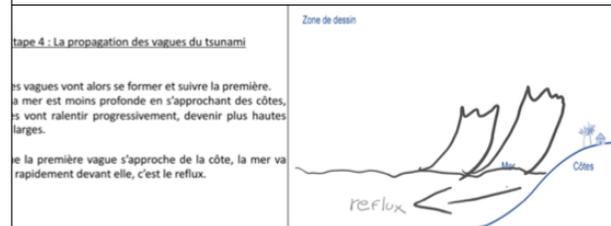
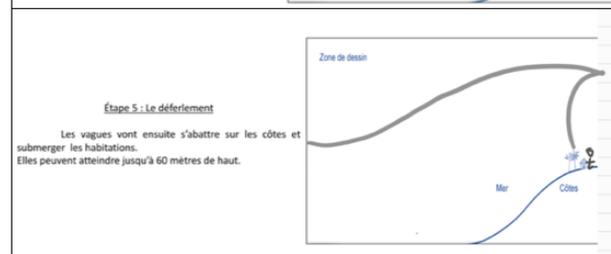


Schéma simple de faible qualité  
(condition « Génération collaborative »)



## Annexe 9. Matériel pédagogique présenté aux élèves dans la deuxième étude.

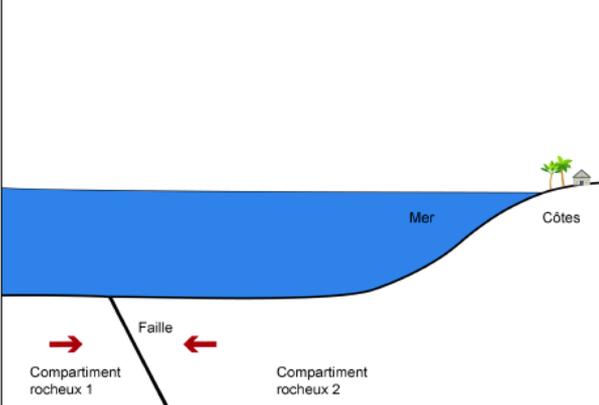
### Introduction : Commune dans toutes les conditions

**La formation des tsunamis**

Introduction : Tu as peut-être déjà entendu parler de très violentes vagues que l'on appelle Tsunami. C'est une catastrophe naturelle qui peut provoquer des dégâts très importants. Dans ce document, nous allons te présenter les différentes étapes de la formation des tsunamis sur quatre diapositives.

**À la fin de l'activité, tu devras répondre à des questions pour voir si tu as bien compris le phénomène des Tsunamis, et aussi nous dire comment tu as apprécié l'activité.**

### Étape 1 : Commune dans toutes les conditions

<p><b>Consigne</b> : Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Étape 1 : Les failles sous l'océan</u></p> <p>La surface de la Terre est constituée de compartiments rocheux qui sont collés les uns aux autres. L'endroit où les compartiments rocheux se touchent s'appelle la faille. Elles sont sous l'océan et sur les continents. La faille est donc une fracture entre deux compartiments rocheux. À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux.</p>	

## Étape 2 : Manipulation expérimentale

### Condition « Textes illustrés »

<p><b>Consigne :</b> Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p>Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p>	

### Condition « Génération sans marquage »

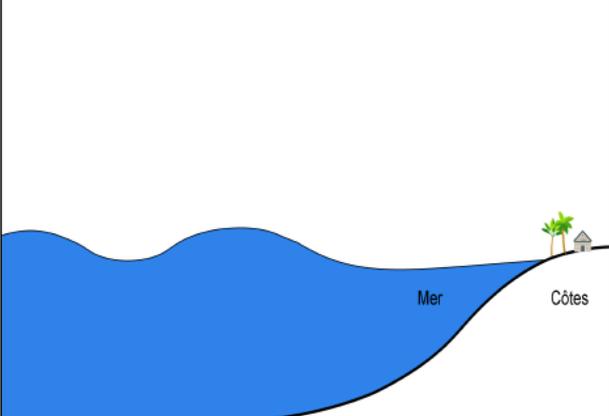
<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p>
<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p>Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme. Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p>	

### Condition « Génération avec marquage »

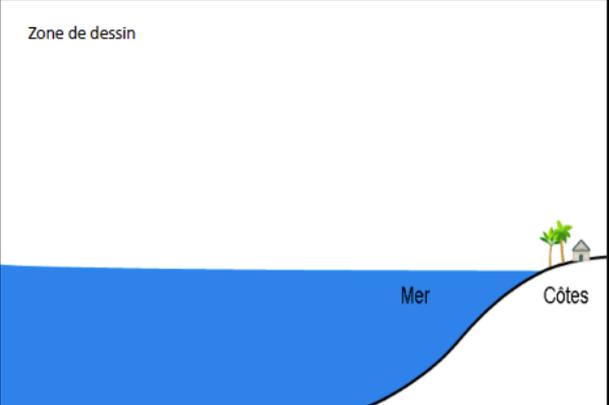
<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments écrits en gras dans le texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p>
<p style="text-align: center;"><u>Étape 2 : Le séisme</u></p> <p>Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de <b>la faille</b> qu'elle entraîne un <b>choc</b>, c'est le séisme. Ce choc entraîne le <b>soulèvement d'un des deux compartiments</b> et l'<b>abaissement de l'autre</b> au niveau de la faille. À la surface de la mer, le séisme forme <b>une vague</b> de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.</p>	

### Étape 3 : Manipulation expérimentale

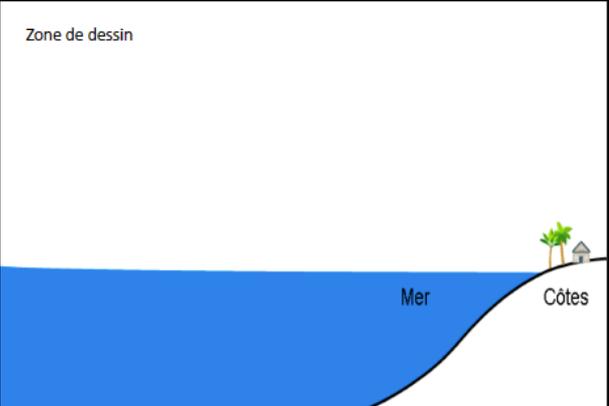
#### Condition « Textes illustrés »

<p><b>Consigne :</b> Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p><u>Étape 3 : La séparation de la vague</u></p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille. Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes. Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.</p>	

#### Condition « Génération sans marquage »

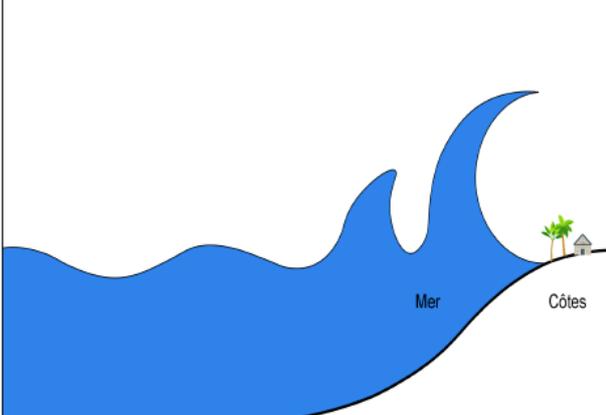
<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><u>Étape 3 : La séparation de la vague</u></p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille. Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes. Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.</p>	

#### Condition « Génération avec marquage »

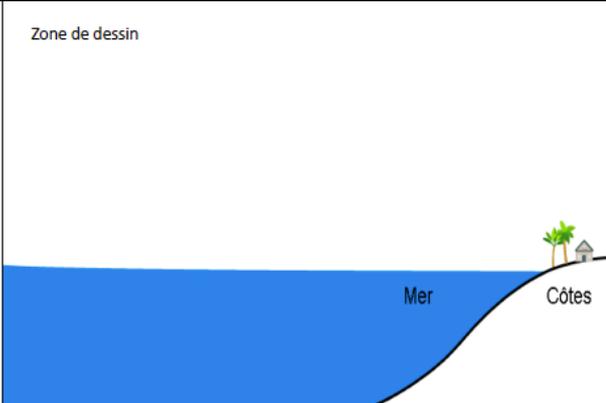
<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments écrits <b>en gras</b> dans le texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><u>Étape 3 : La séparation de la vague</u></p> <p>La vague va ensuite se séparer en deux parties. <b>Deux vagues</b> sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille. Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes. Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.</p>	

## Étape 4 : Manipulation expérimentale

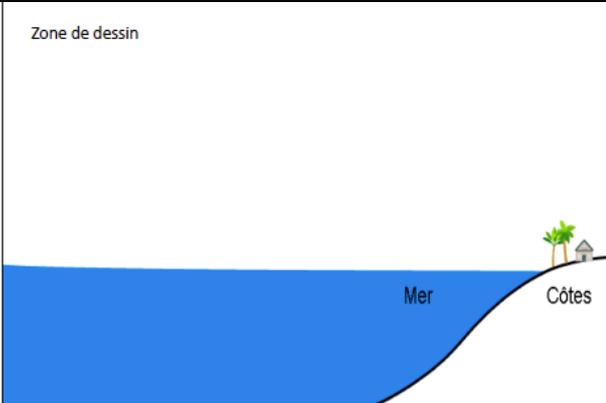
### Condition « Textes illustrés »

<p><b>Consigne :</b> Lis très attentivement le texte en regardant bien l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	
<p><u>Étape 4 : La vague du tsunami</u></p> <p>La vague qui se dirige vers les côtes devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut. À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p>	

### Condition « Génération sans marquage »

<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments du texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><u>Étape 4 : La vague du tsunami</u></p> <p>La vague qui se dirige vers les côtes devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut. À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p>	

### Condition « Génération avec marquage »

<p><b>Consigne :</b> 1) Lis très attentivement le texte. 2) Dessine les éléments écrits <b>en gras</b> dans le texte pour compléter l'image à droite. Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p>Zone de dessin</p> 
<p><u>Étape 4 : La vague du tsunami</u></p> <p><b>La vague</b> qui se dirige vers les côtes devient de plus en plus haute et de moins en moins large au fur et à mesure qu'elle s'approche des côtes. Elle peut atteindre 60 mètres de haut. À l'arrivée de la côte, elle ralentit et vient s'abattre sur les habitations.</p>	

## Conclusion : Commune dans toutes les conditions

### Conclusion :

Les tsunamis provoquent des dégâts matériels et humains très importants.

Par exemple, au Japon en 2011, ils ont entraîné des dégâts sur une centrale nucléaire, Fukushima. La vague du tsunami avait alors tué beaucoup de personnes et son impact sur la centrale nucléaire a également causé, indirectement, des morts.

En Thaïlande en 2004, ils ont fait des centaines de milliers de morts.



*Note.* Photo prise par le Sergent Morse dans le cadre de l'U.S. Air Force en 2011.

## Annexe 10. Présentation des différentes diapositives du document d'entraînement des élèves



Note. Image de fond retravaillée à partir de l'illustration fournie par At09kg en 2016

## Annexe 11. Matériel pédagogique utilisé dans la troisième étude (présenté dans l'ordre).

**LA FORMATION DES TSUNAMIS**

Introduction : Tu as peut-être déjà entendu parler de très violentes vagues que l'on appelle Tsunami. C'est une catastrophe naturelle qui peut provoquer des dégâts très importants.

Dans ce document, nous allons te présenter les différentes étapes de la formation des tsunamis.

À la fin de l'activité, tu devras répondre à des questions pour voir si tu as bien compris le phénomène des Tsunamis, et aussi nous dire comment tu as apprécié l'activité.

Consigne : Lis attentivement le texte et regarde l'image à droite.

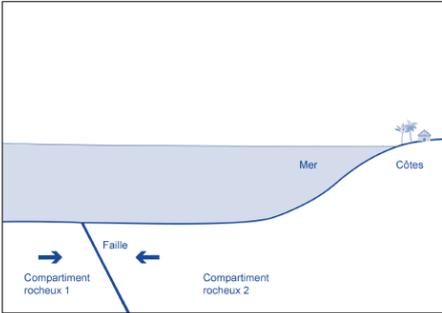
Quand tu auras terminé, attends avant de passer à la diapositive suivante.

Étape 1 : Les failles sous l'océan

La surface de la Terre est constituée de compartiments rocheux qui sont collés les uns aux autres.

L'endroit où les compartiments rocheux se touchent s'appelle la faille. Les failles sont sous l'Océan et sur les continents.

La faille est donc une fracture entre deux compartiments rocheux. À l'endroit d'une faille, les deux compartiments rocheux exercent une forte pression entre eux.



### Condition « Génération individuelle »

Maintenant, tu vas lire quatre textes sur quatre diapositives différentes.

Après chacun des textes, tu devras construire un dessin sur la diapositive suivante.  
Au total, tu vas réaliser quatre dessins.

Lis bien les consignes.

### Condition « Génération collaborative »

Maintenant, vous allez lire quatre textes sur quatre diapositives différentes.

Après chacun des textes, vous devrez construire **ENSEMBLE** un dessin sur la diapositive suivante. Au total, vous allez réaliser quatre dessins.

Aidez-vous l'un l'autre, échangez vos idées et discutez pour créer ensemble vos dessins.

Lisez bien les consignes.

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois la lecture terminée, passe à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois que toi et ton partenaire aurez terminé, passez à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 2 : Le séisme

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme.

Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille.

À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Dessine les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Dessinez les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Vous devez <u>partager vos idées</u> et <u>travailler ensemble</u> pour construire votre dessin.</p> <p>Quand vous aurez terminé, vous pourrez passer à la diapositive suivante.</p>
--	---

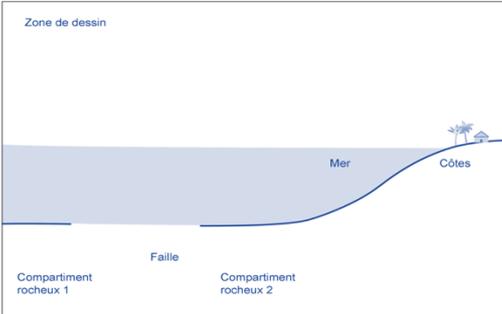
Étape 2 : Le séisme

Au bout d'un certain temps, la pression est tellement forte entre les deux compartiments au niveau de la faille qu'elle entraîne un choc, c'est le séisme.

Ce choc entraîne le soulèvement d'un des deux compartiments et l'abaissement de l'autre au niveau de la faille.

À la surface de la mer, le séisme forme une vague de 1 mètre de haut à la verticale de la faille. Cette vague est très large, de plusieurs dizaines de kilomètres.

Zone de dessin



The diagram shows a cross-section of a fault system. At the bottom, there are two rectangular blocks labeled 'Compartiment rocheux 1' and 'Compartiment rocheux 2', separated by a vertical line labeled 'Faille'. Above the fault, a wavy line represents the sea surface, with the area above it labeled 'Mer'. To the right, a curved line represents the 'Côtes' (coastline), with small icons of palm trees and a house. A 'Zone de dessin' label is at the top left of the diagram area.

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois la lecture terminée, passe à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois que toi et ton partenaire aurez terminé, passez à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 3 : La séparation de la vague

Cette vague va ensuite se séparer en deux.

Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.

Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes.

Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Dessine les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Dessinez les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Vous devez <u>partager vos idées</u> et <u>travailler ensemble</u> pour construire votre dessin.</p> <p>Quand vous aurez terminé, vous pourrez passer à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 3 : La séparation de la vague

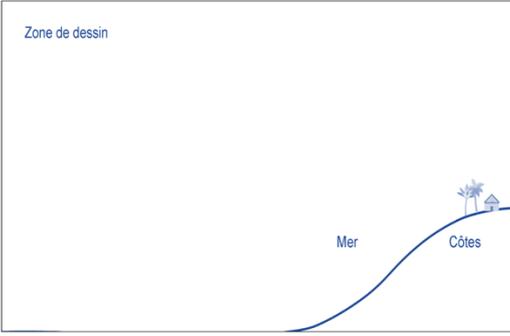
Cette vague va ensuite se séparer en deux.

Deux vagues sont alors formées et se déplacent de chaque côté de la zone de faille.

Une vague va aller d'un côté tandis que l'autre se dirige de l'autre côté, vers les côtes.

Les deux vagues ne sont pas hautes mais très larges. Elles se déplacent rapidement, jusqu'à 800 km/h sur des milliers de kilomètres.

Zone de dessin



Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois la lecture terminée, passe à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois que toi et ton partenaire aurez terminé, passez à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 4 : La propagation des vagues du tsunami

1- D'autres vagues vont alors se former et suivre la première. Comme la mer est moins profonde en s'approchant des côtes, les vagues vont ralentir progressivement, devenir plus hautes et moins larges.

2- Lorsque la première vague s'approche de la côte, la mer va se retirer rapidement devant elle, c'est le reflux.

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

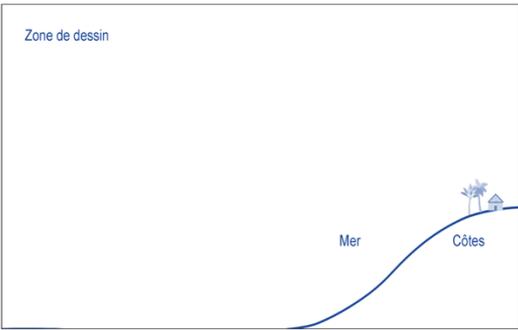
<p><u>Consigne</u> : Dessine les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Dessinez les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Vous devez <u>partager vos idées</u> et <u>travailler ensemble</u> pour construire votre dessin.</p> <p>Quand vous aurez terminé, vous pourrez passer à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 4 : La propagation des vagues du tsunami

1- D'autres vagues vont alors se former et suivre la première. Comme la mer est moins profonde en s'approchant des côtes, les vagues vont ralentir progressivement, devenir plus hautes et moins larges.

2- Lorsque la première vague s'approche de la côte, la mer va se retirer rapidement devant elle, c'est le reflux.

Zone de dessin



Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois la lecture terminée, passe à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Lis attentivement le texte.</p> <p>Une fois que toi et ton partenaire aurez terminé, passez à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 5 : Le déferlement

Les vagues vont ensuite s'abattre sur les côtes et submerger les habitations.  
Elles peuvent atteindre jusqu'à 60 mètres de haut.

Condition « Génération individuelle »

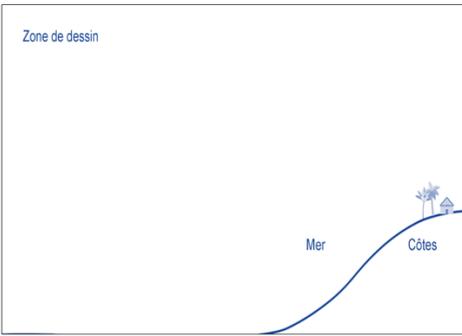
Condition « Génération collaborative »

<p><u>Consigne</u> : Dessine les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Quand tu auras terminé, tu pourras passer à la diapositive suivante.</p>	<p><u>Consigne</u> : Dessinez les éléments du texte en complétant la zone de dessin sur la partie droite de la diapositive.</p> <p>Vous devez <u>partager vos idées</u> et <u>travailler ensemble</u> pour construire votre dessin.</p> <p>Quand vous aurez terminé, vous pourrez passer à la diapositive suivante.</p>
--	---

Étape 5 : Le déferlement

Les vagues vont ensuite s'abattre sur les côtes et submerger les habitations.  
Elles peuvent atteindre jusqu'à 60 mètres de haut.

Zone de dessin



The diagram shows a blue line representing the sea ('Mer') on the left, curving upwards to form a coastline ('Côtes') on the right. On the coastline, there are small icons of palm trees and a house. The area to the right of the coastline is labeled 'Zone de dessin' (drawing area).

Condition « Génération individuelle »

Condition « Génération collaborative »

Consigne : Lis attentivement le texte.

Une fois la lecture terminée, lève la main.

Consigne : Lis attentivement le texte.

Une fois la lecture terminée, levez la main.

Conclusion :

Les tsunamis provoquent des dégâts matériels et humains très importants.

Par exemple, au Japon en 2011, ils ont entraîné des dégâts sur une centrale nucléaire, Fukushima. La vague du tsunami avait alors tué beaucoup de personnes et son impact sur la centrale nucléaire a également causé, indirectement, des morts.

En Thaïlande en 2004, ils ont fait des centaines de milliers de morts.



*Note.* Photo prise par le Sergent Morse dans le cadre de l'U.S. Air Force en 2011.

**Annexe 12.** Questionnaire proposé aux élèves après l'activité sur tablette dans la troisième étude de la thèse.

## **Questions après l'activité sur Tablette**

Ton identifiant (il est composé des initiales de ton prénom et nom + le jour de ta naissance) : Exemple (Julie Rochat née le 18 novembre) : JR18

**IDENTIFIANT :** .....

**Date de naissance :** \_..... /..... /.....

**Tu es :**

- un garçon
- une fille

**Consigne :** Lis attentivement la question suivante et réponds-y le plus honnêtement possible. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.

Coche la case qui représente ce que tu penses avec 1 = « Non, pas du tout capable » et 7 = « Oui, tout à fait capable ».

	Non, pas du tout capable							Oui, tout à fait capable
	1	2	3	4	5	6	7	
1) Te sens-tu capable de répondre correctement aux questions à venir sur la formation des tsunamis ?	<input type="checkbox"/>							

### **CE QUE TU AS APPRIS**

**Consigne :** En te rappelant de ce tu viens d'apprendre avec la tablette, réponds aux questions suivantes en cochant **UNE SEULE** réponse.

1) Au-dessus de la faille, quelle est la largeur de la vague ?

- Plusieurs kilomètres
- Plusieurs dizaines de kilomètres
- Plusieurs centaines de kilomètres
- Je ne sais pas

2) Que va faire la vague une fois qu'elle s'est formée au-dessus de la faille ?

- Elle va se déplacer dans une direction
- Elle va se séparer
- Elle va s'abaisser
- Je ne sais pas

3) À quelle vitesse se déplace un tsunami quand il se dirige vers les côtes ?

- 8 km/h
- 80 km/h
- 800 km/h
- Je ne sais pas

4) Sur combien de kilomètres peuvent se déplacer les vagues du tsunami ?

- Des centaines de kilomètres
- Des milliers de kilomètres
- Des dizaines de milliers de kilomètres
- Je ne sais pas

5) Qu'est-ce qui va créer un séisme ?

- La pression entre deux compartiments rocheux
- Une faille entre deux compartiments rocheux
- Une cassure entre deux compartiments rocheux
- Je ne sais pas

6) Quand elle s'approchera des côtes, la vague sera... ?

- Plus petite qu'au-dessus de la faille
- Plus haute qu'au-dessus de la faille
- De la même hauteur qu'au-dessus de la faille
- Je ne sais pas

7) Quelle est la hauteur que peut atteindre un tsunami ?

- 30 mètres
- 60 mètres
- 90 mètres
- Je ne sais pas

8) Que se passe-t-il au niveau des compartiments rocheux quand il y a un séisme ?

- Un compartiment se soulève et l'autre s'abaisse
- Les deux compartiments se soulèvent
- Les deux compartiments s'abaissent
- Je ne sais pas

9) Que vont faire les vagues lorsqu'elles atteignent les côtes ?

- Se retirer des côtes
- S'accélérer sur les côtes
- Submerger les côtes
- Je ne sais pas

10) Lorsque les vagues du tsunami arrivent sur les côtes, comment la mer se retire ?

- Rapidement
- Lentement
- Elle ne se retire pas
- Je ne sais pas

11) Quel est le phénomène qui correspond au retrait de la mer ?

- Le séisme
- Le reflux
- Le déplacement
- Je ne sais pas

**Consigne : Encore 5 questions auxquelles tu dois répondre en cochant UNE SEULE réponse.**

1) Il existe une faille à quelques centaines de kilomètres de la France, est-ce possible qu'un tsunami s'abatte sur les côtes françaises ?

- Oui, s'il y a un séisme
- Oui, s'il y a beaucoup de vent formant de grandes vagues
- Non, la faille est trop loin pour atteindre les côtes françaises
- Je ne sais pas

2) Un bateau se situe au-dessus de la faille lors d'un séisme, un autre se trouve sur les côtes. À ton avis, qui sera renversé par les vagues du tsunami ?

- Celui qui est sur les côtes sera renversé
- Celui qui est au-dessus de la faille sera renversé
- Les deux seront renversés
- Je ne sais pas

3) Un séisme a lieu à 100 kilomètres de l'Asie et 1000 kilomètres de l'Afrique, qui sera frappé par le tsunami ?

- L'Asie situé à 100 kilomètres du séisme
- L'Afrique situé à 1000 kilomètres du séisme
- L'Afrique et l'Asie
- Je ne sais pas

4) Lors de tempêtes extrêmement puissantes, certaines vagues peuvent atteindre plusieurs mètres de haut. Peut-on dire que ces vagues sont des tsunamis ?

- Oui, car la vague est haute et très destructrice
- Non, car cette vague est créée par une tempête
- Non, car la vague n'est pas assez haute pour être un tsunami
- Je ne sais pas

5) Comment peut-on prévoir l'arrivée d'un tsunami sur les côtes ?

- En observant les vagues dans l'Océan
- En détectant un séisme dans l'Océan
- Il n'y a aucun moyen de le prévoir
- Je ne sais pas

### TES IMPRESSIONS SUR L'ACTIVITE AVEC TABLETTE

**Consigne : Lis attentivement les questions et réponds-y le plus honnêtement possible. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.**

**Coche la case qui représente ce que tu penses avec 1 = « Non, pas du tout d'accord » et 7 = « Oui, tout à fait d'accord ».**

	Non, pas du tout d'accord						Oui, tout à fait d'accord	
	1	2	3	4	5	6	7	
1) J'ai dû faire beaucoup d'efforts pour réaliser cette activité.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2) Pour toi, est-ce qu'il a été difficile de comprendre la formation des tsunamis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3) Le document présenté sur tablette t'a paru difficile à comprendre ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4) Je me suis ennuyé(e) pendant que je travaillais sur l'exercice.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5) J'ai aimé travailler sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6) J'ai trouvé intéressant le thème sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

7) J'étais très concentré(e) quand je travaillais sur l'exercice.	<input type="checkbox"/>						
8) J'aimerais connaître encore plus de choses sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>						
9) Je pense maintenant bien connaître le sujet sur la formation des tsunamis.	<input type="checkbox"/>						

## Tes impressions sur ton partenaire de travail<sup>18</sup>

**Consigne :** Lis attentivement les questions suivantes et réponds-y le plus honnêtement possible. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.

**Coche la case qui représente ce que tu penses avec 1 = « Non, pas du tout d'accord » et 5 = « Oui, tout à fait d'accord ».**

	Non, Pas du tout d'accord <span style="float: right;">Oui, Tout à fait d'accord</span>				
	1	2	3	4	5
1) J'ai souvent travaillé en groupe avec cet élève.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

<sup>18</sup> Ces items ont été proposés aux élèves uniquement en condition « Génération collaborative ».

2) J'apprécie travailler avec cet élève.	<input type="checkbox"/>				
3) Nous avons chacun une connaissance précise sur un des points abordés dans l'exercice.	<input type="checkbox"/>				
4) J'acceptais les suggestions de l'autre élève sur notre manière de travailler.	<input type="checkbox"/>				
5) Je n'accordais pas beaucoup d'importance aux connaissances de l'autre élève.	<input type="checkbox"/>				
6) Les connaissances précises de chacun étaient nécessaires pour réaliser cet exercice.	<input type="checkbox"/>				
7) Nous avons réalisé l'exercice sans stress et efficacement.	<input type="checkbox"/>				
8) J'avais des connaissances sur un des aspects de l'exercice que l'autre élève n'avait pas.	<input type="checkbox"/>				
9) Je faisais confiance aux connaissances qu'avait l'autre élève pour faire l'exercice.	<input type="checkbox"/>				
10) Nous avons chacun une connaissance dans des domaines différents.	<input type="checkbox"/>				
11) Lorsque l'élève faisait des suggestions, je les vérifiais par moi-même.	<input type="checkbox"/>				

12) J'avais totalement confiance dans les informations apportées par l'autre élève lors des échanges durant l'exercice.	<input type="checkbox"/>				
13) Il y avait très peu d'incompréhension sur ce que nous devions faire.	<input type="checkbox"/>				
14) Nous avons souvent eu besoin de revenir en arrière et de recommencer.	<input type="checkbox"/>				
15) Je connaissais bien quelles étaient les connaissances de l'autre élève dans certains domaines.	<input type="checkbox"/>				
16) Nous avons travaillé ensemble de façon parfaitement coordonnée.	<input type="checkbox"/>				
17) Il y avait beaucoup de confusions sur la manière de faire l'exercice.	<input type="checkbox"/>				

**Tu as terminé, Merci pour ta participation !**

**Annexe 13.** Tableau de corrélation entre les scores de SMT, de qualité des schémas générés et d'apprentissage (niveau groupal)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. SMT	-									
Schémas complexes										
2. Présence	.03	-								
3. Précision	-.10	.93**	-							
4. Évaluation de l'enseignant	.11	.59**	.60**	-						
Schémas simples										
5. Présence	.23	-.02	-.02	-.03	-					
6. Précision	.09	.20	.19	.29	.58**	-				
7. Évaluation de l'enseignant	-.09	-.27	-.15	.03	-.07	-.01	-			
8. Transfert	.04	.12	.30	.33	.40*	.47*	.12	-		
9. Mémorisation des éléments imagés	.16	.22	.23	.24	.47*	.32	-.13	.20	-	
10. Mémorisation des éléments textuels	.37	-.01	-.03	.30	.44*	.28	-.08	.39 <sup>†</sup>	.59**	-

Note. \* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ , <sup>†</sup> $p < .06$ .

**Annexe 14.** Comparaison des variables contrôles selon le niveau d'interactions centrées sur la tâche en fonction des fichiers de données individuelles (Niveau individuel) et agrégées (Niveau groupal).

	Niveau individuel					Niveau groupal				
	Interactions centrées sur la tâche faibles (n = 20)	Interactions centrées sur la tâche élevées (n = 20)	t	p	d	Interactions centrées sur la tâche faibles (n = 10)	Interactions centrées sur la tâche élevées (n = 10)	t de Welch	p	d
	<u>M (E.T.)</u>	<u>M (E.T.)</u>				<u>M (E.T.)</u>	<u>M (E.T.)</u>			
Age	12.91 (0.57)	12.58 (0.56)	1.87	.069	0.59	12.85 (0.55)	12.64 (0.46)	0.94	.358	0.42
Compétences perçues	4.07 (1.29)	5.25 (1.24)	3.00	.005	0.95	4.00 (0.97)	5.32 (0.84)	3.26	.004	1.46
Compréhension en lecture	8.05 (1.39)	8.20 (1.73)	0.30	.765	0.09	7.90 (0.94)	8.35 (0.97)	1.05	.306	0.47
Capacités visuo-spatiales	14.75 (7.84)	18.70 (9.02)	1.48	.148	0.47	15.55 (6.71)	17.90 (7.50)	0.74	.470	0.33
Connaissances préalables	1.60 (0.88)	1.85 (1.27)	0.72	.474	0.23	1.60 (0.66)	1.85 (1.05)	0.64	.533	0.28

	Niveau individuel					Niveau groupal				
	Interactions centrées sur la tâche faibles ( <i>n</i> = 20)	Interactions centrées sur la tâche élevées ( <i>n</i> = 20)	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Interactions centrées sur la tâche faibles ( <i>n</i> = 10)	Interactions centrées sur la tâche élevées ( <i>n</i> = 10)	<i>t de Welch</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>				<i>M (E.T.)</i>	<i>M (E.T.)</i>			
Interactions socio-affectives	1.91 (0.88)	2.01 (0.74)	0.39	.701	0.12	1.95 (0.63)	1.92 (0.81)	0.09	.929	0.04
Absence d'interactions	3.45 (1.19)	1.85 (0.81)	4.96	< .001	1.57	3.30 (1.23)	2.00 (0.91)	2.68	.015	1.20
Interactions non reliées à la tâche	1.85 (1.14)	1.55 (0.99)	0.89	.381	0.28	1.75 (0.92)	1.65 (1.00)	0.23	.819	0.10

**Annexe 15.** Comparaison des mesures d'apprentissage selon le niveau d'interaction centrées sur la tâche des élèves à partir du fichier de données individuelles.

	Interactions centrées sur la tâche faibles ( <i>n</i> = 20)	Interactions centrées sur la tâche élevées ( <i>n</i> = 20)	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M</i> ( <i>E.T.</i> )	<i>M</i> ( <i>E.T.</i> )			
Transfert	1.60 (1.05)	2.60 (1.09)	2.95	.005	0.93
Mémorisation des éléments imagés	3.35 (1.56)	4.35 (1.18)	2.28	.028	0.72
Mémorisation des éléments textuels	2.15 (1.39)	2.80 (0.95)	1.73	.092	0.55



## Index des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Les interventions pédagogiques et leurs effets sur le traitement des illustrations, l'implication dans l'activité et la possibilité de feedbacks correctifs ; extrait de Peeck (1993, p.235, notre traduction).....	31
<b>Tableau 2.</b> Huit stratégies d'apprentissage par génération (Fiorella & Mayer, 2015, p.14, notre traduction) .....	36
<b>Tableau 3.</b> Synthèse des effets de la génération de schémas et remarques sur cette activité comparée aux autres supports d'apprentissage.....	52
<b>Tableau 4.</b> Niveaux de guidages proposés par Fiorella et Zhang (2018, p.1126, notre traduction) .....	65
<b>Tableau 5.</b> Conditions facilitatrices citées, définitions et exemples. ....	119
<b>Tableau 6.</b> Freins reportés, définitions et exemples. ....	122
<b>Tableau 7.</b> Mots-clés évoqués par les groupes d'élèves (fréquence entre parenthèse) selon leur appréciation de l'interface et leurs remarques d'amélioration. ....	128
<b>Tableau 8.</b> Moyennes et écarts-types des compétences perçues en SVT, d'âge, de la compréhension en lecture, des capacités visuo-spatiales et des connaissances préalables selon les conditions.....	151
<b>Tableau 9.</b> Moyennes et écarts-types pour les mesures d'apprentissage immédiates selon les conditions.....	155
<b>Tableau 10.</b> Effectifs, moyennes et écarts-types pour les mesures d'apprentissage différées des conditions.....	157
<b>Tableau 11.</b> Moyennes et écarts-types pour l'intérêt situationnel selon les conditions. ....	160
<b>Tableau 12.</b> Moyennes et écarts-types pour la précision du monitoring selon les conditions.....	161

<b>Tableau 13.</b> Moyennes et écarts-types des compétences perçues, de la compréhension en lecture, des capacités visuo-spatiales et des connaissances préalables pour chacune des trois conditions. ....	180
<b>Tableau 14.</b> Moyennes et écarts-types des mesures de mémorisation des éléments imagés et de transfert selon les conditions de cette étude. ....	182
<b>Tableau 15.</b> Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les temps de schématisation et le nombre de modifications faites sur les schémas. ....	187
<b>Tableau 16.</b> Grille de codage des interactions pour chacun des élèves dans leur binôme. ....	208
<b>Tableau 17.</b> Valeurs des ICCs pour chacune des mesures avec agrégation et valeurs des tests F associées. ....	214
<b>Tableau 18.</b> Moyennes, écarts-types et test t de student des variables contrôles (niveau individuel). ....	215
<b>Tableau 19.</b> Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures d'effort mental et de difficulté perçue (niveau groupal). ....	216
<b>Tableau 20.</b> Pourcentages de réussite de qualité des schémas (niveau groupal). ...	216
<b>Tableau 21.</b> Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures d'apprentissage selon les conditions expérimentales (niveau groupal). ....	218
<b>Tableau 22.</b> Moyennes, écarts-types et statistiques inférentielles pour les mesures de temps (en secondes) sur les diapositives "génération de schémas" et "texte" selon les conditions expérimentales (niveau individuel). ....	219
<b>Tableau 23.</b> Corrélations entre les catégories d'interactions, les scores de qualité des schémas et les mesures d'apprentissage. ....	226
<b>Tableau 24.</b> Pourcentages des scores de qualité des schémas générés selon le niveau d'interactions centrées sur la tâche des binômes d'élèves. ....	229
<b>Tableau 25.</b> Scores aux variables dépendantes selon les niveaux d'interactions centrées sur la tâche des binômes d'élèves (niveau groupal). ....	231

## Index des figures

<b>Figure 1.</b> Le modèle de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014a, p.52, notre traduction). .....	22
<b>Figure 2.</b> Graphique des temps d'attention visuelle dirigée soit vers le texte, soit vers l'illustration selon l'avancée des temps de consultation du document ; extrait de Lenzner et al. (2013, p.820, notre traduction). .....	27
<b>Figure 3.</b> Illustrations fournies dans l'étude de Serra et Dunlosky (2010, p.710). .....	28
<b>Figure 4.</b> Processus cognitifs mis en œuvre lors de la génération de schémas (Schmeck, 2010, p.29, tiré de Leutner & Schmeck, 2014, p.434, notre traduction) .....	38
<b>Figure 5.</b> Le modèle cognitif de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013, p.256, notre traduction). .....	40
<b>Figure 6.</b> Les trois phases du cycle d'autorégulation lors de la génération de schémas (Van Meter & Firetto, 2013). .....	42
<b>Figure 7.</b> Matériel proposé aux élèves qui généraient des schémas dans l'étude de Schmeck et al. (2014, expérience 1, p.278). .....	46
<b>Figure 8.</b> Interface de l'application pour chaque condition (Schwamborn et al., 2011, p.90) .....	50
<b>Figure 9.</b> Présentation d'une illustration et de schémas de qualités différentes ; extraits de l'étude de Zhang et Fiorella (2019). .....	58
<b>Figure 10.</b> Exemple du guidage de niveau 3 proposé dans l'étude de Schwamborn et al. (2010, p.875). .....	67
<b>Figure 11.</b> Les conditions avec génération de schémas de l'étude de Schmidgall et al. (2020, p.61-62). .....	70
<b>Figure 12.</b> Les conditions expérimentales mises en place dans l'étude de Kollmer et al. (2020, p.575). .....	71

<b>Figure 13.</b> Les trois principales phases du script à la génération collaborative de schémas (e.g., Gijlers et al., 2013). .....	90
<b>Figure 14.</b> Méthodologies mises en œuvre pour la phase d'analyse et la phase d'évaluation de la CCU. ....	107
<b>Figure 15.</b> Présentation de l'application de génération collaborative de schémas. .	108
<b>Figure 16.</b> Moyennes et erreurs standards d'usage des enseignants en général et des enseignants de SVT selon les différentes activités évaluées. ....	115
<b>Figure 17.</b> Moyennes et erreurs standards d'utilité perçue des enseignants en général et des enseignants de SVT selon les différentes activités évaluées. ....	116
<b>Figure 18.</b> Moyennes et erreurs standards de facilité d'usage perçue des enseignants en général et des enseignants de SVT uniquement selon les activités évaluées. ....	117
<b>Figure 19.</b> Interface de l'application Kassis Collège testée par les collégiens. ....	126
<b>Figure 20.</b> Moyennes aux items du questionnaire de satisfaction de l'application. .	127
<b>Figure 21.</b> Diapositives de l'étape 2 de la formation des tsunamis selon les conditions. ....	140
<b>Figure 22.</b> Interface de l'application Kassis utilisée dans cette étude. ....	141
<b>Figure 23.</b> Déroulement des passations. ....	147
<b>Figure 24.</b> Pourcentages de réussite des schémas complexes ou simples en fonction des conditions expérimentales. ....	152
<b>Figure 25.</b> Exemples de schémas générés (de faible ou de bonne qualité) en condition « Génération sans illustrations » pour les schémas complexes et simples. ....	153
<b>Figure 26.</b> Moyennes des temps d'activité (en secondes) selon les facteurs illustration et génération. ....	158
<b>Figure 27.</b> Moyennes des scores de difficulté perçue selon les facteurs illustration et génération. ....	159

<b>Figure 28.</b> Diapositive présentant la première étape de la formation des tsunamis. .....	172
<b>Figure 29.</b> Formats de présentation de la deuxième étape de la formation des tsunamis selon les conditions expérimentales.....	173
<b>Figure 30.</b> Pourcentages de réussite aux scores de présence et de précision selon la complexité des schémas en fonction des conditions génératives. ....	181
<b>Figure 31.</b> Scores de mémorisation des éléments non-marqués et erreurs standards moyennes selon les trois conditions de cette étude. ....	183
<b>Figure 32.</b> Moyennes des temps d'activité (en secondes) et erreurs standards moyennes selon les trois conditions de l'étude. ....	184
<b>Figure 33.</b> Moyennes et erreurs-standards moyennes de la précision du monitoring selon chacune des conditions. ....	186
<b>Figure 34.</b> Diapositives de consigne et de l'étape 1 de la formation des tsunamis. .	200
<b>Figure 35.</b> Exemple de la présentation des diapositives "consignes de lecture", "texte", « consignes de génération de schémas » et "génération de schémas" en condition collaborative. ....	202
<b>Figure 36.</b> Utilisation des tablettes numériques et des stylets lors du travail de génération collaborative de schémas.....	203
<b>Figure 37.</b> Déroulement des passations de l'étude 3 .....	210
<b>Figure 38.</b> Fréquence estimée des sous-catégories d'interactions. ....	223
<b>Figure 39.</b> Les trois phases de l'activité de génération selon les conditions expérimentales. ....	250

**Titre :** Apprentissage de notions scientifiques par génération de schémas sur tablette numérique : études chez des élèves de collège en situation individuelle et collaborative

**Mots clés :** Génération de schémas, Collaboration, Apprentissage, Tablettes avec stylet, Collégiens

**Résumé :** Des études ont montré que la présence d'illustrations dans des documents multimédias n'améliorait pas toujours l'apprentissage car elles peuvent faire l'objet d'un traitement superficiel. Demander aux apprenants de générer des schémas pourrait les engager dans un traitement plus actif du document. Toutefois, les effets de la génération de schémas apparaissent mitigés et dépendent du niveau de support fourni pendant l'activité. Pour mieux comprendre les conditions d'efficacité de cette activité sur l'apprentissage de collégiens, deux démarches complémentaires ont été adoptées. Dans un premier temps, une démarche de co-conception d'une application de génération de schémas sur tablette a été mise en place. La seconde démarche était basée sur une méthode expérimentale et avait pour objectif d'étudier les

effets de la génération de schémas sur l'apprentissage de notions scientifiques chez des élèves de cinquième. Deux premières études ont testé les effets de la génération de schémas et de sa facilitation par des guidages (fournir aux élèves une illustration pendant l'activité générative ou mettre en saillance les éléments à générer). Les résultats n'ont pas mis en évidence d'effets bénéfiques de la génération de schémas sur l'apprentissage, qu'elle soit guidée ou non. La troisième étude visait à examiner les effets d'un travail collaboratif entre élèves lors de la génération de schémas, et montre qu'il n'a pas amélioré leur apprentissage par rapport à un travail individuel. Ces résultats suggèrent qu'il faut étudier d'autres types de supports de la génération de schémas pour améliorer l'apprentissage des élèves.

**Title:** Learning scientific concepts by learner-generated drawings on tablets: studies of middle school students in individual and collaborative situations

**Keywords:** Learner-generated drawing, Collaboration, Learning, Tablet with pen, Secondary school students

**Abstract:** Studies have shown that the presence of illustrations in multimedia documents does not always improve learning because they can be processed superficially. Learner-generated drawing could engage them in more active processing of the document. However, the effects of learner-generated drawing appear to be mixed and depend on the level of support provided during the activity. To better understand the effectiveness conditions of this activity on learning of secondary school students, two complementary approaches were adopted. The first approach was to co-design a learner-generated drawing application on tablet. The second approach was based on an experimental method and aimed to study the effects of learner-generated drawing on

scientific concepts learning in fifth grade students. Two studies tested the effects of learner-generated drawing and of its facilitation through guidance (providing students with an illustration during the generative activity or highlighting the elements to be generated). They did not demonstrate any beneficial effects of the activity on learning, whether guided or not. The third study examined the effects of students working collaboratively in learner-generated drawing, and found that it did not improve their learning compared to working individually. These results suggest that other types of support for learner-generated drawing need to be investigated to obtain real benefits of this activity on students' learning.