



Les arguments en faveur d'un enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI)

Les arguments en faveur d'un enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI)

Document préparé par l'auteur pour IAP en 2021, puis traduit de l'anglais vers le français avec le traducteur automatique DeepL, puis révisé par Pierre Léna, Janvier 2022.

Auteur: Wynne Harlen

Ce document est sous copyright de InterAcademy Partnership (IAP) et sous licence de Creative Commons Attribution 4.0 International.

Original en ligne sur:

<https://www.interacademies.org/publication/les-arguments-en-faveur-dun-enseignement-des-sciences-fonde-sur-linvestigation-esfi>

Remerciements

IAP est reconnaissant pour les relectures et commentaires fournis par les membres du IAP Science Education Global Council (<https://www.interacademies.org/education/governance>), à partir de versions préliminaires de ce rapport.

À propos de InterAcademy Partnership (IAP)

Rassemblées en tant que membres au sein de InterAcademy Partnership (IAP), plus de 140 académies nationales, régionales ou globales travaillent ensemble afin de soutenir le rôle vital de la science dans la recherche de solutions, fondées sur l'analyse de faits, aux problèmes les plus brûlants du monde. En particulier, IAP met en œuvre l'expertise de leaders internationaux dans les domaines scientifiques, médicaux et d'ingénierie, afin de faire progresser des politiques solides, d'améliorer la santé publique, de promouvoir l'excellence dans l'éducation à la science et d'atteindre d'autres objectifs critiques du développement.

IAP's four regional networks in Africa (the Network of African Science Academies, NASAC), the Americas (the InterAmerican Network of Academies of Sciences, IANAS), Asia (the Association of Academies and Societies of Sciences in Asia, AASSA) and Europe (the European Academies' Science Advisory Council, EASAC) are responsible for managing and implementing many IAP-funded projects and help make IAP's work relevant around the world.

Les quatre réseaux régionaux de IAP en Afrique (Network of African Science Academies, NASAC), en Amériques (InterAmerican Network of Academies of Sciences, IANAS), en Asie (Association of Academies and Societies of Sciences in Asia, AASSA) et en Europe (European Academies' Science Advisory Council, EASAC) sont responsables de la gestion et de la mise en œuvre d'un grand nombre de projets financés par IAP et contribuent à l'utilité, pour le monde entier, des travaux de IAP.

Pour plus d'information sur IAP, voir <https://www.interacademies.org> et suivre IAP sur Twitter <https://twitter.com/IAPartnership>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/company/interacademypartnership> et YouTube <https://tinyurl.com/IAPyoutube>.

Table des matières

Résumé	1
1. Le concept de l'ESFI	4
1.1 Définition de l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation	4
1.2 L'investigation dans l'enseignement des sciences : passé et présent	5
1.3 La recherche dans l'activité scolaire	5
1.4 Quelques idées fausses sur l'ESFI	6
1.5 Un modèle d'apprentissage des sciences par l'investigation.....	6
1.6 Le rôle des compétences de recherche.....	7
2. L'investigation en action	8
2.1 Exemples d'apprentissage par la recherche	8
2.2 Ce que font les élèves.....	8
2.3 Ce que les élèves apprennent	9
2.4 Ce que font les enseignants	10
3. Le rôle de la recherche dans l'enseignement des sciences	11
3.1 Promouvoir la culture scientifique et la compétence scientifique	11
3.2 Le rôle de la recherche dans le développement de la culture scientifique	11
3.3 Utilisation des TIC dans l'ESFI	12
3.4 Un programme scientifique pour tous les élèves.....	13
3.5 Accroître la participation aux professions scientifiques.....	13
3.6 Facteurs influençant le choix d'une carrière scientifique	14
4. Preuves et arguments en faveur de l'ESFI	15
4.1 Recherche empirique	15
4.1.1 PISA 2015.....	15
4.1.3 Évaluation d'un programme fondé sur l'investigation en Suède.....	19
4.1.4 Évaluation du modèle LASER d'enseignement scientifique basé sur l'investigation ...	20
4.1.5 Revues systématiques, faisant une synthèse d'études	21
4.1.6 Étude des différences entre sexes dans l'impact de l'ESFI.....	22
4.1.7 Dans l'enseignement supérieur, travail de laboratoire fondé sur l'investigation ...	24
4.1.8 Longue étude longitudinale, portant sur l'apprentissage des concepts scientifiques	24
4.1.9 Effet de l'intelligence émotionnelle des élèves sur leur réponse à l'ESFI.....	25

4.2 Principales conclusions de la recherche sur la réaction et les résultats des élèves	25
4.3 Autres recherches et arguments	26
5. Obstacles à la mise en œuvre de l'ESFI	29
5.1 Le concept d'ESFI.....	29
5.2 La formation des enseignants	29
5.3 Évaluation	30
5.4 Responsabilité.....	31
5.5 Un programme scolaire surchargé.....	31
5.6 Attentes à l'égard de l'enseignement et des enseignants	32
5.7 Ressources pour l'enseignement des sciences.....	32
6. Implications pour la politique et la pratique	34
6.1 Implications pour le concept d'ESFI	34
6.2 Implications pour la formation des enseignants.....	34
6.3 Implications pour la politique d'évaluation	35
6.4 Implications pour la politique de responsabilisation.....	35
6.5 Implications pour la structure du programme scolaire	35
6.6 Implications pour la réalisation de changements.....	36
6.7 Implications pour les ressources.....	36
7. Dix recommandations.....	38
Références.....	40

Encadrés

Encadré 1: Termes utilisés pour décrire les approches de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences	5
Encadré 2: Exemples de recherche en action	8
Encadré 3. Les grandes lignes du Programme international pour le suivi des acquis des élèves.....	16
Encadré 4 La structure du cerveau.....	27
Encadré 5 Les "grandes idées" dans l'enseignement des sciences	36

Figures

Figure 1 Un modèle de l'apprentissage par l'investigation en science.....	39
---	----

Résumé

L'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI) est depuis quelque temps largement préconisé par les principaux organismes internationaux en raison de son potentiel, non seulement pour élever le niveau des connaissances et de la compréhension scientifiques des élèves, mais aussi pour les aider à développer les compétences et les attitudes nécessaires à la vie au XXI^e siècle. Cependant, en dépit d'un soutien bien argumenté et de son adoption dans de nombreux pays, les preuves convaincantes de l'impact positif de l'ESF semblent manquer. En effet, son efficacité a été remise en question par les résultats largement diffusés de l'investigation 2015 du Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) auprès des jeunes de 15 ans (OCDE, 2016).

Le présent travail a pour objectif de rassembler les données de recherche actuellement disponibles et les arguments raisonnés en faveur de l'adoption d'une pédagogie fondée sur l'investigation dans l'enseignement des sciences, et d'identifier les facteurs susceptibles de favoriser ou d'entraver la mise en œuvre de l'ESFI. Il examine les avantages pour les élèves en tant qu'individus et pour la communauté dont ils sont membres - en particulier pour les sociétés qui ont besoin de plus de scientifiques, d'ingénieurs et de technologues - et en tire les conséquences pour la politique et la pratique de l'enseignement des sciences.

La section 1 concerne la signification de l'investigation, véhiculée dans les documents nationaux et internationaux, où l'on trouve une abondance de titres utilisés pour différents programmes basés sur l'investigation ("apprentissage par la pratique", "apprentissage par la découverte", "apprentissage pratique", etc.). La combinaison des connaissances et des compétences, qui est une caractéristique essentielle du processus d'apprentissage par la recherche, est illustrée à l'aide d'un modèle d'apprentissage par la recherche. Celui-ci représente visuellement la manière dont l'utilisation des compétences de recherche scientifique (prédire, émettre des hypothèses, collecter et interpréter des données, tirer des conclusions) conduit au développement de la connaissance et de la compréhension scientifiques.

La section 2 vise également à clarifier le concept d'ESFI, mais va au-delà du langage formel utilisé dans les définitions de l'investigation en tant que stratégie pédagogique générique. Des exemples de recherche, l'un provenant d'une classe d'école secondaire et l'autre d'une classe d'école primaire, sont utilisés pour décrire ce qui se passe dans les classes, en termes de ce que font les élèves et les enseignants et de ce que les élèves apprennent, lorsque l'ESFI est en action. Il va sans dire que ces exemples ne doivent être considérés que comme une indication de la manière dont certains aspects de l'ESFI peuvent être mis en pratique. Ils ne représentent certainement pas la complexité de l'ESFI, qui se manifestera toujours de différentes manières et avec différentes contributions de l'enseignant, résumées dans la liste des activités des enseignants et des élèves aux sections 2.2 et 2.4.

Les deux premières parties de la section 3 examinent les arguments en faveur d'une pédagogie fondée sur l'investigation et jouant un rôle clé dans l'enseignement des sciences. Les objectifs de l'apprentissage des sciences sont exprimés en termes de développement de la culture scientifique - une capacité générale à s'engager avec confiance dans les aspects scientifiques du monde, par exemple pour prendre des décisions concernant l'alimentation, l'exercice physique, l'utilisation de l'énergie et la protection de l'environnement. Les connaissances scientifiques que cela implique vont au-delà de la familiarité avec les faits et principes scientifiques. La compréhension scientifique englobe également la connaissance des compétences et des procédures par lesquelles la connaissance du contenu est construite à partir de preuves (connaissance procédurale) et la connaissance de la nature et du développement de la connaissance scientifique, y compris la compréhension du fait que les idées et les explications peuvent devoir être révisées à la lumière de nouvelles preuves (connaissance épistémique). Alors que la connaissance du contenu peut être apprise par transmission directe, ce qui est nécessaire pour développer la connaissance des procédures et de la nature de la science est fourni par l'expérience et la réflexion sur les expériences basées sur l'investigation.

La section 3 traite également de la manière dont le bénéfice de la culture scientifique peut être mis à la disposition de tous les élèves par le biais de leur enseignement scientifique, qu'ils continuent ou non à étudier les sciences au-delà de l'école. Un " programme d'études pour tous

“ pourrait inciter davantage d’élèves à poursuivre leurs études scientifiques au-delà de l’école. Cela contribuerait à atténuer les inquiétudes, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, selon lesquelles trop peu de jeunes, en particulier les filles, choisissent de faire carrière dans les disciplines scientifiques, technologiques, techniques et mathématiques (STEM).

La section 4 aborde la question la plus souvent posée à l’ESFI et, en fait, à d’autres approches pédagogiques, à savoir si elle “fonctionne”, c’est-à-dire si elle entraîne une amélioration de l’apprentissage des élèves. Les réponses à cette question s’appuient sur les résultats de la recherche empirique sur l’impact de l’ESFI sur l’apprentissage des élèves, sur des arguments fondés sur la compréhension actuelle de la manière dont l’apprentissage se déroule et sur ce que les études sur le cerveau (neurosciences) ajoutent aux raisons d’apprendre par la recherche.

La première partie de cette section 4 décrit les procédures et les résultats de neuf études de recherche, de conception et d’orientation différentes, qui rendent compte de l’impact de l’ESFI sur l’apprentissage des élèves. Dans la plupart des cas, les résultats ne sont pas concluants, les changements dans l’apprentissage attribuables à l’ESFI étant faibles et sujets à des erreurs de mesure considérables. Compte tenu de l’impact des résultats des investigations PISA sur la politique de l’éducation, une attention particulière est accordée aux résultats de l’investigation PISA 2015, dont les conclusions constituent un défi pour les défenseurs de l’enseignement basé sur l’investigation. Les données d’un questionnaire destiné aux étudiants, administré dans le cadre de l’investigation PISA 2015, ont été utilisées pour déterminer l’étendue de l’expérience des étudiants en matière de diverses approches pédagogiques. Les corrélations entre les scores aux tests PISA et l’expérience des élèves en matière de pédagogie d’investigation ou dirigée par l’enseignant ont abouti à une relation négative entre les scores des élèves aux tests PISA et la fréquence de l’expérience de l’enseignement fondé sur l’investigation, et à une relation positive avec l’enseignement dirigé par l’enseignant. Les résultats doivent être interprétés de manière critique, en tenant compte du fait que les informations sur l’enseignement ne concernent que la quantité, et non la qualité, de l’enseignement fondé sur l’investigation et qu’elles ont été fournies par des élèves qui ont probablement compris les questions de différentes manières. PISA n’a pas été mis en place pour comparer les pratiques pédagogiques et les preuves par corrélations n’établissent pas de relations de cause à effet. Ces résultats laissent de nombreuses questions sans réponse, ce qui souligne la nécessité de mener des recherches plus nombreuses et mieux conçues pour y répondre.

Après les études empiriques de la première partie de la section 4, la seconde partie se tourne vers les arguments de deux autres domaines de recherche qui améliorent notre compréhension de l’apprentissage et ont des implications pour l’apprentissage basé sur l’investigation : la théorie de l’apprentissage et les neurosciences. Le développement de la compréhension par investigation s’accorde avec une vision de l’apprentissage comme un processus dans lequel les apprenants donnent un sens à une nouvelle expérience en utilisant leurs idées existantes, c’est-à-dire une vision constructiviste de l’apprentissage. Mais les conceptions actuelles de l’apprentissage vont plus loin, en reconnaissant que l’apprentissage n’est pas seulement une affaire individuelle, mais qu’il implique une interaction sociale avec d’autres personnes dans laquelle la compréhension se développe d’une manière décrite comme socio-constructiviste. Cette vision du processus d’apprentissage sous-entend la valeur de la discussion, du dialogue et de l’argumentation autour des preuves qui font partie intégrante de l’apprentissage par la recherche.

Les connaissances croissantes sur la structure et le fonctionnement du cerveau et sur les liens entre ce qui se passe à l’intérieur du cerveau et la réponse aux événements extérieurs sont particulièrement intéressantes pour améliorer l’enseignement et l’apprentissage. Les études sur le rôle de la mémoire dans l’apprentissage revêtent une importance particulière pour l’enseignement fondé sur l’investigation et la prévention de la “surcharge cognitive” lorsqu’il y a beaucoup de choses à faire, comme dans des tâches telles que la planification et la réalisation d’investigations. La charge peut être réduite en fournissant une aide pour certains aspects du processus d’investigation, comme dans diverses formes d’“investigation guidée”.

Les études de la section 4 mettent en lumière plusieurs facteurs, regroupés dans la section 5, qui ont pour effet de limiter, voire d’empêcher, la mise en œuvre de l’ESFI. Certains de ces facteurs sont liés à la manière dont l’apprentissage basé sur l’investigation est décrit et

interprété dans la pratique ; d'autres sont des circonstances préexistantes qui vont à l'encontre de ce qui est nécessaire pour soutenir l'ESFI, notamment un programme scolaire surchargé qui encourage les enseignants à se précipiter dans les activités sans avoir suffisamment de temps pour l'investigation. Les politiques relatives à l'évaluation et à la responsabilité, ainsi que les attentes établies concernant l'enseignement et le rôle des enseignants, peuvent également entraver la mise en œuvre de l'ESFI. D'autres facteurs sont liés aux ressources disponibles pour l'ESFI, notamment le matériel et l'équipement pour les sciences expérimentales, mais aussi les connaissances pédagogiques des enseignants et leur capacité à aider les élèves à développer et à utiliser des techniques de recherche.

La section 6 complète la section 5 en revenant sur les obstacles potentiels et en envisageant les actions possibles pour les réduire, voire les surmonter. Certaines suggestions se trouvent dans les études qui ont soulevé les problèmes en premier lieu ; d'autres émergent de la recherche et d'exemples pratiques de mise en œuvre réussie. Les changements nécessaires constituent la base des recommandations de politique et de mise en œuvre de la section 7.

1. Le concept de l'ESFI

Avant d'exposer, dans les sections suivantes, les raisons d'adopter l'ESFI et d'examiner les preuves de son impact sur l'apprentissage, il est important d'être clair sur sa signification. Une définition convenue est importante pour apporter de la clarté dans la discussion et éviter les malentendus, auxquels l'ESFI est particulièrement sujet. Mais il est nécessaire d'aller au-delà des définitions pour comprendre comment les composantes de l'ESFI se combinent pour améliorer l'apprentissage des sciences. Un modèle d'apprentissage des sciences par la recherche est utilisé pour expliquer comment la recherche peut conduire au développement d'idées et de connaissances sur les aspects scientifiques du monde qui nous entoure (connaissance du contenu), tandis que l'expérience de l'utilisation des compétences de recherche dans ce processus permet aux élèves de prendre conscience du rôle des compétences de recherche (connaissance procédurale) et de la compréhension de la nature de la science (connaissance épistémique).

1.1 Définition de l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation

Les descriptions de l'investigation se retrouvent dans divers documents de programmes et matériels pédagogiques et ont subi des changements subtils, mettant parfois l'accent sur différents aspects du processus. Les normes d'enseignement des sciences de 1996 du Conseil national de la recherche des États-Unis ont mis l'accent sur l'utilisation des compétences en matière d'investigation, définissant l'investigation comme impliquant les éléments suivants:

“faire des observations, poser des questions, examiner des livres et d'autres sources d'information pour voir ce que l'on sait déjà, planifier des investigations, revoir ce que l'on sait déjà, utiliser des outils pour recueillir, analyser et interpréter des données, proposer des réponses, des explications et des prédictions et communiquer les résultats” (NRC, 1996 : p.23)

Le cadre ultérieur pour l'enseignement des sciences de la maternelle jusqu'à la fin du secondaire (12 années) (NRC, 2012), au lieu d'utiliser le terme “compétences”, décrit l'activité d'engagement dans une investigation scientifique en termes de “pratiques” afin de souligner que

“s'engager dans une investigation scientifique exige de coordonner simultanément des connaissances et des compétences”(p41)

On ne saurait trop insister sur le fait qu'une caractéristique essentielle de l'apprentissage par la recherche est la combinaison de ces deux aspects. Ceci étant dit, la discussion ici utilise le terme “compétences”, interprété dans ce sens plus large, comme dans la définition développée par le travail de l'IAP au cours de nombreux projets différents dans divers pays :

“L'ESFI signifie que les élèves développent progressivement des idées scientifiques clés en apprenant à engager une investigation et à construire leurs connaissances et leur compréhension du monde qui les entoure. Ils utilisent les compétences employées par les scientifiques, comme poser des questions, collecter des données, raisonner et examiner les preuves à la lumière de ce qui est déjà connu, tirer des conclusions et discuter des résultats. Ce processus d'apprentissage est soutenu par une pédagogie qui permet aux élèves d'apprendre par la recherche” (adapté de IAP, 2010:5).

L'accent mis sur les différentes parties de cette définition a donné lieu à une pléthore de termes utilisés pour décrire les nouvelles approches de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences qui comportent certains aspects communs avec l'ESFI. L'encadré 1 présente quelques-uns des termes les plus couramment utilisés, accompagnés d'une brève note sur l'objectif de chacun d'entre eux. Dans ce document, ils sont tous traités non pas comme différents de l'ESFI mais comme des aspects de celle-ci.

Encadré 1 : Termes utilisés pour décrire les approches de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences

Nombre de ces termes ont été créés ou adoptés pour s'opposer aux approches dirigées par l'enseignant. Il est désormais préférable de les considérer comme des sous-éléments de l'enseignement fondé sur l'investigation plutôt que comme des approches concurrentes.

Apprentissage actif: reconnaît que les élèves sont ceux qui apprennent et qu'ils doivent donc construire activement l'apprentissage plutôt que de le recevoir passivement.

Apprentissage par la découverte: suggère que les élèves apprennent principalement de leurs propres recherches et non directement de l'enseignant.

Apprentissage par la pratique: les élèves doivent être physiquement actifs en manipulant les matériaux afin de voir les choses par eux-mêmes.

Apprentissage pratique: similaire à l'apprentissage par la pratique, il met l'accent sur la valeur de l'activité physique.

Apprentissage par l'esprit: met l'accent sur la nécessité pour les élèves de réfléchir pour donner un sens à leurs expériences et de relier une nouvelle expérience à des idées existantes.

Apprentissage fondé sur les processus: utilisé dans les années 1970 pour mettre l'accent sur l'utilisation des compétences scientifiques (remplacé par l'apprentissage fondé sur l'investigation).

Apprentissage centré sur l'élève: terme général qui s'oppose à l'enseignement centré sur l'enseignant, où les expériences d'apprentissage sont étroitement contrôlées par l'enseignant.

Apprentissage fondé sur les preuves: met l'accent sur la recherche et l'utilisation de preuves pour développer la compréhension. (Cette notion se distingue de l'éducation fondée sur les preuves, c'est-à-dire les méthodes d'enseignement dont l'efficacité à produire l'apprentissage souhaité est prouvée).

Apprentissage par projet: met l'accent sur le transfert de l'apprentissage à de nouvelles situations ; il implique souvent de travailler sur des tâches complexes pendant une période donnée et de déboucher sur un produit réel ou un événement tel qu'une présentation.

Apprentissage par problème: similaire à l'apprentissage par projet. Les élèves travaillent en petits groupes pour s'attaquer à un problème réaliste, ce qui implique d'identifier l'apprentissage nécessaire à la solution.

Apprentissage fondé sur les compétences: identifie les résultats de l'éducation fondée sur l'investigation en termes de pratiques et de processus d'apprentissage qui contribuent à la culture scientifique.

1.2 L'investigation dans l'enseignement des sciences : passé et présent

La recherche n'est en aucun cas un nouveau concept dans l'éducation ; elle a été constamment valorisée au fil des ans. Ses racines se trouvent dans la reconnaissance de l'importance du rôle actif des enfants dans leur apprentissage, qui apparaît dans les écrits d'éducateurs tels que Homer Lane (1875-1925), Dewey (1870-1952) et Montessori (1870-1952), s'inspirant des idées antérieures de Rousseau (1712-1778), Pestalozzi (1746-1827) et Froebel (1782-1852). Ces éducateurs s'intéressaient à une approche générale de l'éducation qui respectait le rôle de la curiosité, de l'imagination et du désir d'interaction et de recherche des enfants. Cette approche n'était pas spécifiquement liée à l'apprentissage des sciences, qui, de toute façon, n'était pas régulièrement incluse dans l'enseignement primaire avant une bonne partie du vingtième siècle. Cependant, la pertinence particulière de la recherche pour l'apprentissage des sciences a été notée par les éducateurs qui ont préconisé l'introduction des sciences dans le programme de l'école primaire dans les années 1950 et 1960.

1.3 La recherche dans l'activité scolaire

Enquête ou investigation sont des termes utilisés dans la vie quotidienne, qui font référence à la recherche d'explications ou d'informations en posant des questions, en utilisant les

connaissances acquises par l'expérience et en recherchant des preuves. Dans le cadre de l'éducation, certaines compétences reliées à une attitude de recherche peuvent être utilisées dans d'autres domaines, tels que les mathématiques, la technologie, l'histoire, la géographie et les arts, ainsi que les sciences. Dans chaque domaine, des connaissances sont produites. Dans le cas de la recherche scientifique, il s'agit de la connaissance et de la compréhension du monde naturel et artificiel qui nous entoure.

La recherche, ou investigation, ne peut être la seule approche utilisée en mathématiques et dans les sciences sociales, bien sûr, mais elle n'est pas non plus la seule approche à utiliser en sciences. Certains aspects de l'enseignement des sciences impliquent des procédures, un vocabulaire et des faits qui s'apprennent mieux par un enseignement direct. Cependant, le développement de la compréhension est quelque chose que les élèves ne peuvent pas recevoir d'autres personnes mais qu'ils doivent provoquer par leurs propres réflexions et actions.

1.4 Quelques idées fausses sur l'ESFI

Étant donné que la science fondée sur l'investigation implique souvent une activité physique et la manipulation de matériaux et d'équipements, elle est parfois considérée comme synonyme de "travaux pratiques". On néglige ainsi le rôle de la pensée et la valeur de la discussion et de l'utilisation de sources secondaires dans l'apprentissage des sciences. Ce malentendu a pour conséquence que l'investigation est considérée comme étant exclusivement axée sur le développement des compétences, hors du contexte du développement des connaissances et de la compréhension. Liée à cette vision, l'hypothèse a pu être formulée, selon laquelle l'investigation est principalement adaptée aux sciences de l'école primaire et du collège, en supposant, à tort, que la construction d'idées-clés est moins pertinente qu'au niveau du lycée. Cela reflète la réalité : il s'est en effet avéré plus difficile d'introduire des activités d'investigation dans l'enseignement des sciences au niveau secondaire (voir IAP, 2010). Cela reflète également le manque de confiance que les enseignants du primaire ont souvent dans leur propre compréhension des sciences.

Un autre point de vue erroné est que l'investigation signifierait que les élèves "découvrent" tout par eux-mêmes et ne doivent pas recevoir d'informations de l'enseignant ou utiliser d'autres sources. Cela supposerait que les élèves abordent de nouvelles expériences avec un esprit ouvert et développent leurs idées par un raisonnement inductif sur ce qu'ils observent et trouvent au cours de leurs recherches. En réalité, les élèves n'abordent pas de nouvelles expériences l'esprit vide, ils viennent avec des idées déjà formées par des réflexions et des expériences antérieures, qu'ils utilisent pour essayer de comprendre les nouveaux événements ou phénomènes. Pour contrer ces conceptions trop limitées d'une pédagogie d'investigation, il est nécessaire d'examiner comment la compréhension se développe par le biais de l'investigation et le rôle des compétences d'investigation dans ce processus.

1.5 Un modèle d'apprentissage des sciences par l'investigation

Les définitions et les descriptions de l'ESFI identifient ses éléments constitutifs, mais pour expliquer comment celle-ci aboutit à un apprentissage et pourquoi elle est importante, il faut examiner comment les éléments sont liés les uns aux autres et sont combinés dans le développement des connaissances et des compétences. Le processus d'apprentissage par la recherche est ainsi mieux décrit à l'aide de la Figure 1, présentée en fin de ce texte, page 47.

Cette figure montre que le processus commence par une question ou un problème soulevé par un nouvel événement ou une nouvelle expérience (a). Par le biais d'une exploration et d'une observation initiales, l'apprenant tente de donner un sens au nouveau phénomène en utilisant des idées et des connaissances tirées de son expérience antérieure et peut trouver une ou plusieurs idées jugées pertinentes (b). Ce processus est facilité par la discussion avec d'autres personnes, de sorte que l'expérience apportée est supérieure à celle d'un individu. L'une de ces idées liées est sélectionnée pour être testée en étant utilisée pour faire une prédiction (c). Il s'agit d'une partie essentielle du processus d'apprentissage par la recherche, car ce n'est que si les idées ont un pouvoir prédictif qu'elles sont utiles (Hawking, 1988). Les preuves sont ensuite rassemblées (d) afin de pouvoir comparer ce qui a été prédit avec ce qui se passe (e). La manière de procéder dépend de la nature du problème ; elle peut nécessiter une observation minutieuse, une expérimentation, la consultation de documents, la recherche de modèles dans les données.

Il n'existe pas de "méthode scientifique" unique qui s'applique à des problèmes aussi différents que la raison pour laquelle la Lune semble changer de forme ou le motif des couleurs d'un arc-en-ciel. Souvent, il y a plus d'une prédiction à tester et donc une certaine répétition de la prédiction et la collecte de preuves en boucle. On peut alors conclure s'il existe des preuves pour soutenir l'explication possible et l'idée sur laquelle elle est basée (f). Si les preuves concordent avec la prédiction, l'idée initialement liée est provisoirement acceptée comme pertinente pour expliquer la nouvelle expérience et devient une idée "plus importante", c'est-à-dire qu'elle explique un plus grand nombre de phénomènes. Même s'il n'y a pas d'accord, on apprend quelque chose sur l'idée qui a été appliquée, car il est tout aussi important de savoir ce qui ne fonctionne pas que ce qui fonctionne. Dans ce cas, une autre idée doit être envisagée et testée.

1.6 Le rôle des compétences de recherche

Les flèches de la figure 1 correspondent aux actions nécessaires pour passer d'un point à un autre. Ces actions sont les processus (pratiques) ou les compétences de l'investigation. Les résultats de l'investigation dépendent de la manière dont ces actions sont réalisées, c'est-à-dire de la capacité des élèves à faire une prédiction, à planifier une investigation, à interpréter les données et à tirer des conclusions. Le développement d'idées scientifiques dépend de la collecte et de l'interprétation de données effectuées avec une rigueur scientifique, sinon des idées qui devraient être rejetées peuvent continuer à être acceptées et les idées non scientifiques, propres aux élèves, persistent. Il s'ensuit qu'une partie essentielle de la pédagogie requise pour soutenir l'apprentissage fondé sur l'investigation consiste à aider les élèves à développer les connaissances procédurales et les compétences nécessaires à l'investigation scientifique. C'est une raison importante pour aider les élèves à développer leurs compétences en matière d'investigation et à devenir plus conscients de leur utilisation.

Aider les élèves à progresser dans le développement des compétences d'investigation nécessite une vision de ce que signifie la progression des compétences et de la manière dont elle sera reconnue et encouragée. Harlen et Qualter (2018) ont proposé quatre dimensions du changement:

- Être plus à même d'utiliser les compétences dans un éventail de contextes, y compris ceux qui ne sont pas familiers.
- Utiliser des compétences plus élaborées ; par exemple, utiliser des instruments pour observer des détails.
- Devenir plus conscient d'utiliser des compétences et de les utiliser efficacement.
- Utiliser le raisonnement et la logique pour donner un sens à l'expérience.

Grâce au processus d'investigation, les élèves peuvent acquérir des connaissances non seulement sur les idées et les concepts qui aident à expliquer les événements et les phénomènes du monde environnant, mais aussi sur les procédures d'investigation scientifique qui conduisent à des résultats fiables et sur la nature de la science. Ces trois types de connaissances sont décrits comme la *connaissance du contenu*, la *connaissance procédurale* et la *connaissance épistémique*.

2. L'investigation en action

Le langage formel utilisé pour définir l'investigation comme une stratégie pédagogique générique, qui peut être appliquée à l'étude de nombreuses questions et problèmes différents, ne permet pas d'exprimer de manière adéquate ce qu'elle signifie dans la pratique. Cette section fournit des exemples réels d'investigation : un dans une classe de l'enseignement secondaire et un dans une classe de l'enseignement primaire. Ces exemples, ainsi que d'autres exemples de même type, sont ensuite utilisés pour décrire ce qui se passe dans les classes lorsque l'ESFI est en action, en termes de ce que font les élèves et les enseignants. Nous indiquons également comment ces activités de recherche permettent aux élèves d'acquérir des connaissances sur les idées scientifiques, sur le fonctionnement de la science et sur la nature de la science.

2.1 Exemples d'apprentissage par la recherche

Il peut y avoir un nombre infini de situations et d'événements différents dans lesquels les élèves apprennent par le moyen de l'investigation sous diverses formes. Bien qu'il ne soit pas possible d'illustrer ce large éventail, il est néanmoins utile d'avoir des situations spécifiques à l'esprit lorsque l'on discute des actions des enseignants et des élèves quand ils sont impliqués dans l'ESFI, en reconnaissant que les exemples de l'encadré 2 ne sont ni typiques ni inhabituels.

Encadré 2 : Exemples de recherche en action

Exemple A (extrait de Hadfield (1995) cité dans Rönnebeck (2018))

Au laboratoire, l'enseignant demande aux élèves, travaillant en petits groupes, d'utiliser des pinces pour maintenir un petit morceau de feuille de cuivre dans la flamme du bec Bunsen. Lorsque le cuivre est rougeoyant, ils le placent sur un tapis de céramique et le laissent refroidir. L'enseignant leur demande de décrire ce qu'ils voient et de réfléchir à la couche noire qui s'est formée sur le cuivre. Ils proposent plusieurs explications (hypothèses) : la couche noire est de la suie provenant de la flamme Bunsen (rappelant que la flamme d'une bougie peut déposer de la suie sur des objets) ; elle est produite à l'intérieur du cuivre lorsqu'il est chauffé ; il s'agit d'une réaction du cuivre avec l'air environnant. Les groupes planifient ensuite une investigation pour tester l'une de ces hypothèses. Ils prédisent que si le noir provient de la flamme, si le cuivre est chauffé sans contact direct avec la flamme, il n'y aura pas de couche noire. Les élèves élaborent un plan d'investigation pour voir ce qui se passe et, lorsqu'ils sont convaincus que cela peut être fait en toute sécurité, ils mènent l'investigation. Ils discutent de ce que le résultat leur apprend sur l'idée que la flamme est à l'origine de la couche noire et décident de tester l'une des autres explications possibles.

Exemple B (basé sur Harlen, 2015)

Cette investigation est partie de l'expérience commune des élèves qui ont constaté que lorsqu'ils sortent une canette de boisson fraîche du réfrigérateur, la surface de la canette devient humide. L'enseignant leur a demandé leurs idées sur ce qu'était cette humidité et comment elle était arrivée là. Pour étudier le phénomène en classe et tester certaines de leurs idées, l'enseignant a suggéré d'utiliser une canette sans couvercle dans laquelle ils pourraient mettre différents liquides et qui pourrait être refroidie en mettant de la glace à l'intérieur. La plupart des élèves ont pensé que l'humidité à l'extérieur provenait du liquide à l'intérieur et traversait le métal. Lorsqu'ils ont essayé sans liquide mais avec seulement de la glace à l'intérieur, il y avait encore de l'eau à l'extérieur, ce qu'ils pensaient être dû à la fonte de la glace et ils ont élaboré un plan pour tester cette hypothèse. D'autres idées ont été suggérées et essayées, mais aucune n'a donné de résultats convaincants. Ils cherchaient d'autres idées lorsqu'un élève a remarqué qu'il pouvait faire s'embuer la surface froide en soufflant dessus et ils se sont mis à penser que l'air ambiant pouvait avoir un rôle à jouer.

2.2 Ce que font les élèves

Ces aperçus d'activités en classe fournissent des exemples spécifiques de ce que font les élèves lorsqu'ils sont impliqués dans une recherche et dans les actions représentées dans la figure 1. Chaque point pris isolément n'a pas d'importance particulière, mais pris dans leur ensemble, ils

montrent en quoi l'ESFI est nettement différent de l'enseignement scientifique conventionnel. Une liste exhaustive de ce que font les élèves comprendrait les éléments suivants:

- soulever des questions, identifier des problèmes et réfléchir à la manière dont ils pourraient être étudiés ;
- s'engager dans l'exploration d'événements et d'objets – souvent, mais pas toujours, en manipulant des matériaux et en utilisant des équipements ;
- travailler en groupes collaboratifs dans lesquels les élèves partagent et construisent des idées ensemble ;
- proposer des explications possibles basées sur leur expérience antérieure et utiliser ces hypothèses pour faire des prédictions ;
- élaborer des plans d'investigation pour vérifier les prédictions ;
- mener des recherches, recueillir des données par l'observation et l'expérimentation, le cas échéant, et enregistrer les résultats ;
- tirer des conclusions des résultats sur les idées testées, et communiquer ce qu'ils ont fait et trouvé ;
- réfléchir au processus de recherche et à tout changement dans leurs idées.

2.3 Ce que les élèves apprennent

Il est intéressant de noter que dans les exemples de l'encadré 2, les élèves étaient pleinement engagés dans l'activité et, surtout, ne connaissaient pas à l'avance la réponse aux problèmes. Cela contraste avec une grande partie des “travaux pratiques” traditionnels en sciences, où l'on dit aux élèves ce qu'ils doivent faire et ce qu'ils doivent trouver. Une véritable investigation suscite l'intérêt et la réflexion des élèves, ce qui leur permet d'apprendre et de comprendre en utilisant des idées qu'ils ont élaborées eux-mêmes et qu'ils se sont appropriées.

Il est tout aussi important de se demander : qu'apprennent les élèves et comment cela est-il facilité ? Les exemples de l'encadré 2 ne sont pas censés représenter tous les types de recherche, qui sont nombreux, mais même ces brèves descriptions montrent comment les trois types d'apprentissage mentionnés à la section 1 – connaissance du contenu scientifique, connaissance des procédures scientifiques et connaissance de la nature de la science – peuvent être développés par le biais d'activités basées sur la recherche:

Connaissance du contenu

Dans l'exemple A, la série de tests conçus par les élèves leur a permis d'éliminer certaines de leurs hypothèses et d'identifier le contact avec l'air comme un élément important pour expliquer la pellicule noire sur le cuivre. Associées à d'autres expériences de changement de substances, ces observations conduisent à la réalisation de la “grande idée” selon laquelle certaines substances peuvent se combiner avec d'autres pour former une nouvelle substance. Dans l'exemple B, les recherches de ces jeunes élèves ont permis de prendre conscience de l'existence de la vapeur d'eau dans l'air et des conditions dans lesquelles elle passe de l'état gazeux à l'état liquide. Cela contribue à la “grande idée” qu'à température ambiante, certaines substances existent sous forme solide, d'autres sous forme gazeuse et d'autres encore sous forme liquide.

Connaissances procédurales (comment la science fonctionne)

Les élèves de ces exemples ont l'expérience de la discussion d'explications possibles (hypothèses) et de l'utilisation d'idées issues d'expériences antérieures pour faire des prédictions. En élaborant des plans pour tester leurs propres idées, ils font l'expérience de ce qu'implique la planification, y compris le choix des données à collecter, la manière de les collecter et la garantie que des comparaisons équitables sont effectuées le cas échéant. Ils apprennent à enregistrer systématiquement les résultats de différentes manières et à interpréter les résultats et à tirer des conclusions. La réflexion sur ces expériences, avec le soutien de l'enseignant, aide les élèves à identifier comment cette façon de travailler contribue à leur apprentissage et à leur compréhension de la nature de l'activité scientifique.

Connaissance épistémique (la nature de la science)

En réfléchissant à la manière dont ils ont développé leurs idées, les élèves peuvent identifier ce qui fait qu'une activité relève de la recherche scientifique, en particulier le rôle important des preuves. Reconnaître que les idées fondées sur des preuves peuvent devoir être modifiées en cas de preuves contradictoires contribue à la "grande idée" que les explications et théories scientifiques sont celles qui correspondent le mieux aux preuves disponibles à un moment donné.

2.4 Ce que font les enseignants

Les expériences et les activités des élèves qui conduisent à l'apprentissage que nous venons de décrire dépendent largement de l'enseignant. Le rôle de l'enseignant est essentiel, non seulement parce qu'il fournit le matériel, l'environnement d'apprentissage et les ressources, mais aussi parce qu'il pose aux élèves des questions qui stimulent leurs capacités de réflexion et de recherche. Le questionnement est l'une des caractéristiques les plus importantes de la pratique de l'enseignant, qui influe sur les possibilités qu'ont les élèves de développer leur compréhension et leurs capacités de recherche. C'est également l'un des aspects de la pratique des enseignants qui peut le plus facilement être rendu plus efficace pour l'apprentissage (Black et al, 2003). En changeant la forme et le moment de leurs questions, les enseignants peuvent susciter les idées des élèves, provoquer leur réflexion et encourager l'utilisation des compétences de recherche. Les questions exprimées en termes personnels ("A votre avis, quelle pourrait être la raison de la pellicule noire sur le cuivre ?" plutôt que "quelle est la raison") sont plus susceptibles de donner accès à ce que les élèves pensent vraiment. Les questions peuvent encourager spécifiquement l'utilisation de compétences de recherche telles que la planification ("que devez-vous faire pour découvrir si cela a quelque chose à voir avec l'air ?") ou inciter à la réflexion ("qu'est-ce que cela vous apprend sur les explications que vous pouvez obtenir à partir de recherches scientifiques ?").

Les élèves ne parviendront pas à de nouvelles idées uniquement par leur propre réflexion et action. Ils doivent avoir accès à un éventail d'idées différentes des leurs. Ainsi, une part importante du rôle de l'enseignant consistera également à s'assurer que les élèves ont accès à des sources d'information, à des idées alternatives à tester et aux matériaux et équipements nécessaires. Il est souvent utile que l'enseignant fournisse un "échafaudage" (voir également la section 6.2) pour aider les élèves à envisager une idée ou une action qui n'est pas la leur mais qu'ils peuvent essayer pour la faire leur. Les autres élèves sont une source importante d'idées différentes, c'est pourquoi la promotion du dialogue par le biais de l'enseignement dialogique (Alexander, 2012, 2020) est importante pour l'ESFI.

En résumé, si les élèves doivent réfléchir et apprendre dans le cadre d'une investigation, les activités des enseignants consisteront notamment à

- fournir des matériaux, des équipements et un accès à des sources d'information que les élèves pourront utiliser et les aider à les utiliser;
- faciliter le travail en groupe et l'apprentissage collaboratif, en aménageant un espace pour les discussions et le travail en groupe et en encourageant les élèves à partager et à écouter les idées des autres;
- poser des questions ouvertes qui suscitent les idées des élèves et encouragent l'utilisation de techniques de recherche;
- encourager le dialogue et les discussions au cours desquelles les élèves développent et approfondissent leur compréhension;
- demander aux élèves de faire des prédictions et de planifier des recherches, en les aidant si nécessaire à s'assurer que les actions prévues sont sûres et productives;
- fournir un environnement propice aux recherches des élèves, les écouter et prendre leurs idées au sérieux;
- proposer des idées alternatives qui pourraient aider les élèves à expliquer les résultats de leurs recherches;
- encourager les élèves à réfléchir à ce qu'ils ont trouvé et comment ils l'ont trouvé.

3. Le rôle de la recherche dans l'enseignement des sciences

Faisant suite aux deux sections précédentes sur la signification et la nature de la recherche, cette section présente les raisons pour lesquelles la recherche joue un rôle clé dans la pédagogie de l'enseignement des sciences. Elle défend l'idée que les objectifs de l'enseignement des sciences doivent être exprimés en termes de développement d'une population ayant une culture scientifique et justifie le rôle important de la pédagogie de l'investigation pour y parvenir. Elle identifie l'importance, pour les élèves, d'un enseignement scientifique fondé sur l'interrogation, en tant que partie essentielle de leur préparation à la vie, et la valeur pour la société lorsque les citoyens possèdent les connaissances et les compétences qui peuvent être développées par l'ESFI. Le rôle que les TIC peuvent jouer dans ce développement est reconnu. Nous examinerons ensuite ce qui peut être fait pour remédier à la pénurie de scientifiques, de techniciens et d'ingénieurs que connaissent les pays développés, ceux en développement dans le monde entier.

3.1 Promouvoir la culture scientifique et la compétence scientifique

En science, la compréhension ne se limite pas à la connaissance des faits, des concepts et des théories qui permettent d'expliquer le monde qui nous entoure (connaissance du contenu). Comme cela est largement reconnu (OCDE, 2016 ; CE, 2007), elle englobe également la connaissance des aptitudes et des procédures par lesquelles les connaissances de contenu sont utilisées pour construire et affiner des modèles fondés sur des preuves (connaissances procédurales) et la compréhension de la nature et du développement des idées scientifiques, y compris la nécessité de réviser les idées et les explications à la lumière de nouvelles preuves (connaissances épistémiques). Ces trois aspects reflètent trois des quatre volets de la compétence scientifique décrits par Duschl et al, 2007 ; le quatrième étant la participation productive aux pratiques et au discours scientifiques.

Ces résultats constituent le fondement de ce que l'on appelle communément la culture scientifique (Millar et Osborne, 1998). Un terme étroitement lié, la compétence, est utilisé pour décrire "la capacité à répondre avec succès à des demandes complexes dans un contexte particulier" (Rychen et Salganik, 2003 : 43). Les objectifs de l'apprentissage des sciences basé sur les compétences, comme ceux de la culture scientifique, vont au-delà de la connaissance des sciences. Ils incluent la familiarisation avec la nature de l'activité scientifique et la capacité d'évaluer les prises de position et les arguments, ce qui se reflète dans la description que fait l'enquête PISA d'une personne scientifiquement alphabétisée comme étant capable de:

- "Expliquer des phénomènes de manière scientifique - reconnaître, proposer et évaluer des explications pour un large éventail de phénomènes naturels et technologiques.
- Évaluer et concevoir une investigation scientifique - décrire et évaluer des investigations scientifiques et proposer des moyens d'aborder des questions de manière scientifique.
- Interpréter scientifiquement des données et des preuves - analyser et évaluer des données, des affirmations et des arguments dans une variété de représentations et tirer des conclusions scientifiques appropriées. " (OCDE 2016a : 20)

3.2 Le rôle de la recherche dans le développement de la culture scientifique

Dans le monde d'aujourd'hui, où la science et la technologie jouent un rôle de plus en plus important, la société a besoin d'une population ayant une culture scientifique et capable de prendre des décisions sur les aspects de sa vie quotidienne qui sont bénéfiques à la fois pour elle-même et pour la société. En d'autres termes, quelles expériences l'enseignement des sciences doit-il offrir pour aider les élèves à développer les trois aspects de la connaissance scientifique ?

La connaissance du contenu a été l'objectif principal de l'enseignement des sciences tout au long de son histoire, constituant un corpus de connaissances qui a été transmis d'une génération

à l'autre, principalement par l'enseignement formel pratiqué à l'école. Si les trois types de connaissances, nécessaires à la culture scientifique, impliquent un certain apprentissage conceptuel, la connaissance seule est insuffisante pour le développement des connaissances procédurales et épistémiques.

Les connaissances procédurales sont clairement liées à l'action, au fait de "faire" et de savoir comment "faire". Mais il ne suffit pas de faire l'expérience de quelque chose pour apprendre à le faire. La connaissance d'une compétence, qu'il s'agisse d'une action physique ou mentale, nécessite une réflexion sur l'expérience et le rôle que le "faire" a joué dans le développement de la compréhension.

De même, la connaissance épistémique ne peut être transmise directement aux apprenants. Elle exige une réflexion et une expérience des activités scientifiques, ainsi qu'une connaissance de l'évolution des idées et des explications scientifiques.

Ce qui est nécessaire pour développer ces aspects de la culture scientifique se trouve dans la description des activités identifiées dans la définition de l'ESFI à la section 1 et dans les actions des élèves et des enseignants énumérées à la section 2. Cela permet de justifier le rôle de l'investigation dans l'enseignement des sciences en termes de contribution au développement d'une population scientifiquement alphabétisée, composée de personnes qui connaissent le fonctionnement de la science et sont capables de participer à la résolution des principaux défis auxquels l'humanité est confrontée pour fournir suffisamment d'eau et de nourriture, lutter contre les maladies, produire suffisamment d'énergie et s'adapter au changement climatique (PNUE, 2012).

Les individus prennent fréquemment des décisions sur des questions qui touchent à leur santé, leur alimentation, leur bien-être, leur consommation d'énergie et la protection de l'environnement. Outre d'avoir un impact sur leur propre vie quotidienne, ces décisions ont des implications plus larges pour leur bien-être futur et celui des autres. Elles n'exigent pas de chacun qu'il devienne un expert scientifique mais qu'il soit capable de faire des choix éclairés qui affectent son environnement et son bien-être. À ce titre, les compétences et la compréhension développées par l'ESFI sont essentielles à la préparation des jeunes à la vie.

Comprendre comment la science est utilisée dans de nombreux aspects de la vie permet aux élèves d'apprécier l'importance de la science et l'utilisation appropriée des idées scientifiques. Les élèves doivent savoir comment, actuellement et historiquement, l'utilisation des connaissances scientifiques en ingénierie et en technologie peut avoir un impact positif ou négatif sur la société. En outre, l'enseignement des sciences joue un rôle unique dans la compréhension et la volonté de s'attaquer aux problèmes qui entraînent des inégalités en matière de richesse, d'emploi, de santé et d'éducation dans le monde (IAP, 2015:6). Des avantages importants au niveau national découlent du fait que les jeunes acquièrent les connaissances et la compréhension qui leur permettent de faire des choix éclairés concernant leur régime alimentaire, l'exercice physique, l'utilisation de l'énergie et la protection de l'environnement. Ce qui est bon pour la santé de ses citoyens est bon pour la santé de l'économie d'un pays.

3.3 Utilisation des TIC dans l'ESFI

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) en général et dans l'éducation en particulier s'est développée à un rythme croissant ces dernières années. Les circonstances inhabituelles créées par la pandémie du coronavirus depuis 2020 n'en sont que partiellement responsables ; l'utilisation, notamment par les enfants, des tablettes, smartphones, ordinateurs portables s'accélérait déjà. Dans les pays où les élèves ont accès à ces appareils et à l'internet, l'utilisation de ces technologies peut renforcer, mais ne remplace pas, les possibilités de développer les types de connaissances et de compétences évoquées dans la sous-section ci-dessus. Parallèlement au concept de culture scientifique, les élèves et les enseignants devraient acquérir une "culture numérique", c'est-à-dire utiliser avec confiance les technologies numériques à des fins telles que la communication, la collaboration, la formulation de questions et la résolution de problèmes.

Les TIC peuvent soutenir l'apprentissage des sciences de manière multiple et croissante. Elles permettent notamment d'accéder aux preuves nécessaires aux recherches des élèves, qui

seraient autrement difficiles à collecter en classe, en utilisant, par exemple, des enregistreurs de données et des capteurs. Les preuves provenant d'autres sources, fournies par l'internet via Google et les vidéos You Tube, permettent aux élèves de faire et de tester des prédictions et d'élargir leur compréhension de phénomènes tels que la relation entre la Terre et l'espace. L'internet offre de nombreuses autres possibilités de sortir de la salle de classe grâce à des visites virtuelles de lieux d'intérêt, et de se connecter à d'autres personnes pour échanger des idées et des expériences. L'image des élèves travaillant seuls devant un ordinateur n'est plus de mise. Au contraire, ils peuvent utiliser leurs appareils numériques pour partager leurs idées avec d'autres, par exemple en réalisant des animations, des modèles, des présentations PowerPoint ou des dessins à l'écran.

Les preuves de l'effet de l'utilisation des TIC sur les performances des élèves s'accumulent (Tamim, et al, 2011). Toutefois, l'utilisation efficace des TIC de cette manière dépend clairement de la façon dont les enseignants intègrent l'utilisation des nouvelles technologies dans leur pédagogie. Cela a des répercussions sur la formation des enseignants, en particulier sur l'offre de formation professionnelle continue en ligne.

3.4 Un programme scientifique pour tous les élèves

Il est clair que les avantages du développement de la culture scientifique devraient être accessibles à tous par le biais de l'enseignement des sciences. Cela nécessite un programme scientifique que l'on peut véritablement qualifier de "science pour tous" ou de "science pour la citoyenneté" ; un programme qui soit pertinent pour la vie des élèves, quelle que soit leur future profession ou carrière. Mais dans le même temps, l'enseignement des sciences doit répondre aux besoins des étudiants qui suivront des études supérieures en sciences et deviendront les scientifiques, ingénieurs et technologues indispensables à la croissance économique et intellectuelle des pays.

Comment répondre, dans le cadre d'un même programme d'études, aux besoins de ceux qui feront carrière dans les sciences ou dans des entreprises à vocation scientifique et de ceux qui ne suivront pas cette voie, tel a été le défi majeur de la conception des programmes d'études pendant de nombreuses années. Parmi les solutions tentées ou suggérées, citons : l'idée d'un "tronc commun plus des options", des itinéraires parallèles au niveau du secondaire supérieur et diverses manières de fournir des expériences appropriées à ces deux groupes d'élèves.

Mais l'accent mis sur l'importance de donner à chacun la possibilité de développer une culture scientifique, telle que définie ci-dessus, plaide en faveur d'une autre approche. Celle-ci reconnaît le rôle d'une pédagogie basée sur l'investigation pour permettre à tous les élèves, et pas seulement à ceux qui poursuivront des études ou des carrières dans le domaine des sciences et des sujets liés aux sciences, d'acquérir une culture scientifique à la fin de leur éducation scolaire.

Un programme d'études considéré comme "un cours visant à améliorer la culture scientifique générale" (Millar et Osborne, 1998 : 9), conviendrait à tous les élèves et, par conséquent, un plus grand nombre d'entre eux pourraient être motivés et inspirés pour poursuivre des études dans les sciences et les disciplines connexes.

3.5 Accroître la participation aux professions scientifiques

De nombreux gouvernements et économies sont préoccupés par le fait qu'un nombre insuffisant de jeunes choisissent d'étudier les sciences au-delà de l'âge de 16 ans. Le profil de ceux qui continuent à étudier les sciences ou les matières scientifiques et à embrasser des carrières connexes est également très préoccupant, car les femmes, les travailleurs et certains groupes ethniques minoritaires restent sous-représentés, en particulier dans les sciences physiques et l'ingénierie. Il est également urgent d'améliorer la diffusion de la culture scientifique dans tous les groupes sociaux.

Les écarts actuels et prévus dans l'adoption des matières STEM (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques) peuvent avoir un impact négatif sur l'économie des pays. L'investissement dans les disciplines STEM est de plus en plus considéré, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, comme un moyen de stimuler l'innovation et

de dynamiser l'économie. En Europe, les rapports de la CE (2004) et de Rocard et al (2007) ont identifié l'investigation scientifique comme un moyen d'améliorer l'enseignement des sciences et de répondre au besoin d'un plus grand nombre de jeunes d'entreprendre des carrières en sciences et en ingénierie (Rönnebeck et al, 2018). Une investigation de 2018 sur la pénurie de talents de la main-d'œuvre a montré que l'ampleur du problème varie considérablement d'un pays à l'autre et qu'elle est plus prononcée en Asie, le Japon étant le pays le plus gravement touché, 89 % des entreprises faisant état d'une pénurie de compétences en STEM. La Chine était l'un des pays signalant un faible taux de pénurie (13 %), le Royaume-Uni n'étant qu'un peu plus haut, à 19 %. (McCarthy, 2019). Il est clairement nécessaire d'encourager davantage d'étudiants à poursuivre des études scientifiques dans l'enseignement secondaire et supérieur et à choisir des carrières dans les disciplines STEM.

3.6 Facteurs influençant le choix d'une carrière scientifique

Une étude portant sur la façon dont les élèves âgés de 10 à 14 ans envisagent les carrières liées aux disciplines STEM a permis de comprendre les raisons de leurs choix. L'étude ASPIRES (Archer et al, 2010) visait à mieux comprendre comment les aspirations des jeunes évoluent entre 10 et 14 ans. À l'aide d'investigations en ligne et d'entretiens répétés avec les élèves pendant cinq ans, ainsi que d'entretiens avec les parents, l'étude a examiné ce qui influence la probabilité qu'un jeune aspire à une carrière scientifique. L'une des principales conclusions de l'étude est que les élèves et leurs parents ne manquent pas d'aspirations élevées. Cependant, alors que les carrières dans le domaine des affaires, de la gestion et les carrières professionnelles, telles que le droit, la médecine, l'enseignement ou la célébrité, se classent en tête des préférences, la carrière de scientifique arrive bien plus bas que la plupart des autres carrières. Les élèves qui ont une opinion plus positive des sciences à l'école sont les plus susceptibles d'aspirer à une carrière scientifique, mais le fait d'aimer les sciences à l'école n'est pas un facteur déterminant dans leur choix de carrière. Le fait d'être d'accord sur le fait qu'on apprend des choses intéressantes en sciences et que les sciences sont utiles n'a pas conduit à les préférer à d'autres matières ou à vouloir devenir un scientifique.

Parmi les facteurs qui semblent intervenir dans le choix d'une carrière figure le rôle du "capital scientifique" familial de l'élève (Archer et al, 2015). Le concept de capital scientifique concerne les connaissances, les attitudes, les expériences et les contacts sociaux d'une personne en matière de sciences. Les élèves dont un parent ou un ami de la famille a une qualification ou une profession scientifique, et qui discutent de sciences à la maison, ont un capital scientifique plus important que ceux qui n'ont pas de telles expériences. Il a été constaté que ceux qui ont un capital scientifique plus important sont susceptibles d'aspirer à étudier les sciences au-delà de l'âge de 16 ans. Un autre facteur est la vision étroite qu'ont les élèves de l'éventail des professions impliquant les sciences, qui se limite généralement à devenir médecin, enseignant ou scientifique. Ces professions étaient considérées comme exigeant un haut niveau de "puissance cérébrale" et les sciences étaient donc considérées comme réservées aux "très brillants". En outre, il a été constaté que le sexe, l'origine ethnique et la classe sociale restent des facteurs associés au choix. Une étudiante de sexe féminin, blanche et ayant un faible niveau de capital scientifique est la moins susceptible de se voir dans une profession liée aux sciences et est plus susceptible d'aspirer à une carrière artistique ou à un emploi dans le secteur des "soins".

Ces résultats mettent en évidence des actions qui peuvent contrer les circonstances qui dissuadent les élèves de choisir des études et des carrières scientifiques. Les enseignants peuvent aider en élargissant la vision des professions auxquelles l'étude des sciences peut mener, en montrant comment les sciences sont utilisées dans la vie quotidienne, en se référant à des modèles et en encourageant activement les élèves des groupes sous-représentés à considérer les sciences comme étant "pour eux". En outre, et surtout, "les décideurs politiques pourraient envisager de promouvoir des modèles intégrés d'éducation à la carrière dans lesquels l'apprentissage du programme est systématiquement lié à un large éventail de carrières et de professions de la vie réelle" (Archer et al, 2010 : 4).

4. Preuves et arguments en faveur de l'ESFI

Est-ce que “ça marche” est la question que se pose le plus souvent toute personne qui envisage de mettre en œuvre l'ESFI ou, en fait, toute innovation dans l'enseignement. Dans cette section, les réponses à cette question s'appuient sur trois sources principales de preuves : les résultats de la recherche empirique quant à l'impact de l'ESFI sur l'apprentissage des élèves ; les arguments fondés sur la compréhension actuelle de la manière dont l'apprentissage se déroule ; enfin ce que les études sur le cerveau (neurosciences) peuvent ajouter aux motifs du choix d'un apprentissage par la recherche.

4.1 Recherche empirique

Contrairement à ce qui se passait il y a moins de vingt ans, il existe aujourd'hui un nombre considérable de preuves empiriques de l'efficacité de l'ESFI. Comme nous le verrons, toute étude de l'activité fondée sur l'investigation est rarement concluante, puisque l'impact de la pratique d'une investigation, ou de toute autre approche pédagogique, ne représente qu'une petite partie de l'expérience des élèves dans les cours de sciences. En outre, de nombreuses variables distinguent une approche pédagogique d'une autre, dont peu peuvent être contrôlées. Ainsi, même si l'effet des variables relatives à l'environnement d'apprentissage, à l'enseignant et aux élèves peut être minimisé dans la conception d'une telle étude, il demeure de multiples facteurs influant sur les résultats, ce qui signifie que l'effet de la pratique d'investigation, ou de toute autre approche pédagogique, sera probablement difficile à détecter (Harlen, 2004).

La première partie de cette section décrit brièvement quelques exemples d'études de différents types:

1. PISA 2015 (relation entre les performances en sciences aux tests PISA et d'une part un enseignement dirigé par l'enseignant, d'autre part un enseignement fondé sur l'investigation).
2. L'enseignement fondé sur l'investigation et les résultats des élèves au GCSE¹ et à PISA (données PISA liées aux données des élèves en Angleterre).
3. Évaluation d'un programme basé sur l'investigation en Suède (NTA²) (comparaison des performances des étudiants NTA et non-NTA aux tests nationaux et aux notes de cours).
4. Évaluation du modèle LASER de l'ESFI (comparaison des élèves bénéficiant de l'intervention LASER avec ceux ne bénéficiant pas de l'intervention LASER à l'aide de tests standardisés et autres).
5. Une synthèse portant sur l'investigation (analyse systématique de travaux de recherche, qui ont évalué chaque étude en fonction de la place donnée à l'investigation).
6. Travail de laboratoire fondé sur l'investigation dans l'enseignement supérieur (comparaison entre le travail de laboratoire basé sur l'investigation et le travail de laboratoire “manuel” dans un cours universitaire de biologie en République tchèque).
7. Différences de genre dans l'impact de l'ESFI (recherche menée en République tchèque pour étudier les différences de genre dans les réponses des élèves du secondaire à l'enseignement de l'ESFI).
8. Étude longitudinale de douze années, portant sur l'apprentissage des concepts scientifiques (un projet intéressant d'un point de vue historique qui a soutenu l'enseignement des sciences aux élèves d'âge primaire).
9. Effet de l'intelligence émotionnelle des élèves (étude de la réponse à l'ESFI d'élèves ayant des intelligences émotionnelles différentes).

4.1.1 PISA 2015

Le Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) est une source importante de données sur les politiques et les pratiques de l'enseignement scientifique qui sont associées aux résultats en sciences, en mathématiques et en pratique de la langue. Le programme a été mis en place par l'OCDE pour “contribuer à la compréhension de la mesure dans laquelle les systèmes éducatifs des pays participants préparent leurs élèves à devenir des apprenants tout

au long de la vie et à jouer un rôle constructif en tant que citoyens dans la société” (OCDE, 1999 p.7). Outre le fait d’impliquer les 36 pays de l’OCDE, les investigations PISA sont menées dans d’autres pays, avec d’autres types d’économies. En 2015, il y avait plus de 72 pays ou économies participants au total. L’encadré 3 présente un résumé des principaux points.

Encadré 3. Les grandes lignes du Programme international pour le suivi des acquis des élèves.

Dans le cadre d’enquêtes conduites tous les trois ans, le programme PISA évalue les résultats des jeunes de 15 ans dans trois grands domaines, chacun étant décrit comme une “littératie” : la compréhension de l’écrit, la culture mathématique et la culture scientifique. L’objectif du programme est de fournir des informations et de mesurer ce que, à la fin des années de scolarité obligatoire, les élèves ont acquis dans ces domaines, s’agissant des compétences et de la compréhension nécessaires pour que ces jeunes puissent participer efficacement à la société. Bien que les mathématiques et les sciences correspondent à des matières scolaires, l’investigation PISA ne vise pas à évaluer dans quelle mesure les élèves maîtrisent le contenu du programme, mais plutôt quelles compétences générales et quelle compréhension globale ils ont acquises. Il est donc important de distinguer l’évaluation de la “culture scientifique” de l’évaluation des “sciences”. La décision de se concentrer sur la culture scientifique est conforme à la pensée qui prévalait au moment de la conception de PISA (par exemple, Millar et Osborne, 1998). En d’autres termes, les résultats de l’enseignement des sciences sont le développement d’une compréhension générale des concepts importants et des cadres explicatifs de la science, des méthodes par lesquelles la science obtient des preuves venant à l’appui de la justesse de ses connaissances, ainsi que des forces et des limites de la science. Il s’agit de compétences et d’une compréhension qui sont nécessaires à tous les élèves, y compris à ceux qui étudieront les sciences en profondeur et deviendront les scientifiques et les technologues de demain.

À cet égard et à plusieurs autres, l’investigation PISA diffère des autres investigations internationales sur l’enseignement des sciences et des mathématiques. Elle ne concerne que les jeunes de 15 ans et teste un échantillon d’élèves de cet âge tous les trois ans, à partir de l’année 2000. Les trois domaines de la littératie sont testés dans chaque enquête, l’un étant un élément majeur et les autres des éléments mineurs de l’enquête, le processus tournant sur trois ans. La culture scientifique a été le domaine majeur en 2000, 2009 et 2015. Outre le fait de tester un échantillon d’élèves, à l’aide de tests écrits traduits dans la ou les langues appropriées à chaque pays, des informations générales sont recueillies au moyen de questionnaires remplis par les élèves et les directeurs d’école. Cela permet d’établir des relations entre les pratiques d’enseignement, les caractéristiques des écoles et les résultats des élèves.

Ce sont les informations sur les pratiques d’enseignement dans les leçons de sciences, en particulier l’utilisation d’activités fondées sur l’investigation, qui nous intéressent ici.

Dans l’investigation PISA 2015, le questionnaire destiné aux élèves comprenait, pour la première fois, des questions sur la fréquence à laquelle ils ont vécu certains événements ou activités dans leurs cours de sciences (“jamais ou presque jamais”, “dans certains cours”, “dans de nombreux cours”, “chaque cours ou presque”). Les activités ont été choisies pour donner des indications sur le type général d’enseignement vécu par les étudiants. Quatre pratiques ou stratégies ont été identifiées : l’enseignement dirigé par l’enseignant, le retour d’information perçu, l’enseignement adaptatif et l’enseignement fondé sur l’investigation. Les questions considérées comme indiquant des actions et des événements typiques pour l’une de ces pratiques ont été combinées en un indice affecté à cette pratique d’enseignement. Des valeurs plus élevées de cet indice indiquent une utilisation plus fréquente de ces stratégies. La relation entre l’utilisation plus fréquente d’une stratégie et la performance en sciences a été calculée à partir de la corrélation de ces deux mesures.

Le rapport PISA 2015 accorde une attention particulière aux corrélations entre la performance en sciences au test PISA et les indices obtenus pour deux stratégies : l’enseignement dirigé par l’enseignant et l’enseignement fondé sur l’investigation. Les principales conclusions sont qu’il existe une forte corrélation négative entre le score PISA des élèves et la fréquence de l’enseignement fondé sur l’investigation et une corrélation positive avec la fréquence de l’enseignement dirigé par l’enseignant. Il est apparu que des scores PISA plus élevés étaient associés à un enseignement plus dirigé par l’enseignant et à moins d’activités fondées sur

l'investigation.

Ces résultats constituent un défi pour les défenseurs de l'ESFI et pour le consensus international qui se développe quant à ses avantages. (par exemple, Commission européenne, 2007 ; IAP, 2010 ; Projet Fibonacci, 2012). Il est donc important d'examiner en détail les indices utilisés dans l'analyse, tout en gardant à l'esprit plusieurs points concernant ces mesures : elles sont basées sur la fréquence de certaines expériences et non sur leur qualité ; elles sont rapportées par les élèves, qui interpréteront les questions de différentes manières ; les preuves corrélationnelles n'établissent pas de relations causales ; PISA n'a pas été créé pour comparer les pratiques pédagogiques.

L'indice de l'enseignement dirigé par l'enseignant a été établi à partir des réponses aux questions concernant les quatre événements pédagogiques suivants, avec le pourcentage moyen entre parenthèses des élèves des pays de l'OCDE qui ont déclaré que ces événements se produisaient dans leur classe dans "presque tous" ou "dans beaucoup" de cours de sciences:

1. L'enseignant démontre une idée (56%)
2. L'enseignant explique des idées scientifiques (55%)
3. L'enseignant discute de nos questions (55%)
4. Une discussion avec l'ensemble de la classe a lieu avec l'enseignant (40%)

Pour l'indice de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation, les résultats des neuf questions suivantes ont été combinés. Le pourcentage entre parenthèses correspond à la moyenne de l'OCDE des élèves déclarant que ces éléments se produisent dans "la plupart" ou "presque tous" les cours de sciences.

1. Les élèves ont la possibilité d'expliquer leurs idées (69%)
2. L'enseignant explique comment une idée scientifique peut être appliquée à un certain nombre de phénomènes différents (59%)
3. L'enseignant explique clairement la pertinence des concepts scientifiques dans notre vie (50%)
4. Les élèves sont invités à tirer des conclusions d'une expérience qu'ils ont menée (41 %).
5. Les élèves doivent argumenter sur des questions scientifiques (30%)
6. Il y a un débat en classe sur les recherches (26 %)
7. On demande aux élèves de faire une investigation pour tester des idées (26%)
8. Les élèves passent du temps au laboratoire pour effectuer des travaux pratiques (20 %).
9. Les élèves sont autorisés à concevoir leurs propres expériences (16%).

Les événements les plus fréquents concernent les élèves qui reçoivent des explications des enseignants ou qui expliquent leurs propres idées. Dans les cas les moins fréquents, moins d'un élève sur trois a participé à des discussions sur les sciences ou à des recherches pratiques. Environ un quart seulement des élèves ont déclaré avoir participé à certaines des activités correspondant à la définition de la science fondée sur l'investigation donnée à la section 2. Les analyses PISA suggèrent que, pour ceux qui ont vécu ces expériences, il existe une corrélation négative avec le score en sciences. Cependant, pour les trois premières questions, les élèves qui ont déclaré que ces choses se sont produites dans la plupart ou dans toutes les leçons ont obtenu des scores plus élevés que ceux pour qui cela ne se produit jamais ou presque jamais.

Le rapport souligne la nécessité de faire preuve de prudence dans l'interprétation des données corrélationnelles, qui n'établissent pas de relations de cause à effet. Les enseignants peuvent avoir des raisons différentes, par exemple, pour utiliser des activités pratiques, mais néanmoins "les arguments contre l'utilisation d'activités pratiques ne doivent pas être complètement ignorés. Il s'agit notamment du fait que ces activités ne favorisent pas l'acquisition de connaissances approfondies, qu'elles constituent une utilisation inefficace du temps, ou qu'elles ne fonctionnent que lorsqu'il existe un bon matériel de laboratoire et une bonne préparation de l'enseignant." (OCDE, 2016 : 71).

Outre la mise en garde concernant l'interprétation des corrélations, il faut se rappeler que PISA

n'a pas été mis en place pour comparer l'impact de différentes pratiques pédagogiques. Il n'y a pas de " traitement " de certains élèves qui aurait fait en sorte qu'ils fassent l'expérience de l'ESFI tandis que d'autres ont eu une expérience différente. Nous ne savons pas quels aspects de l'investigation, le cas échéant, les élèves ont réellement expérimentés. Pour en avoir le cœur net, il est nécessaire de concevoir une étude différente, dans laquelle les résultats des élèves dont on sait qu'ils ont vécu l'ESFI peuvent être comparés à ceux des élèves qui ne l'ont pas vécu. En d'autres termes, cela signifie un projet de recherche qui garantisse que la variable indépendante - l'expérience de l'ESFI - est en place lorsque la variable dépendante - les résultats en sciences - est mesurée. L'investigation PISA fournit une mesure valide de cette dernière, mais non de la première.

De tels projets de recherche contrôlés sont difficiles à mener pour plusieurs raisons. Dans toute salle de classe, diverses pratiques pédagogiques sont utilisées, de sorte que l'effet de l'expérience de la recherche sera " dilué " par d'autres pratiques dans une certaine mesure. (Les quatre pratiques identifiées dans l'indice PISA de l'enseignement dirigé par l'enseignant sont loin d'être indépendantes les unes des autres, comme le montrent les corrélations publiées). Pour que les résultats soient fiables, il est également souhaitable que la pratique étudiée soit en place depuis suffisamment longtemps pour que les enseignants et les élèves soient familiarisés avec ce qu'elle implique.

4.1.2 Enseignement fondé sur l'investigation et résultats des élèves : enquête PISA 2015 et études nationales

Jerrim, Oliver et Sims (2019) ont utilisé les données de l'investigation PISA 2015 liées à la base de données nationale des élèves pour l'Angleterre, qui contient les résultats de chaque élève aux tests nationaux et aux examens publics, afin de déterminer si les approches guidées sont positivement associées à la réussite en sciences et si une fréquence plus élevée de l'enseignement fondé sur l'investigation entraîne des niveaux de réussite plus élevés. Ils décrivent l'investigation guidée comme " le maintien de l'accent sur les étudiants acquérant des connaissances indirectement par le biais d'investigations " tout en augmentant le niveau d'orientation fourni par l'enseignant (p.36). Ils présentent des arguments théoriques en faveur de l'enseignement scientifique " guidé ", par opposition à l'enseignement scientifique " pur ", en s'appuyant sur la théorie de la charge cognitive (Kirschner et al, 2006). Cette théorie stipule que les apprenants doivent traiter les nouvelles informations dans leur mémoire de travail (voir 4.3), dont la capacité est limitée et dont la surcharge peut entraver l'apprentissage. Les conseils de l'enseignant ou de la feuille de travail permettent d'alléger la charge liée à la gestion de tous les aspects de la conduite d'une investigation.

La mesure utilisée par Jerrim et al (2019) initialement dans leur étude était les résultats des élèves à l'examen passé à la fin de l'enseignement secondaire à 16 ans (GCSE). Les résultats PISA du questionnaire des élèves indiquant la fréquence de diverses activités dans leurs cours de sciences (voir ci-dessus la section 4.1.1) ont été utilisés pour créer une échelle de la quantité d'enseignement fondé sur l'investigation que les élèves ont connu. Cette échelle a ensuite été utilisée pour explorer l'association entre la fréquence mesurant l'expérience des élèves en matière d'investigation et leurs notes au GCSE.

Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence dans les notes du GCSE entre les élèves ayant bénéficié d'un niveau élevé d'enseignement fondé sur l'investigation et ceux ayant peu d'expérience dans ce domaine. Toutefois, les élèves ayant une expérience moyenne de l'investigation ont obtenu de meilleures notes que ceux qui n'en avaient que peu ou pas du tout, bien que l'ampleur de l'effet soit extrêmement faible. Les chercheurs ont étudié la possibilité que les tests du GCSE ne reflètent pas correctement les résultats de l'ESFI en utilisant les résultats des tests PISA comme mesure des résultats, mais cela n'a pas changé les résultats, confirmant leur conclusion que " l'enseignement fondé sur l'investigation a une relation très faible avec les résultats en sciences - et que tout effet positif est limité à des niveaux modérés d'investigation combinés à des niveaux élevés d'orientation. Des niveaux élevés d'investigation ou d'investigation non guidée n'ont aucune relation avec les résultats scolaires " (Jerrim et al : 42). Ils envisagent les explications possibles de ces résultats nuls en termes de qualité plutôt que de quantité de l'enseignement basé sur l'investigation. En d'autres termes, " les enseignants en Angleterre ne parviennent pas (en moyenne) à dispenser de manière appropriée des méthodes

d'enseignement des sciences fondées sur l'investigation" (ibid.). Ils affirment également que la nature pratique d'un enseignement fondé sur l'investigation offre aux élèves des occasions de faire du bruit et peut perturber leur comportement, ce qui réduit la qualité de leurs expériences d'apprentissage. D'autres recherches utilisant des mesures de la qualité plutôt que de la seule quantité d'activités fondées sur l'investigation sont clairement nécessaires.

4.1.3 Évaluation d'un programme fondé sur l'investigation en Suède

Le programme suédois *Natural Science and Technology for All (NTA)* est une adaptation et une traduction du programme *Science and Technology for Children (STC)*, développé aux États-Unis. Différentes versions de STC ont été créées dans un certain nombre de pays, tels que le Brésil, la Croatie, l'Allemagne, la Corée, le Panama et la Thaïlande, ainsi que la Suède. Le programme NTA, comme le STC, fournit du matériel pédagogique sous forme de kits et une formation pour les enseignants. Il se compose de deux parties, l'une destinée aux jeunes enfants de la maternelle à la cinquième année et l'autre aux élèves plus âgés de la sixième à la neuvième année. L'impact du programme NTA sur les élèves de 9e année en 2009 et 2010 a fait l'objet d'une étude approfondie et détaillée par Mellander et Svärth (2018). À cette époque, le NTA était utilisé par environ 7000 enseignants dans un tiers des municipalités suédoises, impliquant au total environ un élève sur huit entre la maternelle et le grade 9 (classe de 3e en France).

Le test scientifique national standardisé pour les élèves de 9e année a été introduit en Suède en 2009 et les résultats étaient disponibles pour que Mellander et Svärth les utilisent dans l'évaluation du programme NTA. Le test national comprend trois matières, à savoir la biologie, la chimie et la physique. Chaque élève ne passe qu'un seul test, qui est décidé par l'organisme chargé de l'administration du test, ce qui permet d'éviter l'effet de distorsion lié à la pratique du test. Chaque épreuve par matière comprend des éléments relatifs au contenu et d'autres relatifs aux compétences de la démarche scientifique. Outre les résultats aux tests standardisés, les autres mesures de résultats utilisées sont les notes basées sur les tests et les notes de cours fournies par les enseignants. À l'aide de ces trois mesures, un échantillon d'élèves ayant étudié le NTA a été comparé à un échantillon non NTA. Les étudiants n'ont pas été répartis de manière aléatoire entre les deux groupes, mais par appariement au niveau individuel sur la base d'une série de caractéristiques de base. Les chercheurs ont particulièrement insisté sur l'importance de faire preuve de prudence dans la répartition des élèves entre les groupes, car leurs travaux montrent qu'une comparaison directe, "non ajustée, entre les participants et les non-participants conduira à la conclusion erronée que le programme NTA a un impact négatif sur les résultats des tests et les notes des cours" (Mellander et Svärth:36).

Dans leur étude portant sur des élèves de la 6e à la 9e année, des différences positives et statistiquement significatives ont été constatées entre les élèves participant au programme NTA et les autres en ce qui concerne les résultats des tests et les notes des tests, mais pas les notes des cours. L'ampleur de l'effet variait selon les matières scientifiques, était très faible et était sujette à des erreurs de mesure considérables.

Une deuxième étude similaire a été menée par Mellander et Rasmusson (2020) auprès d'élèves de la 4e à la 6e année, lorsque la NTA était plus solidement établie, en utilisant un échantillon beaucoup plus important (23 000 paires appariées au lieu de 1 000). Les erreurs de mesure ont été considérablement réduites et des effets significatifs ont été constatés pour les notes de test et les notes d'école pour toutes les matières scientifiques ainsi que pour les mathématiques et la technologie (notes de cours uniquement car il n'y avait pas de tests nationaux en technologie). Des tailles d'effet correspondant à environ 30 % de la distance entre deux notes adjacentes dans l'intervalle A - E de l'échelle de notation, ont été trouvées pour toutes les matières scientifiques, la plus grande étant celle de la biologie. Les autres résultats sont les suivants :

- Les effets du NTA étaient environ 40 % plus faibles pour les enfants d'origine étrangère que pour les élèves d'origine suédoise et cette différence est statistiquement significative.
- Plus les élèves participent longtemps au programme NTA, en termes de nombre de semestres, plus ils en bénéficient.
- En ce qui concerne le sexe, il n'y a pas de différence statistiquement significative. La tendance non significative des étudiantes à obtenir de meilleurs résultats et de meilleures notes que leurs homologues masculins est conforme aux tendances générales observées en

Suède dans les classes 4 à 6 (soit CM1 à 6e).

- Un résultat particulièrement important concerne le développement professionnel des enseignants. L'effet de la NTA sur les élèves dont les enseignants avaient une formation pédagogique formelle était deux fois plus important que pour ceux qui n'avaient pas de qualification pédagogique formelle. Cependant, l'effet de la NTA n'était pas plus important si un enseignant ayant une formation pédagogique avait également des qualifications formelles en sciences, technologies ou mathématiques. Les chercheurs ont conclu que cela avait des implications pour le développement professionnel dans le programme NTA, qui devrait compenser le manque de compétences pédagogiques ainsi que les lacunes liées à la connaissance des matières scientifiques.

4.1.4 Évaluation du modèle LASER d'enseignement scientifique basé sur l'investigation

LASER (Leadership and Assistance for Science Education Reform) est une approche systémique du changement, développée par le Smithsonian Science Education Centre aux États-Unis. Il propose des activités en classe fondées sur la recherche, un développement professionnel différencié, un soutien administratif et communautaire, des kits d'équipement et une aide à l'évaluation. "Le développement professionnel de haute qualité pour les enseignants en sciences est un élément central du modèle LASER." (Alberg, 2015:10).

Une étude d'évaluation longitudinale du modèle LASER, financée par le ministère de l'Éducation des États-Unis, a été réalisée par le Centre de recherche en politique éducative (CREP) de l'Université de Memphis à partir d'un échantillon réparti sur trois districts (Zoblotsky et al, 2017). Les résultats ont fourni des preuves claires de l'impact positif de l'investigation, non seulement sur les performances en sciences, mais aussi sur la lecture et les mathématiques des élèves.

Les élèves de la 3^e à la 8^e année ont été divisés en deux groupes, ceux bénéficiant de l'intervention LASER et un groupe témoin. Les quelque 9 000 élèves de l'étude ont été suivis pendant trois ans. Deux mesures ont été utilisées pour comparer les deux groupes d'élèves : les évaluations normalisées des écoles primaires et secondaires en lecture, mathématiques et sciences ; et le PASS (*Partnership for the Assessment of Standards Based Science*) qui consistait en des tâches à choix multiples, ouvertes et pratiques.

Les résultats pour les items du PASS ont montré :

- des différences particulièrement importantes et statistiquement significatives entre les étudiants LASER et les étudiants témoins dans les tâches pratiques de performance ;
- quelques différences significatives dans les scores des tâches ouvertes ;
- moins de différences pour les questions à choix multiples.

Les résultats des tests standardisés de l'État ont conduit aux conclusions suivantes :

- enseigner la science avec une pédagogie fondée sur l'investigation améliore les résultats des élèves non seulement en sciences mais aussi en lecture et en mathématiques ;
- LASER améliore l'apprentissage des élèves par rapport aux élèves non-LASER, en particulier parmi les populations mal desservies, notamment les enfants défavorisés sur le plan économique, ceux qui ont besoin d'un enseignement spécial ou ceux qui apprennent l'anglais.

Les secteurs du PASS 'questions ouvertes' et celui comprenant des 'tâches de performance' du PASS exigent des étudiants qu'ils communiquent leurs connaissances par écrit et qu'ils s'engagent dans des activités associées à la pensée critique et à la résolution de problèmes - des compétences du XXI^e siècle, associées à la préparation aux études supérieures et à la carrière. Il est intéressant de noter que ce sont dans ces domaines conditionnant la réussite que les étudiants et les écoles LASER ont obtenu de bons résultats.

Les auteurs ajoutent une observation importante : malgré la rhétorique actuelle concernant la nécessité de mettre davantage l'accent, depuis la maternelle jusqu'à la fin du secondaire, sur tous les domaines STEM (science, technologie, ingénierie et mathématiques), les pressions

associées aux tests standardisés ont considérablement réduit le temps alloué à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences dans de nombreuses écoles publiques. Ils soulignent ainsi que:

“Peu d'écoles participant à l'étude actuelle ont alloué suffisamment de temps à tous les niveaux scolaires pour mettre en œuvre les unités scientifiques telles qu'elles ont été conçues, et dans certaines, les sciences n'ont été enseignées qu'aux niveaux scolaires dans lesquels elles ont été testées (généralement en 5e et 8e années). Malgré tout, de nombreux résultats positifs ont été obtenus, et cette étude a permis d'en apprendre beaucoup sur le potentiel du modèle LASER, et en particulier sur l'utilisation de stratégies fondées sur l'investigation dans les classes de l'école élémentaire et du collège, pour préparer les élèves à la réussite “ (Alberg, 2015 : 11)

4.1.5 Revues systématiques, faisant une synthèse d'études

Le fait de rassembler les résultats de plusieurs études portant sur des questions similaires renforce la contribution de chaque étude particulière, qui peut ne contenir que certains éléments d'une mise en œuvre d'investigation. Les revues systématiques (appelées méta-analyses) suivent des procédures prescrites pour rechercher et évaluer la qualité de toutes les études pertinentes afin d'extraire des conclusions les plus probantes. Ces procédures de revue systématique ont été développées et sont devenues largement pratiquées dans les pays du monde entier.

Le projet Inquiry Synthesis (Minner et al, 2010) était un examen systématique des travaux de recherche portant sur la nature et les effets de l'ESFI. Il a été financé par la National Science Foundation aux Etats-Unis et mené par l'Education Development Center. Le projet a suivi une procédure d'examen systématique, en commençant par rechercher la littérature de recherche portant sur des travaux qui traitent de la question posée. Les travaux sélectionnés devaient se proposer de déterminer s'il existait une association entre la nature ou la quantité d'enseignement par investigation d'une part, les résultats des étudiants concernant ce qu'ils devaient avoir ainsi appris d'autre part ; enfin si la rigueur méthodologique avait un effet modérateur sur les résultats du travail considéré (op cit : 482). Les chercheurs ont identifié 138 travaux (ou études) en accord avec la définition d'une investigation faite en classe. Chaque étude a été classée en fonction d'aspects-clés du degré d'investigation utilisé dans la pédagogie : résultats des élèves, conception de la recherche et rigueur méthodologique.

Le degré de recherche dans le traitement décrit dans chaque étude a été évalué en fonction de l'importance accordée à la responsabilité de l'élève en matière d'apprentissage, à la réflexion active de l'élève et à la motivation de l'élève, en attribuant dans chaque cas une note allant de 0 (aucune importance) à 4 (beaucoup d'importance). Une fois que toutes les composantes de l'enseignement ont été évaluées sous l'angle d'une participation active de l'élève, de sa prise de responsabilité dans l'apprentissage et de sa motivation. Puis les évaluations ont été additionnées pour refléter le niveau global de 'saturation en l'investigation' (c-à-d. de l'ampleur de celle-ci) dans chaque traitement pédagogique. Outre le codage du niveau de recherche, les chercheurs ont développé un schéma de codage pour l'effet de l'enseignement. Six types de résultats différents ont été codés : trois portant sur la compréhension par les élèves soit des concepts, soit des faits, soit des principes ou théories scientifiques ; trois de même portant sur une trace laissée chez l'élève (au moins deux semaines après son exposition en classe) soit de sa compréhension des concepts, soit des faits, soit des principes ou théories scientifiques.

Sur l'ensemble des 138 études de la synthèse, un peu plus de la moitié ont montré un impact positif d'un certain niveau d'enseignement par investigation. Parmi l'ensemble de ces études, 101 portaient sur la compréhension des concepts scientifiques. Pour ces études, bien que le résultat n'ait pas été associé de manière significative au degré de 'saturation en l'investigation', on peut observer ceci : lorsque ce résultat a été décomposé en éléments plus détaillés de l'investigation, il existait une association positive entre l'importance de l'engagement actif de l'élève et les conclusions qu'il était capable de tirer concernant les données et la compréhension du contenu scientifique. Sur les 42 études qui ont comparé les élèves traités et non traités, plus de la moitié de celles-ci ont constaté que, dans les cas où la 'saturation en investigation' était plus élevée (en particulier avec un engagement concret autour des phénomènes scientifiques étudiés et un accent mis sur la responsabilité de l'élève envers l'apprentissage), les élèves ont obtenu des résultats meilleurs, de façon statistiquement significative, que les élèves ayant

pratiqué une investigation moins importante. Dans l'ensemble, cependant, les corrélations entre un apprentissage meilleur et le degré de 'saturation en l'investigation' étaient modestes.

Ces chercheurs ont donc reconnu que :

“Les preuves des effets de l'enseignement fondé sur l'investigation, telles qu'elles ressortent de cette synthèse, ne sont pas extrêmement positives, mais il existe une tendance claire et cohérente indiquant que l'enseignement comprenant un cycle d'investigation (c'est-à-dire la génération de questions, la conception d'expériences, la collecte de données, la formulation de conclusions et la communication des résultats), qui met l'accent sur la réflexion active de l'élève ou la responsabilité de l'apprentissage, a été associé à une amélioration de l'apprentissage du contenu par les élèves, en particulier l'apprentissage des concepts scientifiques. Cette constatation générale indique que le fait d'amener les élèves à réfléchir activement et à participer au processus d'investigation augmente leur apprentissage des concepts scientifiques” (op cit : 493). “Les preuves des effets de l'enseignement fondé sur l'investigation, telles qu'elles ressortent de cette synthèse, ne sont pas extrêmement positives, mais il existe une tendance claire et cohérente indiquant que l'enseignement comprenant un cycle d'investigation (c'est-à-dire la génération de questions, la conception d'expériences, la collecte de données, la formulation de conclusions et la communication des résultats), qui met l'accent sur la réflexion active de l'élève ou la responsabilité de l'apprentissage, a été associé à une amélioration de l'apprentissage du contenu par les élèves, en particulier l'apprentissage des concepts scientifiques. Cette constatation générale indique que le fait d'amener les élèves à réfléchir activement et à participer au processus d'investigation augmente leur apprentissage des concepts scientifiques” (op cit : 493).

Il a également été constaté la corrélation entre des approches concrètes et expérimentales des phénomènes, qu'il s'agisse du monde naturel ou de technologie, et un meilleur apprentissage conceptuel. Si cette constatation était conforme à la théorie de l'apprentissage constructiviste, elle n'était pas compatible avec la politique éducative de l'époque, incarnée par le programme “No child left behind” (N.d.T. 'aucun enfant laissé à la traîne', slogan de la politique éducative aux États-Unis au début des années 2000.), qui mettait l'accent sur le développement et l'évaluation des compétences de base. Contraints par les tests d'État, qui évaluent principalement la connaissance ou le rappel de faits, de concepts et de théories scientifiques éparpillés, les enseignants avaient souvent recours à des stratégies d'enseignement moins exigeantes (tant pour eux que pour les élèves). Mais, comme le font remarquer Minner et al:

“Ironiquement, les résultats de cette synthèse indiquent que les stratégies d'enseignement qui engagent activement les élèves dans le processus d'apprentissage par le biais de recherches scientifiques sont plus susceptibles d'accroître la compréhension conceptuelle que les stratégies qui reposent sur des techniques plus passives.” (ibid.)

Les auteurs du projet Inquiry Synthesis concluent en soulignant qu'il est nécessaire, si l'on veut quantifier le degré d'investigation et son lien avec les résultats de l'apprentissage, de disposer de meilleurs outils pour mieux rassembler les résultats de plusieurs études.

4.1.6 Étude des différences entre sexes dans l'impact de l'ESFI

Cette étude a été menée en Slovaquie par des chercheurs de Slovaquie et de République tchèque. Elle s'inscrivait dans le cadre du programme européen ESTABLISH, un programme de quatre ans au sein du 7e Programme-cadre qui, de 2010 à 2014, a développé, diffusé et évalué des unités d'apprentissage et la formation des enseignants afin de promouvoir l'utilisation de l'ESFI dans les écoles secondaires. L'évaluation s'est concentrée sur les impacts concernant la motivation intrinsèque des élèves pour l'apprentissage des sciences, leur compréhension de l'importance des sciences pour la société et leurs conceptions épistémologiques, en s'interrogeant dans chaque cas sur les éventuelles différences entre les garçons et les filles.

Les résultats présentés ici ont été obtenus à partir des réponses des élèves à deux questionnaires : Q1 portant sur la motivation intrinsèque ; Q2 portant sur leur attitude à l'égard des sciences et leurs idées sur la nature des sciences. Les deux questionnaires ont été préparés dans des versions destinées aux élèves du secondaire inférieur (12-15 ans) et du secondaire supérieur (16-19 ans).

Les unités d'un apprentissage des sciences fondées sur l'investigation, développées dans le

cadre du programme, ont été enseignées par des professeurs ayant suivi un cours de quatre jours sur l'ESFI. Les élèves suivaient les instructions figurant sur les fiches de travail, tandis que l'enseignant coordonnait les activités des élèves. En posant des questions appropriées, les enseignants favorisaient la discussion entre les élèves, ainsi qu'entre les élèves et l'enseignant. Les activités faisaient principalement appel à des compétences liées à la planification d'expériences, à la collecte, au traitement, à l'analyse et à l'interprétation de données, ainsi qu'à la formulation de conclusions.

Le Q1 a été administré après chaque unité d'apprentissage. Il a été rempli par un échantillon de 1 792 élèves du secondaire supérieur et de 136 élèves du secondaire inférieur. Q2 a été administré avant l'utilisation des unités ESFI et à nouveau après la fin du projet à un échantillon de 299 élèves du secondaire supérieur et 53 du secondaire inférieur.

Les élèves ont réagi positivement aux activités ESFI, les trouvant intéressantes, divertissantes et utiles. De légères différences entre les sexes ont été observées dans les trois résultats d'apprentissage : motivation pour l'apprentissage des sciences, compréhension de l'importance des sciences pour la société et conceptions épistémologiques, les filles étant généralement plus positives dans leur évaluation. Les connaissances scientifiques des garçons et des filles ont peu évolué après les activités de l'ESFI, si ce n'est que la curiosité des filles a augmenté. Il n'y a pas eu de changements significatifs dans les attitudes des élèves à l'égard des sciences, mais les filles ont exprimé moins d'intérêt pour les sciences et pour une carrière scientifique dans le post-test. En ce qui concerne les conceptions épistémologiques, seuls les éléments relatifs à la nécessité de fonder les découvertes scientifiques sur des preuves ont changé. Les chercheurs ont conclu que l'impact des activités sur les filles était plus positif que sur les garçons, dont les attitudes et les opinions ont très peu changé après les activités ESFI.

Les auteurs ont commenté ceci: "nous nous attendions à un impact plus positif sur les opinions et les conceptions des élèves." Ils poursuivent en décrivant les circonstances qui ont probablement influencé les résultats et qui doivent être prises en compte pour en juger:

- La réforme scolaire en Slovaquie a débuté en 2008, soit deux ans seulement avant le début de cette étude.
- Bien que le programme scolaire national slovaque mette l'accent sur une approche fondée sur l'investigation dans l'enseignement des sciences, les enseignants manquent de matériel de soutien pour mettre en œuvre l'investigation.
- Les enseignants slovaques ne sont généralement pas très bien formés à l'ESFI.
- Les méthodes traditionnelles d'enseignement dominant dans les écoles et sont préférées par les enseignants.
- L'échantillon d'enseignants de cette étude a participé à des ateliers et a reçu des documents méthodologiques de soutien, mais ils n'avaient toujours pas les compétences requises pour l'enseignement de l'ESFI ; ils avaient tendance à répondre eux-mêmes aux questions et à enseigner directement les activités.
- Les élèves ne sont pas habitués à cette approche de l'enseignement et s'attendent souvent à recevoir l'aide de l'enseignant ou des instructions claires sur la manière de procéder ou sur ce qu'il faut faire, dans d'autres matières comme en sciences.

Les chercheurs ont résumé les résultats comme suit :

"Nous pensons que ce sont les principales raisons pour lesquelles les résultats n'ont pas indiqué de changements plus significatifs. Pour obtenir des résultats plus convaincants, les enseignants ont besoin d'un développement professionnel plus permanent et systématique, qui favorisera une plus grande applicabilité de l'ESFI dans l'enseignement, également dans d'autres matières que celles considérées ici. Malgré tout, nous pouvons dire que l'analyse ci-dessus a apporté une comparaison intéressante entre les filles et les garçons dans la perception de l'ESFI, montrant un impact plus positif sur les filles, qui semblent avoir été plus influencées par cette forme d'enseignement." (Kekule et al, 2017 : 113).

4.1.7 Dans l'enseignement supérieur, travail de laboratoire fondé sur l'investigation

Bien que cette étude, réalisée par Rokos et Zavodska (2020) en République tchèque, n'ait concerné que des étudiants d'un cours universitaire de biologie, ses conclusions sont pertinentes pour l'apprentissage scolaire, où des résultats similaires ont été obtenus. L'étude a comparé l'enseignement des sciences au niveau universitaire et fondé sur l'investigation en biologie humaine avec le travail de laboratoire traditionnel utilisant des documents du type "série de recettes" rédigés par les enseignants. Des tests portant sur les connaissances et les compétences scientifiques des étudiants ont été utilisés avant et après le travail en laboratoire.

Pendant un cours d'un trimestre, les étudiants ont été divisés en deux groupes, apprenant par le biais soit d'approches fondées sur l'investigation (98), soit traditionnelles (70). La signification de ces approches a été exprimée à l'aide d'un modèle d'investigation à 5 niveaux par Buck, Bretz et Towns (2008). Ce modèle identifie les niveaux d'investigation en fonction de la mesure dans laquelle les activités fournissent aux élèves les éléments suivants : un problème à étudier ; le contexte théorique ; des instructions étape par étape pour les investigations ; un cadre pour l'analyse des résultats ; une discussion des résultats et des conclusions. Dans l'approche traditionnelle, ou 'livre de recettes', les étudiants reçoivent le problème, le contexte théorique et des instructions détaillées. Lorsqu'il est demandé aux élèves d'identifier le problème et de trouver comment l'étudier et parvenir à une conclusion, on parle alors d'investigation authentique ou ouverte.

Pour la connaissance du contenu, l'apprentissage du groupe pratiquant l'investigation a été meilleur que celui du groupe de contrôle, mais la différence n'était pas significative. Cependant, pour le gain en compétences d'investigation, il y avait une différence significative, en faveur du groupe d'investigation. Les chercheurs ont admis que plusieurs facteurs ont pu influencer les résultats, notant en particulier que, dans les années scolaires précédant l'université, les étudiants ont été confrontés principalement à des travaux de laboratoire de type 'livre de recettes', comme le montrent les résultats de l'investigation PISA 2015 pour la République tchèque (Blazeb et Prihodova, 2016). La nouveauté de ce travail fondé sur l'investigation pourrait selon les cas avoir été soit déroutante, soit source d'inspiration pour les étudiants lors de leur cursus universitaire ultérieur.

4.1.8 Longue étude longitudinale, portant sur l'apprentissage des concepts scientifiques

Novak (2005) a étudié l'impact d'une exposition précoce aux concepts scientifiques sur l'apprentissage ultérieur des élèves en sciences. En 1971, lorsque l'étude a débuté, les sciences étaient peu enseignées dans les écoles primaires, en partie à cause de l'influence de la psychologie du développement de Piaget, sur la base de laquelle de nombreuses personnes affirmaient que les enfants ne comprendraient pas les concepts scientifiques avant le stade des opérations formelles, vers l'âge de 14-15 ans. Dans cette étude, les enfants des classes 1 et 2 (âgés de 6 à 8 ans) d'un "groupe de traitement" ont écouté des leçons enregistrées sur les concepts scientifiques et ont ensuite été suivis pendant les douze années suivantes par interview et leurs performances ont été comparées à celles d'un groupe témoin. Le traitement était axé sur la connaissance du contenu scientifique, sans référence à la connaissance procédurale ou épistémologique. De nettes différences ont été constatées en faveur du groupe de traitement tout au long des 12 années suivantes et plus loin encore dans les années de lycée. La conclusion tirée est qu'il n'y a pas lieu de retarder l'enseignement des sciences jusqu'à ce que les élèves atteignent le stade des opérations formelles de Piaget. Elle a également montré que les expériences précoces peuvent avoir un effet à long terme et a conduit à reconnaître que les sciences devraient faire partie du programme tout au long de la scolarité.

4.1.9 Effet de l'intelligence émotionnelle des élèves sur leur réponse à l'ESFI

Cette étude, réalisée en Indonésie (Nasution, 2018), a comparé les résultats en sciences de deux classes d'élèves de 7^e année, l'une étant le groupe expérimental à qui l'on a enseigné les sciences en utilisant une approche fondée sur l'investigation et l'autre, servant de témoin, où les sciences étaient enseignées par des méthodes conventionnelles. Les élèves des deux groupes ont été identifiés comme ayant une intelligence émotionnelle (IE) inférieure ou supérieure en fonction de leur motivation d'apprentissage, de leurs compétences sociales, de leur autorégulation, de leur empathie et de leurs capacités de réflexion de haut niveau. À l'aide d'un test préalable et postérieur, l'évolution des résultats en sciences a été comparée pour les élèves des deux groupes et pour ceux dont l'IE était élevée ou faible. Il a été constaté que les élèves du groupe ESFI ont amélioré leurs résultats en sciences dans une plus large mesure que les élèves du groupe témoin. Cependant, la différence était beaucoup plus importante pour les élèves ayant une IE élevée dans le groupe expérimental. De plus, les élèves ayant une IE inférieure ont obtenu de meilleurs résultats dans le groupe témoin que dans le groupe ESFI. L'auteur suggère que les élèves dotés d'une IE élevée possèdent de nombreuses caractéristiques qui favorisent l'apprentissage par la recherche, tandis que les élèves dotés d'une IE plus faible prennent moins de responsabilités dans leur apprentissage, préfèrent suivre des instructions et travailler seuls plutôt qu'en groupe. Ces caractéristiques doivent être prises en compte pour décider de la meilleure façon d'aider les élèves à apprendre les sciences.

4.2 Principales conclusions de la recherche sur la réaction et les résultats des élèves

À propos de l'impact sur les réactions et les résultats des élèves

- Plus les élèves participent longtemps à l'utilisation d'un programme fondé sur l'investigation, plus ils en tirent profit par rapport à ceux qui n'y participent pas.
- Les élèves ayant l'expérience d'activités fondées sur l'investigation obtiennent de bons résultats aux tests de pensée critique et de résolution de problèmes.
- Plus les élèves ont une expérience directe et concrète des objets et des événements du monde qui les entoure, meilleur est leur apprentissage conceptuel.
- Tous les élèves trouvent les activités basées sur l'investigation intéressantes et utiles et en tirent des enseignements, même si leur attitude à l'égard des sciences ne change pas de manière significative.
- Les quelques rapports faisant état de différences entre les sexes en matière de résultats sont faibles et non significatifs sur le plan statistique.
- Les différences entre les sexes en matière d'engagement dans les activités scientifiques et d'attentes professionnelles semblent être davantage liées à ce que les garçons et les filles pensent être capables de faire, plutôt qu'à ce qu'ils peuvent réellement faire.

À propos de la formation et du soutien des enseignants

- Les enseignants doivent tenir compte des caractéristiques des élèves, telles qu'une prédisposition à assumer la responsabilité de leur apprentissage et d'autres aspects de l'intelligence émotionnelle, pour aider les élèves à entreprendre des activités basées sur l'investigation.
- Pour mettre en œuvre les programmes ESFI, les enseignants doivent posséder des compétences pédagogiques et des connaissances procédurales spécifiques aux sciences, et pas seulement des connaissances en matière de contenu scientifique. Un haut niveau de connaissance du contenu par l'enseignant ne compense pas le manque de connaissances pédagogiques.
- Les élèves dont les enseignants ont une formation pédagogique bénéficient davantage des activités fondées sur l'investigation que ceux dont les enseignants n'ont pas de qualification

formelle pour l'enseignement.

- La fourniture d'une gamme coordonnée de différentes formes de soutien à l'ESFI, y compris le matériel pédagogique, le développement professionnel et l'utilisation de l'évaluation, peut améliorer les résultats des élèves dans d'autres domaines que les sciences.

À propos des procédures d'investigation

- Il faut être prudent dans l'interprétation des corrélations dérivées de données d'investigations transversales, telles que PISA.
- Les expériences d'investigation proposées dans un programme ESFI doivent être clairement définies en précisant les actions et les rôles des élèves et des enseignants.
- Il est préférable de retarder l'évaluation de nouveaux programmes ou approches fondés sur l'investigation jusqu'à ce qu'ils soient bien établis dans la pratique.
- Les enseignants peuvent prétendre utiliser un programme fondé sur l'investigation mais, en raison de diverses contraintes ou d'une formation insuffisante, consacrer aux leçons d'ESFI moins de temps que nécessaire pour mettre correctement en œuvre cette pédagogie.
- La synthèse systématique des résultats de plusieurs études de recherche sur un sujet peut produire des résultats plus fiables que les seules études individuelles.

4.3 Autres recherches et arguments

Comme le montrent ces conclusions établies par des travaux de recherche, les preuves d'un effet de l'ESFI sur de meilleurs résultats des élèves ne justifient pas à ce jour un soutien écrasant à l'ESFI (Yeomans, nd). Mais il existe d'autres travaux de recherche qui améliorent notre compréhension de l'apprentissage et fournissent des arguments en faveur d'une pédagogie fondée sur l'investigation.

Le premier concerne la façon dont l'apprentissage se déroule. Le développement de la compréhension par le biais de l'investigation, tel qu'il est représenté dans la figure 1, correspond à une vision de l'apprentissage en tant que processus dans lequel les apprenants donnent un sens à une nouvelle expérience en utilisant leurs idées existantes, c'est-à-dire une vision constructiviste de l'apprentissage. Mais la compréhension actuelle de l'apprentissage va plus loin en reconnaissant que l'apprentissage n'est pas seulement une affaire individuelle mais qu'il implique une interaction sociale (Watkins, 2003). Grâce à l'interaction avec les autres membres d'un groupe en collaboration, chaque personne retire quelque chose de la discussion de groupe qui influence ensuite sa contribution au groupe. Grâce à ce va-et-vient entre l'individu et le groupe, la compréhension se construit collectivement, d'une manière décrite comme socioculturelle constructiviste, avec des ressources linguistiques et physiques jouant un rôle important. D'où l'accent mis sur la parole et le dialogue dans l'apprentissage (p. ex. Alexander, 2012), mais aussi sur les moyens par lesquels les personnes interagissent avec d'autres en lisant ce qu'ils ont écrit ou en regardant ce qu'ils ont produit et, également, en partageant leurs propres idées par l'écriture et la parole.

L'apprentissage fondé sur l'investigation, dans lequel les connaissances sont construites grâce à une participation active des apprenants, est souvent opposé à l'instruction directe, où les apprenants sont des récepteurs passifs de connaissances. L'apprentissage des sciences n'implique pas l'un ou l'autre, mais les deux, à des moments différents. Lorsqu'il est nécessaire d'apprendre des noms, des procédures et des techniques, qui sont immédiatement requis pour une investigation, l'enseignement direct a un rôle à jouer, comme c'est le cas pour l'apprentissage des idées de base et des travaux des scientifiques du passé. Mais la construction progressive des connaissances, faite en associant de nouvelles expériences et des idées existantes, nécessite des actions qui sont identifiées comme faisant partie intégrante de l'ESFI (voir section 2).

Une deuxième source de preuves et d'arguments pertinents concernant l'apprentissage fondé sur l'investigation est l'expansion rapide des connaissances sur la structure et le fonctionnement du cerveau et des liens entre les neurosciences et l'éducation. Il est logique qu'il y ait une certaine relation entre ce qui se passe à l'intérieur du cerveau et la réponse aux événements extérieurs ; en effet, des études montrent que l'apprentissage modifie le

cerveau à la fois dans sa structure et dans sa taille. La relation entre la structure interne du cerveau (voir encadré 4) et les aspects de l'environnement externe qui sont sous l'influence de l'éducation, présente un intérêt particulier pour améliorer l'efficacité de l'enseignement et de l'apprentissage. Outre apporter de nouvelles connaissances sur l'apprentissage, les neurosciences ont expliqué l'impact de conditions externes déjà reconnues dans l'expérience quotidienne : par exemple, les avantages pour les jeunes apprenants d'une bonne alimentation, d'un exercice physique régulier et du sommeil ; et, pour les personnes âgées, comment l'activité mentale, l'interaction sociale et l'exercice régulier peuvent retarder la dégénérescence du cerveau (OCDE 2007).

Encadré 4 La structure du cerveau

Le cerveau est composé de neurones, qui sont des cellules qui ont deux parties principales : le corps cellulaire, qui contient un noyau avec de l'ADN, et des projections allongées comme les dendrites et l'axone. Les dendrites sont des structures filiformes et ramifiées qui se développent à partir du corps cellulaire, tandis que l'axone est dans la plupart des cas une fibre unique, beaucoup plus longue que le corps cellulaire. L'activité du cerveau dépend de la communication entre les neurones. Cette communication se fait par le biais de signaux électriques qui sont le résultat du mouvement des ions (atomes et molécules qui ont une charge positive ou négative), à l'intérieur et autour du neurone. Sans entrer dans les détails de la manière dont les charges entrent et sortent d'un neurone, ces signaux électriques sont transmis d'un neurone à l'autre par les axones et reçus d'un autre neurone par les dendrites. Cette communication de cellule à cellule se produit dans des sites spécialisés appelés synapses, à savoir de petits espaces entre la borne d'un axone de la cellule émettrice d'un message et la dendrite d'un neurone récepteur. Si plusieurs signaux sont reçus dans un corps cellulaire, leur effet combiné peut "exciter" le corps cellulaire et envoyer un signal à un autre neurone à travers l'espace. Chaque neurone peut communiquer avec de très nombreux autres, formant ainsi des réseaux. Ce sont ces réseaux de communication qui permettent au cerveau de remplir ses fonctions.

La mémoire joue un rôle central dans la façon dont une personne réagit à l'expérience. Dans le contexte de l'apprentissage par la recherche, cela signifie que l'expérience passée peut être mise à profit pour tenter de donner un sens à une nouvelle expérience ou de résoudre un problème, comme dans la séquence d'événements décrite à la figure 1. Des études montrent qu'il y a plusieurs étapes entre la réception d'une information par les sens et son installation dans la mémoire à long terme, où elle devient disponible pour être utilisée dans la compréhension d'une nouvelle expérience. Ces étapes sont la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme ou de travail et la mémoire à long terme. La mémoire sensorielle ne dure que très peu de temps et les informations ne seront transférées dans la mémoire de travail que si une personne y prête attention. Le transfert vers la mémoire à long terme (dont il existe plusieurs types) a fait l'objet de nombreuses études. Parmi les résultats pertinents pour l'apprentissage, on constate que le fait d'écrire ou de se représenter un problème améliore la capacité à le résoudre. Outre d'autres avantages, les représentations externes peuvent contribuer à décharger la mémoire de travail de certaines de ces lourdes demandes (Howard-Jones et al, 2007:17).

En outre, il a été constaté qu'il existe des canaux distincts pour le traitement de l'information sous forme visuelle et verbale et, comme il existe une limite à l'information qui ne peut être traitée que par un seul canal à la fois, l'utilisation de différents canaux, comme dans les approches multimédias de l'enseignement, peut augmenter la quantité totale d'informations qu'un apprenant peut absorber. Mais lorsqu'il y a beaucoup de choses auxquelles il faut prêter attention, comme dans les tâches exigeant de prendre des décisions sur tous les éléments d'une investigation, cela peut exiger trop de mémoire de travail, conduisant à ce qui est décrit comme une surcharge cognitive (voir 4.1.2). Cette théorie est utilisée pour expliquer pourquoi des niveaux modérés d'investigation sont plus fortement associés à une meilleure réussite que des niveaux très élevés (Jerrim et al, 2019).

Des études ont également montré que la réponse émotionnelle aux expériences est liée à la réponse cognitive et peut affecter l'apprentissage. La relation étroite entre le sentiment et la pensée se manifeste dans le plaisir qu'une personne éprouve à résoudre un problème difficile - et dans la frustration ressentie lorsqu'elle ne parvient pas à comprendre quelque chose.

Le plaisir n'est pas seulement une récompense pour la réussite d'une tâche, mais aussi une motivation pour s'attaquer à d'autres tâches. Une réaction émotionnelle négative, en revanche, peut interrompre l'apprentissage (voir 4.1.9). Les enseignants et les élèves doivent donc être conscients de ces sentiments et trouver des moyens de rendre l'apprentissage gratifiant, en veillant à ce que les élèves reconnaissent les progrès qu'ils ont accomplis et qu'ils ont appris quelque chose, même lorsque les choses "ne marchent pas".

Une caractéristique essentielle de l'apprentissage socioconstructiviste et de l'apprentissage fondé sur l'investigation est le travail collaboratif, dans lequel les élèves partagent leurs idées, apprennent des autres et avec les autres. Des études sur le cerveau montrent qu'il possède des caractéristiques adaptées à ce mode d'apprentissage. Les "neurones miroirs" incitent une personne à imiter dans son propre comportement ce qu'elle voit les autres faire. Cette disposition à imiter ou à copier un comportement est l'un des principaux moyens par lesquels les habitudes culturelles de pensée et d'apprentissage sont transmises d'une génération à l'autre (Hurley et Chater, 2005). Grâce à l'interaction avec les enseignants, les parents et d'autres adultes, les enfants sont socialisés dans la société et en intériorisent les croyances et les valeurs (Hinton et Fischer, 2010). En observant les autres, ils apprennent également à modérer leur réponse émotionnelle à l'expérience vécue.

5. Obstacles à la mise en œuvre de l'ESFI

L'enseignement et l'apprentissage des sciences, que ce soit par le biais de l'ESFI ou d'autres méthodes d'enseignement, nécessitent : des moyens financiers, physiques et matériels, notamment des ressources d'apprentissage et d'enseignement adaptées à l'âge et au niveau des élèves ; des équipements ; un espace physique ; un accès à des sources d'information, des livres et des ordinateurs. Le manque de ces éléments est susceptible de restreindre les activités scientifiques, quelles qu'elles soient, mais dans le cas de l'ESFI, d'autres facteurs viennent s'ajouter aux difficultés de mise en œuvre dans l'enseignement primaire (IAP, 2009) et secondaire (IAP, 2010). Ces obstacles potentiels à la mise en œuvre de l'ESFI font l'objet d'une discussion dans cette section. Elle est suivie, dans la section 6, de suggestions issues de la recherche et de la pratique sur la manière de relever les défis qu'ils présentent.

5.1 Le concept d'ESFI

L'utilisation d'une variété de termes (comme dans l'encadré 1 p9) pour décrire ce qui est censé être essentiellement le même processus peut envoyer des messages contradictoires à ceux qui essaient de mettre en œuvre l'ESFI ou de communiquer son importance. La situation est encore plus confuse lorsque des concepts supplémentaires, tels que la "saturation en investigation" (Minner et al, 2010), l'investigation "pure" (Jerrim et al, 2019) et la référence à des "niveaux" d'investigation, sont introduits dans la description des résultats de recherche sans être définis.

L'incertitude est particulièrement présente en ce qui concerne le rôle des enseignants dans le soutien de l'apprentissage par l'investigation, qui va bien au-delà de la fourniture de matériel et de ressources d'apprentissage, et qui est souvent décrit de manière plutôt vague comme un "facilitateur" plutôt que de préciser les actions et les rôles impliqués. Cela peut amener les enseignants à manquer des occasions d'aider les élèves à franchir les étapes suivantes dans le développement de leur compréhension et à ne pas reconnaître le rôle de l'ESFI dans le développement des connaissances conceptuelles des élèves.

En outre, une vision trop étroite de l'éventail des sujets scientifiques associés à des activités d'investigations peut conduire à mettre l'accent sur les investigations impliquant une action physique dans la manipulation d'objets et de matériaux et à négliger les investigations relatives aux phénomènes pour lesquels les preuves sont recueillies à partir de sources secondaires, de recherches documentaires ou d'observations minutieuses, plutôt que d'expériences.

5.2 La formation des enseignants

Ce que font les enseignants lorsqu'ils aident les élèves à apprendre par le biais de l'ESFI a été explicité dans la section 2.4. Ces actions nécessitent non seulement une connaissance de la matière enseignée, mais aussi une connaissance de la manière d'amener les élèves à s'engager de manière productive dans la matière enseignée et de les aider à développer leur compréhension. Le concept d'un matériel pédagogique qui serait "garanti pour tout enseignant" (brièvement évoqué dans les années 1960) n'est plus valable et le rôle de l'enseignant dans l'apprentissage des élèves est désormais considéré comme primordial (Hattie, 2003 ; Hodson, 1998). Lorsque les enseignants ne disposent pas de la formation nécessaire pour développer les connaissances et les compétences pédagogiques permettant de guider la recherche, il est peu probable que les élèves aient la possibilité de bénéficier de l'apprentissage par l'ESFI.

Souvent, les professeurs de sciences, en particulier ceux de l'école primaire (qui ne se considèrent pas forcément comme des "professeurs de sciences") s'inquiètent de l'étendue de leurs connaissances personnelles du contenu scientifique et, en réponse, les formateurs d'enseignants concentrent leurs cours de formation initiale et continue sur le comblement des lacunes dans les connaissances des enseignants portant sur ces contenus. Mais les recherches (par exemple, Mellander et Svårdh, 2018) montrent que l'augmentation des connaissances disciplinaires des enseignants n'est pas, à elle seule, associée à une amélioration de l'apprentissage des élèves : au contraire, l'amélioration de l'apprentissage est associée au fait que les enseignants possèdent davantage de compétences nécessaires pour encourager les élèves à utiliser des compétences d'investigation. De plus, il s'avère que le fait de leur fournir cette formation pédagogique est associé à une amélioration de leurs résultats dans d'autres domaines d'étude, tels que les mathématiques et la lecture (Zoblotsky et al, 2017).

5.3 Évaluation

“L'évaluation est l'un des moteurs les plus importants de l'éducation et un aspect déterminant de tout système éducatif “ (Rönneback et al, 2018 : 28). Elle est l'une des trois composantes interconnectées de l'expérience d'apprentissage des étudiants, les autres étant le contenu du programme d'études et la pédagogie. Les interconnexions entre ces trois éléments signifient que des changements dans l'un d'entre eux auront des conséquences sur les autres. En particulier, cela implique que ce qui est prioritaire dans l'évaluation aura tendance à être prioritaire dans ce qui est enseigné et dans la pédagogie qui sera utilisée dans l'enseignement (Harlen et Deakin Crick, 2003). Toute évaluation influencera, dans une certaine mesure, ce qui est enseigné et comment cela est enseigné (IAP, 2010:16). Il est donc important de considérer comment le processus d'évaluation et l'utilisation de l'évaluation peuvent affecter la pratique de l'enseignement et de l'apprentissage fondés sur l'investigation.

L'évaluation dans l'éducation est généralement considérée comme un processus dans lequel les preuves des acquis des élèves sont recueillies, interprétées et utilisées dans un ou plusieurs buts, les principaux étant : formatifs, pour aider à poursuivre l'apprentissage ; et sommatifs, pour rendre compte de ce que les élèves savent et peuvent faire à un moment donné.

L'évaluation formative est, par définition, une évaluation qui aide à l'apprentissage. Elle le fait à travers les processus de “recherche et d'interprétation des preuves à utiliser par les apprenants et leurs enseignants pour décider où en sont les apprenants dans leur apprentissage, où ils doivent aller et comment y parvenir” (ARG, 2002). En d'autres termes, elle part de ce que les apprenants savent déjà et peuvent faire en relation avec les objectifs de leurs activités actuelles et s'en sert pour prendre des décisions sur la manière de progresser.

C'est également ce que font les enseignants lorsqu'ils mettent en œuvre l'ESFI : utiliser les informations sur les progrès pour créer les conditions permettant aux élèves de construire leur compréhension et de développer des compétences en matière de recherche scientifique. Il s'ensuit que l'évaluation formative, telle qu'elle est définie, a beaucoup de points communs avec la pédagogie fondée sur l'investigation, dont elle fait partie intégrante. Le fait que l'évaluation formative soit largement négligée, en raison de l'importance excessive accordée à l'évaluation sommative, entrave la mise en œuvre de la pédagogie d'investigation.

La situation est toute autre en ce qui concerne l'évaluation sommative. L'évaluation sommative joue un rôle bien établi en fournissant des informations sur les résultats des élèves. Elle fait partie du rôle des enseignants qui ont à rendre compte aux parents des progrès de leurs enfants à des moments clés, à suivre les résultats des élèves au fur et à mesure de leur trajectoire scolaire et à informer les futurs enseignants qu'auront par la suite leurs élèves. Pour ces raisons et d'autres encore, l'évaluation sommative est nécessaire, est souvent une obligation légale et ne peut être évitée. En revanche, l'évaluation formative peut être considérée comme volontaire, dans la mesure où il est possible d'enseigner sans elle et où les enseignants ont le choix de la pratiquer ou non. Il s'ensuit que les enseignants doivent être convaincus de la valeur de l'évaluation formative et de son utilisation dans l'ESFI.

Contrairement à l'évaluation formative, l'évaluation sommative n'a pas pour principale raison d'être d'avoir un impact sur l'apprentissage et l'enseignement. Cependant, la manière dont les résultats de l'évaluation sommative sont utilisés peut avoir des conséquences pour les élèves individuels, comme lorsqu'ils sont utilisés pour la sélection ou la certification, et pour leurs enseignants et les établissements scolaires, lorsqu'ils sont utilisés à des fins de responsabilité (voir 5.4). La manière dont les preuves des acquis sont recueillies et, plus important encore, les preuves recueillies elles-mêmes, sont considérées comme indiquant ce que l'apprentissage vaut. En effet, Osborne et Dillon (2008) notent que les enseignants se tournent de plus en plus “non pas vers les spécifications du programme pour définir les intentions du programme, mais vers les éléments d'évaluation” (p. 23).

Trop souvent, il existe un écart entre ce qui devrait être évalué pour un résumé valide de l'apprentissage et ce qui est évalué de fait. Cet écart risque d'être particulièrement important dans le cas de l'ESFI, étant donné la nature des résultats d'apprentissage visés, qui ne sont pas faciles à évaluer par des méthodes conventionnelles. Organiser l'enseignement sur ce qui peut être évalué alors que cela ne reflète pas les résultats d'apprentissage de l'ESFI est clairement

et particulièrement problématique. Par conséquent, à moins que les méthodes et instruments d'évaluation sommative soient compatibles avec les résultats d'apprentissage de l'ESFI, cela peut entraver la mise en œuvre de l'ESFI.

5.4 Responsabilité

Les résultats des évaluations sommatives peuvent être utilisés de différentes manières, certaines concernant des élèves individuels et d'autres utilisant des résultats agrégés de groupes d'élèves. Les résultats agrégés des groupes sont utilisés à la fois par les personnes à l'intérieur et à l'extérieur de l'école. Par exemple, les directeurs d'école peuvent suivre les progrès de groupes en fonction du sexe, de l'origine ethnique ou d'autres aspects de leurs antécédents afin de vérifier s'il n'y a pas de biais dans l'offre de possibilités pour tous, tandis que les performances des groupes peuvent être utilisées par les inspecteurs et les conseillers dans l'évaluation des programmes, des politiques et des ressources de l'école.

De manière plus controversée, les résultats d'évaluation agrégés, généralement dérivés des tests classiques de connaissances de base, peuvent être utilisés par les agences et les autorités pour fixer des objectifs et évaluer les performances des enseignants et des écoles. Cette utilisation des résultats des évaluations sommatives pour juger de l'efficacité des enseignants et des écoles est considérée par beaucoup comme injuste, en particulier lorsqu'il y a des pénalités lorsque les objectifs ne sont pas atteints. En outre, la recherche (par exemple Hall et Øzerk, 2010 ; Wyse et al, 2010 ; Linn, 2000) fournit des preuves convaincantes, à partir d'observations en classe, de l'impact de ce qui est testé sur les enseignants et l'enseignement : passer un temps excessif à réviser et à pratiquer ce qui est testé ; restreindre le programme d'études à ce qui est évalué ; adopter une pédagogie de la transmission même si ce n'est pas ce qu'ils croient être le meilleur pour aider la compréhension des élèves et le développement des compétences.

Les enseignants et les écoles sont responsables de l'apprentissage et de l'environnement qu'ils proposent, ainsi que de l'aide qu'ils apportent aux élèves. D'autres facteurs influençant les résultats des élèves, tels que leurs acquis antérieurs, le contexte familial et le soutien (voir Capital scientifique, section 3.6), sur lesquels un enseignant peut ne pas avoir de contrôle, doivent être pris en compte par ceux qui tiennent les enseignants responsables de la qualité de l'apprentissage des élèves.

Le pouvoir de décision des écoles en matière de fourniture et d'utilisation des ressources est lié à la question de savoir de quoi elles sont responsables. Les informations sur le degré d'autonomie de l'école dans ces domaines, recueillies auprès des directeurs d'école dans l'enquête PISA 2015, ont été utilisées pour étudier les relations entre le degré d'autonomie, les variables de l'école et les performances en sciences. Les résultats ont montré un schéma complexe d'association entre les résultats en sciences, l'autonomie des écoles et le statut socio-économique des écoles. Dans les pays économiquement plus favorisés, les écoles disposent d'une plus grande autonomie que dans les pays moins favorisés. En moyenne, dans de nombreux pays, le fait d'avoir plus de responsabilités est associé à des résultats plus élevés en sciences, mais après avoir pris en compte le statut socio-économique, l'association avec les performances en sciences est alors faible. Si l'on examine les différents domaines de responsabilité, on constate que des résultats plus élevés en sciences sont positivement associés au fait que le directeur de l'école ou les enseignants ont davantage de responsabilités dans tous les domaines, mais surtout en ce qui concerne les programmes scolaires et les politiques d'évaluation. Cela suggère que la mise en œuvre de l'ESFI peut être freinée lorsque ces décisions sont prises par des autorités extérieures à l'établissement.

5.5 Un programme scolaire surchargé

La mise en pratique efficace de l'investigation est souvent considérée comme prenant plus de temps que l'enseignement direct, bien qu'il ne soit pas possible de comparer équitablement ces approches, car leurs résultats recherchés aussi bien que non recherchés sont très différents. La pression exercée par l'ESFI sur le précieux temps d'apprentissage, face à un programme d'études scientifiques surchargé, est une raison fréquemment invoquée pour ne pas consacrer le temps que requiert une pédagogie fondée sur l'investigation, comme le note, par exemple, Alberg (2015) cité dans la section 4.1.4.

De nombreuses causes de l'encombrement des programmes de sciences trouvent toutefois

leur origine dans des facteurs extérieurs à l'ESFI, comme les tentatives de suivre l'évolution rapide des connaissances dues à la recherche scientifique, la nécessité de préparer les élèves à faire face aux changements dans le monde du travail, et de relever les défis liés aux problèmes mondiaux de changement climatique, de population, etc. Mais une partie du problème réside dans la spécification excessive du programme d'études comme une série de faits déconnectés à apprendre et à évaluer (Millar et Osborne, 2000). Une telle spécification des programmes conduit souvent les enseignants à se précipiter d'un sujet à l'autre et les décourage de passer du temps à relier les idées entre elles pour former des concepts plus puissants et plus largement applicables.

5.6 Attentes à l'égard de l'enseignement et des enseignants

Les traditions et les idées reçues sur l'éducation peuvent agir comme des freins au changement dans de nombreux domaines, mais particulièrement dans l'éducation, où les attentes sur les rôles des enseignants et des élèves sont transmises d'une génération à l'autre dans les modèles de formation et de certification. L'opinion des parents et des autres acteurs de l'éducation sur ce que les enseignants devraient enseigner et les élèves devraient apprendre a également un effet restrictif sur l'ampleur et le rythme des changements.

Les études sur la mise en œuvre de l'ESFI citent fréquemment les méthodes d'enseignement établies et traditionnelles comme raison pour laquelle ce qui est mis en œuvre au nom de l'ESFI est souvent en deçà de ce qui est requis (par exemple, Kekule et al, 2017 ; Mellander et Svårdh, 2018). Lorsque les élèves ont été habitués à un rôle passif consistant à recevoir des informations et à réussir en mémorisant, ils sont susceptibles de se sentir peu sûrs d'eux lorsqu'on leur demande d'être plus actifs et de penser par eux-mêmes. Les enseignants réagissent à cela en supprimant les possibilités pour les élèves de poser des questions et en revenant à des méthodes plus familières dirigées par l'enseignant (Harlen et Holroyd, 1997).

5.7 Ressources pour l'enseignement des sciences

Les ressources comprennent tous les facteurs qui jouent un rôle dans l'apprentissage des sciences par les élèves, notamment les livres, les ordinateurs, le matériel et l'équipement, le temps, un espace approprié, des enseignants bien formés, des pairs et, bien sûr, l'argent. L'accent mis par l'ESFI sur l'apprentissage actif, la collecte de preuves, le travail de groupe, la discussion et le dialogue exige davantage de ces ressources que les exercices dirigés par l'enseignant ou les "livres de recettes". Dans les écoles secondaires, l'étendue des laboratoires et du personnel de laboratoire peut être un facteur limitant, tandis que dans les écoles primaires, les principales difficultés sont les classes nombreuses, l'espace et les ressources inadéquats ainsi que le manque d'assistants pédagogiques.

En ce qui concerne les dépenses d'éducation, les données recueillies dans le cadre de l'investigation PISA 2015 ont confirmé les conclusions de recherches antérieures selon lesquelles "une fois qu'un niveau adéquat de ressources est atteint, des ressources supplémentaires ne contribuent pas nécessairement à de meilleurs résultats d'apprentissage" (OCDE, 2016:186). Les résultats ont montré une association positive entre les dépenses globales par élève et la performance en sciences dans les pays où les dépenses par élève étaient égales ou inférieures à un certain niveau (environ 50 000 US\$ en 2015), mais à des niveaux de dépenses plus élevés (principalement dans les pays occidentaux, développés), il n'y avait plus de relation. Il semble donc que les dépenses globales puissent avoir un effet limitatif sur les performances en sciences uniquement dans les pays et économies à faible capital. Dans les pays ayant un PIB plus élevé, ce n'est pas le niveau global mais d'autres facteurs qui influencent les performances.

Les données recueillies dans le cadre de l'investigation PISA 2015 apportent un éclairage sur ce que peuvent être ces autres facteurs. Des informations sur l'adéquation des équipements et du personnel de laboratoire, ainsi que sur la formation des professeurs de sciences, ont été rassemblées pour créer un "indice des ressources spécifiques aux sciences". Cet indice a ensuite été utilisé pour explorer les relations entre les facteurs liés à l'enseignement des sciences, les caractéristiques des écoles et les résultats en sciences. Dans tous les pays et économies participant à l'investigation PISA, on observe des différences constantes liées au statut socio-économique des écoles. Les différences entre les écoles favorisées et défavorisées étaient particulièrement élevées dans certains pays, comme l'Indonésie et le Mexique. D'autres

différences ont été constatées entre les écoles urbaines et rurales, en faveur des premières, et entre les écoles privées et publiques, les écoles privées étant considérées comme mieux équipées.

Dans les pays de l'OCDE, l'indice de ressources spécifiques aux sciences était positivement lié à une meilleure performance en sciences, après prise en compte du profil socio-économique de l'école. Toutefois, dans quelques pays seulement, une association positive a été observée entre l'indice et la compréhension de la nature de la science par les élèves (connaissances épistémiques), ce qui suggère qu'un département scientifique bien équipé et bien pourvu en personnel ne se traduit pas nécessairement par la qualité et les objectifs des cours de sciences.

Les données recueillies auprès des directeurs d'école sur la formation et les qualifications de leur personnel scientifique ont montré que ce dernier disposait généralement d'une certaine forme de certification. Cependant, dans la plupart des systèmes, il n'y avait pas de lien entre la proportion d'enseignants scientifiques pleinement qualifiés et les résultats des élèves. Cela confirme les conclusions d'autres études empiriques (par exemple, Goldhaber et Brewer, 2000) selon lesquelles la certification des enseignants n'améliore pas automatiquement les résultats des élèves.

6. Implications pour la politique et la pratique

La section 5 a examiné les obstacles potentiels à la mise en œuvre de l'ESFI qui ont été identifiés dans les études de chercheurs et les exemples de pratique, discutés dans les sections précédentes. Certaines de ces sources indiquent également des solutions possibles. Cette section rassemble des propositions visant à résoudre les problèmes créés par ces obstacles.

6.1 Implications pour le concept d'ESFI

La discussion de la section 2 sur la signification de l'ESFI souligne la nécessité de clarifier l'utilisation de termes tels que " investigation guidée " et la référence à différents " niveaux " d'investigation ou de " saturation de l'investigation ". L'absence de descriptions plus précises pourrait bien expliquer la constatation fréquente d'une " absence de différence significative " dans les études d'impact de l'ESFI.

Au lieu de classer un programme ou une activité dans la catégorie " ESFI " ou " non-ESFI " ou dans une forme d'investigation " guidée ", une approche plus informative consisterait à décrire ses caractéristiques qui contribuent au développement des connaissances et des compétences de la culture scientifique chez les élèves. Une approche possible serait de faire la distinction entre la qualité et la quantité des actions des élèves et des enseignants: la qualité exprimée en termes d'actions des élèves et des enseignants dans les sections 2.2 et 2.4 ; la quantité étant la fréquence et la durée de ces actions.

Lorsque les élèves entreprennent certaines actions liées à l'investigation, mais pas toutes, leur expérience peut être décrite en termes de " niveaux " d'investigation, la nature des actions entreprises étant spécifiée. La fréquence de l'expérience des activités liées à la recherche pourrait être utilisée pour décrire les expériences comme étant d'intensité " élevée ", " moyenne " ou " faible ". Fournir des informations plus détaillées sur ce que signifie un certain programme d'ESFI pour l'activité des élèves et des enseignants faciliterait une évaluation plus valide des effets de l'ESFI. Sans une telle spécification, il est difficile de savoir ce qui produit réellement un impact sur les élèves.

6.2 Implications pour la formation des enseignants

La formation initiale et le développement professionnel des enseignants doivent leur permettre de comprendre le rôle de l'activité fondée sur l'investigation en tant que partie importante d'un ensemble de compétences pédagogiques nécessaires à l'enseignement des sciences. Les enseignants auront besoin de compétences pédagogiques spécifiques pour aider les élèves à développer leurs capacités de recherche et leur compréhension du monde qui les entoure, en tirant parti des possibilités offertes par l'utilisation des TIC pour enrichir les expériences d'apprentissage (voir 3.3). Ils doivent également être capables de juger du niveau d'encadrement nécessaire pour que les élèves reçoivent l'aide dont ils ont besoin pour progresser tout en continuant à penser par eux-mêmes. Les compétences pédagogiques clés sont d'une part un questionnement ciblé, d'autre part la construction par degrés successifs (échafaudage, scaffolding en anglais) d'idées alternatives à prendre en compte par les élèves, tout en entendant leurs propres idées.

Comme indiqué à la section 2.4, la forme, le contenu et le moment des questions posées par les enseignants jouent un rôle important pour encadrer les activités des élèves et guider leur apprentissage. Les observations en classe montrent que les questions des enseignants sont souvent peu exigeantes sur le plan cognitif et qu'elles orientent les réponses des élèves vers une réponse obligatoire. La mise en œuvre d'une démarche d'investigation nécessite une série de questions de types différents, adaptées aux différentes étapes du processus d'investigation, qui incitent toutes les élèves à réfléchir. Les enseignants doivent également reconnaître que les questions qui incitent à la réflexion nécessitent un temps de réflexion et qu'ils doivent résister à l'envie de combler tout silence en reformulant une question d'une manière qui ferme la réflexion (Harlen et Qualter, 2018: 141-3).

Étendre l'exploration par les élèves au monde qui les entoure est un objectif reconnu de tout enseignement scientifique ; mais si les élèves doivent donner un sens à de nouvelles expériences, ils doivent également élargir l'éventail des idées qu'ils utilisent. Aider les élèves à considérer des

idées différentes des leurs est un aspect essentiel de la pédagogie d'investigation. L'échafaudage (voir également la section 2.4) est une stratégie qui permet aux élèves de considérer des idées auxquelles ils n'avaient pas pensé pour voir si elles " fonctionnent " ; il est particulièrement utile lorsque les idées ne peuvent pas être testées par des manipulations pratiques 'en vrai', comme c'est le cas des idées sur les causes du jour et de la nuit ou concernant les phases de la Lune.

6.3 Implications pour la politique d'évaluation

Étant donné que l'évaluation sommative est nécessaire et qu'elle a plusieurs fonctions positives dans l'éducation, il est urgent de contrer ses impacts négatifs potentiels, tels que ceux mentionnés à la section 5.4. Il est peu probable que l'on puisse empêcher l'influence de ce qui est évalué sur ce qui est enseigné, mais on pourrait l'utiliser à son avantage, pour promouvoir l'enseignement des objectifs souhaités, tels que la créativité, la résolution de problèmes, apprendre à apprendre, en les incluant dans les exigences d'évaluation. Étant donné que l'absence des objectifs de l'ESFI dans de nombreux systèmes d'évaluation actuels est un facteur qui en freine la mise en œuvre, une solution consiste à inclure davantage d'objectifs de l'ESFI dans ce qui est évalué. Bien qu'il existe des exemples dans la pratique actuelle qui montrent que cela est possible (IAP, 2013 ; Harlen, 2007), il est probable que cela implique de s'éloigner des méthodes d'évaluation traditionnelles basées sur des tests et de faire davantage appel aux jugements des enseignants et aux nouvelles technologies.

6.4 Implications pour la politique de responsabilisation

Rendre des comptes signifie être responsable des actions entreprises et être capable d'expliquer pourquoi et comment certaines choses ont été faites ou non. Il s'ensuit que

“les informations utilisées dans le cadre de la responsabilisation devraient inclure, outre les données sur les résultats des élèves, des informations sur le programme d'études et les méthodes d'enseignement, ainsi que sur les aspects pertinents des antécédents des élèves et de leurs parcours d'apprentissage” (IAP 2013: 30).

Une approche qui pourrait être plus efficace pour améliorer les performances des écoles est décrite par Smith (2016) comme une responsabilisation "interne", impliquant:

“une plus grande autonomie des écoles, où elles fixent leurs propres objectifs et utilisent un système d'audit pour évaluer dans quelle mesure ceux-ci ont été atteints. La responsabilisation interne s'accompagne d'un niveau élevé de responsabilité” (p 749).

Ce processus a été facilité par le développement en Nouvelle-Zélande (Crooks, 2003), par des agences au Royaume-Uni (HMIe, 2007) et par le projet Fibonacci (UE, 2012) de cadres d'auto-évaluation que les écoles peuvent utiliser pour examiner leur pratique par rapport à des critères d'efficacité et pour fixer des objectifs d'amélioration. Les rapports d'auto-évaluation des écoles permettent à ces dernières d'expliquer aux parties prenantes comment elles s'efforcent d'atteindre les objectifs dans le cadre des contraintes qui affectent les performances de leurs élèves. Cela évite aux écoles d'être jugées uniquement sur les performances évaluées de leurs élèves, ce qui pose tous les problèmes de validité associés aux méthodes d'évaluation.

6.5 Implications pour la structure du programme scolaire

La surcharge du programme d'études et l'empressement à "couvrir" le programme sont des raisons fréquemment citées pour expliquer l'absence d'activités fondées sur l'investigation. Une solution possible à ce problème est proposée dans les publications soutenues par IAP sur les "grandes idées" dans l'enseignement scientifique (Harlen, 2010 et 2015). Il s'agit de concevoir les objectifs de l'enseignement scientifique non pas en termes d'un ensemble de faits et de théories, mais comme une progression vers un nombre limité d'idées clés - décrites comme des "grandes idées" parce qu'elles aident à expliquer un certain nombre d'événements et de phénomènes connexes (voir encadré 5).

L'apprentissage des sciences est alors considéré comme le développement progressif de la maîtrise d'un nombre relativement restreint d'idées largement applicables qui contribuent à expliquer certains aspects du monde environnant. Outre le contenu, il existe de "grandes idées" liées à la nature de la science et aux procédures d'investigation scientifique. L'apprentissage par

la recherche, tel que décrit dans la figure 1, joue un rôle clé en permettant aux élèves de relier des idées existantes à de nouvelles expériences pour créer des idées plus amples. L'identification des objectifs d'apprentissage en termes de quelques "grandes idées", plutôt qu'une multitude de faits et de théories, crée dans le curriculum un espace favorable à la mise en œuvre de l'investigation.

Encadré 5 Les "grandes idées" dans l'enseignement des sciences (d'après IAP, 2015)

Idées de science

Toute la matière de l'Univers est constituée de très petites particules.

Les objets peuvent affecter d'autres objets à distance.

Pour modifier le mouvement d'un objet, il faut qu'une force nette agisse sur lui.

La quantité totale d'énergie dans l'Univers est toujours la même mais peut être transférée d'une forme d'énergie à une autre lors d'un événement.

La composition de la Terre et de son atmosphère et les processus qui s'y déroulent façonnent la surface de la Terre et son climat.

Notre système solaire est une toute petite partie d'une des milliards de galaxies de l'Univers.

Les organismes sont organisés sur une base cellulaire et ont une durée de vie limitée.

Les organismes ont besoin d'un approvisionnement en énergie et en matériaux pour lesquels ils dépendent souvent d'autres organismes ou sont en concurrence avec eux.

Les informations génétiques sont transmises d'une génération d'organismes à une autre.

La diversité des organismes, vivants ou disparus, est le résultat de l'évolution.

Idées sur la science

La science consiste à trouver la ou les causes des phénomènes dans le monde naturel.

Les explications, théories et modèles scientifiques sont ceux qui correspondent le mieux aux faits connus à un moment donné.

Les connaissances produites par la science sont utilisées dans l'ingénierie et les technologies pour créer des produits destinés à des fins humaines.

Les applications de la science ont souvent des implications éthiques, sociales, économiques et politiques.

6.6 Implications pour la réalisation de changements

La section 5 a montré que les changements nécessaires à la mise en œuvre de l'enseignement fondé sur l'investigation rencontrent des obstacles de différentes natures. Face à une résistance venant de plusieurs directions, une réponse efficace nécessite nécessairement une action sur plusieurs fronts. Les études montrent qu'il ne suffit pas de fournir de nouvelles ressources en classe. Les enseignants doivent avoir l'occasion, grâce au développement professionnel, de comprendre la raison d'être des nouvelles pratiques et de s'y engager (Black et al, 2003). Celles-ci sont susceptibles d'inclure des changements dans les relations entre enseignants et élèves et dans la dynamique de la classe, nécessitant l'établissement de nouvelles normes sociales - une forme de "contrat didactique" entre l'enseignant et les élèves. Tout cela demande du temps et une gamme coordonnée d'apports, similaires à ceux fournis dans le modèle LASER de changement de programme (Alberg, 2015), conçus pour garantir que les enseignants bénéficient d'un développement professionnel, de ressources en classe et d'une aide à l'évaluation, et que les écoles bénéficient du soutien de la communauté.

6.7 Implications pour les ressources

La section 5.7 a noté la relation complexe entre les scores des pays en sciences, les dépenses d'éducation et le niveau du PIB par habitant, constatée dans l'investigation PISA 2015. Parmi les pays dont le PIB par élève est faible, des dépenses d'éducation plus importantes sont en général

associées à des niveaux plus élevés de réussite des élèves. Les raisons de cette différence sont probablement liées aux aspects de l'offre identifiés dans l'« indice des ressources spécifiques aux sciences », tels que l'adéquation des équipements et du personnel de laboratoire, la formation du personnel enseignant en sciences et la disponibilité de matériel pour les activités pratiques. Bien que la relation ne soit pas de cause à effet (l'ajout de ressources n'entraîne pas nécessairement une amélioration des résultats en sciences), elle offre la possibilité d'agir pour améliorer les possibilités d'apprentissage dans les pays économiquement plus pauvres. Toutefois, dans le cas des pays plus riches, dont le PIB dépasse un certain niveau, l'augmentation des dépenses n'est pas associée à des niveaux plus élevés de réussite des élèves. Pour ces pays, il semble que le simple fait d'ajouter des ressources supplémentaires ne présente aucun avantage en termes de niveaux de performance plus élevés. Au contraire, il est prouvé que les performances moyennes peuvent être améliorées en tenant compte de la manière dont les ressources sont allouées et utilisées dans les écoles.

Dans les pays riches comme dans les pays pauvres, il est possible d'améliorer les niveaux de performance en sciences en réduisant l'écart dans l'allocation des ressources entre les écoles fréquentées par des élèves favorisés et défavorisés. Les rapports PISA montrent que dans les pays où davantage de ressources sont allouées aux écoles défavorisées qu'aux écoles favorisées, les performances globales des élèves en sciences sont légèrement supérieures. En outre, il est suggéré que « les élèves peu performants semblent bénéficier le plus lorsque davantage de ressources sont allouées aux écoles défavorisées plutôt qu'aux écoles favorisées » (OCDE 2016a:189).

En bref, il semble donc que pour aider tous les pays à relever les niveaux de performance des élèves, la répartition des ressources entre les écoles favorisées et défavorisées devrait être revue et, si nécessaire, ajustée. Mais l'augmentation des dépenses et de la qualité des ressources ne se traduit pas nécessairement par une amélioration des résultats des élèves. Pour cela, les résultats de l'investigation PISA 2015 indiquent que le temps consacré à l'apprentissage des sciences et les méthodes utilisées dans l'enseignement ont un impact beaucoup plus important que les ressources matérielles et humaines consacrées à l'apprentissage des sciences (OCDE 2016:3).

7. Dix recommandations

Ce rapport a commencé par discuter de la signification de l'ESFI et de son importante contribution au développement des connaissances, des compétences et de la compréhension de la nature de la science qui constituent la culture scientifique. Un examen des études, faites par des chercheurs, sur les effets de l'utilisation de l'ESFI, bien qu'il ne fournisse pas un soutien considérable à cette utilisation, indique son potentiel pour améliorer l'apprentissage des élèves. Dans le même temps, elle révèle plusieurs facteurs qui ont entravé sa mise en œuvre et les implications d'une action visant à les éviter. Ces facteurs constituent la base des dix recommandations suivantes en matière de politique.

En ce qui concerne les objectifs de l'enseignement des sciences

R1 Les objectifs de l'enseignement des sciences devraient être considérés comme le développement de la culture scientifique et de la connaissance du contenu, des procédures de la recherche scientifique et de la nature de la science qu'elle comprend. La pédagogie fondée sur l'investigation doit être reconnue comme jouant un rôle clé dans le développement d'une population ayant une culture scientifique.

R2 Les valeurs de l'ESFI dans le développement de connaissances et de compétences qui sont bénéfiques à chacun en tant qu'individu et en tant que membre de la société doivent être largement diffusées et partagées avec les décideurs politiques.

R3 Des mesures doivent être prises pour mieux faire connaître le large éventail de carrières et de professions qui impliquent des connaissances et des compétences scientifiques, et pour persuader davantage de femmes et de personnes appartenant à d'autres groupes sous-représentés d'aspirer à des carrières scientifiques, en augmentant la participation aux matières STEM.

En ce qui concerne le développement professionnel des enseignants

R4 La formation initiale et le développement professionnel des enseignants devraient inclure le développement des compétences pédagogiques utilisées dans l'enseignement fondé sur l'investigation, et pas seulement la connaissance du contenu scientifique. La durée et la structure des cours doivent permettre aux enseignants de développer progressivement leur compréhension des processus d'apprentissage qui sous-tendent la pédagogie d'investigation et leur engagement à l'utiliser.

En ce qui concerne l'évaluation formative et sommative des résultats des élèves

R5 Il faut veiller à utiliser l'évaluation de manière formative en trouvant ce que les élèves savent déjà et peuvent faire et en utilisant ces informations pour faire progresser leur apprentissage.

R6 Le contenu et les procédures de l'évaluation sommative en sciences doivent refléter les principaux résultats d'apprentissage de l'ESFI, notamment le contenu, les connaissances procédurales et épistémiques. L'utilisation fréquente de tests sommatifs, qui prennent un temps d'apprentissage précieux, doit être évitée et remplacée par une évaluation continue modérée par les enseignants.

En ce qui concerne la responsabilité

R7 Les informations utilisées pour l'évaluation des enseignants et des écoles, ainsi que pour l'auto-évaluation des écoles, doivent refléter les objectifs de l'apprentissage basé sur la recherche. Les résultats obtenus par des groupes d'élèves doivent être replacés dans le contexte du milieu économique des élèves et du degré d'autonomie de l'école en ce qui concerne le programme, les ressources et les méthodes d'enseignement.

En ce qui concerne la structure du programme d'études

R8 Le contenu et la forme des spécifications du programme scolaire national doivent être revus afin d'éviter la surcharge du programme. Le contenu du programme doit être exprimé sous la forme d'un nombre limité de concepts scientifiques clés ("grandes idées") qui sont progressivement développés tout au long de l'enseignement primaire et secondaire et au-delà.

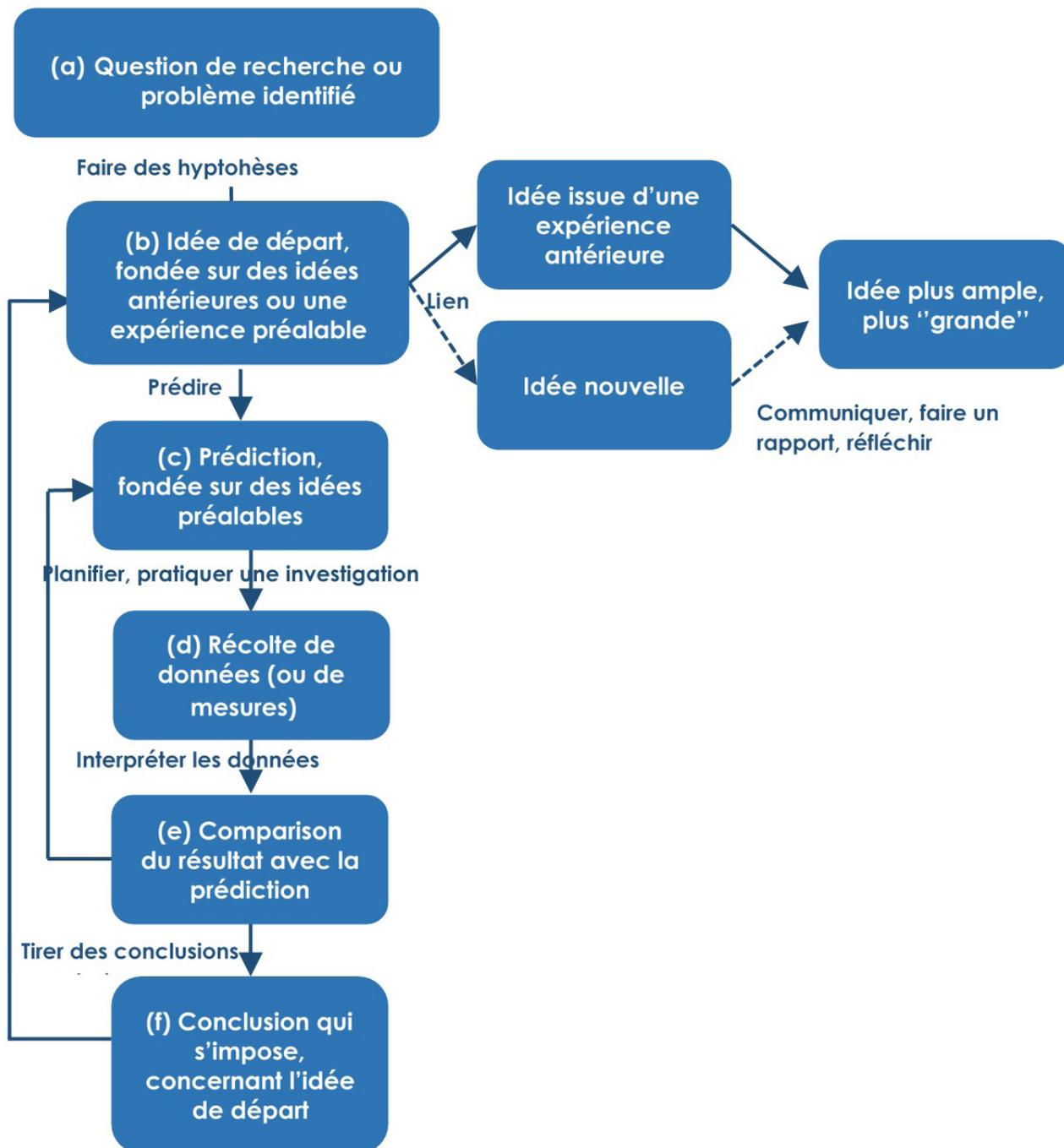
En ce qui concerne les ressources

R9 Il faut reconnaître que l'augmentation de la qualité et du niveau des dépenses en ressources pédagogiques liées aux sciences peut améliorer le niveau des élèves dans les pays dont le PIB par habitant est faible, mais dans d'autres pays, le temps passé à apprendre les sciences et les méthodes d'enseignement utilisées ont un impact plus important que les ressources matérielles.

En ce qui concerne la recherche

R10 Des efforts supplémentaires de recherche doivent être déployés pour fournir des preuves valides et fiables sur les effets à long terme de l'ESFI, en accordant une attention particulière aux différences entre les sexes. Afin de guider le développement et la mise en œuvre de l'ESFI, des analyses systématiques de recherche devraient être commandées pour fournir des informations plus fiables que les études individuelles.

Figure 1 Un modèle de l'apprentissage par l'investigation en science



References

NdT. Nous avons conservé l'ensemble des références en littérature anglo-saxonne. Nous avons ajouté un astérisque * aux références également disponibles en français soit sur leur site Internet, soit par une traduction qui est alors signalée.

Ahmad, I., Rehman, K., Ali, A., Khan, I., Khan, F.A. (2014) Critical Analysis of the Problems of Education in Pakistan: Possible Solutions. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 3(2), 79-84.

Alberg, M. (2015) *The LASER Model: a Systemic and Sustainable Approach for Achieving High Standards in Science Education Summative Report Section 1: Executive Summary*. CREP University of Memphis: Memphis (The executive summary and full report can be downloaded from <http://ssec.si.edu/laser-i3>)

Alexander, R (2012) *Towards Dialogic Teaching*. York: Dialogos.

Alexander, R (2020) *A Dialogic Teaching Companion*. Routledge: London.

Archer, L., Dawson, E., DeWitt, J., Seakins, A. and Wong, B. (2015) "Science capital": a conceptual, methodological, and empirical argument for extending bourdieusian notions of capital beyond the arts. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 922-948.

Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2010). "Doing" science versus "being" a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94(4), 617-639.

ARG (Assessment reform group) (2002) *Assessment for Learning: 10 Principles*. Available for download from <http://www.aaia.org.uk/content/uploads/2010/06/Testing-Motivation-and-Learning.pdf>

Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., Wiliam, D. (2003) *Assessment for Learning Putting it into Practice*. Maidenhead: Open University Press.

Blazek, R., & Prihodova, S. (2016). *Mezinarodni setreni PISA 2015: Narodni zprava – prirodovedna gramotnost [PISA 2015: National report – scientific literacy]*. Prague: Czech School Inspectorate.

Blömbeke, S. Gustafsson, J-E. and Shavelson, R. J. (2015) Beyond dichotomies. Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift fur Psychologie*, 223(1): 3-13.

Bredderman, T. (1983) Effects of activity-based elementary school science on students' outcomes: a quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, 53(4), 499-518.

Buck, B. L., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). *Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory*. *Journal of College Science Teaching*, 38(1), 52-58.

Crooks, T.J. (2003) some criteria for intelligent accountability in New Zealand. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, Chicago, April 2003.

DeBoer, G. E. (2000) Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*: 37(6), 582-601.

Dolin, J and Evans, R.(Eds)(2018) *Transforming Assessment*. Switzerland: Springer.

Duschl, R. (2007) Science education in three-part harmony : Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education* 32, 268-291.

Duschl, R. A., Schweingruber, H. A. and Shouse, A. W.(2007) (Eds) *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington, D.C. National Academies Press.

European Commission (2004) *Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe*. Brussels: European Commission

Fibonacci Project (2012) Tools for Enhancing Inquiry in Science Education. (www.fibonacci-project.eu).

Gisselberg, K. (2001) *NTA-projektets tre forstaar—en positionsbestamning (A characterisation of the first three years with the NTA programme in terms of its development and position)* (Umea, Umea universitet: Lararutbildningen).

- Goldhaber, D.D. and Brewer, D.J. (2000). Does teacher certification matter? High school teacher certification status and student achievement. *Educational Evaluation and Policy Analysis* 22(2). 129-145.
- Hadfield, M. (1995) Das kupfer-problem. *ChemKon*, 2(3),103-106.
- Hall, K, and Øzerk, K (2010) Primary curriculum and assessment: England and other countries. In (eds) R.J. Alexander with C. Doddington, J. Gray, L. Hargreaves, and R. Kershner. *The Cambridge Primary Review Research Surveys*, London: Routledge.
- Harlen, W. (2007) *Assessment of Learning*. London: Sage.
- Harlen, W. (2004) *Evaluating Inquiry-Based Science Developments*. Paper Commissioned by the NRC for a Meeting on the Status of Evaluation of Inquiry-Based Science Education.
- *IAP (2015) *Working with Big Ideas of Science Education*. Trieste: IAP.
- [10 notions-clés pour enseigner les sciences de la maternelle à la 3e. Sous la direction de Wynne Harlen, présenté par Pierre Léna. Belin, Paris, 2011.]
- [Idées de science, idées sur la science. Wynne Harlen. Le Pommier, Paris, 2015. Disponible sur <https://www.interacademies.org/publication/working-big-ideas-science-education-french-version>]
- Harlen, W. and Deakin Crick, R. (2013) Testing and motivation for learning. *Assessment in Education* 20(2): 169-207.
- Harlen, W. and Holroyd, C. (1997) Primary teachers' understanding of concepts in science: impact on confidence and teaching. *International Journal of Science Education* 19 (1), 93-105.
- *Harlen, W. and Qualter, A. (2018) *The Teaching of Science in Primary Schools*. Routledge: London.
- [Enseigner les sciences, comment faire ? Wynne Harlen. Le Pommier, paris, 2012]
- Hattie, J. (2003) *Teachers make a difference: what is the research evidence?* Paper delivered at the Australian Council for Educational Research Annual Conference
- *Hawking, S.W. (1988) *A Brief History of Time*. London: Bantam Books.
- [Hawking, S. Une brève histoire du temps. Champs Poche, Paris, 2017]
- Hinton, C. and Fischer, K.W. (2010) Learning from the developmental and biological perspective. In (eds) H. Dumont, D. Instance and F. Benavides, *The Nature of Learning: Using Research to Inspire Practice*. Paris: OECD.
- HMIe (2007) *How Good is our School? The Journey to Excellence* Part 3. Livingston: HMIe.
- Hodson, D. (1998) *Teaching and Learning Science: Towards a Personalised approach*. Buckingham: Open University Press.
- Howard-Jones, P., Pollard, A., Blakemore, S-J., Rogers, P. Goswami, U., Butterworth, B., Taylor, E., Williamon, A., Morton, J. and Kaufmann, L. (2007) *Neuroscience and Education: Issues and Opportunities*, London: TLRP/ESRC.
- Hurley, S. and Chater, E. (Eds) (2005) *Perspectives on Imitation: from Neuroscience to Social Science* Vol 2. Cambridge, MA: MIT Press.
- IAP (2009) *Teacher Professional Development in Pre-Secondary School Inquiry-Based Science Education*. Fundacion para Estudios Biomedicos Avanzados University of Chile.
- IAP (2010) *Taking Inquiry-Based Science Education into Secondary Education*. Trieste: IAP.
- IAP (2013) *Assessment and Inquiry-Based Science Education: Issues in Policy and Practice*. Trieste: IAP.
- Jager, J.J., Merki, K.M., Oerke, B. and Holmeier, M. (2012) State-wide low stakes tests and a teaching to the test effect? An analysis of teacher survey data from two German States. *Assessment in Education*, 19 (4), 451-467.
- Jerrim, J., Oliver, M., Sims, S.G., (2019) The relationship between inquiry-based teaching and students' achievement. New evidence from a longitudinal PISA study in England. *Learning and Instruction*, 61, 35-44.

- Kekule, M., Žák, V., Ješková, Z., Kimáková, K. (2017) Gender differences when assessing the impact of inquiry-based science education. *The New Educational Review*. Vol 2 (2) 100–114.
- Kirschner, P.A., Sweller, J. and Clark, R.E. (2006) Why minimal guidance during instruction does not work; an analysis of the features of constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist* 41(2)75–86.
- McCarthy, N. (2019) Manpower Talent Shortage Survey. *Statistica* www.statista.com/chart/4690/the-countries-facing-the-greatest-skill-shortages
- Mellander, E and Rasmusson, M. (2020) *Effekter av NTA på skolprestationer i årskurs 6. (Effects of NTA on school performance in the 6Th grade)*. University of Uppsala Report.
- Mellander, E. and Svärth, T. (2018) Inquiry-based learning put to the test: medium-term effects of a science and technology for children programme. *Review of Education*,
- Miller, R. and Osborne, J. (1998) *Beyond 2000: Science Education for the future*. London: King's College, London.
- Minner, D.D., Levy, A.J., Century, J. (2010) Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching* 47(4), 474–496.
- National Research Council (2012) *A Framework for K–12 Science Education*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- National Research Council (1996) *Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Nordenbo, S. E., Allerup, P., Anderson, H., Dolin, J. Korp, H., Larsen, M. et al (2009). *Pedagogical use of tests – A systematic Review*. Copenhagen: Aarhus University.
- Novak, J. D. (2005) Results and Implications of a 12-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *Research in Science Education*, 35(1) 23–40.
- *OECD (2016) *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. Paris: OECD Publishing Paris: OECD.
- *OECD (2016a): *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. Paris: OECD.
- *OECD (2016b) *Low Performing Students: Why They Fail and How to Help Them Succeed*. Paris: OECD.
- Osborne, J. and Dillon, J. (2008) *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: Nuffield Foundation.
- *Rocard, M., Csermely, P. Jorde, D., Lenzen, D., and Walberg-Henriksson, H. (2007) *Science Education Now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: European Commission.
- Rokos, L. and Zavodska, R. (2020) Efficacy of Inquiry-Based and “Cookbook” Labs at Human Physiology Lessons at University Level. Is there an impact in relation to acquirement of new knowledge and skills? *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12), 1–13.
- Rönnebeck, S., Nielsen, J., A., Olley, C., Ropohl M., and Stables, K, (2018) The Teaching and Assessment of Inquiry. In (eds) J. Dolin, and R. Evans *Transforming Assessment Switzerland*: Springer.
- Ropohl, M., Rönnebeck, S. Bernholt, S., and Köller, O. (2013) *Report from the FP7 project: Assess Inquiry in Science, Technology and Mathematics Education and Tools for Measuring the Degree of IBE*. Copenhagen: ASSIST-ME project.
- Rychen, D. S. and Salganik, L.H. (2003) A holistic model of competence. In (eds) D.S. Rychen and L.H. Salganik, *Key Competencies for a successful life and a well-functioning society*. Gottingen: Hogrefe and Huber.
- Smith, K. (2016) Assessment for learning: a pedagogical tool. In (eds) D. Wyse, L. Hayward and J. Pandya *Curriculum, Pedagogy and Assessment*. London: Sage: 740–755.
- Tamim, R., Borokhovski, E., Abrami, P. and Schmid, R. (2011) What forty years of research says

about the impact of technology on learning: a second-order meta-analysis and validation study
Review of Educational Research 81 (1) 4-28.

UNEP (2012) *21 Issues for the 21st Century: Results of the UNEP Foresight Process on Emerging Environmental Issues*. Nairobi: UNEP (United Nations Environment Programme).

*UNESCO (2010) *Current Challenges in Basic Science Education*, Paris: UNESCO.

Watkins, C. (2003) *Learning: A Sense-Maker's Guide*. London: Association of Teachers and Lecturers.

Wyse, D., McCreery, E. and Torrance, H. (2010) The trajectory and impact of national reform: curriculum and assessment in English primary Schools. In (eds) R.J. Alexander with C. Doddington, J. Gray, L. Hargreaves, and R. Kershner. *The Cambridge Primary Review Research Surveys*, London: Routledge.

Yeomans, E. (nd) Inquiry-based learning – what is its role in an inspiring science education? Perspectives on *Education: Inquiry-based learning* London: Wellcome Trust.

Zoblosky, T., Bertz, C., Gallagher, B., Alberg, M., (2017) *The LASER Model: a Systemic and Sustainable Approach for Achieving High Standards in Science Education SSEC i3 Validation*. Final Report of Confirmatory and Exploratory Analyses. University of Memphis: Memphis.



iap SCIENCE
HEALTH
POLICY
the interacademy partnership

