

PISA 2025
Vision et orientation stratégiques
en sciences

Mars 2020



PISA 2025 — Vision et orientation stratégiques en sciences : ce que les jeunes devraient savoir et pouvoir faire avec leurs connaissances

1. Le second mandat principal du Programme international de l'OCDE pour le suivi des acquis des élèves (PISA) pour 2025 exigeait la réalisation d'une phase de visualisation stratégique (PVS) visant à produire un document susceptible d'orienter les discussions et de définir les priorités du Comité directeur du PISA (CDP) avant l'élaboration du cadre d'évaluation par le Groupe d'experts en charge des sciences (GES). La méthodologie employée pour la PVS apparaît à l'annexe 1 des présentes, lesquelles ont été créées à la suite de la formation du Groupe d'experts en visualisation stratégique (GEVS). Ce dernier a déterminé que le cadre d'évaluation en sciences pourrait être considérablement actualisé par l'introduction de trois nouveaux champs de connaissances, de deux nouvelles compétences, ainsi qu'une nouvelle dimension assortie de sous-dimensions.

Contexte

2. L'éducation en sciences a le potentiel de soutenir et d'outiller les jeunes en leur transmettant les connaissances, les compétences et l'identité (capacité d'agir, attitudes, expériences, et ressources personnelles et sociales comme la résilience, etc.) qui leur permettront à eux, à leur collectivité et à leur société de relever de nombreux défis au cours des décennies à venir. La mesure dans laquelle les jeunes peuvent s'investir avec discernement dans le savoir et les compétences scientifiques et les utiliser avec escient hors des murs de la classe revêtira de l'importance non seulement pour eux sur le plan individuel, mais aussi pour la santé, l'équité et la prospérité des sociétés du monde entier.

3. Le présent document établit une vision des connaissances, des compétences et de l'identité que les jeunes devraient acquérir par le biais de leurs expériences d'apprentissage en sciences d'ici 2025 afin de se doter de bases solides pour leur vie future. Cette vision se fonde sur le principe que cette identité (ainsi que la mesure dans laquelle les jeunes ressentent un lien véritable avec les sciences en qualité à la fois de consommateurs et de générateurs de produits scientifiques dans leur quotidien) est tout aussi essentielle que ces compétences et connaissances pour favoriser la capacité d'agir et une citoyenneté active au sein d'un monde en rapide évolution.

4. Le sondage relatif à la vision du PISA 2025 (décrit aux annexes 1 et 2), montre qu'il y a un consensus international sur les facteurs du domaine scientifique qui influenceront le monde dans lequel les jeunes évolueront d'ici 10 ou 15 ans.

5. Le GEVS a défini trois dimensions clés où les jeunes de 15 ans devraient s'épanouir : les connaissances scientifiques, les compétences scientifiques et l'identité scientifique. Les deux premières font déjà partie du cadre du PISA, mais la dernière constitue un ajout.

Cette traduction n'a pas été créée par l'OCDE et ne doit pas être considérée comme une traduction officielle de l'OCDE. La qualité de la traduction et sa cohérence avec le texte original de l'œuvre sont de la seule responsabilité de l'auteur ou des auteurs de la traduction. En cas de divergence entre l'œuvre originale et la traduction, seul le texte de l'œuvre originale sera considéré comme valide.

Les connaissances scientifiques

Ajout de trois nouveaux champs de connaissances

6. Le GEVS estime que les connaissances scientifiques dont les jeunes auront besoin devraient être actualisées et réorganisées de manière à mieux les outiller pour le monde dans lequel ils vivront. Il recommande donc la création de trois nouveaux champs de connaissances :

- « **Les systèmes socio-environnementaux et la durabilité** », afin de soutenir les jeunes dans la résolution de problèmes complexes et interdépendants qui les touchent personnellement. Ce champ inclura des connaissances préalablement englobées dans les domaines disciplinaires.
- « **Le développement des connaissances scientifiques et le détournement de ces dernières** », pour donner aux élèves une meilleure idée du processus de développement des connaissances et les aider à reconnaître les usages détournés qu'on en fait quand on nie les changements climatiques ou qu'on s'oppose à la vaccination, par exemple.
- « **L'informatique** », pour souligner l'importance de l'étude des données, ainsi que de la structure et du comportement des systèmes de traitement de l'information, au chapitre tant de leurs impacts sur la société par le biais de technologies numériques (et en particulier de l'intelligence artificielle) que de leur rôle en ce qui a trait à l'avancement des connaissances dans tous les domaines scientifiques grâce aux modèles qu'ils permettent de produire.

Justification

7. Lors de sa démarche de visualisation, le GEVS a jugé important de considérer les connaissances que les jeunes devront avoir plus tard. Il a ainsi cru bon de revoir le contenu des cours et la manière de l'organiser de façon à mieux l'adapter aux aspirations et aux besoins futurs de la génération montante. Actuellement, le volet scientifique du PISA classe les connaissances scientifiques surtout en fonction d'un cadre disciplinaire très conventionnel, sans tenir compte des approches transversales, contextuelles et interdisciplinaires qui permettent de comprendre et de résoudre des problèmes. Qui plus est, bien que les enjeux contemporains exigent l'utilisation de connaissances scientifiques dans un contexte plus large (Erduran et Dagher, 2014), les méthodes actuelles d'enseignement ne montrent pas comment ces connaissances évoluent.

8. Le GEVS a examiné les champs de connaissances existants et a estimé qu'ils devaient être élargis de manière à insister davantage sur la nature multidisciplinaire des sciences. Il était également nécessaire de reconnaître le fait que ces dernières servent dans des contextes sociaux et environnementaux qui impliquent la considération de facteurs économiques, sociétaux et éthiques. Le GEVS propose donc d'ajouter un nouveau champ de connaissances afin de combler les lacunes perçues à la lumière des nouveaux défis auxquels l'humanité est confrontée : « Les systèmes socio-environnementaux et la durabilité ». Les membres du Groupe pensent que ce champ représenterait mieux la complexité et les interconnexions des enjeux avec lesquels les jeunes devront composer durant leur vie, comme les changements climatiques, les pandémies et la sécurité alimentaire.

9. Les jeunes doivent être des consommateurs critiques de connaissances scientifiques à une époque où elles sont si facilement accessibles et où des arguments peuvent se fonder sur des données suspectes ou de mauvaise qualité. Ils doivent acquérir une certaine compréhension des procédés scientifiques menant au développement de connaissances fiables par le biais d'exemples historiques ou contemporains. Ce savoir peut les aider à déceler les usages détournés de la science sur les tribunes actuelles; on n'a qu'à penser aux thèmes comme le climatoscepticisme, les pseudosciences et les fausses nouvelles.

10. De rapides avancées au chapitre des systèmes informatiques et de l'automatisation, de même que la disponibilité d'immenses jeux de données numériques, ont des incidences notables sur nos contextes socioéconomiques et ont transformé les façons d'obtenir et d'utiliser les connaissances. Ayant été conçues à partir de concepts, de théories, de principes et de méthodes scientifiques, les technologies actuelles continueront de rehausser notre compréhension du monde, tout en devenant omniprésentes dans la vie personnelle et professionnelle des jeunes. La maîtrise de l'étude, de l'interprétation et de l'utilisation des données, de même que la compréhension de la structure et du comportement des systèmes numériques qui les traitent et les représentent, fournira aux jeunes des bases solides pour évoluer au sein d'un monde de plus en plus informatisé.

Les systèmes socio-environnementaux et la durabilité

11. La science est un puissant outil qui permet à l'humanité de comprendre le monde matériel. Quand nous arrivons à saisir un problème, c'est elle qui nous fournit les solutions pour le régler au bénéfice de tous. Le GEVS croit qu'un savoir ouvert sur les gens, leurs besoins et leurs interactions avec les mondes naturel et physique est préférable à la simple intériorisation de faits scientifiques, parce qu'une telle approche rejoindrait davantage les jeunes qui tentent d'établir des liens logiques entre les sciences et leur quotidien. La résolution de problèmes concrets requiert l'emploi de méthodes interdisciplinaires tournées vers le système qui les englobe et ses interactions sociales, environnementales et physiques (Clark et Dickson, 2003). Conséquemment, le GEVS suggère l'ajout d'un nouveau champ de connaissances, ainsi que la réorganisation des champs définis dans le cadre de 2015. On appellerait le nouveau champ : Systèmes et durabilité.

12. Comme on s'accorde de plus en plus pour dire que la compréhension des enjeux qui touchent la planète et des gestes posés pour les régler ne relèvent pas d'une simple perspective disciplinaire, il a fallu créer de nouveaux champs de connaissances liés à la fois aux sciences naturelles, aux sciences sociales et à l'ingénierie (Clark et Dickson, 2003; Kates et autres, 2001). On parle notamment de sciences liées à la durabilité, aux systèmes complexes et à l'écologie politique. Parmi ces nouveaux champs, nombreux sont ceux qui s'intègrent au monde pratique en favorisant une résolution intentionnelle et active de problèmes par le biais de la cocréation de connaissances avec des praticiens, des intervenants et des décideurs. Le fait d'exposer tôt les élèves à ces nouvelles manières de penser et d'agir afin qu'ils puissent s'attaquer à des enjeux socio-environnementaux comme les pandémies, la sécurité de l'approvisionnement en eau et la protection des espèces est essentiel pour les préparer à un avenir incertain qui pourrait avoir des répercussions importantes sur leur bien-être. On peut aussi penser aux enjeux suivants :

- l'économie, les marchés et les institutions;
- les populations, les migrations et le bien-être public;
- les écosystèmes, les ressources naturelles et la conservation;

- les changements climatiques, les mesures d'atténuation et l'adaptation;
- les systèmes alimentaires durables, la nutrition et la sécurité alimentaire;
- la santé, la santé environnementale, la pollution et la propagation des maladies;
- la transformation et l'aménagement du territoire;
- l'eau, sa gouvernance et la sécurité de son approvisionnement;
- l'approvisionnement en énergie, le développement de sources durables et l'abandon des ressources à base de carbone.

13. De telles connaissances outilleraient les jeunes en leur donnant la capacité de nommer les éléments de systèmes complexes et de reconnaître les interactions au sein de ces derniers, de même qu'entre chacun d'entre eux. À titre d'exemple, la réintroduction de loups dans un écosystème peut engendrer des conséquences pour les plantes, les arbres, les cours d'eau et d'autres éléments du milieu. Pour évaluer une initiative pareille dans son ensemble, il faut aller au-delà de ses impacts immédiats sur les agriculteurs et les populations de cerfs, par exemple.

Le développement des connaissances scientifiques et le détournement de ces dernières

14. Les jeunes devraient être conscients de la réalisation intellectuelle que représente notre savoir scientifique actuel. Cela s'applique non seulement aux connaissances vis-à-vis desquelles il y a consensus (la structure de l'ADN, p. ex.), mais aussi aux erreurs et failles du passé, comme les théories géocentriques, le lamarckisme, la théorie du calorique, la fusion froide, l'eugénisme, etc. Si l'un des objectifs de l'éducation en sciences est d'enseigner de quelles manières celles-ci fonctionnent (OCDE, 2009), il devrait alors être tout aussi important de montrer de quelles manières elles *ne* fonctionnent pas (Allchin, 2012). L'étude des sciences dans un contexte à la fois historique et contemporain révèle comment le savoir se développe, tout en témoignant des critères (l'objectivité, p. ex.) et des pratiques communautaires (évaluations par les pairs, p. ex.) qui en assurent la fiabilité (Matthews, 2015). Une exposition à des études de cas tirées de l'histoire des sciences (incluant l'histoire récente) pourrait aider les élèves à cerner les failles dans les arguments de ceux qui souhaitent aujourd'hui discréditer la vaccination, nier la nature anthropogénique des changements climatiques ou mettre de l'avant une vision créationniste du monde.

15. Un autre enjeu important plus récemment lié à la science est la commercialisation des connaissances dans de nouveaux domaines comme les technologies géniques (Erduran et Mugaloglu, 2013). L'innovation ouvre en effet la voie à de nouvelles possibilités de gains en lien avec les connaissances scientifiques. Celles-ci sont donc de plus en plus traitées comme des marchandises sur des marchés où l'information se privatise. Or, la marchandisation du savoir empêche sa gratuité pour la population en général (y compris les élèves et les enseignants) et peut entraîner une rivalité entre chercheurs. Cette tendance soulève le besoin de faire comprendre aux jeunes l'influence possible de facteurs économiques et politiques dans les décisions relatives aux découvertes scientifiques (quant au brevetage des gènes, p. ex.).

L'informatique

16. L'informatique est l'étude des données, ainsi que de la structure et du comportement de systèmes naturels et computationnels. Le GEVS propose qu'elle fasse partie du cadre d'évaluation en sciences, soit comme champ de connaissances additionnel, soit en étant intégrée aux champs existants et proposés.

17. L'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage machine sont des branches de l'informatique qui ont une incidence considérable sur nos sociétés et économies. L'IA repose

sur la conception de systèmes qui imitent ou simulent des structures naturelles dont on a préférentiellement acquis une connaissance conceptuelle de base.

18. Mis à part le développement de l'IA, l'informatique joue également un rôle important en ce qui a trait à l'acquisition et à l'utilisation de connaissances scientifiques interdisciplinaires. Les sciences biologiques et de la santé en particulier ont connu des avancées rapides au cours des dernières années; la bio-informatique et la génomique nous ont procuré des solutions à de nombreux problèmes vécus à l'échelle mondiale. Quand la médecine personnalisée sera pratique courante, tous les professionnels de la santé, de même que leurs patients, devront posséder les connaissances et les compétences requises pour décoder l'information obtenue par le biais de tests et de séquençage des génomes.

19. Le GEVS considère donc que tous les jeunes devraient avoir une certaine culture numérique et savoir interpréter les données dès l'âge de 15 ans. Ils devraient notamment connaître différentes formes de représentation de ces dernières, des modèles et algorithmes computationnels de base, de même que tout autre champ de connaissances procédurales résultant d'expériences « in silico » (impliquant d'importants jeux de données et structures d'information). Qui plus est, le fait d'être dotés d'une culture numérique et des données permettrait aux jeunes d'acquérir une compréhension de base des concepts d'IA et des systèmes computationnels de façon à savoir comment agir quand de l'information importante leur est présentée. Cela favoriserait en outre leur capacité de fonctionner et de réussir dans des milieux de travail transformés, ce qui en ferait des participants à part entière du monde numérique. Enfin, ce savoir aiderait les jeunes à comprendre, à utiliser et à influencer tant ce monde qu'une société numérique juste, équitable et sécuritaire, en y œuvrant et en y contribuant activement (Caspersen et autres, 2019; Nardelli, 2019).

20. On trouve à l'annexe 3 une définition plus approfondie de l'informatique, de même que des connaissances et compétences qui lui sont associées. On y explique aussi la différence entre ce nouveau champ de connaissances et la pensée computationnelle (telle que définie dans le cadre d'évaluation en mathématiques du PISA).

Les compétences scientifiques

Ajout de deux nouvelles compétences et approfondissement de deux autres

21. Étant donné les progrès technologiques de la dernière décennie, les compétences scientifiques requises par les jeunes pour s'épanouir en société devront être approfondies.

22. Le GEVS pense que c'est le cas de deux d'entre elles, et voudrait en ajouter deux nouvelles. Les deux nouvelles sont :

- **Utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions et de mesures**, puisque les jeunes doivent pouvoir se servir activement de leur savoir pour déterminer ce qu'il convient de faire et créer de la valeur nouvelle. Ces décisions doivent se prendre à l'intérieur de systèmes complexes, en tenant compte de facteurs économiques, politiques et éthiques.
- **Recourir au raisonnement probabiliste**, car la compréhension des probabilités et des risques est essentielle à la résolution de la plupart des enjeux scientifiques, de même qu'à une prise de décisions informée.

Les deux compétences à approfondir sont :

- **Évaluer et concevoir des recherches scientifiques**, afin de transmettre la capacité de chercher de l'information au sein d'un système complexe en employant la bonne démarche.
- **Interpréter des données et des faits de manière scientifique**, afin de transmettre la capacité de sonder de grands jeux de données et de faire preuve de jugement scientifique dans la prise de décisions.

Justification

23. L'éducation en sciences joue un rôle de plus en plus important en ce qui a trait à la transmission aux jeunes des outils de raisonnement dont ils auront crucialement besoin pour naviguer au sein d'un monde effréné caractérisé par un déluge d'information, de nouvelles technologies physiques et des capacités novatrices en IA. La mesure dans laquelle ces éléments viendront bouleverser la planète est encore inconnue, mais la culture et les méthodes scientifiques qu'on transmet aux élèves les doteront des compétences requises pour examiner les innovations de manière critique et en jouir de manière responsable.

24. Le cadre d'évaluation de la culture scientifique de l'enquête PISA 2015 avait déjà cerné trois compétences spécifiques (expliquer des phénomènes de manière scientifique, évaluer et concevoir des recherches scientifiques, et interpréter des données et des faits de manière scientifique), mais le GEVS est d'avis qu'elles mériteraient d'être approfondies et complétées par deux nouvelles, considérant que les technologies jouent un rôle de plus en plus important dans les délibérations et les prises de décisions de nos sociétés.

25. Les deux compétences à ajouter sont :

- **Utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions et de mesures**, puisque la résolution de la plupart des dilemmes auxquels les jeunes seront confrontés

dans leurs vies personnelle et professionnelle pourrait être éclairée dans une certaine mesure par des découvertes scientifiques.

- Recourir au raisonnement probabiliste, car la compréhension des probabilités et des risques est essentielle à la résolution de la plupart des enjeux scientifiques actuels.

Utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions et de mesures

26. Sachant que les connaissances scientifiques ont une valeur intrinsèque quand vient le temps de comprendre le monde matériel dans lequel nous vivons, le GEVS estime que les jeunes devraient :

Utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions

27. Un des objectifs principaux de la science est d’engendrer des conclusions sur lesquelles on pourra se fonder pour orienter et améliorer nos actions. La résolution de la plupart des dilemmes auxquels les jeunes seront confrontés dans leurs vies personnelle et professionnelle pourrait en effet être éclairée dans une certaine mesure par des découvertes scientifiques. La reconnaissance des apports passés et futurs de la science à des enjeux comme l’amélioration de la santé, l’approvisionnement en énergie et en aliments, et l’adaptabilité aux changements climatiques est un résultat souhaitable de toute formation en la matière. S’ils comprennent qu’une démarche scientifique peut régler de tels enjeux, que ce soit à l’échelle individuelle, locale ou internationale, et s’ils apprennent à poser les bonnes questions, les jeunes seront mieux en mesure d’apprécier la pertinence et l’à-propos des sciences.

28. Les jeunes doivent être capables de considérer les mécanismes qui engendrent des résultats donnés, et de déterminer si ces derniers découlent de facteurs scientifiques, sociaux, économiques ou politiques (Levinson, 2018). En adoptant une approche interdisciplinaire pour décrire le monde qui nous entoure, nous faisons en sorte que les jeunes soient en mesure d’analyser des systèmes complexes, de cerner les meilleures solutions en jugeant les forces et faiblesses relatives de chacune, et en analysant les mesures possibles en fonction de leurs avantages et de leurs inconvénients d’ordre éthique et économique. Ils seront en outre capables de mieux définir les mécanismes et comportements physiques, écologiques et sociopolitiques résultant des liens qui existent au sein d’un système donné.

Tenir compte de considérations éthiques

29. Les avancées technologiques, surtout dans les domaines de l’intelligence artificielle et de la biotechnologie, augmentent la complexité des processus décisionnels. Or, grâce à l’éducation en sciences, les jeunes se dotent de capacités de raisonnement éthique, sont capables d’estimer les conséquences de chaque geste, et deviennent en mesure d’évaluer l’externalité de diverses solutions par rapport à leur conception expérimentale et à l’analyse du problème. Ils devront aussi accepter que la science ne procure pas toujours des réponses directes quant aux décisions à prendre ou aux mesures à adopter; il leur faudra intégrer à leur démarche une composante éthique et axée sur leurs valeurs en lien direct avec des questions d’identité et d’inégalité. Finalement, les jeunes doivent se demander si leurs actions, ou celles de personnes qu’ils soutiennent ou appuient, sont morales et conformes à leurs principes, pour ensuite appliquer cette réflexion dans leur vie de tous les jours.

Créer de la valeur par le biais de la résolution de problèmes et de l'innovation

30. L'éducation en sciences doit non seulement doter les jeunes d'habiletés en prise de décisions leur permettant de vivre leur quotidien, mais aussi les soutenir et les outiller pour qu'ils puissent agir en « créant de la valeur ». Cette compétence transformatrice est essentielle si on veut agir pour faire évoluer nos sociétés. Quand des jeunes veulent créer de la valeur, ils posent des questions, collaborent et essaient de sortir des sentiers battus. Ils approchent les problèmes en employant une variété de stratégies, pensent à ce qui a fonctionné ou pas, et font preuve de résilience et d'agilité pour reprendre leur recherche de solutions. Ce faisant, ils deviennent mieux aptes à affronter l'incertitude et le changement.

31. Bien que la résolution de problèmes et l'innovation soient des aspects fondamentaux de la science, trop souvent, ils ne font pas partie de l'expérience des jeunes à l'école. Pourtant, quand on favorise leurs habiletés décisionnelles et on leur donne la capacité d'agir, ils développent des attitudes plus positives envers les sciences et s'y identifient davantage.

Recourir au raisonnement probabiliste

32. Le GEVS est d'avis que la compréhension des notions de probabilité, d'incertitude et de risque est au cœur de la plupart des démarches scientifiques entreprises par nous tous, jeunes et vieux (Bennet et Calman, 2000; Adams, 1995). Cette compréhension est par exemple essentielle aux gestes que nous posons, tant individuellement que collectivement, quand nous sommes confrontés à des urgences sanitaires à l'échelle mondiale, comme une pandémie. En permettant aux jeunes de saisir les concepts de distribution normale ou anormale et de bien nommer l'impondérable, elle fera en sorte qu'ils puissent :

Reconnaître et employer des propositions probabilistes, éléments clés de la culture scientifique

33. En essence, les scientifiques traitent toutes les propositions et tous les énoncés comme étant relativement provisoires, avec un certain degré de confiance, qu'il soit de 51 % (les propositions et énoncés sont à peine plus susceptibles d'être vrais que d'être faux) ou de 99,9999 % (niveau élevé de certitude que les propositions ou énoncés sont vrais). Cette approche généralement probabiliste fait en sorte que les scientifiques soient d'abord moins gênés par d'éventuels échecs, mais aussi capables de changer d'idée devant de nouvelles données probantes. Les jeunes devraient concevoir ce penchant probabiliste non pas comme une faiblesse, mais bien comme une force dans le domaine des sciences. Ils devraient aussi pouvoir estimer leur niveau de confiance par rapport à leurs propres déclarations dans le cadre de débats ou de discussions.

Estimer le niveau de confiance par rapport à une déclaration

34. Toutes les mesures scientifiques ont des erreurs qui leur sont associées. La distinction binaire voulant qu'une déclaration soit strictement vraie ou fausse n'est pas valide en présence de systèmes complexes à plusieurs variables. Les jeunes devraient pouvoir estimer quelle part des publications scientifiques affirmant avoir un niveau de confiance de 95 % pourrait se révéler inexacte. Ils devraient par exemple comprendre pourquoi ils devraient considérer un article de journal qui traite de questions liées à la santé avec un certain degré de scepticisme, et reconnaître que le savoir se construit par le biais d'une accumulation de découvertes semblables qui augmentent graduellement notre niveau d'assurance et de certitude à leur égard. De manière plus générale, ils devraient être en mesure d'admettre les limites de la recherche scientifique et faire preuve de pensée critique vis-à-vis de ses résultats.

Reconnaître qu'il y a des risques associés à toute action et être capable d'interpréter les statistiques qui se rapportent tant à ces risques qu'à leurs incidences

35. Toutes les actions ont en outre des risques qui leur sont associés. Les statistiques relatives à ces derniers ne tiennent compte que des extrêmes (les morts plutôt que les blessés), et la décision d'en prendre dépend de leur nature (risques individuels, collectifs, systémiques, immédiats, à long terme, etc.). Les élèves doivent comprendre que les risques sont des composants intrinsèques de la vie et qu'il ne faut pas chercher à les éviter à tout prix.

Reconnaître les différentes formes de représentation des statistiques sur la population et comprendre comment on peut les utiliser ou les détourner

36. Les élèves doivent comprendre le concept d'une distribution normale et saisir la différence entre une moyenne et une médiane. Ils devraient aussi comprendre que le niveau de confiance s'exprime souvent sous la forme d'une barre d'erreur et qu'au sein d'une population donnée, il y aura toujours de la variabilité et des données aberrantes. Sachant cela, ils devraient être en mesure de poser des jugements évaluatifs sur les données statistiques, en se demandant par exemple quelle signification pourrait être accordée aux valeurs aberrantes. Ils devraient notamment être capables de distinguer les causes des corrélations, et être conscients qu'au sein de chaque grand jeu de données, il y a des chances élevées de découvrir ce qui semble être des effets significatifs. Cela est particulièrement important étant donné le recours croissant à ces mégadonnées et les risques de mauvaise interprétation ou de biais liés à la nature des informations sous-jacentes. Les élèves devraient pouvoir dire que si deux points de données se situent dans les barres d'erreur de l'un l'autre, ils représentent un même niveau dans les faits, même si l'un d'entre eux semble plus élevé que l'autre; il devient donc impossible de comparer deux points de données si leurs barres d'erreur ne sont pas fournies.

Faire des prédictions

37. Les élèves vivront dans un monde où de plus en plus de mégadonnées et d'algorithmes d'apprentissage machine seront utilisés pour faire des prévisions. Ils devront alors être en mesure de remettre en question les résultats obtenus par l'entremise de cette intelligence artificielle en se demandant si les données sont biaisées et si la taille de l'échantillon est adéquate, et en déterminant quel niveau de confiance peut y être accordé.

38. Les deux compétences existantes auxquelles on propose de faire des ajouts sont :
- Évaluer et concevoir des recherches scientifiques
 - Interpréter des données et des faits de manière scientifique

Ajouts à la compétence « Évaluer et concevoir des recherches scientifiques »

39. Le GEVS a aussi examiné la compétence existante intitulée « Évaluer et concevoir des recherches scientifiques » et a estimé qu'on devait lui ajouter deux nouveaux éléments.

Comprendre la structure de systèmes complexes

40. L'observation et la compréhension de systèmes aux échelles tant microscopique que macroscopique permettent de cerner des comportements, des réactions physiques et des

phénomènes émergents. Lorsqu'on saisit la complexité d'un enjeu, on en décèle des propriétés qui ne se révèlent parfois que quand on passe d'une échelle à l'autre.

41. En comprenant la structure de systèmes complexes, les jeunes seront en mesure :
- d'en cerner les éléments;
 - d'en reconnaître les sous-systèmes et de déterminer comment ils interagissent (sources et puits, boucles de rétroaction, niveaux d'organisation, etc.);
 - de prédire les incidences d'actions qui s'y déroulent;
 - de prédire les incidences des interactions entre ces systèmes;
 - d'évaluer les risques dans le contexte de ces systèmes.

Chercher et évaluer de l'information

42. Toutes les démarches d'investigation s'appuient sur des connaissances existantes. Or, ces connaissances sont de plus en plus obtenues par l'intermédiaire de moteurs de recherche. Les jeunes doivent donc savoir évaluer l'information qui leur est fournie de manière critique, en décelant les biais et en jugeant la fiabilité des sources et des auteurs (Breakstone et autres, 2018). Ils devraient notamment :

- savoir que plusieurs recherches pourraient être requises en utilisant différents termes, et qu'il leur faudra déterminer quelles sources sont les meilleures et les plus pertinentes;
- chercher des preuves que les auteurs ont envisagé le fait que leurs conclusions pourraient être imparfaites ou limitées, ou encore qu'ils conviennent de la complexité du sujet dont ils traitent;
- porter des jugements évaluatifs sur l'expertise des auteurs.

43. Pour ce faire, les jeunes devraient être capables de discerner les éléments essentiels d'un argumentaire, en distinguant les allégations des faits et des raisonnements sous-jacents. Ils devraient aussi être à l'affût des biais de confirmation et se demander si des contre-arguments ont été abordés, en se servant de cette information pour porter leurs jugements sur la qualité du travail scientifique et la validité des assertions. L'évaluation de leur apprentissage pourrait s'axer sur leur capacité de différencier les pseudosciences, les fraudes et les travaux bâclés des bonnes démarches scientifiques, et ce, même si ces dernières produisent les mauvaises réponses.

Ajouts à la compétence « Interpréter des données et des faits de manière scientifique »

44. Les jeunes disposent de plus en plus d'outils technologiques leur permettant d'interroger de grands jeux de données. Ils doivent donc pouvoir distinguer les démarches fondées sur des hypothèses scientifiques de celles qui s'axent essentiellement sur la recherche de tendances susceptibles de justifier une conviction. Ils devraient savoir qu'au sein de la plupart des mégadonnées, de telles tendances peuvent être le fruit du hasard ou de corrélations boiteuses. Il arrive rarement que des tendances révèlent une relation causale sous-jacente qui mérite d'être défendue (Calude et autres, 2017).

45. Les jeunes doivent avoir les compétences requises pour se servir d'outils de base leur permettant d'interroger de tels jeux de données et de les représenter de manière éloquente (histogrammes, graphiques, diagrammes à tiges et à feuilles, etc.).

46. Pour pouvoir évaluer des données, ils doivent également être capables d'estimer l'ordre de grandeur de l'ensemble, de manière à pouvoir déterminer si les conclusions sont rationnelles et dans les limites du bon sens. Cette capacité de porter des jugements de valeur est liée à la

compétence « Utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions et de mesures ». La compétence existante pourrait donc être plus justement renommée « Interpréter des données et des faits pour porter des jugements ».

L'identité scientifique — une nouvelle dimension à ajouter au cadre d'évaluation du PISA

Ajout d'une nouvelle dimension au cadre d'évaluation en sciences du PISA

47. Le GEVS estime que l'identité constitue un facteur déterminant en ce qui a trait à l'acquisition de connaissances et de compétences scientifiques. Elle favorise en effet l'apprentissage et la compréhension — si nous ne nous soucions pas de celle des jeunes, nous nuisons à leur potentiel et à leur capacité d'exercer plus tard ces connaissances et compétences avec un esprit critique. L'identité est intimement liée à la justice sociale et doit être prise en compte lorsqu'on cherche à mettre en place des pratiques et cultures plus équitables dans le domaine des sciences. Les principales composantes identitaires que nous devrions rechercher chez les jeunes sont la création de liens constructifs avec la science, le sentiment que cette dernière « est pour eux », le fait de trouver que la science est utile et pertinente au quotidien, le fait de vivre la science comme une expérience valorisante et inclusive à l'égard de personnes de divers horizons, ainsi que l'utilisation de la science pour rejeter les inégalités sociales et environnementales.

48. Nous proposons que cette nouvelle dimension aille de pair avec celles des connaissances et des compétences du cadre d'évaluation en sciences du PISA — il pourrait toutefois être opportun d'intégrer certains éléments au questionnaire contextuel. La dimension de l'identité scientifique décrirait dans quelle mesure les jeunes de 15 ans auraient développé :

- un **capital scientifique** — une mesure holistique de cette identité scientifique, soit des attitudes, comportements et contacts qui feraient en sorte que les jeunes aient le sentiment que la science est bel et bien « pour eux »;
- une **capacité d'action scientifique à bon escient** — une aptitude à utiliser avec discernement la science et d'autres formes d'expertise à des fins individuelles ou collectives, surtout dans le but de redresser des iniquités sociales;
- des **expériences et pratiques scientifiques inclusives** — le fait d'acquérir des expériences d'apprentissage et d'avoir été témoins de représentations diversifiées et inclusives dans le domaine des sciences;
- **éthique et valeurs** — le fait de vivre et d'appréhender les sciences comme étant des démarches éthiques axées sur des valeurs qui s'appuient autant sur l'identité que sur les connaissances et la compréhension.

Justification

49. La dimension de l'identité scientifique représente un domaine nouveau et audacieux à explorer pour l'éducation en sciences; elle mérite d'être considérée dans le cadre du PISA. Elle se fonde sur de nombreux résultats de recherche recueillis et analysés dans le contexte de la présente investigation (Archer et autres, 2010; Calabrese Barton et Tan, 2019; Carlone et autres, 2014; Danielsson, 2009; Pea, 1993; Barron, 2006; Nardi et O'Day, 1999; Letham, 2007; Dweck, 1988; etc.). Comme on l'explique ci-dessous, l'identité scientifique est loin de s'exprimer par les attitudes envers les sciences à elles seules. Essentielle à

l'apprentissage et à l'acquisition de ces dernières, elle devrait être considérée au même titre que les connaissances et les compétences.

50. Le GEVS est d'avis que la dimension de l'identité scientifique devrait revêtir la même importance que ces dernières et être considérée comme étant une priorité urgente dans le contexte d'une vision contemporaine de ce qu'un ou une jeune de 15 ans devrait avoir tiré de son éducation en sciences. La raison en est que : (i) la littérature démontre que l'identité est un facteur clé dans l'apprentissage, l'acquisition de connaissances et la participation en sciences (Nasir et Hand, 2008; Shanahan, 2009; Dweck, 1988; Barron, 2006; Nardi et O'Day, 1999; etc.);

(ii) l'identité scientifique fait partie intégrante, mais aussi se distingue, des connaissances et des compétences scientifiques, déterminant la mesure dans laquelle les élèves pensent à la science, l'apprennent, la comprennent et s'y investissent (ou non);

(iii) cette dimension fait ressortir les notions d'éthique, d'inclusion et de capacité d'agir en s'y ancrant solidement, et peut indiquer la « santé » d'un écosystème d'apprentissage au chapitre de l'équité. Cette dernière est essentielle à une vision contemporaine de ce que devraient être les résultats d'une éducation en sciences et de la manière de la prodiguer. Les questions d'équité et d'identité sont également importantes considérant l'employabilité à grande échelle de cette génération d'apprenants;

(iv) l'identité permet d'encadrer l'enseignement et d'établir des liens avec l'écologie d'apprentissage, ce qui peut favoriser (ou limiter) les possibilités d'acquisition de connaissances. Cette écologie est caractérisée par les élèves, les pairs, les enseignants et les parents/influences sociales. Les attitudes et croyances qui y sont favorisées définissent le niveau d'autonomie d'apprentissage des élèves;

(v) les questions d'identité et d'équité ont une grande influence sur la capacité des jeunes de participer activement à la société — les emplois de l'avenir exigeront qu'ils aient un penchant pour la recherche et l'innovation responsables, qu'ils y participent et qu'ils les façonnent. L'apprentissage des sciences devrait notamment permettre aux jeunes de se sentir liés à ces dernières, d'en être des utilisateurs critiques et d'en produire eux-mêmes.

51. Le GEVS propose que cette dimension soit vue comme étant intimement liée à une vision contemporaine de la préparation scientifique des jeunes pour l'avenir. Elle devrait faire partie de l'évaluation cognitive pour les raisons suivantes :

- Historiquement, on n'en a pas tenu compte dans les évaluations sommatives, créant ainsi un cadre plus étroit pour les objectifs d'apprentissage des sciences.
- Cette étroitesse peut se traduire par des pratiques pédagogiques susceptibles d'entraîner un intérêt moins marqué pour ces dernières, un transfert limité des connaissances d'une classe, d'une année et d'une école à l'autre (de même que dans la vie adulte et professionnelle), ainsi qu'une culture d'apprentissage inéquitable (« ce qui est mesuré devient valorisé »). Il importe donc de réfléchir sur la mesure dans laquelle les instruments d'évaluation globale pourraient soit réduire soit augmenter l'efficacité et l'équité de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences.
- Un outil plus holistique pourrait mettre un frein aux pratiques pernicieuses associées à des évaluations lourdes de conséquences, comme les approches d'enseignement en fonction des tests et l'exclusion/omission des questions d'équité. Ce nouvel outil pourrait contribuer à des pédagogies plus productives et équitables en sciences.

52. Bien que cette dimension soit « nouvelle » dans le cadre du PISA, il existe des mesures utiles et utilisables (valides et fiables) [Archer et autres, 2015] dont on pourrait se servir dans les cadres d'évaluation.

Le capital scientifique

53. Le « capital scientifique » (Archer et autres, 2015) représente les ressources dont une personne dispose en sciences; on peut notamment penser aux attitudes, à la compréhension (cultures et compétences scientifiques), à l'identification aux sciences, aux comportements et aux contacts sociaux en la matière. Les preuves abondent sur le rôle de ce capital sur la perception des jeunes quant au fait que la science soit « pour eux » ou pas, de même que sur leurs aspirations et leur cheminement après l'âge de 16 ans (Moote et Archer, 2020a; Moote et autres, 2020b; Moote et autres, 2019). On a aussi démontré que ce capital est lié aux ambitions et attitudes des jeunes en génie, en mathématiques et en technologies.

54. Le capital scientifique est un facteur composite se déclinant en plusieurs volets qui ont fait l'objet de nombreuses études internationales afin de pouvoir être mesurés avec confiance et fiabilité.

55. La recherche démontre en outre que le capital scientifique des élèves peut être « bâti » (favorisé et enrichi) par le biais de bonnes méthodes d'enseignement (Archer et autres, 2017; Godec et autres, 2018; Godec et autres, 2017).

56. Les éléments de capital scientifique qu'il serait bon de transmettre aux jeunes avant l'âge de 15 ans sont les suivants :

- Le sentiment que les sciences sont « pour eux » (c.-à-d. qu'elles sont pertinentes, importantes et utiles dans leurs vies actuelle et future).
- Le fait d'avoir été bien reconnu, encouragés et soutenus par des personnes qui les entourent (enseignants, parents, tuteurs, etc.) dans leur identification aux sciences.
- La conscience que les connaissances et les compétences scientifiques sont transférables dans les diverses facettes de leurs vies personnelle et professionnelle d'aujourd'hui comme de demain (au-delà des secteurs liés aux sciences).
- Un investissement en sciences dans leurs propres vies, au-delà des murs de la classe, en devenant des créateurs et des consommateurs critiques et en utilisant leurs connaissances et leurs compétences à leur bénéfice et à celui de la société.
- L'acquisition d'un capital social lié aux sciences (réseaux, liens et rencontres avec diverses « personnes scientifiques »).

La capacité d'action scientifique à bon escient

57. La **capacité d'action scientifique à bon escient** veut essentiellement dire l'utilisation des connaissances scientifiques et de l'expertise partagée pour redresser divers torts sociaux (Schenkel et autres, 2019a). Cette notion a été mise au point à la suite de travaux empiriques d'envergure effectués notamment auprès de jeunes issus de collectivités historiquement sous-représentées en sciences (Schenkel et Calabrese Barton, 2020; Schenkel et autres, 2019b). Les résultats démontrent que le fait de favoriser la capacité d'action scientifique à bon escient chez les jeunes produit des bénéfices importants pour eux et leurs collectivités, tout en encourageant l'adoption de méthodes pédagogiques plus équitables et inclusives en sciences.

58. La capacité d'action scientifique à bon escient repose sur celle d'utiliser les connaissances scientifiques dans la prise de décisions et l'action, mais aussi sur les éléments suivants : (i) l'enchâssement d'enjeux dans un cadre de justice sociale et la mise de l'avant de l'autonomisation et de l'équité; (ii) l'intégration et la valorisation de l'élargissement des connaissances et de l'expertise communautaires en parallèle avec celles de nature canonique; (iii) la compréhension du rôle de la capacité d'action scientifique à bon escient dans la restructuration des sciences normatives et archétypales (la capacité des jeunes d'user de sens critique pour rendre des pratiques et modes de connaissance scientifiques plus équitables et inclusifs).

59. Parmi les autres éléments de la capacité d'action scientifique à bon escient qu'il serait extrêmement souhaitable de transmettre aux jeunes figurent :

- Le fait pour eux de dire qu'ils utilisent leurs expériences d'apprentissage scientifique et qu'ils créent de la valeur à partir d'elles de manières diversifiées, mais surtout pour corriger les inégalités sur les plans sociétal, social et environnemental.
- Le fait pour eux de s'être servis de sciences dans leur quotidien pour réagir à des enjeux ou questions qui les préoccupent et de savoir qu'ils peuvent faire partie des « solutions » aux échelles tant individuelle que collective.
- Le fait pour eux d'être des consommateurs et des créateurs scientifiques qui exercent leur jugement.
- Le fait pour eux de sentir que leur identité, leurs connaissances et leurs expériences culturelles sont valorisées et respectées dans un cadre scientifique.
- Le fait pour eux de comprendre le rôle des sciences au chapitre des injustices actuelles et passées, et de savoir comment ces injustices sont ou peuvent être redressées.
- Le fait pour eux d'intégrer les sciences dans leur boîte à outils intellectuels.

Les expériences et pratiques scientifiques inclusives

60. Pour être réussie, l'éducation en sciences devrait s'attaquer aux « écarts »¹ entre groupes sociaux (établis en fonction de la « race », de la classe, du sexe, de l'orientation sexuelle, de la religion, des handicaps, de l'ethnicité, etc.) au lieu de créer ou d'amplifier les inégalités entre eux en ce qui a trait aux connaissances, aux compétences et à l'identité scientifiques. Les jeunes de tous les horizons doivent tous sentir que la science « est pour eux ». On devrait évaluer le rendement et le succès des systèmes en examinant leur capacité de changer et d'améliorer activement et rapidement les modèles d'acquisition de connaissances, de capacité d'agir et d'inclusion. En plus de la solution au manque de résultats sociaux apportée par les volets de la capacité d'action scientifique à bon escient et du capital scientifique, on pourrait aussi vouloir pour tous les élèves :

¹ Le terme « écarts » est utilisé ici avec circonspection. Bien qu'il soit largement utilisé et compris dans le contexte des politiques en éducation, il est aussi controversé, parce qu'il réifie la notion de différence et la traite dans l'optique d'un déficit, tout en escamotant les facteurs qui l'ont entraînée. Un terme plus adéquat pourrait être celui proposé par Ladson-Billings (2006) : la « dette » éducative, qui explique l'impact de l'inégalité des ressources et des injustices qui séparent les élèves privilégiés de ceux issus de collectivités minorisées (racisées, à faibles revenus, etc.).

- des ressources (pédagogiques, matérielles, sociales et numériques), des possibilités, des contextes et des expériences leur permettant de bien apprendre et réussir en sciences;
- des milieux d'apprentissage inclusifs en sciences;
- des rencontres avec un échantillonnage étendu et diversifié de scientifiques et de représentations des sciences dans le cadre de leurs activités scolaires normales;
- le fait de se sentir en sécurité, respectés, valorisés et inclus en sciences.

Éthique et valeurs

61. Ce volet s'arrime à certains aspects de la dimension des compétences (p. ex. comprendre les limites de la science et utiliser des connaissances scientifiques dans la prise de décisions et de mesures), mais est toutefois plus explicite.

62. La pratique scientifique ne doit pas s'isoler de l'éthique et des valeurs sociales. La connaissance des liens entre ces dernières et la démarche scientifique (connaissances, méthodes, pratiques et résultats) devrait être un acquis chez tous les jeunes de 15 ans.

Dernières réflexions

63. L'éducation en sciences a le potentiel de soutenir et d'outiller les jeunes en leur transmettant les connaissances, les compétences et l'identité qui leur permettront à eux, à leur collectivité et à leur société de relever de nombreux défis au cours des décennies à venir. La mesure dans laquelle les jeunes peuvent s'investir avec discernement dans le savoir et les compétences scientifiques et les utiliser hors des murs de la classe revêtira de l'importance non seulement pour eux sur le plan individuel, mais aussi pour la santé, l'équité et la prospérité des sociétés du monde entier.

64. Le sondage qualitatif décrit aux annexes 1 et 2 montre qu'il y a un consensus international sur les facteurs du domaine scientifique qui influenceront le monde dans lequel les jeunes évolueront d'ici 10 ou 15 ans. En analysant ces facteurs, en les explorant et en en discutant, le GEVS a pu enrichir ses connaissances, son expertise et les résultats de ses travaux de manière à pouvoir créer la vision dont il est question aux présentes.

65. Le GEVS soumet que le cadre d'évaluation en sciences du PISA pourrait être considérablement actualisé par l'élargissement de deux compétences existantes, l'addition de deux nouvelles compétences, l'introduction de trois nouveaux champs de connaissances, ainsi que l'ajout d'une nouvelle dimension assortie de sous-dimensions. Si cette proposition semble ambitieuse, elle est motivée par les innovations dans le domaine des sciences, de même que par les enjeux sociaux et environnementaux croissants auxquels les jeunes sont actuellement confrontés.

Références

- Adams, J. (1995). *Risk*. London, UCL Press Ltd.
- Allchin, D. (2012). « Teaching the nature of science through scientific errors. » *Science Education* 96(5), 904–926.
- Allchin, D. (2012). « The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. » *Science & Education* 21(9), 1263–1281.
- Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B. et 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.
- Archer, L., Dawson E., DeWitt, J., Seakins, A. et 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., Dawson, E., DeWitt, J., Godec, S., King, H., Mau, A., Nomikou, E. et Seakins, A. (2017). « Using Bourdieu in practice? Urban secondary teachers’ and students’ experiences of a Bourdieusian-inspired pedagogical approach. » *British Journal of Sociology of Education*. Publié en ligne : <http://dx.doi.org/10.1080/01425692.2017.1335591>.
- Bennett, P. and Calman. K. Eds. (2000). *Risk communication and public health*. Oxford, UK, Oxford University Press.
- Barron, 2006. « Interest and Self-Sustained Learning as Catalysts of Development: A Learning Ecology Perspective. » *Human Development* 49(4), 193–224.
- Breakstone, J., McGrew, S., Smith, M., Ortega, T. et Wineburg, S. (2018). « Why we need a new approach to teaching digital literacy. » *PHI DELTA KAPPAN* 99, 27–32.
- Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of human development: Experiments by nature and design*. Cambridge : Harvard University Press.
- Calabrese Barton, A. et Tan, E. (2010). « We Be Burnin’! Agency, Identity, and Science Learning. » *Journal of the Learning Sciences* 19(2), 187–229.
- Calude, C.S. et Longo, G. (2018). « The Deluge of Spurious Correlations in Big Data. » *Foundations of Science* 22, 595–612.
- Carlone, H., Scott, C. M. et Lowder, C. (2014). « Becoming (less) scientific: A longitudinal study of students’ identity work from elementary to middle school science. » *Journal of Research in Science Teaching* 51(7), 836–869.
- Caspersen, M., Gal Ezer, J., McGettrick, A. et Nardelli, E. *Informatics as a fundamental discipline for the 21st century*. Communication of the ACM, 62(4), April 2019. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3310330>
- Danielsson, A. T. (2009). *Doing Physics—doing Gender: An Exploration of Physics Students’ Identity Constitution in the Context of Laboratory Work*. Uppsala : Acta Universitatis Upsaliensis.
- Dweck, C. S. et Leggett, E. L. (1988). « A social-cognitive approach to motivation and personality. » *Psychological Review* 95(2) 256–273. DOI : 10.1037/0033-295X.95.2.256
- Erduran, S. et Dagher, Z. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education: scientific knowledge, practices and other family categories*. Dordrecht : Springer.

- Erduran, S. et Mugaloglu, E. Z. (2013). « Interactions of economics of science and science education: investigating the implications for science teaching and learning. » *Science & Education* 22, 2405–2425.
- Godec, S., King, H., Archer, L., Dawson, E. et Seakins, A. (2018). « Examining Student Engagement with Science Through a Bourdieusian Notion of Field. » *Science & Education* 27(5/6), 501–521.
- Godec, S., King, H. et Archer, L. (2017). *The Science Capital Teaching Approach: engaging students with science, promoting social justice*. Londres : University College London.
- Ladson-Billings, G. (2006). « From the achievement gap to the education debt: Understanding achievement in US schools. » *Educational Researcher* 35(7) 3–12.
- Levinson, R. (2018). « Realising the school science curriculum. » *The Curriculum Journal* 29(4), 522–537.
- Matthews, M. (2014). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht : Springer.
- Matthews, M. R. (2015). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science: 20th Anniversary Revised and Expanded Edition*. New York : Routledge.
- Moote, J. and Archer, L. (2020a). « Science capital or STEM capital? Exploring relationships between science capital and technology, engineering, and maths attitudes and aspirations among young people aged 17/18. » *Journal of Research in Science Teaching*. (Sous presse.)
- Moote, J., Archer, L., DeWitt, J. et MacLeod, E. (2020b). « Comparing students’ engineering and science aspirations from age 10 to 16: Investigating the role of gender, ethnicity, cultural capital, and attitudinal factors. » *Journal of Engineering Education* 109(1) 34–51.
<https://doi.org/10.1002/jee.20302>
- Moote, J., Archer, L., DeWitt, J. et MacLeod, E. (2019) « Who has high science capital? An exploration of emerging patterns of science capital among students aged 17/18 in England. » *Research Papers in Education*. DOI : 10.1080/02671522.2019.1678062
- Nardelli, E. *Do we really need computational thinking?* Communication of the ACM, 62(2), février 2019. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3231587>
- Nardelli, E. *Informatics, the third power revolution and its consequences*, Broadband4Europe, avril 2018.
- Nardi, B. A. et O’Day, V. L. (1999). *Information Ecologies: Using technology with heart*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/books/information-ecologies>
- Nasir, N.S. et Hand, V. (2008). « From the Court to the Classroom: Opportunities for Engagement, Learning, and Identity in Basketball and Classroom Mathematics. » *Journal of Learning Sciences* 17, 143–179.
- OCDE (2012). *Le cadre d’évaluation de PISA 2009 : Les compétences clés en compréhension de l’écrit, en mathématiques et en sciences*. PISA, Éditions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264075474-fr>
- Pea, R. D. (1993). « Practices of distributed intelligence and designs for education. » In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions* (47–87).

Schenkel, K. et Calabrese Barton, A. (2020). « Critical science agency and power hierarchies: Restructuring power within groups to address injustice beyond them. » *Science Education*. <https://doi.org/10.1002/sce.21564>.

Schenkel, K., Calabrese Barton, A., Tan, E., Nazar, C. R., González, M. D. et Flores, D. (2019b). « Framing equity through a closer examination of critical science agency. » *Cultural Studies of Science Education* 14(2), 309–325. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09914-1>

Shanahan, M. C. (2009). « Identity in science learning: Exploring the attention given to agency and structure in studies of identity. » *Studies in Science Education* 45(1), 43–64.

Tolstrup-Holmegaard, H., Møller Madsen, L. et Ulriksen, L. (2014). « To Choose or Not to Choose Science: Constructions of desirable identities among young people considering a STEM higher education programme. » *International Journal of Science Education* 36(2), 186–215. DOI : 10.1080/09500693.2012.749362

Annexe 1 — Méthodologie de la phase de visualisation stratégique

66. La présente annexe décrit la phase de visualisation stratégique (PVS) de l’élaboration du cadre d’évaluation de PISA 2025, et constitue le livrable E du second mandat principal à cette fin. Pour ce faire, on a adopté une approche à quatre volets impliquant deux groupes consultatifs : le Groupe d’experts en visualisation stratégique (GEVS) et le Groupe-conseil d’experts en sciences (GCES). Le produit final de la PVS sera un document d’orientation stratégique qui sera présenté en mars ou en avril 2020 dans le cadre d’une rencontre du CDP.

67. Le GEVS compte 12 membres. Les professeurs Louise Archer et Jonathan Osborne ont été nommés coprésidents du Groupe. Voici la liste complète des membres :

Nom	Organisation	Pays
Professeur Digna COUSO	Universitat Autònoma de Barcelona	Espagne
Professeure Sibel ERDURAN	University of Oxford	Multiples
Monsieur Jasper Green, docteur en sciences de l’éducation	University College London	Royaume-Uni
Sir John HOLMAN	University of York (R.-U.)	Royaume-Uni
Professeure Maria LEMOS	University of Michigan	Brésil
Madame Bethanie MAPLES	Stanford University	Nouvelle-Zélande/États-Unis
Professeur Enrico NARDELLI	Sapienza Università di Roma (informatique)	Italie
Professeur Graham ORPWOOD	Université York (Canada)	Canada
Professeur Saul PERLMUTTER	University of California, Berkeley	États-Unis
Madame Bonnie Schmidt, docteure en physiologie	Parlons sciences	Canada
Professeure Louise ARCHER	University College London	Royaume-Uni
Professeur Jonathan OSBORNE	Stanford University	États-Unis/Royaume-Uni

68. Deux autres membres du groupe (de l'Inde et de la Chine) n'ont pu participer, pour des raisons personnelles dans un cas, et à cause des restrictions de déplacement attribuables à la COVID-19 dans l'autre.

69. Le GCES se compose quant à lui de représentants de divers organismes ayant des opinions sur les trajectoires futures dans le monde scientifique, ainsi que sur les exigences de ces trajectoires envers l'éducation des années à venir. Ces représentants proviennent de milieux où on dispose des connaissances et de l'expertise dans plusieurs domaines, comme la biologie, la chimie et la physique, sont issus de petites et de moyennes entreprises ou de grandes multinationales qui évoluent dans des secteurs liés aux sciences, aux technologies, à l'ingénierie ou aux mathématiques (STIM), ou encore, font partie de regroupements professoraux, professionnels, pédagogiques, décisionnels, gouvernementaux, d'évaluation, communautaires ou axés sur l'équité dans les STIM.

70. La PVS s'est déroulée en quatre stades, dont voici la description.

71. Au stade 1 (Entrée en matière), un sondage qualitatif envoyé au GCES a produit environ 400 réponses. Le sommaire de ce sondage apparaît à l'annexe 2 (le rapport complet est disponible sur demande). Une analyse initiale des résultats a permis d'établir les cinq sujets de discussion et d'exploration par le GEVS.

72. Pour le deuxième stade (Synthèse), une rencontre de trois jours a été organisée. Le premier jour, des professionnels ont fait valoir leurs opinions au chapitre de l'éducation. Ces opinions ont été notées par deux des membres du Groupe en vue de discussions futures. Le deuxième jour, 21 panélistes se sont exprimés vis-à-vis des cinq sujets cernés par l'intermédiaire du sondage, et ont répondu aux questions des membres du GEVS. Le troisième jour, ce dernier s'est réuni pour créer la première ébauche du document d'orientation stratégique.

73. Au troisième stade (Validation), un sondage quantitatif sera présenté au GCES dans le but d'obtenir de ses membres des avis concernant certains des aspects du document d'orientation stratégique.

74. Finalement, au quatrième stade (Publication), le document d'orientation stratégique sera remis au CDP qui en discutera dans le cadre de sa réunion de mars ou d'avril 2020. Une version définitive du document d'orientation stratégique sera ensuite publiée et transmise au GES afin qu'il puisse entreprendre l'actualisation du cadre d'évaluation.

Annexe 2 — Sondage qualitatif présenté au Groupe-conseil d'experts en sciences

Méthodologie

75. Un sondage étendu a été envoyé au Groupe-conseil d'experts en sciences, composé de professionnels issus de nombreux pays et secteurs de l'industrie. Ses membres ont répondu à six questions ouvertes leur permettant d'émettre des opinions riches et étoffées. En analysant les données, on a relevé des thèmes communs qu'on a ensuite pu quantifier au moyen de cadres de référence, comme on le ferait pour des analyses de sondages qualitatifs.

Principaux constats pour chaque objectif de recherche

Objectif de recherche 1. Quel devrait être le but fondamental de l'éducation en sciences? Ce but est-il en train de changer? Le cas échéant, de quelle manière?

76. Les répondants ont décrit le but fondamental de l'éducation en sciences comme impliquant la transmission d'« intrants pédagogiques » dans l'espoir d'atteindre les « résultats souhaités ». Les intrants en question étaient très variés, allant de l'enseignement des connaissances scientifiques de base au développement de compétences cognitives d'ordre supérieur, comme la capacité de pensée critique, les aptitudes en communication et la créativité, par exemple. Les résultats souhaités étaient également diversifiés; en gros, on pourrait les décrire comme des moyens d'instaurer une « justice sociale » permettant à tous de devenir des citoyens actifs. Les participants ont nommé des résultats appartenant aux catégories suivantes :

- les résultats personnels, c.-à-d. développer une compréhension du monde permettant à la personne d'y participer pleinement;
- les résultats sociétaux, c.-à-d. acquérir des compétences permettant d'aborder des enjeux sociétaux, y compris l'inégalité;
- les résultats environnementaux, c.-à-d. développer une compréhension des aspects scientifiques des changements climatiques de manière à pouvoir dans l'avenir disposer des connaissances requises pour gérer cette urgence.

77. Les répondants ont aussi déclaré qu'ils estimaient que le rôle de l'éducation en sciences se transformait, et qu'on devait accorder plus d'importance aux compétences qu'à l'apprentissage et la mémorisation de faits.

Objectif de recherche 2. Dans quelle mesure estimez-vous que l'éducation en sciences prépare actuellement les jeunes au monde du travail et à devenir des citoyens actifs dotés d'une bonne culture scientifique?

78. Bien que les répondants aient cru qu'il était difficile de généraliser, dans de nombreux cas, ils considéraient que l'éducation actuelle ne préparait pas bien les apprenants à ces éventualités. Quarante pour cent d'entre eux ont qualifié la préparation de négligeable, tandis que 30 % estimaient que l'éducation en sciences ne préparait les jeunes que dans une faible mesure.

79. La principale lacune perçue par les répondants était l'importance excessive accordée à l'apprentissage du contenu ou à la mémorisation de connaissances dans le but de réussir des examens normalisés, de même que le manque d'importance accordée aux compétences cognitives d'ordre supérieur et à la culture scientifique plus large, jugée comme étant essentielle à une participation active au sein de la société.

80. Les répondants ont par ailleurs reconnu que les concepts fondamentaux de la science, pierres d'assise des apprentissages futurs, étaient bien transmis, mais n'étaient pas suffisamment développés par la suite.

Objectif de recherche 3. Selon vous, quels aspects de l'éducation actuelle en sciences fonctionnent bien ou mériteraient d'être améliorés? Sur quels éléments aimeriez-vous qu'on mette davantage d'accent?

81. Comme on peut le constater à la lecture du sommaire des réponses de l'objectif 2, la principale lacune perçue se situe au niveau de la priorisation des connaissances par rapport aux compétences. Dans cet esprit, les répondants proposent plusieurs changements au chapitre de l'enseignement des sciences :

- ils suggèrent notamment de modifier les approches pédagogiques de façon à insister davantage sur les compétences cognitives et l'application des connaissances sous forme d'expériences ayant des liens clairement établis avec le monde réel et créant des occasions d'apprentissage transversal;
- les répondants souhaitaient également qu'on insiste sur une justice sociale qui pourrait être favorisée par une plus grande participation en sciences, par plus de possibilités de carrière, par de meilleurs liens entre les établissements scolaires et les entreprises, de même que par la promotion d'un amour plus marqué pour les sciences;
- des modifications aux programmes d'études et au contenu à transmettre, qu'on estime souvent être trop large (l'étendue semble être favorisée par rapport à la profondeur), dépassé et généralement trop déconnecté de nombreuses compétences nécessaires à la réussite en STIM;
- certains répondants ont aussi déclaré vouloir qu'on mette plus d'accent sur l'innovation et l'évolution, qu'il s'agisse de la situation climatique (mentionnée comme une urgence par bon nombre de répondants), technologique (l'importance croissante des données, p. ex.) ou sociétale (les impacts de la mondialisation, p. ex.).

Objectif de recherche 4. Pourriez-vous suggérer des changements à apporter à l'éducation en sciences pour recruter une main-d'œuvre plus diversifiée sur le plan du sexe, de l'ethnicité et des antécédents socioéconomiques?

82. Les répondants ont proposé de nombreuses solutions possibles pour diversifier la main-d'œuvre en STIM, dont les suivantes :

- présenter des modèles positifs à suivre à tous les groupes minoritaires en augmentant notamment la visibilité des professionnels en sciences de leurs milieux, veiller à marquer les réussites de scientifiques issus de groupes sous-représentés, et faire en sorte de manière générale que le corps enseignant soit diversifié au chapitre du sexe, de l'ethnicité et des antécédents socioéconomiques;
- de nombreux répondants estimaient que le passage d'une approche d'enseignement fondée sur les connaissances/le contenu à une pédagogie axée sur l'application des sciences et l'expérimentation pourrait aussi être bénéfique en ce qu'il permettrait d'augmenter les taux de participation en rendant ces dernières plus attrayantes, une telle pédagogie étant jugée comme mieux apte à promouvoir la culture scientifique;

- les répondants ont suggéré que le corps professoral actuel soit soutenu et formé de façon à aider les enseignants à comprendre comment mieux appuyer les personnes issues de groupes minoritaires, qu'il s'agisse d'une formation particulière ou simplement d'une aide accordée pour alléger leur fardeau quotidien de manière à leur permettre de mieux gérer cet enjeu;
- parmi les autres suggestions figurent la création de liens plus étroits entre les écoles et les entreprises afin de sensibiliser les élèves aux carrières en STIM, l'introduction de contenu conçu pour intéresser une population étudiante diversifiée, et la mise sur pied de programmes ciblés offrant la possibilité de faire l'expérience des sciences hors des murs de l'école.

Objectif de recherche 5. Selon vous, l'éducation en sciences devrait préparer les jeunes à relever quels défis professionnels et sociétaux après 2030? Quelles nouvelles compétences devraient-ils développer?

83. En se projetant au-delà de l'an 2030, les répondants prévoient de rapides changements sur les plans sociétal, technologique et environnemental, faisant en sorte qu'il soit difficile, voire impossible, de déterminer de quoi les jeunes auront alors précisément besoin. Ils ont plutôt parlé de grands ensembles de compétences qui permettraient à ces derniers de s'adapter à divers impondérables. Leurs réponses peuvent être classées en trois groupes :

- Le développement de compétences cognitives d'ordre supérieur qui favorisent l'adaptabilité individuelle. Les répondants ont jugé que cela était absolument essentiel pour assurer que les jeunes s'épanouissent dans un avenir où tout se transforme très rapidement. On a notamment nommé des compétences comme l'adaptabilité mentale, la pensée critique et la créativité, de même que des aptitudes en communication et en résolution de problèmes.
- Un recentrage sur la justice sociale, un accroissement de la participation dans les sciences et une lutte contre l'inégalité. Les répondants ont aussi mentionné que la science pouvait jouer un rôle clé en ce qui a trait à la promotion de la justice sociale. Dans un monde de plus en plus complexe et habité par la technologie, les personnes ayant peu de culture scientifique ne pourront participer autant que celles qui en connaissent les démarches.
- La préparation à l'innovation et au changement. Les répondants ont hésité à faire des prévisions exactes quant aux changements et défis auxquels les apprenants seront confrontés en 2030 et plus tard, mais certains grands thèmes sont quand même ressortis. La problématique la plus souvent citée a été l'imminente urgence climatique, qui engendre un besoin pressant de mieux comprendre les sciences de l'environnement. Les avancées technologiques comme l'intelligence artificielle, l'apprentissage machine et l'automatisation ont aussi été citées comme étant fort susceptibles de transformer la main-d'œuvre et la vie en général. Finalement, on semble penser que des percées en sciences biomédicales prendront de plus en plus d'importance.

Objectif de recherche 6. Quels seraient les trois changements que vous recommanderiez en ce qui concerne les politiques ou dépenses futures au chapitre de l'éducation en sciences?

84. Les répondants ont suggéré quatre grandes formes d'aide gouvernementale susceptible de soutenir les sciences en général :

- Le recrutement et la rétention d'enseignants, et l'élimination des obstacles à une éducation de qualité supérieure. En guise d'intervention gouvernementale, on a le plus souvent cité le fait d'offrir aux enseignants de nombreuses possibilités de formation pédagogique tout au long de leur carrière, le recrutement de spécialistes en sciences, la réduction de la bureaucratie (au bénéfice de l'enseignement en tant que tel), ainsi que l'emploi de scientifiques dans les processus décisionnels liés à la transmission de ces matières dans les écoles.
- Un financement adéquat pour les programmes de sciences et l'achat des outils nécessaires pour l'enseignement et l'apprentissage de ces matières. De nombreux répondants ont parlé de la nécessité d'obtenir les fonds requis pour enseigner les sciences. Sans ces fonds, ils estimaient qu'il serait impossible d'appliquer les connaissances et de réaliser des expériences, ce qui leur semblait essentiel au développement d'une culture scientifique.
- Une modification des programmes d'études et des examens/évaluations. D'autres répondants ont fait état du besoin de revoir les programmes de sciences, très souvent perçus comme étant dépassés, trop généraux et conçus pour privilégier les connaissances au détriment des compétences. Dans le même ordre d'idées, certains estimaient qu'il fallait aussi revoir les systèmes d'évaluation actuels qui, selon eux, ne favorisent pas un enseignement/apprentissage efficace des sciences en s'axant principalement sur les connaissances, sans tenir compte des compétences.
- La mise en œuvre de stratégies visant à élargir la participation dans les sciences. Le dernier thème qui est ressorti est celui de la création par le gouvernement d'un programme concerté ayant pour objectif d'augmenter la participation dans les sciences. Ceux qui en ont parlé l'ont jugé essentiel à la réussite dans un monde complexe et en rapide évolution.

Annexe 3 — L'informatique

85. L'informatique, soit la science des systèmes numériques, fournit et développe les connaissances scientifiques nécessaires à leur construction, qui existent indépendamment des ordinateurs. Ils traitent les données automatiquement et mécaniquement, et influencent le monde physique (on peut notamment penser à un système capable d'identifier un criminel réel ou potentiel, ou de décider si une personne est coupable ou mérite certains avantages sociaux). Ces systèmes contiennent des connaissances (exprimées par les données et leurs règles de traitement) qui, contrairement à celles qu'on retrouve dans des livres, sont « exploitables », c'est-à-dire qu'elles peuvent être mises en action sans que l'utilisateur en soit conscient ou comprenne le sens ni des données ni des règles de traitement (Nardelli, 2018). Même sans cette conscience, les systèmes peuvent remplacer les humains dans de nombreux emplois axés sur les connaissances, et ce, sans avoir leur souplesse et leur capacité d'apprendre. Voici quelques exemples pertinents de champs de connaissances en informatique :

- la représentation et la modélisation de données;
- les automates (modèles computationnels);
- les algorithmes;
- les programmes/langages de programmation;
- la calculabilité;
- la complexité;
- la simultanéité et le traitement parallèle/réparti.

86. Tous les jeunes devraient apprendre ces fondements pour devenir des membres actifs de leurs collectivités. Le GEVS a déterminé que l'informatique devait être un champ de connaissances principal, puisqu'elle favorise la préparation des jeunes à une ère de plus en plus numérique, tout en rehaussant leur compréhension des processus scientifiques.

87. Ceci s'ajoute aux récentes modifications apportées au cadre d'évaluation en mathématiques de PISA 2021, où on exprime le besoin d'intégrer la notion de pensée computationnelle. En ce qui a trait aux mathématiques seulement, les compétences en pensée computationnelle sont décrites comme étant la reconnaissance de régularités, la faculté d'abstraction, la décomposition, le choix d'outils informatiques (le cas échéant) pour analyser ou résoudre un problème, et la définition d'algorithmes comme faisant partie d'une solution détaillée. Cette intégration de la pensée computationnelle en mathématiques vient appuyer la proposition du GEVS quant à son incorporation dans le cadre d'évaluation en sciences. Dans tous les domaines, il importe d'examiner les connaissances et les compétences les plus pertinentes en culture des données pour faire en sorte que les jeunes soient préparés à évoluer dans un monde où ces dernières domineront.

88. De nombreuses compétences liées à l'informatique pourraient être considérées pour le cadre d'évaluation en sciences de PISA 2025 :

- comprendre qu'en présence de machines, il faut exprimer les algorithmes en langage clair;
- reconnaître que les algorithmes peuvent régler des problèmes;
- pouvoir discuter de l'exactitude d'un algorithme;
- comprendre la nature des problèmes qui requièrent une solution algorithmique;
- pouvoir évaluer l'efficacité et l'exactitude d'algorithmes simples;
- pouvoir décrire, mettre en œuvre et valider des programmes et des systèmes qui modélisent ou simulent des procédés physiques simples ou familiers qui se déroulent dans le monde réel ou sont étudiés dans d'autres disciplines;

- savoir quand la programmation pourrait mener à une solution pratique à un problème donné;
- reconnaître que la manière de représenter et d'organiser les données influence l'efficacité et l'efficacité des calculs;
- connaître les principes architecturaux (physiques et fonctionnels) de base d'un système informatique;
- reconnaître les mécanismes fondamentaux par l'intermédiaire desquels les systèmes informatiques communiquent et fournissent des services sur les réseaux.