

mines & carrières

N° 288
février 2021
166^e année

Extrait de
m&c

DOSSIER

Enjeux de la formation dans l'industrie minérale



Enjeux de la formation dans l'industrie minérale

Les besoins en matières minérales à l'échelle planétaire sont en pleine croissance depuis plusieurs décennies. Et ce n'est pas fini. Ce qui se traduit, aujourd'hui, par le fait que les métiers exercés dans l'industrie minérale soient "sous tension". Le dossier consacré aux "enjeux de la formation dans l'industrie minérale" s'ouvre sur ce contexte (p.55). Cette croissance, combinée à la transition énergétique, génère de grands besoins en compétences techniques. Face à la mauvaise image qu'a l'opinion publique des métiers de l'industrie minérale et face à la désaffection pour les filières techniques, les acteurs de l'enseignement supérieur font force d'évolution. Ce qui se comprend à la lecture du second article de ce dossier, émanant de la chaire Industrie minérale & territoires (p.59), et des deux suivants construits dans la poursuite de la réflexion première (p.66 et p.68).

Le numérique et les innovations technologiques, familiers aux jeunes générations, font leur entrée tant dans la formation initiale que lors de l'exercice de la profession dans l'industrie minérale connec-

tée. Sur ces points on se référera aux deux articles suivants, portant sur des retours d'expérience d'utilisation de la réalité virtuelle (p.71 et p.75). Enfin, à l'heure de la mondialisation, les métiers de l'industrie minérale s'exercent en partage des cultures. En témoigne la dynamique de formation interne d'un grand groupe, développée dans le dernier article (p.77).

Ce dossier émane des interventions orales de l'atelier technique consacré aux "enjeux de la formation dans l'industrie minérale" qui s'est tenu mercredi 7 octobre 2020 lors de la 69^e édition du congrès-exposition de la Sim à Angers. Guillaume Salvaudon, membre du groupe de travail Formation de la Sim, l'a préparé dès l'amont, l'a animé le jour J et a assuré le suivi jusqu'à la finalisation de ce dossier. Lequel a été réalisé par Camille Saisset qui, en complément, propose de revenir à l'offre actuelle de formation initiale universitaire (p.82) et par alternance (p.85).

Bonne lecture !

55 Nos métiers sous tensions

Par Christian Polak

59 Des innovations en matière de formation des futurs cadres de l'industrie

Par Jean-Alain Fleurisson

66 Bâtir ensemble

Par Christian Polak

68 Quelles compétences pour l'industrie minière en 2021 ?

Par Christian Polak

71 Développer ses *soft skills* via la réalité virtuelle

Par Julien Morice

75 La "smart maintenance" ou comment se passer de formation à la maintenance

Par Jérôme Poulain

77 Adapter la formation aux publics et aux cultures

Par Véronique Tetaz

82 De la rencontre d'étudiants à celle de leurs formations

Par Camille Saisset

85 Des offres de formation initiale par alternance

Par Camille Saisset

Nos métiers sous tensions

Tensions sur l'offre et la demande, "fièvres" sur les "Energy Metals", évolution des technologies... Riche d'un long passé, l'industrie minière se construit un avenir.

Nos industries ont connu un formidable bouleversement avec l'arrivée de la Chine et son appétit à mobiliser les ressources mondiales pour ses besoins gargantuesques. Les productions ont explosé. Sur 20 ans, elles ont doublé pour le cuivre, le nickel... sur 10 ans pour la bauxite, le minerai de fer... Ce développement de la production a radicalement changé la taille de nos mines, de nos carrières, des usines et du transport. L'exploration a redoublé d'activité en fonction de l'évolution des cours des métaux.

La Chine s'éveille et l'industrie minière répond présente

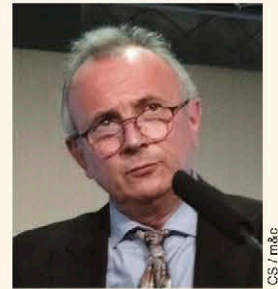
Le fait que l'industrie minière et minérale soit à la base de la croissance chinoise – voire indienne –, constitue un enjeu et une réalité depuis trente ans. Pendant des siècles, la Chine a tenu la pole position du PNB mondial et ce, jusqu'à la révolution industrielle du XVIII^e siècle. Pour l'industrie minière occidentale, la Chine était alors le pays exportateur de céramiques – mais pas de kaolin (qui vient du chinois *gāo lǐng*) – et de zinc. C'est par le tungstène et l'antimoine qu'elle se fait connaître à travers le monde dans les années 1900-1930, avec 30-50 % de la production mondiale. La période Mao donne des statistiques plus mesurées, de l'ordre de 25 % de la production mondiale. Depuis la fin des années 1980, le bond est spectaculaire, avec

plus de 80 % du marché mondial venant de Chine. Cette réalité s'applique également aux terres rares, au magnésium métallurgique, à l'indium et, dans une moindre mesure, au vanadium et au molybdène.

Pour autant, la Chine nous surprendra surtout par sa consommation effrénée depuis la fin des années 1980, avec l'importation massive de métaux nécessaires à la construction de ses infrastructures (photo page suivante). Ce qui se traduit par l'explosion des productions mondiales de différents métaux, tels que la bauxite, le cuivre, le fer et le nickel (figure A).

Entre 1985 et 2017, les deux matières premières industrielles indispensables que sont le charbon et l'acier connurent une progression en tonnage impressionnante, qu'il s'agisse de la Chine ou de l'Inde. Sur le charbon (figure B), ces deux États ont doublé leur part sur le marché mondial (pour atteindre en 2017 respectivement 54 % et 12 %) et multiplié par plus de quatre leur production. La production chinoise en 2017 fut ainsi plus importante que la production mondiale de 1990 !

Sur l'acier (figure C), la part mondiale de la Chine a été multipliée par sept sur cette période 1985-2017, pour atteindre près de 50 % de la production mondiale. La



Christian Polak, ingénieur diplômé de l'ENSG, conseiller sénior du département *Strategy and Business Development* d'Orano Mining. Il préside actuellement le conseil de l'ENSG.

CS / rmkc

DOSSIER

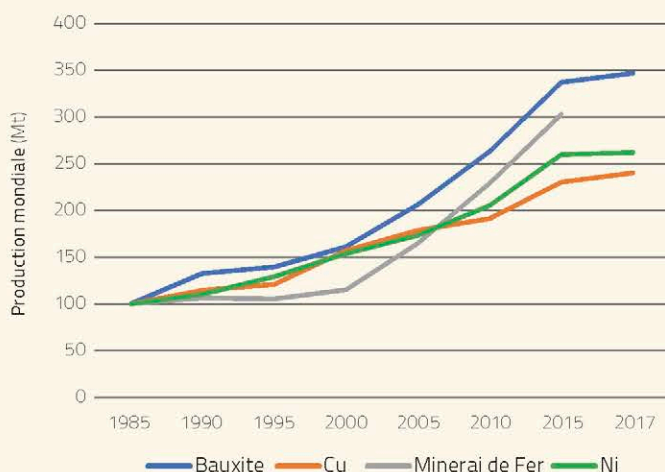


Figure A. Évolution de la production de métaux (bauxite, cuivre, fer et nickel) sur une base 100 établie en 1985 (Réf. BGS).

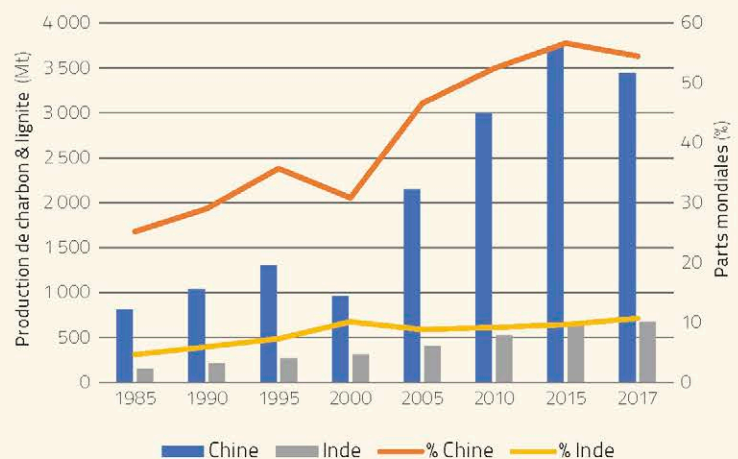
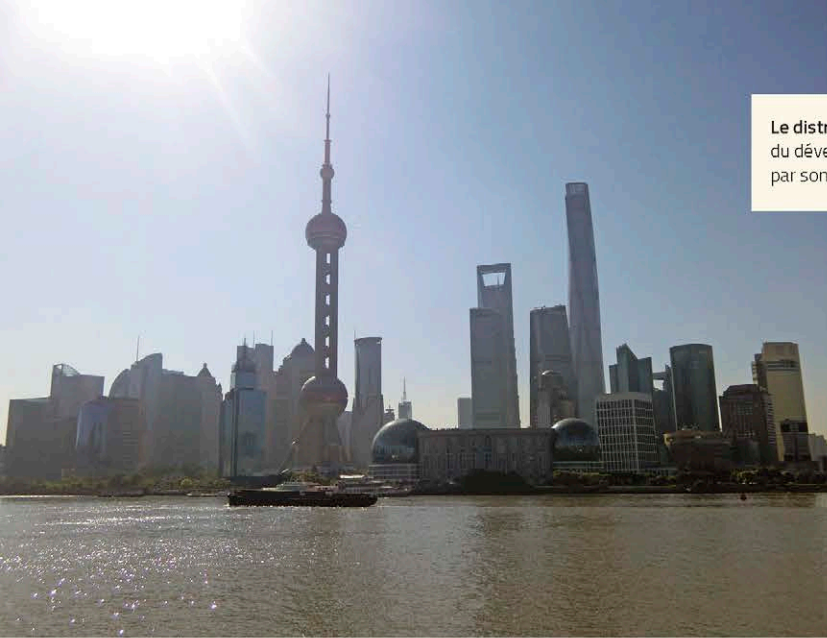


Figure B. Impact mondial de la Chine et de l'Inde sur la production de charbon donc en termes d'effort énergétique (Réf. BGS, USGS).



Le district de Pudong, symbole du développement de la Chine par son gigantisme et ses infrastructures.

C. Poliak

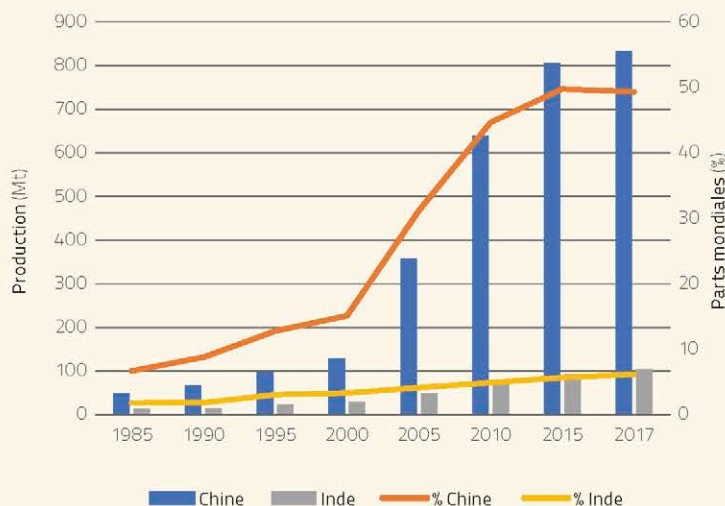
part mondiale de l'Inde a quant à elle été multipliée par trois, pour atteindre tout de même 6 % de la production mondiale en 2017. Sur cette même période, la production de la Chine a été multipliée par 17 et celle de l'Inde par 8. Là encore, les tonnages sont impressionnants : la production chinoise d'acier de 2017 correspond à la production mondiale de l'an 2000 !

Aujourd'hui, selon le rapport mondial de l'énergie 2020 de la société BP, la Chine contribue à 45 % de la croissance mondiale toutes énergies confondues. Elle est suivie par l'Inde et l'Indonésie, tandis que les USA et l'Allemagne connaissent les plus fortes décroissances. Ces chiffres sont vertigineux et montrent qu'en 30 ans, l'industrie minière mondiale a fait un effort, inconnu auparavant, pour produire les matières nécessaires au développement de l'humanité.

Le recyclage, une mine d'un nouveau genre

Ces dernières années, le recyclage semble devenir le cœur des analyses de tous les marchés des matières premières. Disposer de matières premières secondaires issues du recyclage s'avère une nécessité évidente partagée par tous, mais qui reste très insuffisante si notre monde continue sa croissance. Tout dépend en effet

Figure C. Impact mondial de la Chine et de l'Inde sur la production d'acier, donc en termes d'effort de construction des infrastructures (Réf. BGS, USGS).



du "stock métal" (contenu dans les infrastructures) présent dans un pays. Il est très important dans les pays industriels car historique et donc "recyclable" étant donné que nos infrastructures sont déjà matures. Par contre, en témoignent les figures D, le recyclage n'est pas au cœur du système des "pays nouveaux", la Chine et "le reste du monde". Aussi, il convient de faire attention à ce que ces "pays nouveaux" ne réalisent notre recyclage à notre place. Et beaucoup de mines sont encore nécessaires avant que ces pays possèdent un stock de métal décent.

En plus de ces extensions de capacité des mines exploitées et de ces nouvelles mines ouvertes pour répondre à la demande chinoise, des crises surviennent sur certains métaux, que l'on peut qualifier de "fièvres". Elles sont concomitantes à un stress d'origines diverses sur un marché, qui revient à démontrer qu'à terme, il y aura un manque de matières sur ce marché. Revenons ici sur les trois principales fièvres de ces 15 dernières années.

La fièvre sur le marché de l'uranium

La fin de la guerre froide a débouché sur un accord important entre l'Union soviétique et les États-Unis, engendrant un transfert massif des stocks d'uranium



Figure D. Stock métal des pays industriels, de la Chine et du reste du monde (RoW : Rest of the World) sur la période 1900-2010. Avec A, la répartition du stock métal et B, la croissance du stock métal (Réf. <https://www.pnas.org/content/114/8/1880>).

enrichi de qualité militaire à l'industrie nucléaire civile. Ce contrat dit "Megatons to Megawatts", établi sur 20 ans à partir de 1993, a durablement affecté les prix de l'uranium, dans un secteur déjà affecté par l'accident de Tchernobyl en 1986. Sur cette période, on peut en effet estimer qu'environ 20 % des centrales nucléaires américaines, le plus grand parc au monde, ont fonctionné avec du combustible provenant des bombes soviétiques. L'abondance de cette matière rendue bon marché en cette période a eu pour conséquence une forte réduction des dynamiques d'exploration de nouvelles ressources en uranium et une production d'uranium très en recul avec réduction de l'activité minière (figure E).

Dans ce contexte de marché atone, deux coups durs se sont produits au Canada : l'ennoiement accidentel d'une des plus importantes mines d'uranium au monde, celle de McArthur en 2003 puis celle de Cigar Lake en 2006 – occasionnant un démarrage avec huit ans de retard. Puis, au début des années 2000, le besoin énergétique s'est avéré en sensible augmentation, avec le retour ou la "renaissance" du nucléaire amorcée dans les programmes mondiaux, surtout chinois et américains, ce qui, *in fine*, a généré un appel d'air très important de matière fraîchement extraite.

La fin programmée du contrat "Megatons to Megawatts", les accidents miniers et la renaissance du marché sont autant de facteurs ayant généré un stress important sur le marché de l'uranium. Les conséquences furent une envolée des prix et l'implication massive de sociétés *Junior Mining* dans l'exploration de nouvelles ressources en uranium (figure F). Les *Junior Mining* désignent de petites sociétés ou *start-up* dédiées à l'exploration minière. Ainsi, selon SNL Metals & Mining et Orano, plus de 7 milliards US\$ (5,94 Mds €) ont été investis en 2003-2013 dans l'exploration de l'uranium et plus de 800 *Junior Mining* s'y sont engagées. Remarquable et rapide, la réponse de notre industrie !

Malheureusement, la crise financière mondiale de 2008, l'arrivée massive du gaz de schistes aux États-Unis et l'accident de Fukushima au Japon en 2011 ont eu raison de cette dynamique. Mais cet investissement n'a pas été réalisé en vain car si l'on se rapporte au différentiel des ressources des livres rouges de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), sur 2005-2018, quelque 1,3 Mt d'uranium ont été découvertes pour une production mondiale d'environ 60 ktU/an.

La fièvre sur le marché des terres rares

À la fin des années 1990, il semblait clair qu'avec le retrait des deux leaders mondiaux de terres rares – les Américains de Mountain Pass en Californie frappés par des problèmes environnementaux et les Français de Rhône Poulenc à La Rochelle bloqués par la gestion des stocks de thorium générés lors du traitement –, l'arrivée massive de terres rares de Chine inondant le marché mondial et en prenant son contrôle était actée et ne suscita pas vraiment d'émotion des autorités.



Figure E. Impact de l'utilisation du stock d'uranium militaire sur la production minière mondiale (Réf. IAEA et WNA).

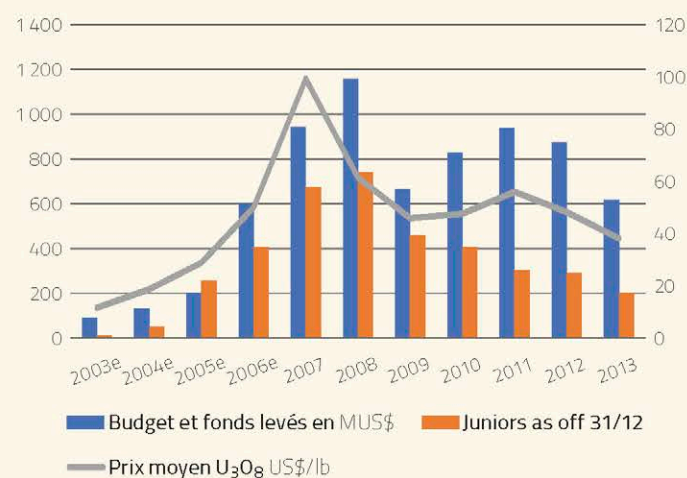


Figure F. Évolution du prix de l'uranium et conséquences sur l'activité de l'exploration durant la période 2003-2013 (Réf. S&P et Orano Mining).

Mais la géostratégie et l'utilisation des terres rares dans des technologies sensibles nous ont rappelé fort à propos notre manque de vision sur le long terme. C'est alors que la revendication par la Chine des quelques îlots de Senkaku au sud du Japon déclenchèrent en 2010-2011 une flambée des prix des terres rares, du fait d'un chantage de la Chine. Là encore, notre remarquable industrie minière et la dynamique des *Junior Mining* ont en peu de temps permis d'identifier de très nombreux nouveaux gisements.

Mais la vague s'est vite estompée, les Chinois ont repris leurs exportations à des prix modérés avec, en conséquence, un très net ralentissement de l'activité et peu de projets miniers ont réellement abouti. Sur un gisement australien, la compagnie Lynas Corporation s'en est heureusement bien sortie après être passée par un stade de quasi-faillite.

La fièvre sur le marché du lithium

Le recours à l'électrique pour la transition énergétique sur le secteur des transports est devenu le sujet phare de l'industrie automobile de notre siècle. Aussi, les batteries Li-ions de type NMC (nickel-manganèse-cobalt), ou LFP (lithium-fer-phosphates) pourraient



C. Polak

Puits d'exploration dans un désert de sel ou salar, en Argentine.



C. Polak

devenir prépondérantes sur le marché. Dans ce contexte, l'industrie minière s'est mobilisée vers deux types de gisements : les salines des déserts des Andes (photos ci-dessus), d'Arizona, du Nevada et de Californie aux États-Unis ; et les pegmatites lithinifères que l'on retrouve notamment en Australie, au Portugal, en République tchèque, au Canada et au Congo. Si jusqu'à présent le lithium n'avait fait que peu l'objet d'exploration, tant les gisements et les mines connus suffisaient aux besoins modestes de consommation, le boom médiatique des batteries a stimulé le marché. En conséquence, les *Junior Mining* se sont mises à identifier des gisements nouveaux ou tout au moins à en caractériser des ressources quantifiées. Mais en parallèle, les mines existantes affichèrent leur possibilité d'augmenter massivement leur capacité. *In fine*, il ne manque pas de lithium et les prix et l'exploration se sont effondrés (figure G).

Le tableau résume ces trois fièvres, soutenues chacune par un boom médiatique. De très nombreuses explorations et gisements nouveaux ou quantifiés ont vu le jour. Et puis, "la vague" est passée : on a assez de métal. En attendant, force est d'admettre que l'industrie

minière a répondu présente ! Mais si flexibilité, rapidité et adaptativité aux cours des matières premières rendent nos entreprises plus vulnérables, il en est de même pour nos personnels. Nous y reviendrons.

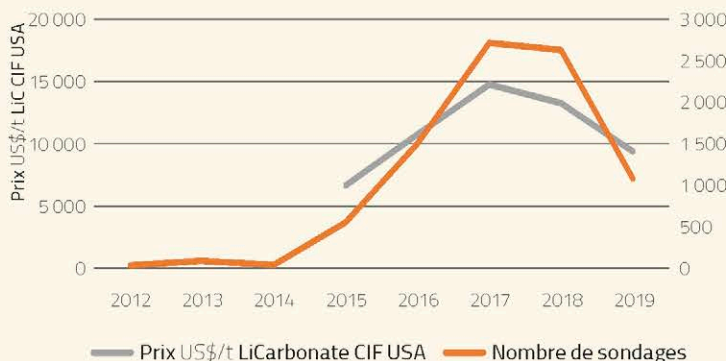
L'exploitation paramétrée

Depuis les années 1990, notre industrie voit continuellement et massivement arriver des logiciels adaptés à la collecte de données, à leur traitement et à leur restitution sous forme de modélisation graphique 3D voire 4D, nous y reviendrons plus loin. Technologies numériques, GPS, satellites (télé-détection), drones ou lidar permettent l'acquisition des données en un temps très court, sur des zones souvent inaccessibles où nous n'irions pas. Ces nouvelles technologies permettent de multiplier et de combiner les échelles d'observation pour les besoins d'exploration, de calcul des ressources, l'exploitation de la mine, le traitement du minerai ou encore la logistique. Désormais, l'heure est à l'intégration des [différents] systèmes. L'offre est de qualité, les résultats impressionnants, la capacité de mémoire redoutable. Désormais, le *datamining* nous entoure !

Les données historiques accumulées deviennent des "mines" d'information que les *datascientists* organisent, et dont ils tirent des trésors de retour d'expérience et de planification future : des plans de sondages, des plans d'exploitation, des courbes d'usure de pièces, des optimisations d'engins (sur le plan de la circulation, du taux d'utilisation, de la maintenance) ou encore des moyens de surveillance de la stabilité des fosses, une gestion optimisée des consommables, une productivité améliorée des puits de pompage (tant pour l'extraction d'hydrocarbures que d'uranium en lixiviation *in situ*), une connaissance accrue de l'environnement et des modalités pour le protéger, une amélioration des conditions de travail des opérateurs, etc.

Ces outils donnent des résultats plus prédictifs, des analyses plus précises. Ils sont élaborés pour corriger nos erreurs, renforcer nos interprétations, développer notre compréhension et, *in fine*, optimiser une exploitation ou un chantier et réduire les accidents. Bref, nous disposons aujourd'hui de moyens pour faire vivre la mine plus longtemps, être plus efficaces, plus productifs, plus économiques, plus rapides et ce, avec plus de sécurité au travail. ■ *Christian Polak*

Figure G. Évolution du prix du lithium et son influence sur l'activité de l'exploration durant la période 2012-2020 (Réf. S&P).



Métal	Période	Junior Mining "Peak"	"Peak" + 5 ans Junior Mining	Nouvelles mines en exploitation
Uranium	2005-2014	~ 820	< 50	< moins de 10 % de la production mondiale
Terres rares	2008-	~ 400	< 20	2
Lithium	2012-	~ 200	?	< 5

Bilan des "fièvres" et estimation des activités des *Junior Mining* (Réf. Orano Mining).

Des innovations en matière de formation des futurs cadres de l'industrie

Des écoles d'ingénieurs historiquement impliquées dans la formation et la recherche dans le secteur de l'industrie minérale font force d'adaptation aux nouveaux enjeux qui se présentent à cette industrie. Elles détaillent ici leur nouvelle offre pédagogique destinée à former les futurs cadres.

Les ressources minérales jouent un rôle central dans la dynamisation économique mondiale, malgré les efforts pour, d'une part découpler la croissance de la consommation de ressources, et d'autre part développer massivement le recyclage. Pour autant, l'extraction des matières premières sera de plus en plus guidée par des facteurs locaux, liés à la prise en compte d'enjeux environnementaux et socioéconomiques [1]. L'enjeu pour les responsables politiques et les dirigeants économiques sera de faire en sorte que les objectifs de développement durable des Nations unies encadrent l'avenir du secteur extractif, en renouvelant notamment les modes de coopération locale [2].

Les principaux enjeux actuels de l'industrie minérale

Dans le contexte mondial actuel de demande croissante en matières premières minérales de plus en plus diversifiées, qu'il s'agisse des ressources minérales traditionnelles ou des nouvelles ressources liées à la transition énergétique et à la transformation numérique, l'industrie minérale doit faire face à de multiples enjeux : techniques et économiques, environnementaux, sociétaux et de ressources humaines.

Les enjeux techniques et économiques, habituels pour l'industrie minière, consistent à répondre aux nouveaux défis des projets miniers. Les gisements futurs seront de plus en plus profonds, de moins en moins riches et dans des environnements géologiques de plus en plus complexes. Leur exploitation nécessitera donc des techniques plus performantes souvent basées sur des technologies avancées, dont la maîtrise nécessitera une formation des personnels de bonne qualité.

Les enjeux environnementaux visent une meilleure intégration des projets d'extraction dans leur environnement physique. Si de tels enjeux sont de mieux en mieux intégrés par les entreprises à travers la mise en place de bonnes pratiques qui permettent de limiter

Contexte de production de cet article

Cet article a fait l'objet d'une présentation orale lors du congrès 2020 de la Sim par son auteur principal, Jean-Alain Fleurisson enseignant-chercheur au centre de géosciences de Mines ParisTech (photo). Il résulte d'une approche collaborative associant : Brice Laurent, enseignant-chercheur au centre de sociologie de l'innovation de Mines ParisTech ; Yann Gunzburger, professeur à l'université de Lorraine – Mines de Nancy et chercheur au laboratoire georesources ; Judith Sausse, directrice de l'ENSG ; Lev Filippov, professeur à l'ENSG et responsable du master international Emerald ; Juliette Cerceau et Noémie Fayol enseignantes-chercheuses au laboratoire de génie de l'environnement industriel de l'IMT Mines Alès ; François Manné, responsable du département ISERM et du mastère spécialisé 2EM et Marc Vinches, professeur, à l'IMT Mines Alès ; et Philippe Kister, secrétaire général de la chaire Industrie minérale & territoires. Qu'ils en soient ici remerciés. Aussi, la responsabilité des partenaires mécènes et adhérents de la chaire Industrie minérale & territoires ne peut en aucun cas être mise en cause en raison du contenu de la présente publication, qui n'engage que ses auteurs.

Ingénieur géologue de l'ENSG et docteur de Mines ParisTech en géologie de l'ingénieur, **Jean-Alain Fleurisson** est enseignant-chercheur au centre de géosciences de Mines ParisTech où, depuis près de 30 ans, il est impliqué dans l'enseignement et dans de nombreux projets de recherche dans les domaines de la géologie de l'ingénieur intégrant les enjeux socio-environnementaux. Il est responsable du mastère spécialisé MIRIS (*Mineral resources industry and society*) qu'il a créé en 2017. Il a contribué à la création du Réseau d'excellence Mine & Société, dont il fut le coordinateur scientifique en 2017-2018, et est membre du comité de pilotage de la chaire Industrie minérale & territoires.





Promotion 2020-2021 du **master spécialisé MIRIS Covid-proof**, en stage de géologie durant une semaine dans le Languedoc à la découverte de l'arc de Saint-Chinian et de la Montagne noire. Observations de terrain (à gauche), suivies d'une synthèse (ci-dessus).

les impacts environnementaux, il sera sans doute nécessaire de développer des approches plus globales à l'échelle des territoires.

Les enjeux sociétaux portent sur les relations entre les parties prenantes des projets de mines et carrières (compagnies, État et société civile) avec l'intention de les améliorer pour que ces projets soient mieux intégrés dans les territoires. Ces enjeux ne sont pas nouveaux, mais ils sont largement amplifiés par les tensions géopolitiques sur les marchés des matières premières minérales et par les attentes désormais incontournables de la société civile.

En effet, celle-ci souhaite être associée aux processus de prise de décisions concernant les ressources du sous-sol en tant que bien commun. Il en résulte des controverses de plus en plus fréquentes autour des projets d'exploration et d'exploitation. Les "solutions" (responsabilité sociale, concertation...) mises en œuvre par les compagnies ou les États sont elles-mêmes controversées.

Les enjeux de ressources humaines, quant à eux, visent l'objectif d'améliorer la qualification et les compétences des employés des entreprises et de l'administration. La formation initiale n'est en effet pas toujours adaptée à la fonction exercée qui, de plus, évolue avec le temps ; ce qui nécessite des adaptations et parfois de recourir à une reconversion professionnelle.

Il est clair d'une part, que seuls des personnels bien formés peuvent produire de l'innovation et la maîtriser, et d'autre part, que prendre de nouvelles responsabilités nécessite de nouvelles compétences. Pour l'administration publique, il est également important d'améliorer les compétences et l'expertise de ses agents afin qu'ils puissent mieux appréhender les enjeux stratégiques futurs de l'industrie minière, mieux évaluer les projets miniers proposés par les compagnies et exercer un meilleur contrôle de la production. *In fine*, afin qu'ils puissent gérer les ressources minières pour un meilleur développement économique du pays.

Pour répondre à ces enjeux et s'adapter aux modifications des contextes économiques, réglementaires, environnementaux et sociétaux, les compétences des métiers des mines et des carrières doivent également évoluer en parallèle.

Accompagner les changements

Pour accompagner ces changements, des acteurs de la formation et de la recherche suivent et formalisent l'évolution de ces compétences. Par exemple, l'Institut national des mines du Québec (INMQ) a publié récemment un cadre de référence des compétences à l'ère du numérique dans le secteur des mines [3]. Il en ressort que l'accompagnement de ces transformations profondes passe notamment par le développement de nouvelles compétences qui restent à définir, à caractériser et à intégrer de manière transversale aux cycles de formation initiale et continue des différents métiers de l'industrie minière.

En effet, les futurs cadres de l'industrie minière devront faire preuve de compétences multidisciplinaires, à la fois dans les domaines techniques, économiques, environnementaux et sociétaux. Ces domaines doivent être abordés de manière systémique, dans une optique d'économie circulaire [4], en intégrant de plus en plus le domaine des sciences humaines et sociales.

C'est ce constat qui a prévalu lors de la création, en 2016, du réseau d'excellence Mine & Société, à l'origine de la chaire de recherche et formation intitulée Industrie minière & territoires¹ lancée en 2020 à

l'initiative des écoles d'ingénieurs historiquement impliquées dans la formation et la recherche dans le secteur de l'industrie minière : Mines Nancy, Mines ParisTech, IMT Mines Alès et l'École nationale supérieure de géologie (ENSG) de Nancy. Cette chaire est à ce jour soutenue par quatre mécènes (le ministère de la Transition écologique, Eramet, Imerys et Orano Mining) et 28 adhérents (entreprises, syndicats, associations, centres de recherches et universités) ².

De nouvelles approches pédagogiques

Illustrons un certain nombre d'approches pédagogiques participant à la transformation de ces compétences, combinant sciences humaines et sociales et sciences de l'ingénieur, développées récemment par ces écoles pour la formation initiale, la formation continue professionnelle et la formation doctorale.

En termes de formation initiale, des enseignements innovants ont été mis en place pour les élèves de troisième année des cycles ingénieurs de l'IMT Mines Alès, de l'ENSG et du master Erasmus Mundus Emerald, de Mines Nancy et de Mines ParisTech. Les voici présentés.

À l'IMT Mines Alès, deux nouvelles options : la carrière connectée et évolutive, et la mine intégrée et responsable

Le département d'enseignement ISERM (Ingénierie du sous-sol et exploitation des ressources minérales) de l'IMT Mines Alès³ a récemment mené une réflexion transversale sur sa maquette pédagogique. Et ce, dans l'objectif de mieux former les futurs cadres de telle sorte qu'en fin d'études, ils soient capables de relever les défis technologiques, environnementaux et sociétaux induits par l'approvisionnement en matières minérales et par l'aménagement du sous-sol et ainsi, de mettre l'activité extractive au service du projet des territoires.

En fin de cursus de l'IMT Mines Alès, deux options sont proposées depuis 2018 aux élèves ingénieurs pour appréhender de manière pragmatique l'intégration des défis technico-économiques dans le contexte territorial et aussi le recours aux outils numériques. Environ vingt-cinq élèves suivent ces options chaque année (photo ci-dessous).

La première option concerne "la carrière connectée et évolutive" (un tiers des effectifs). Elle comprend un cours sur la digitalisation des processus de production et de commercialisation, et la gestion optimisée et systémique d'une unité de production. À cela s'ajoute un projet sur site réel, au cours duquel les élèves doivent proposer différents scénarios numériques visant à optimiser l'exploitation et, sur la base d'une matrice de choix, déterminer le scénario qui leur semble le plus approprié.

Sont étudiés les différents aspects de l'exploitation relatifs à la topographie, l'estimation des ressources, le phasage et la planification, la définition des équipements, la maintenance, la sécurité, les impacts environnementaux et énergétiques, l'interopérabilité et les questions économiques d'investissement et de coûts opératoires. Sur le site, les élèves ont l'occasion d'utiliser et de coupler différentes technologies, en particulier les drones et les lasers terrestres, et bénéficient de l'encadrement de plusieurs fabricants d'équipements.

La seconde option concerne "la mine intégrée et responsable" (deux tiers des effectifs). Elle est mutualisée avec le mastère spécialisé 2EM en exploitation et environnement miniers (voir plus loin). L'objectif de cette option est, entre autres, de former les élèves-ingénieurs au partage des représentations d'un projet d'extraction qu'en ont les différentes parties prenantes, afin de tendre vers sa meilleure intégration territoriale. Cette option aborde également largement la question du recyclage et de l'approvisionnement mixte ressources primaires et secondaires.



Promotion 2020-2021 au département ISERM de l'IMT Mines Alès avec, au centre, le responsable de formation François Manné.

À l'ENSG, trois unités d'enseignement spécifiques : les impacts environnementaux et sociaux ; l'économie et la géopolitique des matières premières minérales ; l'environnement industriel et minier

À l'ENSG⁴, trois cursus portent sur l'industrie extractive : celui des élèves ingénieurs de deuxième et troisième année, le master sciences de la Terre, des planètes et de l'environnement et le master Emerald "Resources engineering" commun avec l'université de Liège en Belgique, l'université technique de Luleå en Suède et l'université technique de Freiberg en Allemagne. Cinquante à soixante étudiants sont inscrits dans ces différentes formations chaque année.

Dans ce cadre, trois unités d'enseignement spécifiques ont été développées. Elles portent sur :

- les impacts environnementaux et sociaux, où l'objectif est de donner aux étudiants la capacité à juger du bien-fondé technologique, environnemental et sociétal de procédés d'extraction et de transformation des ressources minérales, et de développer un esprit critique positif sur ces différents sujets ;
- l'économie et la géopolitique des matières premières minérales, dans le but de permettre aux étudiants de mettre la problématique des matières premières dans une perspective géopolitique mondiale, de connaître les principaux déterminants de la demande en métaux et d'analyser les modalités d'établissement des prix des matières premières minérales ;

- l'environnement industriel et minier, avec l'objectif de permettre aux étudiants de décrire l'état d'un site minier abandonné, d'en estimer les risques et d'envisager les interventions menant à sa remise en état. Il s'agit également de les rendre aptes à monter un dossier administratif lié aux sites miniers en fin de vie.

Dans ces trois domaines, les relations États/entreprises et les problématiques d'éthique et de respect de l'environnement sont également abordées sur la base d'études de cas.

À Mines Nancy, un nouveau module de formation consacré aux impacts environnementaux et sociaux des projets d'aménagement et d'exploitation

En complément du cours d'"économie et géopolitique des matières premières minérales", qui existe depuis de nombreuses années à l'école Mines Nancy⁵, un nouveau cours transversal sur les impacts a été mis en place en septembre 2018, sous la forme d'un module commun à la formation initiale d'ingénieur et aux masters "génie civil et risques" et "génie minier et risques". Il s'agit d'un module de formation aux "impacts environnementaux et sociaux des projets d'aménagement et d'exploitation". De trente à quarante étudiants le suivent chaque année.

L'objectif principal de ce module est de pousser les étudiants à s'interroger sur "l'atterrissage" des projets d'aménagement et d'exploitation du sol et du sous-sol dans le territoire concerné par leur implantation.



L'élément clé pour la formation des géologues

Géologie des ressources minérales

Michel Jébrak
Eric Marcoux



Revue internationale
Québec 88

La Métallogénie, science des gîtes minéraux, est née en France au début du XX^e siècle. Les pays francophones contribuent aujourd'hui significativement à la production de très nombreuses substances. Écrit par deux spécialistes du domaine, *Géologie des ressources minérales* offre une synthèse actualisée des connaissances, orientée vers leur utilisation pratique en exploration. Pour chaque environnement, on trouvera des données sur la géologie, les types de gisements, leur économie, leur genèse et les techniques de prospection.

38 € TTC

Retrouvez
le bon de commande sur
www.lasim.org

668 pages - 290 figures - 70 tableaux - 32 planches couleurs
bibliographie - index minéralogique - glossaire





Seuls des personnels bien formés peuvent produire de l'innovation et la maîtriser. De même, prendre de nouvelles responsabilités nécessite de nouvelles compétences.

Jean-Alain Fleurisson

Contrairement à d'autres cours plus spécialisés, ce nouveau module concerne volontairement tous les projets qui font intervenir le sol et le sous-sol : mines et carrières, génie civil, réseaux énergétiques, etc.

Il s'agit de présenter, sur une durée de 21 heures de cours, les points de vue des différentes parties prenantes et de questionner les enjeux et les solutions de l'intégration des projets dans leur territoire, en insistant sur les dimensions environnementale et socio-économique. Pour ce faire, ce cours fait intervenir des représentants des différentes parties prenantes de tels projets : entreprises, bureaux d'études, administration, société civile. Il fait appel au sens des responsabilités et à l'éthique des futurs cadres, qui seront bientôt en situation de prendre des décisions.

À Mines ParisTech, l'option "affaire publique et innovation"

À Mines ParisTech⁶, l'option "affaire publique et innovation", proposée depuis 2015 aux élèves ingénieurs à partir de la deuxième année, a pour objectif de former les étudiants à la compréhension et à l'analyse des questions politiques soulevées par les projets scientifiques et techniques : concertation avec les parties prenantes, rôle de la régulation, organisation de l'expertise... L'option s'appuie sur les approches théoriques et les méthodes des études sociales des sciences. Dix à quinze étudiants suivent cette option chaque année.

Le dispositif pédagogique donne une grande part à l'enquête de terrain associant chercheurs et étudiants dans l'étude des affaires publiques liées aux projets scientifiques et techniques. Ces enquêtes permettent de recueillir du matériau empirique : entretiens qualitatifs semi-directifs, observations ethnographiques, documentation... Lequel est ensuite analysé en vue de croiser l'élaboration d'arguments théoriques et l'identification de conséquences pratiques.

Dans ce cadre pédagogique, les projets miniers fournissent des exemples tout à fait pertinents. Au cours des dernières années, ils ont permis de faire réaliser par les élèves-ingénieurs des enquêtes sur les sujets suivants :

- la réforme du Code minier calédonien, qui introduit de nouveaux mécanismes type "réserve technique" pour permettre une meilleure exploitation des ressources et intègre plus explicitement les questions environnementales ;

- le projet Montagne d'or, qui pose la question de la pertinence et des éventuelles conséquences d'une exploitation minière industrielle en Guyane, mais invite aussi à se pencher sur les formes de concertation possibles autour des projets miniers ;
- la structuration de la filière minière en Guyane, qui implique une interrogation sur les process possibles/souhaitables et les conditions nécessaires pour chacun d'eux.

Des formations spécialisées à vocation professionnelle proposées dans le cadre de la chaire Industrie minérale & territoires

La chaire Industrie minérale & territoires propose deux formations d'une année à vocation professionnelle de type mastère spécialisé accrédité par la Conférence des grandes écoles (CGE). Destinées à de jeunes diplômés ou à des personnes déjà en activité professionnelle depuis plusieurs années, elles relèvent de la formation continue.

Le mastère spécialisé exploitation et environnement miniers (2EM)⁷ dispensé à l'IMT Mines Alès a pour objectif de répondre à la demande croissante de cadres spécialisés en mine principalement dans les pays francophones producteurs de matières premières.

L'autre formation à vocation professionnelle de la chaire Industrie minérale & territoires est le mastère spécialisé MIRIS (MIneral Resources Industry & Society)⁸. Il est co-accrédité et coorganisé par les écoles des mines de Paris et de Nancy, et par l'école de géologie de Nancy.

Détaillons ces deux parcours de formation.

Le mastère spécialisé exploitation et environnement miniers (2EM)

Le mastère spécialisé exploitation et environnement miniers (2EM)⁷ de l'IMT Mines Alès aborde les différentes phases du processus minier "études minières, projets miniers et extraction" en mettant en lumière, de manière très pragmatique, les enjeux et les options liés à l'intégration de la mine à son environnement, à son contexte humain, social et socio-économique. Une douzaine d'étudiants suivent cette formation chaque année.

En fin de cursus, les étudiants suivent un module de deux mois intitulé "mine du futur 4.0", qui leur permet d'aborder en situation quasi-réelle un projet minier en intégrant les tensions, les contradictions et les controverses socio-environnementales eu égard aux différentes parties prenantes (industriels, administrations, collectivités territoriales, monde associatif).

Originalité : ces différents "dialogues" se font dans le cadre d'un *serious game*. Le gisement minier est le même pour chaque équipe, mais les contextes environnementaux, sociétaux et politiques sont très différents. Cela permet de montrer pourquoi, comment et avec quelle intensité/sensibilité de tels contextes peuvent influencer sur les décisions techniques et économiques qui sont prises.

Le mastère spécialisé industrie des ressources minérales & société (MIRIS)

Le mastère spécialisé industrie des ressources minérales & société (MIRIS) est dispensé par Mines ParisTech. Il vise à former des experts de l'industrie des ressources minérales pour accompagner le secteur des mines et des carrières vers la meilleure intégration possible des projets d'exploitation dans leur environnement physique et humain, en concertation avec les acteurs du territoire.

Il s'adresse particulièrement à des professionnels de l'industrie minérale – ingénieurs, géologues ou techniciens supérieurs avec expérience, des ingénieurs spécialistes en environnement, des cadres et décideurs du développement économique et social, de hauts fonctionnaires des administrations publiques, des enseignants et formateurs, et de jeunes diplômés de niveau master 2 souhaitant acquérir une spécialisation dans le domaine de l'industrie minérale. Dix à quinze étudiants suivent cette formation chaque année (voir photos ci-dessous).



J.A. Fleurisson

Promotion 2017-2018 du mastère spécialisé MIRIS lors de la visite des réaménagements de la mine de charbon de Graissessac dans l'Hérault. Leur remise de diplômes s'est déroulée au musée de minéralogie de Mines ParisTech à l'invitation de **Didier Nectoux**, conservateur du musée. Étaient présents **Lev Filippov**, responsable du mastère pour l'ENSG Nancy et **Vincent Lafèche**, directeur de Mines ParisTech (1^{er} et 2^e en partant de la gauche), ainsi que le responsable du mastère **Jean-Alain Fleurisson**.



D. Nectoux

Le programme dure 12 mois et comprend trois parties :

- un tronc commun qui concerne les enjeux économiques, géopolitiques, environnementaux et surtout sociétaux des projets miniers ;
- une option à choisir parmi trois parcours :
 - Option 1 : opérations minières à ciel ouvert et en souterrain (à Mines ParisTech) ;
 - Option 2 : exploration et modélisation de gisement (à l'ENSG) ;
 - Option 3 : Valorisation et traitement de minerai (à l'ENSG) ;

- une thèse professionnelle d'une durée de cinq mois.

Originalité : dans le cadre du tronc commun, une large part du programme concerne les questions environnementales, humaines et sociétales des projets miniers, plus particulièrement à travers un module (de deux semaines) consacré aux controverses autour d'un projet minier et à la simulation de débat public. Cet atelier a été conçu en collaboration avec Kristina-Maud Bergeron de l'université du Québec à Montréal (UQAM) au Canada, qui en assure l'animation. Les principaux objectifs visés sont :

- exposer les étudiants à un projet minier présentant plusieurs questions économiques, environnementales et sociales et révélant des enjeux du territoire plus profonds ;
- mettre en évidence l'importance et des difficultés de communication avec les différents acteurs du projet ;
- démontrer l'influence du cadre des discussions sur le débat lui-même et les questions qui peuvent ou non être discutées.

Après un premier jour consacré à la présentation du projet minier et à la collecte d'informations, les étudiants sont répartis en groupes représentant les principaux acteurs du projet identifiés pour la simulation. Ils disposent de temps pour faire des recherches sur les positions de chaque acteur et le contexte dans lequel il évolue. Pendant une journée, les rôles sont modifiés pour permettre aux étudiants de changer de point de vue. Différents types de débats sont également organisés avec des règles différentes.

Les résultats se présentent sous diverses formes :

- des cahiers d'acteurs produits par chaque groupe et présentant leurs positions respectives ;
- une cartographie d'acteurs qui met en évidence les interactions entre les acteurs eux-mêmes et celles qu'ils ont vis-à-vis des ressources naturelles, ainsi qu'une visualisation graphique du fonctionnement du territoire concerné ;
- les questions clés mises en évidence, résultant des différents débats simulés et concernant les aspects économiques, environnementaux et sociétaux du projet.

La formation doctorale

Il existe un lien fort entre la recherche, la formation et la profession. Par l'encadrement de thèses, de nouveaux outils et de nouvelles approches méthodologiques contribuent à faire évoluer les métiers des futurs cadres

dirigeants de l'industrie minière vers une meilleure intégration territoriale des mines et des carrières. À titre d'exemples, citons deux thèses de doctorat menées sur des thématiques de la chaire Industrie minière & territoires :

- "Impacts de l'orpaillage et de l'agriculture sur la qualité des eaux du Liptako-Gourma : identification des *hotspots* de pollutions métalliques et organiques, transferts de connaissance entre recherche et terrain". Thèse de doctorat en cours de Oumar El-Farouk Maman Illatou élaborée en cotutelle entre l'université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) et l'IMT Mines Alès ;
- "Contribution à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour l'analyse des risques miniers à l'échelle territoriale. Application à l'exploitation aurifère en Guyane." Thèse de doctorat en géosciences d'Ottone Scammaca, conduite à l'université de Lorraine et soutenue le 3 décembre 2020.

De nouvelles compétences en perspective

Ces formations à différents niveaux jouent un rôle essentiel dans l'évolution des métiers des mines et des carrières. Pour aller plus loin, il convient de mieux qualifier les nouvelles compétences nécessaires à cette évolution professionnelle.

Sur ce sujet, une première enquête a été menée par l'IMT Mines Alès en 2020 auprès d'étudiants et de formateurs en France et en Afrique. Ses résultats font ressortir des axes d'évolution à approfondir et à consolider :

- le développement de nouveaux métiers des mines et des carrières et donc la nécessité d'acquérir de nouvelles compétences : médiation, communication, analyse des controverses, maîtrise du numérique, etc. ;
- la féminisation des promotions d'étudiants favorisée par la mise en valeur de ces nouvelles compétences ;
- la régionalisation des formations, par la contextualisation des contenus et la mobilisation d'intervenants/conférenciers locaux, d'où un intérêt sans doute à former des formateurs qui pourront contextualiser les formations dans l'environnement propre à leur pays. ■

Jean Alain Fleurisson



C. Maman-llatou

Scène d'orpaillage artisanal dans le Liptako Gourma, cette région historique d'Afrique de l'Ouest qui se situe dans la partie sud-ouest du Niger et s'étend jusqu'au Burkina Faso et au Mali. De tels *hot spots* sont au cœur d'une thèse menée actuellement sur une thématique de la chaire Industrie minière & territoires.

Références

- [1] "Cadre de référence des compétences à l'ère du numérique dans le secteur minier", *Institut National des Mines du Québec (INMQ)*, 2019.
URL : https://inmq.qc.ca/publication/132/INMQ_cadre_reference_numerique
- [2] "Mineral Resource Governance in the 21st Century : Gearing extractive industries towards sustainable development", *International Resource Panel (IRP)*, 2020.
- [3] LÉBRE E., CORDER G., GOLEV A., "The role of the Mining Industry in a Circular Economy ; a Framework for resource management at the mine site level", *Journal of Industrial Ecology*, 2017, 21, 3.
- [4] "Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic drivers and environmental consequences", *Organisation de coopération et de développement économique (OCDE)*, 2018.

1. www.industrie-minerale-territoires.fr

2. Porteurs : MINES ParisTech, IMT Mines Alès, Mines Nancy, École Nationale Supérieure de Géologie, université de Lorraine, Institut Mines-Télécom, Fondation Mines-Télécom ; Adhérents : 45-8 Energy, A3M, Andra, Acom, BRGM, EOST, EPC, IMT Lille-Douai, Insuco/Fondation IFSRA, ISMGB, Knauf, Mica Environnement, MI-F, OREA, Pole Avenia, Seqens-Minerals, Sibelco, Sim, SMSE, Sofreco, Solvay, SystExt, Unicem, UniLaSalle, UPPA, Vale-Nouvelle Calédonie, Vicat.

3. www.mines-ales.fr

4. www.ensg.univ-lorraine.fr

5. www.mines-nancy.univ-lorraine.fr

6. www.csi.mines-paristech.fr/enseignements/option-affaires-publiques-et-innovation-2/

7. www.industrie-minerale-territoires.fr/Formations/MS-master/2EM.htm

8. www.industrie-minerale-territoires.fr/Formations/MS-master/Miris.htm

Bâtir ensemble

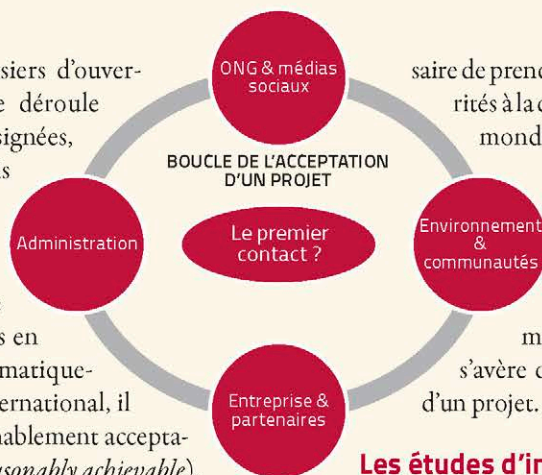
Nous avons eu besoin de plus de géologues, de mineurs et d'ingénieurs formés aux technologies nouvelles. Face au gigantisme désormais planétaire, notre rôle est non seulement de produire plus mais aussi de considérer les besoins des populations locales. Les sciences sociales, la géopolitique et désormais les conditions sanitaires encadrent nos pas.

L'instruction des dossiers d'ouverture d'une mine se déroule avec les autorités désignées, ça ne change pas. Mais depuis une trentaine d'années, quel projet d'ouverture de mine (ou de carrière) ne suscite pas d'opposition ? Le monde associatif s'implique de plus en plus jusqu'à interférer systématiquement. Qu'il soit local ou international, il peut aller au-delà du raisonnablement acceptable, de l'"Alara" (*As low as reasonably achievable*).

Aussi, il est devenu indispensable que chacun travaille dans le respect et l'écoute de l'autre, et partage objectivement pour le bien de tous, avec respect du temps d'expression, des informations factuelles qui ne privilégient pas un lobby plutôt qu'un autre. Le débat autour des projets miniers doit identifier et écarter au plus vite les phénomènes de NIMBY (*Not in my backyard*) qui nuisent au débat démocratique.

À l'heure des réseaux sociaux, les associations et les organisations non gouvernementales (ONG) sont devenues très interactives d'un pays comme d'un projet à un autre. Ainsi, une action menée avec succès dans un pays sur un sujet peut faire jurisprudence dans un autre cas. La méthodologie et la représentativité de ces acteurs de la société civile doit susciter le débat. Ce fait réel, par exemple, interroge : la présence d'une écologiste néozélandaise est-elle justifiée dans une réunion publique au Nunavut (territoire du nord canadien), pour s'opposer à un projet minier portant sur un métal inexistant dans le sous-sol de son propre pays ? S'engager très tôt avec les communautés et collectivités proches des projets est indispensable pour éviter tout dérapage, mais aussi pour permettre un autocontrôle et une responsabilisation de celles-ci vis-à-vis de l'extérieur.

Or, force est de constater que, sur certains territoires et dans certains pays, notre métier pose problème aux administrations qui n'ont pas nécessairement la compétence pour générer et gérer des titres miniers. Lorsque les lois minières sont insuffisantes ou pas à la portée de l'administration, c'est à nous, industriels, d'anticiper au plus tôt. En pareil cas, il s'avère néces-



saire de prendre le temps d'amener les autorités à la connaissance. L'industriel et le monde académique peuvent et doivent y contribuer. Cela passe par la visite des sites existants : montrer ce que l'on est capable de faire et de mieux en utilisant son patrimoine. Bien souvent, cela s'avère décisif sur la compréhension d'un projet.

Les études d'impacts environnementales, une clé

Les études d'impacts environnementales, désormais indispensables, contribuent, elles aussi, au dialogue autour d'un projet minier. Elles prennent en compte non seulement les aspects d'impacts sur un territoire (pollution éventuelle), mais aussi les aspects archéologiques, botaniques et faunistiques et, enfin, considèrent les habitants du territoire. Force est de constater qu'elles deviennent de plus en plus longues et coûteuses. Aussi, leur coût et leur profondeur doivent être en adéquation avec l'état d'avancement du projet, l'industriel n'ayant pas vocation à se substituer aux travaux des archéologues ou des écologues. Intégrant un état initial de l'environnement ou "baseline", ces études présentent l'intérêt de s'affranchir de contestations à la fermeture de l'exploitation.

Si tous ces éléments sont désormais connus par tout mineur – et par tout carrier, comment le personnel doit et peut-il agir ? Ingénieurs et géologues sont-ils préparés à réaliser ces études et à en débattre avec les communautés ?

Le géologue, seul face au "toujours plus" ?

Aussi, quel profil professionnel s'avère le plus adapté pour faire face à de tels "écosystèmes" autour des projets miniers ? Il y a alors tant de relations à nouer et à entretenir, tant de groupes différents à renseigner et à convaincre... Force est de constater que le géologue est très souvent le premier interlocuteur des communautés et collectivités. Son profil n'est pas anodin, au-delà bien sûr de ses compétences techniques, car il a le sens du contact, de l'écoute et de la pédagogie, et la

patience. En effet, le géologue est un pratiquant du terrain et un fin connaisseur de la nature, des grands cycles naturels. Sa formation scientifique, en sciences physiques et naturelles, il saura la partager pour expliquer et tenter de convaincre ses interlocuteurs.

Désormais, le géologue est un acteur responsable (voir figure). Il travaille dans un cadre éthique, qu'il soit inhérent à l'entreprise ou lié à son appartenance à une charte professionnelle. Autant de valeurs qui lui sont déjà transmises dans les écoles. C'est lui qui sera sur le terrain, mais c'est à son entreprise de l'encadrer et de l'aider. De son empreinte et pour longtemps, les communautés locales construiront confiance ou défiance envers l'entreprise minière qui s'implante. Intégrer les sciences sociales dans le cursus académique est désormais indispensable ; en témoigne la chaire d'enseignement et de recherche Industrie minérale & territoires qui débute en France (voir article précédent).

Dans un contexte où les surenchères sont courantes autour des projets miniers d'exploration ou d'extraction, le réalisme, les faits, doivent conduire les budgets et amener les entreprises extractives à supporter les investissements. Sachant que le géologue, et plus sûr encore les mineurs, font ou feront partie des communautés locales, qui participeront elles aussi au projet en tant qu'employés. Les autorités locales, quant à elles, apprendront de l'évolution du projet ; de cette relation naîtra la confiance avec l'interlocuteur – géologue – qu'elles connaissent.

Notre présence dans les territoires est importante et durable. La signature environnementale et humaine d'un projet minier est profonde. Nous devenons des acteurs de l'histoire locale avec un grand H. Aussi, nous nous devons d'être exemplaires sur l'empreinte que nous imposons en la gérant au mieux, d'autant plus que celle-ci est diffusée bien au-delà du lieu d'exploitation. La communication continue et cohérente est notre outil. Nous nous devons d'être solidaires et responsables envers les territoires comme envers les actionnaires qui l'exigent.

S'intégrer dans une association professionnelle nationale voire internationale est une opportunité pour renforcer ses standards et anticiper voire devancer les demandes et exigences des autorités, collectivités et communautés locales. Tout cela demande de soutenir un effort certes long et continu, mais également ferme et motivé.

Protéger employés et populations locales

La sécurité des employés et des populations est essentielle au développement d'un projet dans le respect de l'environnement. En fonction du contexte, l'entreprise pourra et devra prendre le relais des insuffisances matérielles locales. Le fait que les mines et les projets d'exploration soient souvent situés dans des zones reculées (photo), où l'offre hospitalière est ténue et se limite parfois au seul dispensaire de l'entreprise extractive, rend cette responsabilité encore plus évidente. Sur le plan sanitaire, sa responsabilité est en jeu. La



C. Polak

Vue aérienne d'un camp d'exploration du Saskatchewan, une province de l'ouest du Canada.

crise de la Covid-19 en 2020 l'a bien mise en lumière et ce, au-delà même de la protection des employés et de leur environnement de travail, jusqu'à leurs familles et aux communautés locales.

Cette pandémie a en effet eu pour conséquence dans de nombreuses zones extractives isolées, la fermeture des relations avec l'extérieur, avec arrêt des travaux. Les premiers impactés furent les employés effectuant leur travail en rotation, dits FIFO (*fly-in, fly-out*). En effet, risquer d'infecter les communautés isolées en venant des villes était insoutenable. Ainsi, par exemple, Orano et son partenaire Cameco, qui adoptent cette pratique organisationnelle, ont décidé temporairement de fermer mine et usine de l'Athabasca au Canada pour protéger non seulement leurs mineurs mais aussi les populations autochtones. Au risque des conséquences économiques qui en ont découlé (cf. encadré). ■

Christian Polak

Productions minières face au Covid-19

La pandémie de Covid-19 a impacté l'activité minière à travers le monde. Selon l'institut de management et de consulting McKinsey (note de conjoncture d'août 2020), les productions ont fléchi de -42 % en moyenne pendant la première vague de la pandémie, une baisse qui sera probablement de -30 % pour l'ensemble de l'année 2020. Et 75 % des compagnies minières à travers le monde ont été affectées. Selon Standard & Poors, 275 mines sur 36 pays ont été perturbées, confinées et/ou momentanément fermées à travers le monde.

Rares sont les productions qui ont résisté. L'or, l'un des rares métaux dont les cours ont augmenté pendant le Covid-19, s'en sort plutôt bien. Considérant les dix principaux producteurs d'or, Standard & Poors identifie cependant une baisse de la production d'or "seulement" de -9 % pour le deuxième trimestre 2020, avec des bénéfices à la hausse.

Métiers

Quelles **compétences** pour l'industrie minière en 2021 ?

Entre approvisionnement en matières premières et acceptation sociale, nos métiers s'adaptent à cette géométrie. Et les formations suivent.

Notre industrie se transforme très vite. Aurait-on imaginé il y a dix ans, des camions automatisés conduits par des chauffeurs à des milliers de kilomètres des engins ? Aurait-on imaginé gérer des engins en souterrain depuis la surface d'un site d'extraction, donc sans le temps de descente et de parcours jusqu'au poste de travail, le tout dans un environnement sécurisé ? Des mines connectées et automatisées qui limitent les rotations des personnels dans l'*outback* australien (photo ci-contre) et optimisent l'utilisation des flottes de camion, c'est désormais la réalité pour la compagnie Rio Tinto. Déjà 15-20 % de sa flotte des mines de fer du Pilbara est ainsi pilotée depuis Perth, et des trains sans chauffeur y transportent le minerai sur des milliers de kilomètres.

Aujourd'hui, les États s'orientent partout vers un nationalisme de leurs ressources avec la création de champions industriels nationaux mais aussi de plus en plus intégrés vers l'aval de la chaîne de valeur (extraction, transformation, élaboration de produits/équipements, etc.). Pour ce faire, ils ont besoin de conseillers, de formateurs et d'ingénieurs expérimentés. Aussi, les entreprises minières sont forcées de réviser leur organisation, du fait des contraintes de coûts, des pressions qu'exercent les États pour renforcer leur personnel national aux dépens des expatriés ou encore des risques sécuritaires. En conséquence, les employés font moins de séjours longs mais plus de déplacements ponctuels, et plus d'interventions à distance. Ainsi à l'heure actuelle, la fraction d'étrangers en expatriation représente déjà moins de 5 % de l'effectif global de nos industries. Néanmoins, de par leur expertise, leur rôle est essentiel.

Revenons sur la pandémie de Covid-19 et ses conséquences. Outre la crise économique et sanitaire qu'elle a provoquée, elle a renforcé un mouvement déjà présent dans la gestion du travail : le télétravail ! Ainsi, selon McKinsey (note de conjoncture d'août 2020), 65 % des entreprises minières considèrent que cette pandémie aura des changements profonds sur leur organisation. Et justement, les étudiants diplômés cette année et ceux qui poursuivent leur cursus doivent être considérés comme déjà formés et prêts au télétravail. En effet, face à la menace de Covid, ils ont



C. Polak

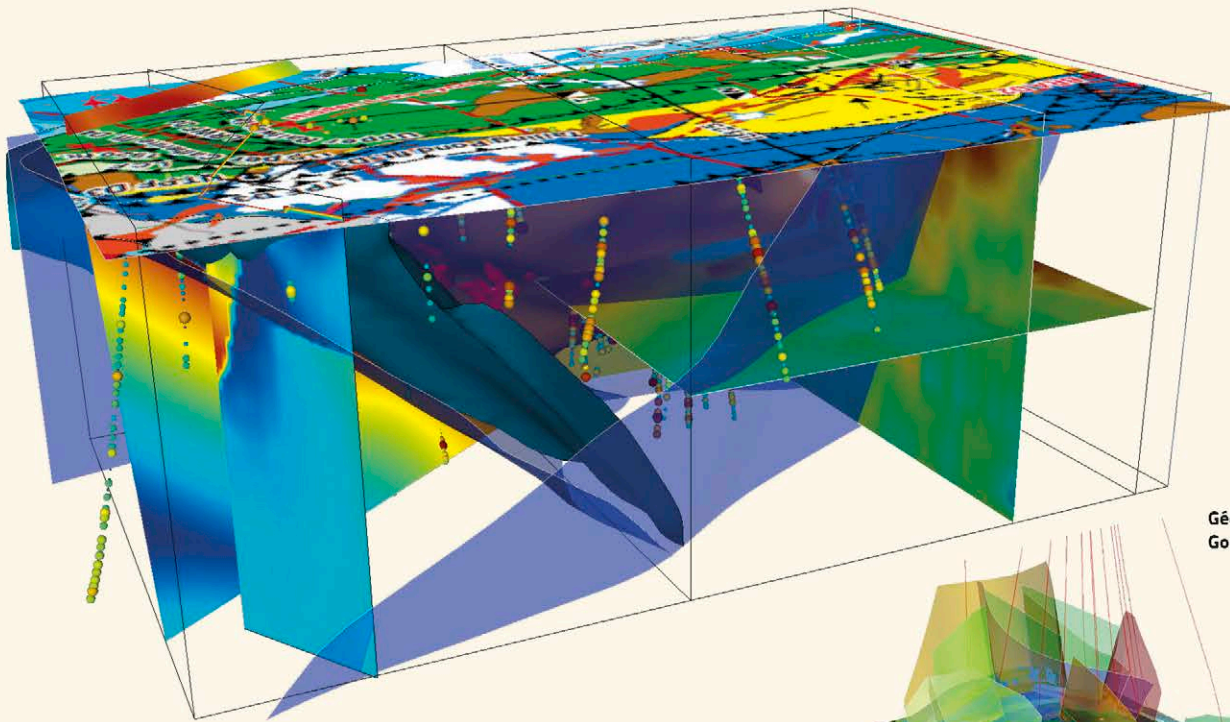
L'*outback* australien, vue de l'Ayers Rock, l'inselberg en grès rouge sacré Uluru par les aborigènes, qui culmine à 348 mètres au centre de l'île principale d'Australie.

su brillamment suivre les enseignements et travailler par eux-mêmes à distance. On doit reconnaître cette épreuve et cette adaptation comme une qualité : ils sont "*covidproof*" !

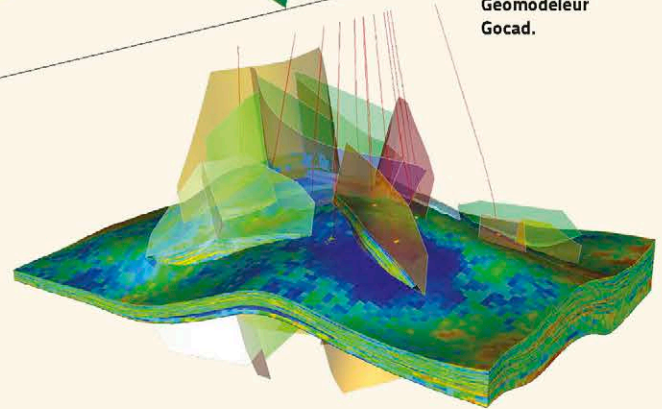
Concernant la mine urbaine, il s'agit avant tout de matériaux et de métaux dont la re-concentration en un point permet le recyclage. Ce dont, de par leur savoir-faire, nos ingénieurs ont déjà pris le chemin. Concassage, broyage, tris électro-magnétiques, pyrometallurgie, hydrometallurgie... tous ces termes sont déjà dans nos écoles !

L'offre académique et sa transformation

Les défis de la production, l'acceptation sociétale, les contraintes environnementales et légales, des États de plus en plus pressants pour leurs industries et leurs populations, etc. Tout cela implique l'adaptation de nos écoles. Elles doivent s'ouvrir et s'ouvrent déjà à d'autres disciplines permettant d'appréhender ces nouveaux enjeux. Leur dialogue avec l'industrie extractive se renforce sur ces domaines nouveaux. Ceci est d'autant plus accepté par les élèves qu'ils sont demandeurs



Géomodeleur
Gocad.



de ces thèmes. Ainsi, les écoles se montrent ouvertes à ces nouvelles tendances sociétales.

Cependant, les parcours doivent être adaptés et des passerelles créées, comme le souligne Jean-Marc Montel¹, ancien directeur de l'ENSG : les étudiants (photo ci-contre) doivent trouver les spécialités nécessaires auxquelles ils aspirent. Lesquelles demandent souvent des raillures critiques pour être enseignées et, par conséquent, ne peuvent se trouver dans une seule école. C'est un nouveau parcours et une vision différente qui se présentent à eux. Comme l'"escolier" du Moyen-Âge, l'étudiant doit aller "là où est le savoir". Quant au "maître", il doit aussi se déplacer pour dispenser son savoir. La mobilité, une notion essentielle pour nos professions, est effectivement de plus en plus visible dans nos écoles.

Les écoles ont déjà des programmes d'échanges internationaux leur permettant de former des profils variés et diversifiés précieux pour nos industries. Renforçons-les ! Il y a déjà le programme européen Erasmus, ou encore le master franco-belge en ingénierie des ressources Emerald². Continuons dans cette direction. Quant aux "maîtres" intervenants extérieurs à l'école, aujourd'hui ils ne viennent plus seulement de nos industries. Ainsi l'ENSG (photo ci-contre) accueille des experts de McKinsey chargés d'enseigner les codes internationaux de ressources et réserves minières (l'australien JORC et le canadien NI43-101). La connaissance de ces codes, permettant un même mode de calcul de la ressource dans le cadre d'un dialogue international, est absolument indispensable pour maîtriser le financement de projets miniers. À cet égard, notons l'existence aujourd'hui de l'Alliance des écoles d'ingénieurs en géosciences (AIEG)³, placée sous l'égide de la Société géologique de France (SGF). Elle regroupe cinq écoles françaises formant des ingénieurs dans les domaines de la géologie, de la géophysique, de l'hydrogéologie, de la géotechnique,



Personnel d'encadrement et étudiants de l'ENSG sur les bancs de l'amphithéâtre de l'école avant que ne soient imposés des gestes barrières pour faire face à l'épidémie de Covid.



Cérémonie de remise des diplômes de géologues de la promotion 2020 des étudiants de l'ENSG option *génie et gestion des matières premières minérales* avec, à droite, la directrice Judith Sausse et le président du conseil, Christian Polak.

de l'environnement et du numérique. Les Mines d'Alès, de Nancy et de Paris ont conservé dans leur cursus des formations d'ingénieurs pour nos métiers et, avec l'ENSG, ont constitué la chaire d'enseignement et de recherche Industrie minérale & territoires (voir article p. 59) pour comprendre, répondre et se former aux nécessaires adaptations à l'acceptation sociale. Aussi, l'ENSG montre sa compétence et son rayonnement international : en 2020, comme l'ensemble de l'université de Lorraine à laquelle elle est intégrée, l'école a été déclarée première européenne et 11^e mondiale — devant même les établissements américains — au classement "Mining Engineering" de l'université de Shanghai.

La francophonie, une opportunité pour nos métiers

En outre, cela peut sembler une tautologie, mais la France a la chance d'être... francophone ! Or l'industrie minière et minérale de l'Afrique francophone de l'Ouest et Centrale offre des opportunités très importantes. Dans ces régions, par exemple, la production d'or est passée de 11 t en 1987 à 230 t en 2017, pesant près de 10 % de la production mondiale (selon *U.S. Geological Survey* et *British Geological Survey*). Et même si les industriels français sont dans la région (Orano exploitant l'uranium au Niger et Eramet le manganèse au Gabon via la société Comilog), ce sont surtout des compagnies australiennes, canadiennes, sud-africaines et chinoises qui y sont présentes. Or que cherchent-ils ? Des ingénieurs francophones !

Aussi, il convient de créer et de soutenir des écoles des mines et de géologie locales. L'offre et la compétence de nos écoles de métropole dans ces domaines ont un rôle important à jouer. En témoignent les accords de collaboration entre les écoles de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) et de Franceville (Gabon) avec l'ENSG, comprenant notamment des transferts d'étudiants en dernière année. Il importe cependant que ces ingénieurs nationaux puissent trouver des conditions salariales propices à une activité sur place. Formation en métropole et formation dans son pays doivent être étroitement liées.

Enfin, il convient qu'écoles, monde académique et de la recherche, monde de l'industrie multiplient les contacts, conférences, séminaires, publications, etc. Citons ici un exemple de *success story* reposant sur une indispensable diversité de collaborations : le logiciel Gocad (cf encadré). Ceci nous amène à une question : derrière les algorithmes, la programmation, quel est notre rôle à nous, ingénieurs ? Même si l'intelligence artificielle doit être considérée comme un outil au service des hommes, ce sont eux qui créent ces outils. Si aujourd'hui l'industrie extractive nage dans l'ère du numérique, elle le doit d'abord à des chercheurs, à des hommes. ■

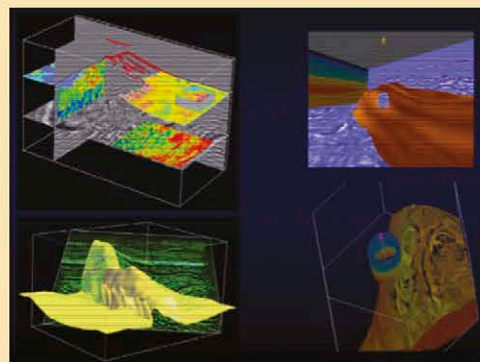
Christian Polak

Gocad, une école au service de l'industrie minière

Le développement du logiciel géomodeleur Gocad (*Geological Object Computer Aided Design*) est logé dans le laboratoire géoressources de l'université de Lorraine — lequel est adossé à l'ENSG. Gocad est né de la découverte en 1998 d'une nouvelle méthode d'interpolation, basée sur : la modélisation structurale, le maillage ; l'intégration de données de terrain (faillles, accidents tectoniques) ; la combinaison de systèmes d'information géographique (SIG) et de la 3D. Son usage repose donc sur des allers-retours entre les données géologiques de terrain et la topologie (relief), avec l'intégration du temporel. Ainsi, en à peine dix ans, une équipe universitaire offrait au monde pétrolier un formidable outil pour la modélisation et la simulation des réservoirs. Depuis 2015, cet outil très évolutif continue de se développer dans le cadre du projet de recherche pour une géologie numérique intégrative, appelé "Ring" (*Research for Integrative Numerical Geology* — www.ring-team.org). Porté par un consortium international d'organismes de recherches et d'industriels, quelque 70 thèses et 100 publications démontrent sa dynamique. Gocad est une réussite et une réponse à des sujets industriels appliqués.

Pour en savoir plus :

<http://iceel.eu/index.php/portfolio/logiciel-gocad/>



Capture d'écran du géomodeleur Gocad, un exemple de travaux débouchant sur l'industrie.

1. Revue *Géologues* n° 200, mars 2019
2. <https://www.emerald.uliege.be>
3. <https://www.geosoc.fr/alliance-des-ecoles-d-ingenieurs-francaises-en-geosciences.html>



Développer ses *soft skills* via la **réalité virtuelle**

Un dispositif d'immersion en réalité virtuelle a été expérimenté autour d'un projet pédagogique : la présentation orale du rapport de fin d'études d'étudiants de l'école Télécom SudParis. Le *reporting* automatique et le questionnaire soumis aux étudiants permettent d'en tirer quelques conclusions.

Dans le cadre d'une semaine nommée PROCCI (PROfils de Comportement et de CommunIcation) qui s'est déroulée du 18 au 22 novembre 2019, 128 étudiants en master 2 de l'école Télécom SudParis se sont vus proposer un atelier de prise de parole en public basé sur une application de réalité virtuelle. Cette semaine fut encadrée par Michel Simatic, professeur à l'école d'ingénieurs Télécom SudParis et spécialiste notamment des systèmes informatiques répartis (i.e. aux ressources non centralisées) tels que les jeux multi-joueurs et les jeux vidéo. L'atelier de prise de parole en public fut précédé d'une séance d'enseignement sur la thématique des canaux de communication et en constitua en quelque sorte une phase de travaux pratiques. L'objectif visé était essentiellement de permettre aux étudiants de développer des compétences en termes de prise de parole en public et donc, plus globalement, leurs *soft skills* ou "compétences douces" en matière de communication. Précisons qu'il n'existe pas aujourd'hui de consensus sur la définition du terme "*soft skills*", que les chercheurs apparentent souvent aux "*social skills*". Cependant, le domaine des *soft skills* tel que défini dans les médias englobe un ensemble de compétences bien plus large que les compétences sociales qui en font partie. Par opposition à ce que l'on désigne de "*hard skills*", le champ des *soft skills* comprend les compétences interpersonnelles, sociales, communicationnelles, émotionnelles... Dans le cas présent, ce sont bien des compétences communicationnelles qui étaient visées.

Présentation du dispositif technique

La solution de réalité virtuelle déployée reposait sur des casques Oculus Quest (version n°1) développés par Oculus VR (filiale de Facebook Inc), associés à une application de la société 5Discovery spécialisée dans le développement de dispositifs de formations comportementales en réalité virtuelle.

Ces casques de réalité virtuelle, livrés avec deux manettes de contrôle à tenir dans chaque main, ont pour principal avantage de permettre aux étudiants d'utiliser la solution de réalité virtuelle sans aucune connexion filaire et ainsi de disposer de plus de liberté dans leurs mouvements. Le sentiment d'immersion s'en trouvant, de fait, grandement amélioré. Les six casques de réalité virtuelle ont été financés dans le cadre du projet RAVIE (Réalité augmentée et virtuelle pour une initiative pédagogique) de l'Institut Mines Télécom, dont dépendent Télécom SudParis et l'IMT Nantes Atlantique.

Objectif pédagogique


Afin de rendre l'expérience plus réaliste et pour permettre aux apprenants de tirer parti au maximum de l'exercice pédagogique, ce dernier se basait sur un cas concret : la préparation de l'oral du projet de fin d'études (PFE).

Au préalable et pour se préparer, les étudiants se sont vus adresser un document d'aide. Il y était notamment demandé à chaque apprenant de préparer un diaporama d'accompagnement d'une présentation orale de leur PFE en dix minutes. Ils se devaient également de réfléchir au préalable aux canaux de communication qu'ils envisageaient d'utiliser. Ces canaux ayant été pour rappel étudiés durant le cours théorique.

La Process Com^{®1} a en effet identifié cinq canaux de communication : le canal d'urgence, le canal directif, le canal informatif ou interrogatif, le canal nourricier et enfin le canal ludique. L'objectif sous-jacent à la prise de conscience et à la maîtrise de ces différents canaux pouvait être pour l'étudiant, par exemple, d'obtenir un comportement précis de ses

Diplômé d'un master 2 en technologie de la formation, **Julien Morice** est ingénieur pédagogique multimédia à l'école IMT Atlantique. Passionné par le numérique, il développe son expertise dans les Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) supérieure.





Casque de réalité virtuelle devant les yeux et manettes dans les mains, un étudiant de l'IMT-Nantes Atlantique s'essaie à une expérience de réalité virtuelle.

Laurent Masure

interlocuteurs et d'améliorer la qualité des interactions avec eux.

Temps alloué à la mise en pratique

Afin de permettre aux étudiants de progresser et de développer les compétences visées en matière de prise de parole en public, il leur a été proposé de s'immerger à deux reprises. Chaque passage a duré plus ou moins 45 minutes, dont 10 à 15 minutes consacrées à la présentation de leurs transparents face à un public virtuel. Ainsi, pour permettre à l'ensemble des 128 étudiants de profiter du dispositif dans de bonnes conditions, l'expérience pratique a nécessité quatre journées entières.

Son tour venu, l'étudiant s'immergeait dans un environnement virtuel lui permettant de modéliser un public d'environ une centaine d'individus, dont certains pouvaient s'animer voire interagir directement avec l'avatar de l'étudiant. Par exemple un animateur virtuel s'adressait directement à lui et deux autres avatars du public intervenaient en fin de présentation pour poser des questions pré-enregistrées. Pour favoriser l'immersion, un bruit de fond était également simulé avec plus ou moins d'intensité durant l'expérience.

Personnel mobilisé pour l'expérimentation

Ce projet d'utilisation de casques de réalité virtuelle dans un contexte de formation étant par nature innovant, il a été nécessaire de mobiliser un nombre rela-

vement important d'accompagnants. Une dizaine de personnes, en majorité des enseignants et des ingénieurs pédagogiques, ont donc été mises à contribution durant ces quatre journées.

Notons que pour la plupart du personnel mobilisé, ce fut l'occasion de découvrir et d'utiliser pour la première fois un dispositif de réalité virtuelle. Une phase de montée en compétences des accompagnants fut donc nécessaire. Elle s'est faite le plus souvent à flux tendu entre pairs. À titre personnel, mon rôle en tant qu'ingénieur pédagogique disposant d'appétences pour ce type d'outils fut d'assister les collègues et d'accompagner les étudiants dans l'expérimentation.

Déroulé de la simulation

Avant l'arrivée de l'étudiant sur les lieux de l'expérimentation, les encadrants durent télécharger les présentations préparées par les étudiants sur chacun des casques. Cette opération dut se faire manuellement et nécessita une connexion filaire du casque Oculus Quest à un ordinateur de type PC. En effet, la solution utilisée ne proposait pas de gestion des comptes avec téléchargement des documents en amont. L'ajout des diaporamas de présentation ne pouvait donc se faire qu'en local sur chaque casque.

À son arrivée, l'étudiant fut accompagné par un encadrant dans une pièce dédiée, puis équipé du matériel adéquat (casque + manettes). Après qu'il ait pris place, l'accompagnant vérifiait la bonne configuration du "gardien", qui permet de délimiter l'espace dans lequel l'étudiant serait immergé en réalité virtuelle. En effet, les casques Oculus Quest peuvent être utilisés dans différents types d'environnements, avec plus ou moins d'espace. Selon les recommandations du constructeur, l'espace virtuel doit être a minima de 1,5 x 1,5 mètre. Notons que plus l'espace disponible est important et plus agréable sera l'expérience immersive.

Le principe était donc, en utilisant les manettes, de tracer l'espace virtuel en fonction de la pièce dans laquelle avait lieu l'expérience, en prenant soin de garder un peu de marge de sécurité pour éviter que l'étudiant ne percute un meuble ou un mur durant la simulation. Précisons que le système d'exploitation d'Oculus Quest indiquait visuellement à l'étudiant une grille virtuelle lorsqu'il s'approchait des limites du "gardien", ce qui lui permit d'expérimenter le dispositif en toute sécurité.

Une fois équipé d'un casque, l'étudiant était ensuite guidé vers l'application de prise de parole en public dans un environnement 3D de type "salle de spectacle". En le guidant par la voix, l'accompagnant procédait avec l'étudiant à la connexion au service en ligne. Notons que cette phase fut relativement chronophage : il fallut compter de 5 à 10 minutes pour la valider. Ce qui s'explique notamment par le fait que l'accompagnant ne disposait pas d'écran secondaire lui permettant de voir en miroir l'application se dérouler – même s'il est aujourd'hui relativement aisé de dupliquer le flux vidéo du casque vers une tablette ou un écran secondaire.

Afin de permettre aux apprenants de profiter pleinement de l'expérience, ils furent laissés en totale autonomie durant l'exercice, sans être soumis à la présence d'observateurs extérieurs. Toutefois, en cas de besoin, l'étudiant pouvait à tout moment retirer son casque et interpellé les encadrants qui se tenaient disponibles près des salles.

Après la simulation

Une fois l'expérience immersive terminée, les étudiants reçurent par mail un *reporting* de leur pratique. Généré automatiquement par l'application, ce *reporting* portait notamment sur le flux de paroles, le mouvement du regard et le déplacement de l'étudiant sur la scène fictive.

Mais ce qui était réellement attendu d'eux, ce fut de remplir un questionnaire d'évaluation en ligne élaboré par l'enseignant responsable Michel Simantic et portant réflexion sur chacune de leurs deux séances virtuelles de prise de parole en public. Notons que la note pour l'activité reposa essentiellement sur le sérieux avec lequel ils complétèrent les questionnaires.

Par la suite de l'activité, l'enseignant responsable ainsi que les ingénieurs pédagogiques ont procédé au dépouillement des questionnaires afin de mesurer la satisfaction des étudiants pour cette activité pratique et, surtout, d'identifier des points d'amélioration possible du dispositif.

Participation des étudiants à l'expérience

Sur les 128 invités à participer à cet exercice pédagogique pratique d'un nouveau genre, deux se sont montrés absents. L'essentiel de la note pour l'activité reposa sur le remplissage du questionnaire. Le taux de participation a été très élevé et, de fait, beaucoup plus riche à exploiter.

En effet, sur les 126 étudiants ayant pratiqué l'expérience, 113 ont effectivement rempli le questionnaire, soit 88,3 % de taux de participation. Parmi ces 113 étudiants, 102 ont ensuite accepté que l'équipe encadrante utilise leurs réponses anonymisées à des fins de recherche en pédagogie. Les 22 items du questionnaire ont tous été analysés a posteriori dans le cadre de cette étude. Nous présentons ici les résultats des deux premiers.

Résultats en termes de capacité à s'exprimer en public

La première question du questionnaire était celle-ci : « *Quel(s) point(s) d'amélioration par rapport à votre manière de prendre la parole en public avez-vous identifié grâce à cette application ?* ». Elle nous a permis de savoir sur quels types de compétences, précisément, les étudiants ont eu la sensation de progresser en termes de prise de parole en public.

Les résultats sont les suivants :

- balayer le public du regard : 40 % ;
- se déplacer sur scène : 27 % ;
- parler avec le bon rythme : 27 %.

Notons que ces différents aspects étaient également mesurés par le logiciel et faisaient partie du *reporting* envoyé automatiquement par mail aux étudiants. Ils purent donc mesurer la progression de leur prestation entre leurs deux passages.

En complément, voici quelques extraits du verbatim des étudiants :

- « *Il est important de maintenir l'attention du public en fournissant plusieurs accroches, que ce soit au niveau des transparents ou au niveau de la manière de les expliquer. Aussi, il est très important d'utiliser l'espace de la scène pour pouvoir mieux parler à son aise et ainsi gérer son stress.* »
- « *Quand je fais un exercice comme celui-là, j'ai trop tendance à utiliser mon canal de communication, qui est je pense le "nourricier", à tourner autour du pot et embellir ce que je raconte. Lors de la deuxième prestation, j'ai essayé d'utiliser plus l'informatif.* »
- « *J'aime habituellement me rassurer avec quelques notes mais ai vu lors de cet exercice que ce n'était pas nécessaire. Le fait de voir les pointeurs correspondant à mes mains m'a également forcée à plus penser aux mouvements effectués. Le rapport sur le suivi du regard était également intéressant, et j'ai beaucoup plus regardé l'audience la seconde fois.* »

Résultats en termes d'intérêt pour le dispositif de RV

La deuxième question du questionnaire était celle-ci : « *Quel(s) avantage(s) voyez-vous à l'utilisation de cette application de prise de parole en public par rapport à une répétition en public, devant un vrai public ?* » Cette question nous a permis de connaître l'intérêt perçu par les étudiants pour un dispositif d'entraînement à l'expression en public via la réalité virtuelle, par rapport à une méthode classique devant un public captif. Les résultats sont les suivants :

- limiter le stress et permettre de mieux gérer ses émotions : 28 % ;
- s'entraîner à volonté : 16 % ;
- prendre conscience de sa manière de communiquer : 16 % ;
- ne pas monopoliser un vrai public : 12 % ;
- anticiper une vraie prise de parole en public : 11 %.

En complément, voici quelques extraits du verbatim des étudiants :

- « *Le gros avantage, c'est la possibilité de réitérer la répétition virtuellement autant de fois qu'on le désire, sans déranger un vrai public. L'application permet aussi d'avoir des indicateurs objectifs (déplacements sur la scène...) tandis qu'un vrai public, lui, retiendra surtout des éléments subjectifs, émotifs.* »
- « *Premièrement, cela est moins stressant pour les gens pour qui la prise de parole en public est génératrice de stress. Elle permet de s'entraîner (autant de fois que l'on veut, le "public" ne s'en lassera pas).* »
- « *Je pense qu'il aide vraiment dans l'identification des problèmes de votre prise de parole, donc il aide à diriger vos efforts de préparation devant un vrai public.* »

- « Cela dit, par rapport à une répétition seul dans sa chambre, on travaille beaucoup plus la gestuelle et la façon de parler puisque nous n'avons pas accès à nos notes. C'est donc très pratique pour cela. »
- « Cette application permet de s'entraîner à prendre la parole en public tout en étant présenté de manière élogieuse et sympathique par un speaker. Aussi, le fait de ne pas ressentir de stress durant la présentation est une bonne chose pour moi car elle me permet de me rendre compte que le stress ne m'aurait rien apporté pour cette présentation et me montre que je peux faire une très bonne présentation si je ne me mets pas de pression. »

Pour conclure

Il nous a semblé indéniable que l'utilisation de la réalité virtuelle dans un contexte pédagogique apporte une vraie plus-value dans le cadre du développement des *soft skills* en termes d'expression en public. Même si cette affirmation doit être mise en regard d'études scientifiques plus poussées sur le sujet (voir encadré), nous notons trois qualités indéniables de ce type de dispositif, qui permet :

- à l'apprenant de s'entraîner en toute autonomie ;
- à l'apprenant de s'entraîner en dehors du jugement d'autrui ;
- d'obtenir des données chiffrées quantifiables et objectives.

Cependant, il nous semble important de soulever quelques limites à l'usage de ce dispositif dans ce contexte pédagogique. Celle revenant le plus souvent concerne le manque d'immersion de la solution choisie, exprimé par 40 % des apprenants. Sur ce point, notons qu'il s'agit d'une technologie en phase de maturation, avec des marges de progression très importantes dans un avenir proche. Les univers virtuels étant de plus en plus réalistes, nous pouvons nous attendre sous peu à une nette amélioration de l'immersion, plus en adéquation avec les attentes des étudiants qui, souvent adeptes de jeux vidéo, sont aussi bien plus exigeants techniquement.

Pour tirer pleinement parti de cette pratique pédagogique, il convient de n'envisager l'usage de la réalité virtuelle que comme partie intégrante d'un dispositif pédagogique plus complet et s'appuyant sur d'autres modalités d'apprentissage. De notre point de vue, les solutions de réalité augmentée ou virtuelle ne doivent et ne peuvent se suffire à elles-mêmes. Elles doivent s'appuyer systématiquement sur un accompagnement pédagogique varié.

Dans le cadre de cette expérience, les étudiants ont notamment suivi au préalable des cours théoriques leur permettant d'appréhender les concepts de la communication en public, et également participé à des *debriefings* post-expérimentation supervisés par un enseignant. Les compétences mobilisées furent ensuite concrètement exploitées lors du réel oral du projet de fin d'étude, lequel revêt une importance majeure pour les étudiants. ■

Julien Morice

Remerciements

Cet article n'aurait vu le jour sans le concours de Michel Simatic, enseignant-chercheur à Télécom SudParis, qui a intégré le dispositif dans le parcours pédagogique de ses élèves et en a assuré la mise en place. Sans la connaissance et les conseils de Mathieu Chollet, enseignant-chercheur à l'IMT-Nantes Atlantique. Sans l'achat du matériel et la gestion concrète de la pratique par Angelo Montoni, coordinateur des transformations éducatives à l'Institut Mines-Télécom (IMT), dont relèvent les écoles Télécom SudParis et IMT-Nantes Atlantique. L'auteur les remercie pour leur implication.

Quelques références pour aller plus loin

[1] Stan Van Ginkel, Judith Gulikers, Harm Biemans, Omid Noroozi, Mila Roozen, Tom Bos, Richard van Tilborg, Mélanie Van Halteren, Martin Mulder, "Fostering oral presentation competence through a virtual reality-based task for delivering feedback", *Computers & Education*, Vol. 134, 2019, p. 78-97 (<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.02.006>).

Cette étude expérimentale examine l'efficacité d'une tâche basée sur la réalité virtuelle, dans laquelle des étudiants reçoivent des commentaires produits par le système sur les compétences visées. Les résultats révèlent des améliorations significatives du pré-test au post-test. De plus, les tests d'auto-évaluation montrent que les étudiants se présentant en réalité virtuelle apprécient les commentaires détaillés et analytiques qu'ils reçoivent.

[2] Mathieu Chollet, Torsten Wörtwein, Louis-Philippe Morency, Ari Shapiro, Stefan Scherer, "Exploring feedback strategies to improve public speaking: an interactive virtual audience framework", *UbiComp '15: Proceedings of the 2015 Association for Computing Machinery (ACM) International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2015, 1143 – 1154 (<https://doi.org/10.1145/2750858.2806060>).

Cette étude explore des stratégies de rétroaction pour la formation à la prise de parole en public, basées sur un paradigme d'audience virtuelle interactive. Les expériences montrent que le public virtuel interactif réunit le meilleur des deux mondes : un engagement et un défi accrus ainsi que des compétences de prise de parole en public améliorées jugées par des experts.

[3] Maria V. Sanchez-Vives et Mel Slater, "From presence to consciousness through virtual reality", *Nature Review Neuroscience*, 6, 2005, p. 332 – 339 (<https://doi.org/10.1038/nrn1651>).

Cette publication scientifique montre en quoi les environnements virtuels immersifs peuvent rompre la connexion quotidienne profonde entre l'endroit où nous nous disons que nous sommes, et où nous sommes réellement situés et avec qui nous sommes. Le concept de "présence" fait ici référence au phénomène de se comporter et de se sentir comme si nous étions dans le monde virtuel créé par les écrans d'ordinateur. Dans cet article, les auteurs soutiennent que la présence mériterait d'être étudiée par les neuroscientifiques et qu'elle pourrait aider à l'étude de la perception et de la conscience.

La “*smart maintenance*” ou comment se passer de formation à la maintenance

Sujet clé pour les acteurs du monde de l'industrie, la maintenance industrielle passe à l'ère 4.0. Elle se veut désormais “*smart maintenance*”; une notion qui suggère la formation en temps réel des opérateurs à la maintenance d'engins, par le biais des nouvelles technologies.

Sur un marché extrêmement compétitif, les temps morts, les défaillances techniques ou une perte de qualité de production industrielle s'avèrent de véritables catastrophes. Dans ce contexte, l'application de la méthode TPM (*Total Productive Maintenance* ou “maintenance productive totale”) ¹ s'avère cruciale. Développée dans les années 1970, elle vise en effet à maximiser la productivité des équipements industriels au meilleur coût, en offrant notamment à l'opérateur les moyens d'effectuer lui-même une action de maintenance. Mais voilà, les machines se complexifiant, il devient de plus en plus difficile pour les entreprises de trouver du personnel de maintenance qualifié.

À l'heure de la transition numérique et de l'émergence d'une industrie 4.0, la “*smart maintenance*” s'impose comme un outil innovant au service de la TPM. Mais de quoi s'agit-il ?

Description et principes

Le développement d'applications *big data*, de l'Internet des objets, de la réalité augmentée², de la réalité mixte³ etc., rend les opérations de maintenance de plus en plus “intelligentes” avec minimisation des temps d'arrêt dans les processus de production. En effet, les nouvelles technologies accompagnent l'opérateur sur le terrain et l'assistent dans les actions de maintenance correctives ou prédictives (indicateurs de panne ou de défaut technique, gestes à opérer, etc.). L'heure est désormais à la “*smart maintenance*”.

La réalité mixte, par exemple, permet à tout opérateur même non expert, de procéder à une maintenance technique sur une machine. Un casque sur la tête, l'individu voit en temps réel apparaître dans son champ de vision des informations qui se superposent à l'outil réel. Plusieurs modes d'actions s'offrent à lui :

- l'image qu'il observe est retransmise en temps réel à un ingénieur qualifié, qui le guide à distance dans l'opération de maintenance ;

- l'image qu'il observe est retransmise en temps réel à d'autres collaborateurs, avec qui il peut partager la situation malgré des environnements parfois complexes ;
- le casque lui donne accès à un plan interactif de la machine, sur laquelle il intervient avec validation automatique des différentes étapes du processus de maintenance.

Un outil au service de la TPM

Force est de constater que la “*smart maintenance*” présente de multiples avantages, tels que :

- la réduction des coûts de maintenance ;
- l'amélioration de la productivité, avec moins d'interruption fonctionnelle des machines et de temps nécessaire à la réalisation des opérations de maintenance ;
- la réduction des coûts de main-d'œuvre, du fait de la possibilité d'opérer sans bagage technique, en bénéficiant éventuellement d'un avis, à distance de la situation ;
- une facilité de prise en main : l'individu peut réaliser les opérations techniques en gardant les mains libres.

Ce qui fait toute la différence, comme l'écrit le polytechnicien Pierre Veltz, ingénieur du corps des Ponts et Chaussées et docteur en sociologie : « *Soient deux usines de yoghourts, absolument identiques, mêmes qualifications, niveaux de salaires très proches. Surprise : le coût de la tonne produite varie de 50 % entre les deux sites. Pourquoi ? [...] C'est la disponibilité des machines qui creuse l'écart. Or celle-ci dépend directement de la densité et de la qualité des communications au sein des collectifs humains gravitant autour de la machinerie, de*

Depuis 2008, Jérôme Poulain co-dirige la société Audace Digital Learning aux côtés de Dominique Caelen, directrice générale. Diplômé en communication et en management de l'intelligence collective via les réseaux numériques, il dispose de 30 ans d'expérience dans le domaine de la formation digitale. Il maîtrise les techniques de créativité, d'analyse transactionnelle et de programmation neurolinguistique.





Lorsque l'opérateur regarde l'engin réel, cette image virtuelle se superpose : il visualise en temps réel le fonctionnement du moteur. Diverses informations apparaissent : il peut identifier chaque pièce et émettre des diagnostics de codes pannes.

leur capacité à apprendre collectivement, à interpréter et à gérer les flux d'événements qui constituent désormais le véritable substrat du travail. »⁴.

Formation à la maintenance

Concepteur de solutions pour l'analyse des réseaux de communication embarqués et d'outils de diagnostic après-vente, Exxotest (marque de Ancey Electronic) offre aux professionnels de l'industrie automobile (constructeurs, équipementiers, intégrateurs et établissements de formation) des solutions pédagogiques de formation à la maintenance. Dans ce cadre, notre société Audace Digital Learning a conçu un matériel didactique en réalité mixte pour l'apprentissage à la maintenance d'engins industriels.

Par le biais de lunettes de réalité augmentée, le jumeau virtuel du moteur de machines industrielles Volvo D8 apparaît en superposition sur le matériel réel (visuel ci-dessus). L'apprenant peut alors observer de près la structure ou encore le fonctionnement du moteur et des chaînes fonctionnelles (circuit d'air, d'huile, de carburant, etc.). Il peut également découvrir des informations techniques, lesquelles sont suivies de quizz et d'animations pour faciliter son apprentissage.

Cas d'un environnement à risque

En collaboration avec Orano R&D, nous avons participé à la mise au point d'un dispositif de maintenance équipé d'un outil de visualisation des points ionisants au sein d'ateliers de Centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) d'EDF (ci-dessous).

Muni de lunettes de réalité virtuelle, l'opérateur se voit délivrer des consignes et des conseils à chaque étape de son intervention de maintenance. Il peut



ainsi progresser dans l'environnement en visualisant les radiations et optimiser son exposition au risque.

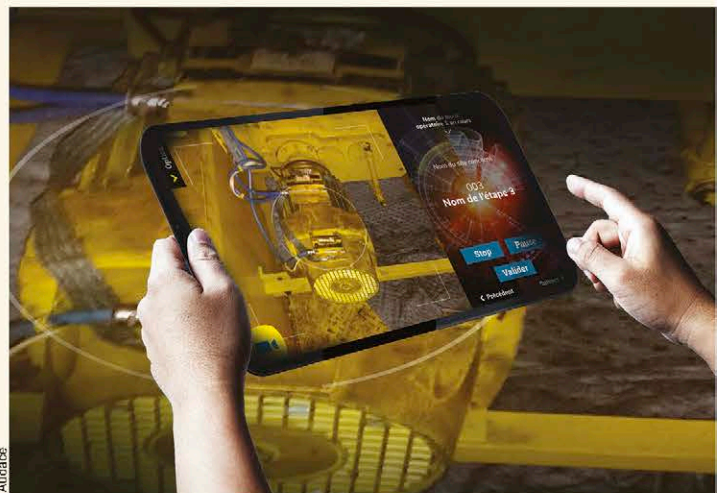
Cet outil d'assistance accompagne l'opérateur sur son chantier d'intervention (process, sécurité, etc.).

Une tablette entre les mains

Pour notre client Orano, nous avons conçu et développé Aron (ci-dessous) : un logiciel de réalité augmentée sur tablette qui a pour but d'accompagner l'opérateur dans le processus de réparation de machines. Celui-ci est guidé pas à pas dans sa mission. Ses gestes sont validés par reconnaissance d'images et il bénéficie d'un compte-rendu détaillé de l'opération, le tout en temps réel. Aron s'avère être un outil facilitant pour un réel gain de temps et d'efficacité.

Avec l'arrivée de la "smart maintenance", finies les pertes liées à l'interruption des machines et la formation coûteuse d'un personnel "expert". Cette avancée technologique représente plus que jamais un vecteur de performances industrielles et économiques. ■

Jérôme Poulain



Muni d'une tablette tactile dotée de réalité augmentée, l'opérateur est guidé pas à pas dans son intervention. Ses gestes sont validés par reconnaissance d'images.

1. Née officiellement au Japon en 1971, dans un contexte de compétition féroce dans l'industrie automobile, la TPM correspond à l'évolution des méthodes de maintenance dans le but d'accroître le rendement des machines et de limiter les pertes de production. Elle est arrivée en Occident dans les années 1980.
2. Réalité augmentée : solution permettant de superposer des éléments virtuels 2D ou 3D sur une image réelle. Il ne faut pas confondre avec la réalité virtuelle (ou réalité de synthèse, terme officiel) qui est une simulation informatique interactive immersive, visuelle, sonore et/ou haptique, d'environnements réels ou imaginaires, à l'instar des jeux vidéo ou des simulateurs.
3. Réalité mixte : généralement considérée comme une branche avancée de la réalité augmentée, la réalité mixte (RM, MR) s'en distingue par sa capacité à fusionner un environnement réel avec des éléments virtuels, en générant entre eux des interactions dignes d'un scénario réel.
4. In : Pierre Veltz, "La société hyper-industrielle, Le nouveau capitalisme productif", Seuil, 2017.

Opérations décentralisées d'un groupe international

Adapter la formation aux publics et aux cultures

Les méthodes et techniques de développement des compétences dans un environnement multiculturel et décentralisé sont multiples. Un grand groupe industriel, Imerys, montre ici l'exemple de bonnes pratiques concernant ses différents sites.

Dans un groupe industriel multinational comme le nôtre, il importe de faire face aux défis liés à la structure même que sont, notamment, la diversité des cultures et des langues, la variété des minerais, des processus de transformation, de la taille de nos sites, mais aussi l'intégration de nouvelles acquisitions d'entités ou sociétés avec leurs équipes déjà en place. Cela se traduit, par exemple, par la nécessité de traduire certains documents dans plus de 26 langues. Mais il importe aussi de faire face aux défis liés à chaque salarié, tels que les différences de carrières professionnelles entre individus, l'ancienneté professionnelle dans le groupe ou encore les connaissances de chacun.

Pour répondre à tous ces enjeux, les cours formels ne peuvent suffire à développer la totalité des compétences techniques et en termes de management. C'est pourquoi le groupe cherche en permanence à améliorer les méthodes d'apprentissage de ses collaborateurs travaillant dans ses "opérations" décentralisées (autrement dit ses sites industriels) à travers le monde. Pour ce faire, il a développé des parcours de formation ouverts à tous ou répondant à des types de population et de métiers spécifiques, basés sur différentes méthodes allant de la formation traditionnelle en "classe", à la mise en pratique sur le lieu de travail, en

passant par le digital et ses avantages. Le *digital learning*, apprentissage recourant à des outils numériques en cours ou par Internet, utilise beaucoup de termes anglais, parfois sous forme d'abréviations, parfois non traduits. Il importe d'en connaître la signification.

Populations variées, objectifs communs

Les populations concernées par nos parcours de formation sont celles que l'on retrouve sur le terrain des opérations. Elles occupent différentes fonctions : superviseur, ingénieur procédé, ingénieur amélioration continue, responsable de carrière, directeur de site. La particularité de ces salariés est d'être répartis à travers le monde, et géographiquement isolés de leurs pairs. À titre d'exemple, chaque site industriel ne compte qu'un responsable de carrière et qu'un directeur.

Mais tous les collaborateurs du groupe partagent un même objectif, celui de rechercher la performance pour leurs

Après près de 30 ans passés dans l'opérationnel à l'international, y compris à la direction d'usine, **Véronique Tetaz** a pris la vice-présidence amélioration continue industrielle du groupe Imerys. Ingénieur de formation, sa passion est de fixer et d'atteindre des objectifs ambitieux en commençant par faire en sorte que les personnes soient fières de l'entreprise dans laquelle elles travaillent. Elle a récemment pris de nouvelles fonctions au sein du groupe.

DOSSIER

Imerys, leader mondial des solutions minérales pour l'industrie

Spécialiste leader mondial dans l'extraction et la transformation de minéraux de spécialité, Imerys offre des solutions fonctionnelles à haute valeur ajoutée pour un grand nombre de secteurs, depuis les industries de procédés jusqu'aux biens de consommation. En 2020, il a réalisé 3,8 Md€ de chiffre d'affaires. Le groupe, dont le siège se trouve en France, est présent dans plus de 40 pays et sur les cinq continents. Il compte ainsi 16 400 salariés répartis sur plus de 245 sites industriels, laboratoires et bureaux. Sur chaque site industriel, appelé "opération", ils occupent des fonctions variées telles qu'opérateur, superviseur, ingénieur procédé, ingénieur amélioration continue, responsable de carrière ou encore directeur de site.

Imerys





DR
Équipe "Lead My Team" devant le site de Spica en Italie, le 14 mai 2019.



DR
Équipe de salariés visitant le site de Domodossola en Italie au cours d'une formation "Lead My Team".

opérations. Et ce qui peut fonctionner sur un site peut être appliqué avec succès sur un autre. Dans ce contexte, l'un des enjeux en termes de performance et de duplication de bonnes pratiques (pour parvenir à des économies de coûts, à un gain de productivité, et aussi d'améliorer les conditions de travail et de sécurité sur sites) est la mise en réseau de ces populations. Aussi, les objectifs recherchés de développement des compétences des salariés en opérations sont les suivants :

- former et retenir les salariés ayant les bonnes compétences ;
- attirer des jeunes talents grâce à notre capacité à les développer ;
- proposer des accès à de nouveaux modes de formation et de développement des compétences ;
- développer des réseaux par fonction, dynamiques, interagissant et apprenant les uns des autres.

"70/20/10", un modèle confirmé

Les formations du groupe sont fondées sur le modèle "70/20/10", qui fait référence aux mécanismes d'apprentissage des individus, à savoir :

- 10 % du temps d'apprentissage en formation traditionnelle ou en "classe" ;



« À l'occasion de la présentation des trois projets finaux, nous en avons profité pour célébrer et discuter des objectifs atteints avec les participants du programme Lead My Team. Ce fut un moment d'échanges visant à renforcer à la fois l'épanouissement personnel et l'amélioration de la communication au sein des équipes. Cela a été une excellente occasion de partager les meilleures pratiques, de créer des liens et d'améliorer les relations ».

Fabrizio Balducci, directeur de site, Imerys Italie.

- 20 % à travers les interactions sociales, en groupe, avec l'entourage et les collègues ;
- 70 % à travers la mise en place quotidienne des apprentissages et la pratique sur le lieu de travail. La mise en œuvre de ces apprentissages est extrêmement importante puisque c'est par ce biais que l'apprenant retient.

Ces dernières années, le groupe a investi dans de nombreux parcours de formation basés sur ce modèle, comme nous allons le voir à travers quelques exemples.

Intégration des nouveaux arrivants

Désireux de faire suivre à chacun le même parcours, bien que certains modules de formation soient obligatoires et d'autres pas, l'intégration est la première porte d'entrée pour les nouveaux collaborateurs du groupe. Elle se décline sous deux formes, l'une pouvant se faire avant l'autre :

- **Une intégration spécifique par fonction :** le nouvel employé est accueilli au sein de sa fonction. L'objectif est de lui expliquer les différentes ressources qu'il va pouvoir trouver en ligne (sur l'intranet et sur un portail dédié) pour mener à bien l'exercice de son métier, comme les règles de la société, les procédures mises en place sur le site, ou encore la démarche environnement, hygiène, sécurité ;
- **Un séminaire d'intégration global :** ce séminaire permettra au nouvel arrivant de découvrir les différents services et de se constituer un réseau de contacts avec ceux qui, comme lui, ont intégré le groupe dans l'année.

Ainsi, des séminaires d'intégration spécifique des nouveaux managers de sites et des ingénieurs amélioration continue sont organisés chaque année. Ces derniers, près d'une cinquantaine déployée à l'international, sont appelés nos "champions". D'habitude, ces séminaires se font en présentiel mais avec le Covid-19, le groupe a dû adapter ses pratiques et, en 2020, les a organisés de manière virtuelle.

Initiation à de nouvelles compétences

Pour les collaborateurs déjà en poste, des formations plus générales sont proposées à l'échelle du groupe, ouvertes à tous quel que soit le pays ou la fonction, pourvu qu'on soit francophone ou anglophone. Elles couvrent différents domaines : la géologie, les finances, la gestion de projets, le *management*, etc. Ils peuvent ainsi découvrir des fonctions-clés pour l'entreprise mais qui sont loin de leur travail quotidien, comme les fondamentaux de la finance pour des non-financiers ou ceux de "Geology rocks" pour les non-spécialistes de la géologie (une formation de deux jours comprenant une visite de carrière en Bretagne ou en Grèce).

Rendez-vous jeudi

Une grande partie des formations destinées aux équipes en opérations sont disponibles sur la plateforme de *learning* interne, dénommée "IM-Pulse". La catégorie "*Operations & me*" ("les opérations et moi") regroupe plus de 120 modules d'apprentissage à distance, en libre-service pour tous les collaborateurs où qu'ils se trouvent dans le monde. Le "13 heures du jeudi" est devenu un rendez-vous incontournable pour les salariés désireux d'approfondir un sujet lors d'une classe virtuelle. Pendant trente minutes, un expert du groupe développe le sujet de la manière la plus simple possible, accessible à tous, en une présentation virtuelle et interactive. Le sujet peut être aussi bien d'ordre technique, par exemple, l'optimisation de la performance d'un

« Certains participants avaient des idées d'amélioration identifiées depuis un moment. Lead My Team leur a donné l'opportunité de cadrer leur projet et d'obtenir le soutien nécessaire pour le voir aboutir. Tout au long du déploiement du programme, nous avons accordé une place très importante au facteur de visibilité : pour nous, il était très important que les participants puissent montrer leurs projets, partager ce qu'ils avaient accompli et en être fiers ».

Cristal Arredondo,
coordinatrice ressources humaines, Imerys Mexique



équipement de flottation, que d'intérêt général comme la nouvelle politique de responsabilité sociale et environnementale (RSE) du groupe.

Suivie en direct par une centaine d'auditeurs depuis sa mise en place en 2016, chaque séance au "13h du jeudi" est enregistrée et peut être visionnée par la suite. Ces formations, enregistrées, sont utilisées dans les parcours de formation en ligne (reprises sur la plateforme de *learning*, elles peuvent aussi être ajoutées aux parcours de formation existants et les étoffer). Toutes sont actualisées par la population concernée.

"LEAD MY TEAM" EN CHIFFRES

2017 : date de création du programme
3 à 6 mois : durée de certification
> 1 500 superviseurs formés à ce jour
145 sites industriels concernés
18 pays l'ont déployé
10 langues

Engin d'extraction dans
une carrière d'andalousite
en Afrique du Sud
(marché sanitaire).





Participants à la formation "Lead My Team" le 15 mai 2019, à l'entrée du site Imerys de Centurion (Afrique du Sud), qu'ils sont venus visiter.

Participants à la formation "Lead My Team" les 8-10 octobre 2019 à Vereeniging, en Afrique du Sud.

Améliorer les compétences sans relâche

Pour certaines populations spécifiques, telles que les ingénieurs procédés et les ingénieurs amélioration continue, des ressources leur sont dédiées :

- **Les communautés virtuelles** : il s'agit d'une plateforme permettant d'interagir à distance, d'échanger les bonnes pratiques, de s'entraider, se poser des questions, célébrer ensemble des succès ;
- **Des événements réguliers** : ils se déroulent en présentiel, sur site, avec une formation en salle, des mises en pratique (par exemple la réalisation d'un bilan thermique, avec des mesures prises sur le terrain) et un projet à mener en application des enseignements appris lors de cette formation ;
- **Le partage de savoir et de bonnes pratiques** : chaque trimestre se déroule un concours de bonnes pratiques. À titre d'exemple, le dernier en date, au second semestre 2020, a relevé le challenge : "Comment augmenter nos performances sans dépense

d'investissement ?" Ce concours a battu un record, avec 70 bonnes pratiques collectées à travers le monde. Parmi elles, selon un processus habituel, une dizaine sont sélectionnées et soumises aux différentes communautés, à travers un vote qui se fait entre pairs. La vidéo de la pratique gagnante est ensuite mise en ligne sur le site intranet du groupe.

Le projet vainqueur de cette dernière édition du concours est lié au recyclage de billes de céramique d'alumine dans notre process, sur le site industriel de production de carbonates d'Amritsar, en Inde. Gokul Vinoth, directeur des opérations du site, s'en réjouit : « C'est une grande fierté d'avoir remporté ce concours. Mon conseil, tiré de notre expérience consistant à générer des "gains rapides sans grande dépense d'investissement", serait d'analyser tous les déchets générés sur le site et de voir comment les réduire, les réutiliser ou les recycler. »

Des certifications valorisantes

Les salariés du groupe qui peuvent y prétendre et le souhaitent ont aussi la possibilité de valider des certifications externes, telles que les certifications de compétences en *lean management* "Green Belt" et "Yellow Belt" (inclut dans la certification "Green Belt"), délivrées par un organisme tels que l'Afnor. Selon elle, la certification "Green Belt" en conduite de projet simple « permet de démontrer que vous mettez en œuvre avec rigueur les phases et étapes de la démarche DMAIC

(Define, Mesure, Analyse, Improve, Control) en utilisant les outils du lean et du management de la qualité, afin d'améliorer de façon importante les processus stratégiques de l'entreprise ».

Les salariés du groupe qui occupent la fonction de superviseur d'usine se voient quant à eux proposer de suivre le parcours de certification "Lead My Team" ("diriger mon équipe"). L'objectif est de former au management des équipes ces collaborateurs au plus proche du terrain et des opérateurs. Ce qui peut prendre entre 3 et 6 mois en fonction de l'usine et du projet à mener. Pour ce faire, le groupe a développé en interne un parcours de formation sur le modèle "70/20/10".

La formation, dispensée dans la langue native du pays, est organisée en session de trois jours en présentiel, lors de laquelle sont abordés les concepts et bonnes pratiques managériales, la sécurité et l'amélioration continue. Une large partie du temps est dédiée aux échanges d'expérience des participants. Un parcours de formation en ligne obligatoire vient compléter cette formation, notamment sur la sécurité et l'amélioration continue.

Cette formation est suivie d'une mise en application à travers un projet d'amélioration de performance, que chaque apprenant doit mettre en œuvre sur son propre site avec le soutien de sa hiérarchie. Il doit ensuite soutenir son projet devant un jury. Et ce n'est qu'à l'issue de cette soutenance qu'il sera certifié ou non "Lead My Team". Sur l'année 2020, 925 salariés ont suivi cette formation et 347 ont obtenu la certification (chiffres arrêtés fin octobre).

La certification "Lead My Team" est déjà couronnée de succès et le groupe entend bien que cela continue : il se fixe pour objectif de former jusqu'à 1 500 responsables sur trois à quatre ans, et de maintenir cette formation pour les nouveaux collaborateurs. Mais la reconnaissance de la qualité du parcours de certification "Lead My Team" s'étend au-delà du groupe puisqu'en 2019, il a été récompensé du prestigieux prix d'argent décerné par l'organisme américain Brandon Hall Group, dans la catégorie excellence dans le développement du *leadership* (photo ci-dessus).

Évolution des formations

Les moyens déployés par le groupe en termes de formation et de développement des compétences sont soumis actuellement à une évolution tant conjoncturelle que structurelle. La situation actuelle liée à la pandémie de Covid-19 avec, en conséquence, l'encouragement au télétravail et à la limitation des déplacements professionnels, oblige à repenser les formations en termes de formats.

Il a fallu les repenser et les déployer davantage en distanciel. Ainsi, des formations qui se faisaient en présentiel sur deux jours ou une semaine, doivent maintenant être étalées sur deux semaines à un mois en digital. Et ce, afin de s'assurer de capter l'attention des apprenants. Les formats proposés désormais sont plus courts, mais dispensés de manière plus régulière, l'idée



Cérémonie de remise du prix d'argent Brandon Hall Group de la formation "Lead My Team" en 2019 avec, de gauche à droite, Vanessa Gil, Cristina Hurgon et Véronique Tetaz d'Imerys.

étant de maintenir un *momentum* et de renforcer le partage entre les participants.

Fluidifier le processus de mise à disposition de contenu fait l'objet d'une recherche en continu au sein de l'équipe en charge des formations du groupe. Le contenu étant vite périmé, il ne sert à rien de chercher l'hyper qualité de la mise à disposition. La fréquence d'accès au contenu est plus importante. Ainsi, mieux vaut-il privilégier des modules courts mais proposés plus souvent.

Aussi, il peut s'avérer utile d'aller voir ce qui se fait à l'extérieur, par exemple sur les salons spécialisés comme *Learning Technologies France* dont la dernière édition vient de se dérouler. Par ailleurs, le groupe ne disposant pas de structure interne pour la création de contenus de formation, l'équipe en charge des formations s'appuie de plus en plus sur des experts et des organismes extérieurs. Aussi, des échanges se nouent avec des confrères du même domaine d'activité, à travers des partenaires communs comme *Arts & Métiers Accélération* et son programme Focus Industry 4.0.

Grâce à l'industrie 4.0, qui correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production en se plaçant à la convergence du monde virtuel, de la conception numérique et de la gestion réelle, nos modes de développement des compétences ne cessent d'évoluer. ■

Véronique Tetaz

À l'université

De la rencontre d'étudiants à celle de leurs formations

Comme chaque année, le congrès-exposition de la Sim accueille des étudiants qui s'impliquent jusque dans l'organisation. Nous avons rencontré certains d'entre eux, bien contents d'échanger sur leurs propres parcours de formation. L'occasion pour nous d'évoquer les masters GER de l'université de Montpellier et EGERM de l'université d'Orléans.

Douze étudiants alors en master 1 géologie de l'exploration et des réservoirs (GER) à l'université de Montpellier (photo ci-dessous) ont fait le trajet pour participer au congrès de la Sim à Angers en octobre 2020. Sur les six que nous avons rencontrés :

- trois viennent d'un parcours L1-L3 en sciences de la Terre, de l'eau et de l'environnement (STEE) effectué à l'université de Montpellier avec, pour l'un d'entre eux, un L3 à l'université du Québec à Chicoutimi (UQAC) dans le cadre d'un échange inter-universités ;
- l'un vient d'un parcours L1-L3 en sciences de la Terre à l'université de Lille – lequel peut se poursuivre sur place par un cursus master en ingénierie (CMI) géosciences appliquées ou le master georesources, géorisques, géotechnique (3G) parcours géologie de l'ingénieur (GEOLIN) ;
- l'un est arrivé en L3 STEE à l'université de Montpellier après un parcours L1-L2 en sciences de la Terre et de l'univers (STU) à la faculté des sciences et techniques de l'université de Nantes ;
- l'un vient d'un parcours L1-L3 en sciences de la Terre à l'université de Franche-Comté – préalable à l'intégration sur place du master en géosciences géologie appliquée (Gap) georesources, géorisques, géotechnique (3G).

Le master GER, de la géologie des réservoirs fluides aux mines et carrières

Tous apprécient la complétude du master GER, l'exploration oil & gaz et l'exploitation minière, de même que les études de terrain : un stage d'intégration d'une semaine dans la Montagne noire à la découverte de la géologie structurale en début de M1, puis un jour/semaine en moyenne durant la période d'enseignement. « En master 1, une partie de nos enseignants-chercheurs dispose d'une expérience dans l'industrie, et nous présentent des modèles géologiques qu'eux-mêmes utilisent en interne dans leur entreprise. En master 2, la



Espace dédié à l'enseignement supérieur sur la partie "exposition" du congrès-exposition de la Sim qui s'est tenu en octobre 2020 à Angers.



Groupe d'étudiants en M1 GER à l'université de Montpellier, venus participer et assister au congrès-exposition de la Sim à Angers en octobre 2020.

quasi-totalité de nos enseignements sont dispensés par des experts de la mine et du pétrole. Il ne s'agit pas de longues démonstrations théoriques, mais d'un condensé essentiel véritable fruit d'années d'expériences dans le but de nous rendre opérationnels. Nos nouvelles compétences, nous les appliquons directement lors de nombreuses études de cas sur le terrain », expliquent les étudiants.

Le master GER (géologie de l'exploration et des réservoirs) a été fondé en 2004, par le professeur Michel Lopez. « Pendant une dizaine d'années, ce master était fortement orienté vers la géologie des réservoirs fluides, sur la base de compétences d'un géologue d'exploration capable d'appréhender le terrain et disposant de connaissances fortes en géologie sédimentaire, explique le responsable actuel du master, le professeur des universités Manuel Muñoz spécialisé en ressources minérales. Depuis 2014, le master s'est progressivement ouvert aux métiers des mines et des carrières, à travers un enseignement reposant largement sur les activités de terrain, tout en nouant de nombreux contacts avec des partenaires industriels ».

Ce master revendique un fort ancrage sur les problématiques industrielles. Son comité de pilotage rassemble des enseignants et des partenaires industriels. « Chacun participe de manières différentes au master, précise Manuel Muñoz. Lors des réunions annuelles du copil, certains partenaires industriels apportent un point de vue extérieur des enjeux, des compétences, etc., tandis que d'autres préfèrent participer en dispensant des cours ou encore en menant des actions de subvention (achat de matériels, mécénat en soutien aux activités de terrain, etc.) » Souignons, par exemple, un stage de terrain de huit jours en Espagne en fin de M1 ; converti temporairement en stage virtuel en 2020, puis en stage dans les environs de Digne-les-Bains en 2021 à cause de la crise sanitaire. Ou encore une journée de cours par un géologue d'Orano se poursuivant par une journée de prospection de minerais uranifères avec utilisation de compteurs geiger.

La société Coralis assure quatre journées de formation sur son logiciel de modélisation des réserves (photo ci-dessous) ; logiciel largement déployé, par exemple, au sein d'Imerys ou d'Eramet. « L'idée est d'apprendre à manipuler de la donnée, géologique et géophysique, à savoir l'intégrer au modèle numérique pour le faire parler, tout en appréhendant la notion d'incertitude, pour-



Coralis

Vue aérienne de présentation d'un projet de carrière de calcaire, produite par utilisation du logiciel de modélisation des réserves de la société Coralis.



Manuel Muñoz

Étudiants de la promotion 2020-2021 du master GER de l'université de Montpellier, en visite de terrain à la découverte de l'ancienne mine de plomb et zinc à Carnoullès (Gard).

suit Manuel Muñoz. Toutefois, l'école des mines d'Alès étant plus axée sur la modélisation, le phasage d'exploitation, ... nous développons des liens étroits avec elle ». Ainsi, le master GER offre la possibilité d'un parcours bi-diplômant avec l'IMT Mines Alès : obtention du diplôme d'ingénieur en deux ans après un M1, ou d'un certificat en un an après un M2.

En moyenne, un an après leur diplôme, sur les différentes promotions diplômées GER, environ 60 % trouvent un emploi en CDD ou en CDI dans des domaines en lien avec la géologie : ingénieur géologue, géologue d'exploration, "data manager", etc. Environ 20 % poursuivent leurs études, à l'IMT Mines Alès, IFP Énergies Nouvelles, en master hydrosciences à Montpellier, en master énergie à Paris, etc. Et environ 20 % poursuivent en thèse dans différents laboratoires de recherche.

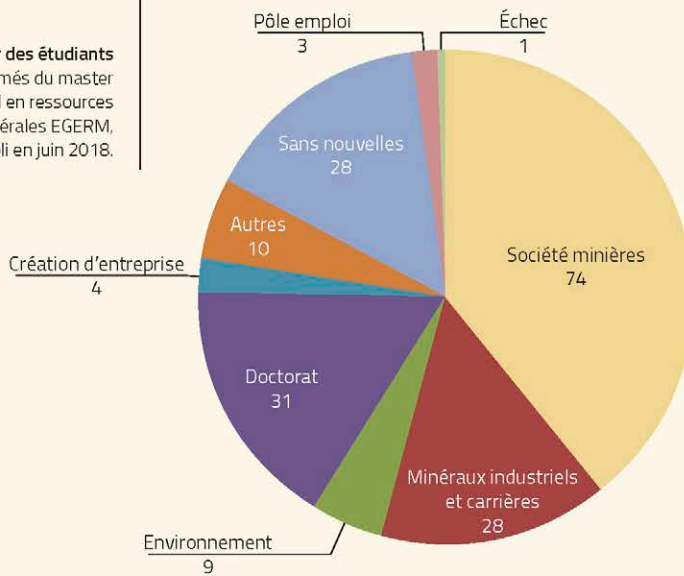
Chaque année, ce master reçoit entre 300 et 400 dossiers de demandes d'intégration, pour une vingtaine de places par promotion.

Le master EGERM, un co-enseignement trans-Atlantique

Le master international en ressources minérales EGERM (exploration et géomatique/gestion des ressources minérales) "parcours canadien", commun à l'université d'Orléans et à l'université de Montréal, a été créé en 2001 par l'enseignant-chercheur et docteur en géologie Éric Marcoux. « Unique de par son co-enseignement, il vise à donner une réelle formation théorique et appliquée aux étudiants en master de ressources minérales », explique-t-il. Cette formation de géologues cadres pour les ressources minérales est dispensée par des enseignants-chercheurs, personnels universitaires de l'observatoire des sciences de l'univers en région Centre (OSUC, une composante de l'université d'Orléans), rattachés à un laboratoire de recherche de l'ISTO, l'Institut des sciences de la Terre d'Orléans. De 2001 à 2019, elle a connu 19 promotions, soit 197 diplômés. Leur taux d'embauche en fin d'études fut de 95 % de 2002 à 2009 puis de 83 % de 2010 à 2018. La figure page suivante présente le bilan établi en juin 2018.

Les statistiques montrent que 39 % des diplômés ont intégré des compagnies minières et sociétés de service minier : Orano (ex-Areva) pour 11 d'entre eux, SLN (6) et Koniambo (3), et aussi Jamgold, Avion-

Devenir des étudiants diplômés du master international en ressources minérales EGERM, établi en juin 2018.



GoldCorp, Aurizon, Azimut, SOQUEM, Agnico Eagle, IOS, etc., que par ailleurs, 15 % ont rejoint l'industrie des minéraux industriels et des carrières : Imerys (12), Cemex (5), Lafarge (2), Eurovia (2), etc. Enfin, 16 % ont poursuivi en doctorat et 12 % ont intégré un bureau d'études en environnement et géotechnique.

Cette formation de master 2 est organisée par semestre en trois temps : un enseignement à l'UQAM (université du Québec à Montréal) plutôt orienté mines d'août à décembre, un enseignement à l'université d'Orléans plutôt orienté minéraux industriels et carrières de janvier à avril et un stage en entreprise de mai à septembre. « Jusqu'à 30 % des étudiants sont repartis au Canada pour leur stage, voire s'y sont installés en fin d'études », précise Éric Marcoux. Avec cette formation, les étudiants acquièrent des compétences en mines et en carrières : géologue minier et de carrières ;

de l'exploration à la réhabilitation de l'après-mine ; géomatique approfondie (cartographie numérique, analyse spatiale prédictive, statistiques/géostatistiques, modélisation 3D,...).

Aujourd'hui, ce master EGERM est un des parcours du master georessources, géomatériaux et géodynamiques (G3). « Au préalable, les étudiants étaient majoritairement orléanais, déjà présents en master 1 et même souvent en licence sciences de la Terre, telle que la licence en géosciences portée par l'OSUC, explique Éric Marcoux. Aujourd'hui, nous considérons aussi les bons dossiers de master 1 orientés ressources ou géologie appliquée, tels que le MI Geomore (Géologie, modélisation, exploration des ressources) du parcours de formation aux géosciences de l'université de Rennes 1, ou encore le MI géologie, géophysique, géotechnique (3G) de la faculté des sciences de l'université Côte d'Azur à Nice ».

Ce master EGERM bénéficie de la proximité géographique avec le BRGM. Des chercheurs de l'organisme public interviennent dans l'enseignement dispensé en France. « Le terrain est très important dans cette formation », poursuit Éric Marcoux. Au Canada, les étudiants sont amenés à visiter des mines telle que la mine d'or LaRonde exploitée par Agnico Eagle à 3 200 m de profondeur. En France, ils partent une semaine en Bretagne à la découverte des procédés d'extraction, de traitement et de réhabilitation de carrières à travers les sites exploités par Imerys à Glomel (andalousite) et Plcumeur (kaolin).

« C'était un très beau cursus, qui s'est un peu usé », confie Éric Marcoux. Si la mixité était très partagée, avec en général 40 % de la promo constituée de filles et 60 % de garçons, depuis deux ans les étudiantes sont bien moins nombreuses. L'université d'Orléans n'a plus que deux postes d'enseignants-chercheurs sur le cœur de métier que sont les ressources minérales, occupés par Éric Marcoux et Stanislas Sizaret, aujourd'hui responsable du master. Les étudiants intéressés par la formation sont un peu moins nombreux. Et avec la crise de la Covid, si la promotion 2019-2020 a pu reporter sa pratique du terrain du printemps 2020 à septembre. Pour cause de Covid, la promotion 2020-2021 n'a pas pu partir au Canada ; tous les enseignements ont été adaptés et donnés à Orléans.

« Ces cinq semaines de terrain en septembre, loin de toute civilisation pour valider notre M1, ce fut une très bonne chose, témoigne l'un des étudiants de la promotion 2019-2020, Alban Cip, venu lui aussi participer au congrès-exposition 2020 de la Sim à Angers. Durant le premier confinement, nous étions tous en stage, moi rattaché à distance à l'ISTO, avec de nouveaux logiciels à apprendre et à maîtriser pour traiter des données ». Un peu livrés à eux-mêmes, avec des interventions à distance de leurs maîtres de stages, les étudiants ont cependant tenu le coup. « Nos enseignants-chercheurs ont bien géré la fin du M1, en rééquilibrant les différents modules pour tenir compte de ce que nous avions déjà rendu dans un module à fort coefficient et fondre dans d'autres modules ce que nous n'avions pas encore fait », témoigne l'étudiant. ■ Camille Saisset

De haut en bas : Visite de la mine LaRonde au Québec par des étudiants de la promotion 2017-2018 du master EGERM, une des plus profondes au monde, d'environ 3 000 m selon qu'on considère le puits, les chantiers d'extraction, etc.

Visite de la grande carrière de granulats routiers de la Société Lessard située à Saint-Lubin-en-Plémet (Côtes d'Armor), par la promotion 2019 de master 2 EGERM avec, au centre, le géologue Eric Marcoux.



UQAM



Société Lessard

À l'université ou en école d'ingénieur

Des offres de formation initiale par alternance

Ces dernières années, les formations par alternance se développent jusque dans les niveaux d'études supérieures. Dans le domaine des géosciences, des métiers des mines, des carrières et des ressources minérales, nous avons identifié trois formations par alternance.

« **L'**alternance est une demande de beaucoup d'industries. Pouvoir y répondre, cela demande une adaptation très importante », confie l'enseignant-chercheur de l'université d'Orléans Eric Marcoux. En effet, dans le monde universitaire, l'organisation pédagogique repose sur des semestres. « Rassembler tous les cours sur un à deux mois, c'est très difficile à mettre en œuvre ! », poursuit-il.

Et pourtant, à l'université de Franche-Comté, le master géologie appliquée (Gap) géoressources, géorisques et géotechnique (3G) est enseigné en alternance depuis une quinzaine d'années. Durant les premières années, les étudiants de M1 suivaient les cours à l'université de la rentrée de septembre à fin mars, avant de rejoindre leur entreprise du 1^{er} avril à fin septembre. Ils enchaînaient ensuite en M2 avec des cours jusqu'à fin février, et du 1^{er} mars à fin septembre, ils étaient en entreprise. « Les entreprises demandaient à avoir des contacts plus tôt avec leurs étudiants-apprentis, et nous avons changé l'organisation du master depuis trois ans », explique Olivier Fabbri, directeur du master Gap 3G.

Le master 3G, l'alternance depuis 15 ans

Désormais, les étudiants sont censés avoir trouvé un contrat de professionnalisation quasiment au moment de leur admission en master pour, un mois après la rentrée de septembre, passer leurs premiers mois en entreprise en octobre-novembre, avant de retrouver les bancs de la fac pour repartir en entreprise début mai de l'année suivante. « Le gros avantage pour l'étudiant-apprenti, c'est de signer un contrat de travail dès le 1^{er} octobre, soit six mois plus tôt qu'auparavant. Aux entreprises, cela donne le temps de s'ajuster à leur nouveau salarié », souligne Olivier Fabbri. Situé entre le stagiaire et l'employé, l'étudiant-apprenti se voit souvent confier de véritables tâches par l'entreprise.



CSM&C

En cette rentrée de septembre 2020, par exemple, sur une promotion de vingt étudiants, seuls quatre/cinq n'avaient pas de contrats d'apprentissage au début du mois d'octobre. « Nous nous devons de renforcer l'accompagnement des étudiants qui n'auraient pas trouvé d'entreprise en septembre », souligne Olivier Fabbri. Sachant que, dans chaque promo, il y a chaque fois deux à trois étudiants qui s'engagent dans le master avec un objectif de géologie "fondamentale" et l'intention de poursuivre en recherche. Ces derniers font leur stage non pas en entreprise mais au laboratoire chrono-environnement (unité mixte de recherche CNRS-université de Franche-Comté) situé à Besançon. Ils sont alors indemnisés et non pas rémunérés. « Plus nous avons d'étudiants en alternance, mieux c'est, confie Olivier Fabbri. Les étudiants peuvent revendiquer une première expérience professionnelle en fin de master, et le dispositif de formation bénéficie de retombées financières précieuses pour, par exemple, entretenir le parc de véhicules servant aux visites de terrain ». Le master 3G enregistre un taux de placement des étudiants comme le montre le tableau.

Deux étudiantes se renseignent auprès de l'enseignant-chercheur Lucien Corbineau sur le stand d'UniLasalle lors du congrès-exposition 2020 de la Sim.

Tableau des dernières promotions du master Gap 3G, avec mention du taux de placement professionnel (CDI et CDD) et du taux de placement en doctorat le jour d'obtention du diplôme.

Promotion	Effectif	CDI	CDD	En recherche d'emploi	Placement en milieu professionnel	Souhaitant poursuivre en doctorat	Placement en doctorat	Poursuite d'études en géosciences	Réorientation
2015-2016	25	11	3	7	66%	2	100%	/	2
2016-2017	23	11	5	5	76%	2	100%	/	/
2017-2018	23	10	5	3	83%	3	100%	2	/
2019-2020	17	8	2	3	77%	2	50%	1	/



Julie Albanic

Visite de la carrière de kaolin de Beauvoir, dans l'Allier, par les étudiants de deuxième année du master 3G de l'université de Franche-Comté, avec les explications de Flavien Choulet, maître de conférences spécialiste métallogénie-gîtologie (à gauche).

La crise de la Covid a bousculé cette organisation. « *Il nous a fallu quantifier les heures de travail des étudiants à l'université, à la demande des entreprises qui, elles, les embauchent en apprentissage aux 35 heures* », précise Olivier Fabbri. Cela s'est traduit par une estimation de 20 heures de cours en distanciel par semaine, plus 15 heures de travail personnel « *prouvant* » que les étudiants continuaient bien à suivre l'enseignement. Et au moment de réintégrer leur entreprise, les étudiants-apprentis se sont bien souvent trouvés obligés de télétravailler.

Concernant le terrain, en M1, les travaux pratiques d'hydrogéologie et de géophysique appliquée prévus au printemps 2020 ont été plus ou moins rattrapés cette année, tandis que les stages de cartographie géologique ont pu avoir lieu en septembre 2020. En M2, le stage d'une semaine prévu en Auvergne (géotechnique, ressources minérales, etc.) s'est finalement déroulé dans les environs de Besançon, avec une moindre immersion bien sûr. « *Les nombreux cours de M2 délivrés par des praticiens sur leur spécialité en entreprise ont été fortement impactés*, souligne Olivier Fabbri. *Ces cadres supérieurs seniors ont trouvé pesant de devoir enseigner leur savoir à distance et de ne pouvoir partager en présentiel les ficelles du métier* ». Près de 10 % de ces cours n'ont pu être dispensés, 20 % l'ont été en présentiel et 70 % en distanciel.

L'institut UniLasalle, l'alternance post-bac

L'Institut Polytechnique UniLaSalle (privé) propose sur son campus de Beauvais deux formations post-bac orientées vers les géosciences et l'environnement : un cycle d'ingénieur avec prépa intégrée en cinq ans et un diplôme de bachelor en trois ans. Ces deux diplômes sont accessibles aux élèves en formation classique ou bien par la voie de l'apprentissage. Pour la formation

ingénieur, l'apprentissage est majoritairement accessible à partir de la troisième année, mais quelques places sont également ouvertes en quatrième année. Pour la formation bachelor, l'apprentissage est accessible au milieu du cursus. Ces deux formations sont également accessibles par admission parallèle. « *La formation ingénieur par alternance a pour vocation de s'adresser à de nombreux profils : aux titulaires d'un BTS en géosciences, d'une licence 3 dans ce même domaine, aux élèves issus de classes préparatoires diverses, mais aussi à des élèves de BTS ayant trois ans ou plus d'expérience professionnelle en géosciences, et ce sans pour autant être passés par une validation des acquis de l'expérience ou VAE* », précise Lucien Corbineau, enseignant-chercheur à UniLaSalle.

Le calendrier de l'apprentissage est évolutif tout au long de la formation en fonction des missions données à l'élève en entreprise. Les élèves-ingénieurs partagent leur temps entre l'entreprise et l'école à équivalence d'un mois en entreprise pour un mois à l'école en bac + 3. Durée qui passe à sept semaines d'alternance en entreprise au niveau bac + 4, pour finir par un parcours d'approfondissement spécialisé de quatre mois complets à UniLaSalle, suivi de six à huit mois dans leur entreprise.

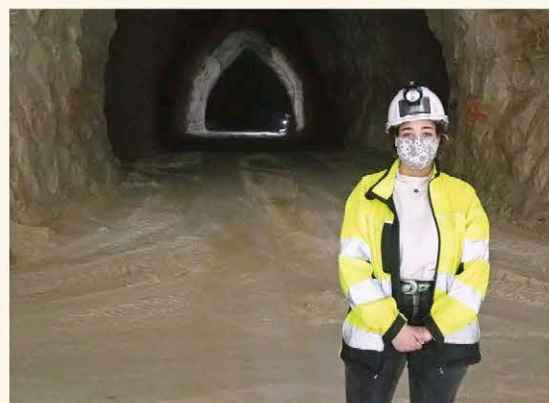
Tout au long des cursus de l'Institut, l'emphase est mise sur la pratique, au travers notamment de nombreuses visites d'entreprises, de stages de terrain et de projets appliqués en partenariat. L'unité d'enseignement « *carrière durable* », par exemple, est conduite en partenariat avec le groupe Imerys. Elle regroupe, à travers un projet collectif, l'étude de la mécanique des roches d'une carrière, du fonctionnement de son usine de traitement des matériaux et de la gestion des eaux du site (chimie de l'eau), le tout intégré au cadre réglementaire.

Malgré la crise sanitaire de Covid, cette formation pratique n'a pas été négligée, bien qu'elle ait dû mener à des adaptations durant le premier confinement notamment. Ainsi, les camps de terrain de mai 2020, décalés au mois de septembre, ont pu être maintenus pour les élèves des deux premières années.

Le taux de placement des élèves d'UniLaSalle est précisé comme on peut le voir en fin d'article. Au final, sur les 100 étudiants (en moyenne) qui sont diplômés chaque année en géosciences et environnement à UniLaSalle (ingénieurs et bachelors), 35 à 40 valident leur cursus par la voie de l'apprentissage.

L'ENSG désormais accessible par alternance

L'ENSG forme en trois ans quelque 110 élèves-ingénieurs géologues. En première année, 65 % des étudiants intègrent l'école sur concours G2E (géologie, eau et environnement) après une classe préparatoire BCPST (biologie, chimie, physique et sciences de la Terre), une vingtaine de pourcents sur concours Mines-Télécom après une classe préparatoire MP (math-physique), PC (physique-chimie) et PSI (physique sciences de l'ingénieur). L'école a également une volonté d'ouverture vers d'autres profils (15 % des



Lucien Corbineau

Clarisse Bellon, élève-ingénieur d'UniLaSalle, participe au développement d'outils numériques (SIG) pour le suivi de la production de gypse, dans le cadre de son apprentissage au sein de l'entreprise Placoplâtre (Baillet-en-France) ; prise de vue lors de la visite d'alternance (février 2021).



Guillaume Caumont, PR ENSG

élèves), avec une admission de huit élèves via les classes préparatoires polytechniques (réseau des INP) et de cinq élèves titulaires d'une licence géosciences. En seconde année, des élèves venant de l'international sont admis sur titre, via les accords établis par l'école avec le Liban, la Côte d'Ivoire et la Mauritanie pour des double-diplômes et via les dossiers "Campus France" ou "Études en France" pour des élèves venant suivre les parcours de masters portés par l'école. Dans le domaine minier, il s'agit en particulier du master 2 spécialité géoressources engineering et du master international Erasmus Mundus Emerald.

Cette école généraliste des géosciences propose une spécialisation progressive, autour de six options : génie et gestion des matières premières minérales ; ingénierie des ressources énergétiques (avec le volet hydrodynamique des réservoirs) et géologie des énergies (avec orientation sur les Enr et les problématiques de stockage) ; géotechnique et génie civil ; géologie numérique (autour des logiciels Emerson Gocad-Skua) ; gestion des ressources en eau et environnement (quantité et qualité des eaux). « *En termes d'effectifs, un tiers des élèves se spécialisent dans le génie minier intégrant les aspects mines, après-mines, carrières, et un tiers des élèves se spécialisent dans le génie civil et la géotechnique avec des domaines d'application relevant également du génie minier* », précise Judith Sausse.

Depuis 2019, l'ENSG a mis en place une filière de formation par alternance en troisième année. « *De trois élèves la première année, nous en avons 16 en cette rentrée 2020*, témoigne Judith Sausse. *Les entreprises nous font un très bon retour de cette opportunité d'intégrer dans leurs équipes de brillants élèves, motivés, qui développent et finalisent leurs compétences professionnelles au contact de l'entreprise* ». Pour l'école, cela représente de nouvelles ressources financières.

Cette filière de formation par alternance impose certes à l'école de travailler en semaine bloquée, mais cela lui permet également d'ouvrir des possibilités de formations courtes. Les étudiants sont engagés dans un contrat de professionnalisation de 12 mois, avec une période d'alternance école/entreprise de cinq mois, puis une grande période en entreprise relevant de leur stage de fin d'études. L'école peut ouvrir également aussi ses cours de première et deuxième année aux professionnels, pour des formations longues ou courtes basées sur le suivi de modules "à la carte" avec, en particulier, les écoles de terrain, cœur de la formation, qui représentent « *sept semaines de terrain sur treize sites différents* », précise-t-elle.

À l'ENSG, tous les intervenants sont des enseignants-chercheurs rattachés à des laboratoires de recherche de l'université de Lorraine et du CNRS : plateforme Steval (station expérimentale de valorisation des matières premières et des substances résiduelles) rattachée au laboratoire géoressources pour les géosciences, le Lemta (laboratoire d'énergétique et de mécanique théorique et appliquée) pour la mécanique des roches et des sols, le Cran (centre de recherche en automatique de Nancy) pour les mathématiques, le CRPG (centre de recherches pétrographiques et géochimiques), le LIEC (laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux) pour les sites & sols pollués, l'IECL (Institut Elie Cartan de Lorraine) et le LORIA pour l'informatique. L'école est d'ailleurs elle-même un observatoire des sciences de l'univers (OSU), dénommé OTELo (observatoire de la Terre et de l'environnement de Lorraine). « *Nous revendiquons la qualité de nos formations du fait de cet environnement de recherche*, précise Judith Sausse, elle-même professeur des universités et chercheuse au laboratoire géoressources. *Et le fait est que si 60 % des élèves sont pré-embauchés avant même la fin de leurs études, 12 % des élèves diplômés décident de poursuivre en thèse.* » ■

Camille Saisset

École de terrain de deuxième année du cycle ingénieur de l'ENSG, dans la région de Jaca en Espagne ; promotion diplômée en 2017.

DOSSIER

