



## NEXT produit un nouveau logiciel pour traiter les données obtenues à partir de dispositifs portatifs pour la cartographie de la prospectivité minière

Dans cet article, nous avons invité Jean Cauzid, maître de conférences à l'Université de Lorraine, pour **expliquer l'objectif et la fonctionnalité d'un ensemble de nouveaux dispositifs portatifs pour analyser la prospectivité minière**, qui ont été mis au point dans le cadre du projet Horizon2020 Nouvelles technologies d'exploration (New Exploration Technologies, « NEXT ») financé par l'UE.

### Comment décririez-vous l'objectif général des dispositifs portatifs ou portables dans le domaine de la cartographie de la prospectivité minière ?

Depuis plusieurs années déjà, les fabricants conçoivent des outils permettant de réaliser des analyses chimiques en dehors de l'environnement du laboratoire. En réalité, ces dispositifs sont équivalents aux outils généralement utilisés en laboratoire. Cependant, ils sont de taille réduite, autonomes en énergie et leur utilisation est simplifiée de sorte qu'ils reposent uniquement sur l'exigence d'une connaissance limitée de la physique par l'opérateur.

Ils ressemblent souvent à de gros pistolets et sont appelés dispositifs « portatifs » ou « portables ». Chaque dispositif est capable de fournir une quantité limitée d'informations pour deux raisons. Tout d'abord, leur utilisation est simplifiée pour être adaptée aux

opérateurs non experts. Par conséquent, il n'est pas possible de procéder à un réglage de précision des conditions d'analyse ni à une interprétation approfondie du signal. La deuxième raison est qu'un seul outil ne peut pas fournir une caractérisation complète d'un échantillon. Même en laboratoire, il faut réaliser plusieurs expériences sur plusieurs dispositifs pour obtenir un ensemble exhaustif de données.

D'autre part, ces dispositifs portatifs présentent plusieurs caractéristiques intéressantes. Ils sont à un prix abordable par rapport à leurs équivalents en laboratoire ; conçus pour être actionnés par des non-spécialistes et capables de produire des données d'une qualité incroyable. En fait, il est possible d'extraire beaucoup plus d'informations des données obtenues par rapport à ce que l'on obtient habituellement dans un laboratoire. Cela n'est pas dû à un manque d'effort de la part des fabricants, mais à la manière dont ces dispositifs portatifs sont censés être utilisés : par un non-expert, sur un large éventail d'applications possibles et sans apport d'autres techniques.

### **Pouvez-vous nous en dire plus sur les objectifs spécifiques de votre nouvelle solution logicielle dans le cadre du projet NEXT ?**

Notre objectif est de tirer le meilleur parti de ces outils en combinant les données mesurées par les dispositifs portatifs dans une nouvelle solution logicielle, en tenant compte des considérations suivantes : le logiciel doit rester adapté à une utilisation par des non-experts et nous souhaitons que ce logiciel soit disponible aussi librement que possible. Au-delà de ces considérations, deux contraintes s'imposent et conditionnent le développement du logiciel : d'une part, plusieurs techniques d'analyse doivent être utilisées à la fois et d'autre part, l'application sera restreinte à un contexte géologique limité. Le défi consiste à rendre le passage d'un contexte géologique à un autre aussi facile que possible.

### **Sur quelles techniques d'analyse vous êtes-vous concentré ?**

Étant donné que plusieurs techniques d'analyse doivent être utilisées conjointement pour produire un ensemble de données dûment exhaustif, nous avons travaillé avec pas moins de six techniques d'analyse. Chacune d'entre elles est disponible en tant qu'outil portatif et appelée XRF, LIBS, XRD, Raman, FTIR et VNIR-SWIR.

Les photos des dispositifs portatifs que nous utilisons, ainsi qu'une brève description des exigences de préparation des échantillons pour chaque dispositif et les données qu'ils fournissent, sont présentées ci-dessous.



### **XRD portatif Olympus TERRA**

L'échantillon doit être réduit en poudre pour obtenir une taille de grain inférieure à 150 µm, puis inséré dans la fente située au milieu du boîtier. Cette technique fournit des données sur la nature des solides cristallisés.

(Photo YongHwi KIM)



### **Spectromètre Spectral Evolution SR6500 VNIR-SWIR**

L'échantillon peut être non préparé, fraîchement coupé ou en poudre. Ce dispositif fournit des données sur les minéraux, principalement les espèces hydratées par vibration de cation-OH, les carbonates et certains sulfates.

(Photo YongHwi KIM)



### **Spectromètre Thermofisher Niton Xl3t GOLDD+ XRF**

L'échantillon peut être non préparé, fraîchement coupé ou en poudre. Ce dispositif fournit des données quantitatives sur les concentrations d'éléments, du magnésium à l'uranium.

(Photo Jean Caudid)



### **Spectromètre EnSPectr RaPort Raman**

L'échantillon peut être non préparé, fraîchement coupé ou en poudre. La plupart des minéraux peuvent être mesurés avec ce dispositif, avec toutefois des limites de détection inférieures par rapport au FTIR et au VNIR-SWIR pour certaines espèces minérales.

(Photo Marie-Camille Caumon)



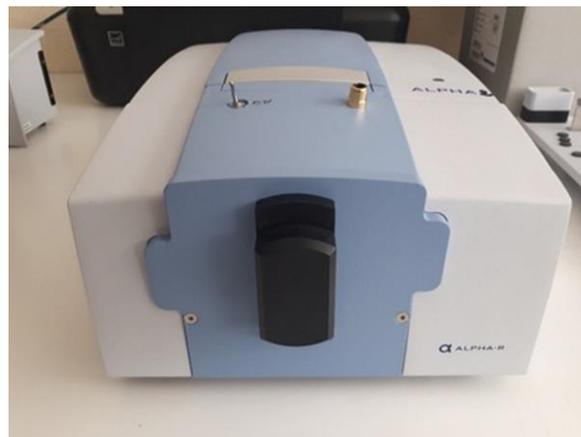
### Spectromètre SciAps LIBS Z300

L'échantillon peut être non préparé ou fraîchement coupé. Les poudres sont de préférence pastillées avant l'analyse. Ce dispositif fournit des données principalement qualitatives sur tous les éléments, de l'hydrogène à l'uranium. La quantification peut être obtenue par la mesure d'étalons et la construction de courbes d'étalonnage.  
(Photo YongHwi KIM)



### Spectromètre Bruker Bravo Raman

L'échantillon peut être non préparé, fraîchement coupé ou en poudre. La plupart des minéraux peuvent être mesurés avec ce dispositif, avec toutefois des limites de détection inférieures par rapport au FTIR et au VNIR-SWIR pour certaines espèces minérales.  
(Photo Marie-Camille CAUMON)



### Spectromètre Bruker Alpha FTIR

L'échantillon peut être non préparé, fraîchement coupé ou en poudre. L'avant du dispositif peut être modifié pour accéder aux différents modules d'analyses infrarouge. La plupart des minéraux peuvent être mesurés avec ce dispositif, qui reste toutefois sensible à la teneur en eau.  
(Photo YongHwi KIM)

Cette approche repose sur l'hypothèse que les atouts d'une technique permettront de pallier les faiblesses des autres. Les erreurs et les incertitudes d'une analyse sont réduites par l'utilisation de valeurs précises d'une autre analyse. En adoptant cette approche, il devient évident que les mesures individuelles se complètent, se valident et se soutiennent mutuellement, ce qui oriente tous nos efforts vers le concept de réconciliation des données.

Avec les deux premières techniques, nous analysons les éléments présents dans l'échantillon (silicium, fer, plomb, etc.). Avec les quatre autres techniques, nous analysons les minéraux (quartz, pyrite, dolomite...). Chaque minéral est constitué d'une série d'éléments et les roches sont des assemblages de plusieurs minéraux. Parmi ces techniques, seule la XRF permet une analyse quantitative d'un échantillon. Dans certaines conditions, les autres techniques peuvent être rendues quantitatives mais le résultat de leur version portable n'est pas quantitatif par défaut. Notre approche consiste à obtenir la liste des minéraux présents dans l'échantillon à partir des quatre techniques et à quantifier la quantité de chaque minéral à partir des mesures du XRF. La LIBS est là pour répondre à certaines contraintes liées aux éléments que le XRF ne peut pas détecter.

### **Dans quel contexte géologique avez-vous testé vos nouveaux outils ?**

Dans NEXT, nous nous sommes concentrés sur le gisement d'Elvira, une ressource polymétallique de base de la ceinture de pyrite ibérique. Une grande partie de notre travail a consisté à nous assurer qu'à Elvira, chaque minéral peut être reconnu sans ambiguïté avec au moins une des quatre techniques minéralogiques. Ceci a été fait en parallèle avec la modélisation du gisement d'Elvira par les collègues partenaires du projet NEXT. Ce dernier a permis d'obtenir une liste des minéraux que l'on peut trouver à Elvira, qui n'était pas entièrement connue au début du projet. Par conséquent, nous avons commencé à travailler sur l'automatisation de l'extraction des données des dispositifs. Elle ne peut pas être entièrement automatisée car tous ces dispositifs sont disponibles dans le commerce et l'extraction des données repose sur un logiciel spécifique, qui n'est généralement pas en « open source ». Nous avons également finalisé l'identification automatique de chaque minéral dans un point de mesure. Actuellement, nous travaillons sur l'automatisation de la quantification des minéraux à partir de la liste des minéraux détectés et des données du XRF.

## Comment voyez-vous le produit final de vos efforts et les perspectives de commercialisation des progrès que vous avez réalisés ?

Le produit final sera un logiciel disponible sous la forme d'une bibliothèque gratuite et ouverte pouvant être téléchargée par les utilisateurs finaux. Toutefois, ce faisant, nous créons un nouvel espace pour les activités commerciales car toute personne compétente en matière de techniques d'analyse sera en mesure de conseiller les utilisateurs finaux, de les aider à choisir le meilleur ensemble de techniques et de leur fournir une solution logicielle. Tout cela peut être réalisé sans porter atteinte à la propriété intellectuelle du fabricant.

Évidemment, il faut garder à l'esprit que les vastes connaissances acquises et les progrès réalisés l'ont été strictement par rapport au contexte géologique spécifique du gisement d'Elvira. Cependant, nous sommes convaincus qu'il sera possible de transférer l'utilisation de nos nouveaux outils à d'autres contextes géologiques.



Pendant une année d'études en Australie, en 1988, j'ai décidé de passer des études environnementales à l'exploitation minière. Après avoir aidé des communautés locales en Afrique à passer des contrats pour la construction de nouvelles écoles et de puits pour l'approvisionnement en eau dans le cadre de mon service national, j'ai saisi l'occasion d'entamer un doctorat qui s'appuyait sur le rayonnement synchrotron, produit par une machine aussi grande qu'un bâtiment. Ce n'est sûrement pas une coïncidence si, depuis lors, je donne des cours et fais ma recherche sur des dispositifs de plus en plus petits, en essayant de rendre les outils d'analyse directement accessibles aux utilisateurs qui ont vraiment besoin des données. J'utilise toutes les compétences que j'ai développées auparavant: gérer la complexité comme dans les sciences de l'environnement, garder les pieds sur terre comme dans l'exploitation minière, viser le long terme comme dans un doctorat et expliquer des choses inhabituelles à mon public comme les contrats en pleine nature. »

**Jean Cauzid** est maître de conférences à l'Université de Lorraine, en France

En savoir plus sur NEXT:

[www.new-exploration.tech](http://www.new-exploration.tech)



Ce projet a été financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 776804