

Bilan de 6 années de formation continue en traçage hydrogéologique à l'université d'Orléans

Christian Défarge¹, Nevila Jozja², Thomas Klinka³, Philippe Meus⁴, Paul-Henri Mondain⁵ et Philippe Muet⁶.

La formation continue en traçage hydrogéologique, proposée depuis novembre 2009, à l'Université d'Orléans par CETRAHE (Cellule R&D d'Expertise et de TRANSfert en TRAçages Appliqués à l'Hydrogéologie et à l'Environnement : <http://www.univ-orleans.fr/cetrahe>), avec le concours du Service de Formation Continue et d'apprentissage de l'Université (SeFCo), a pour but de présenter le panorama le plus complet sur la méthode du traçage hydrogéologique à l'aide de traceurs artificiels, depuis la théorie jusqu'à la bancarisation des données, en passant par la mise en œuvre, les techniques analytiques, l'interprétation des résultats et les aspects réglementaires et communicationnels. Elle est unique en son genre en Europe francophone.

Le domaine couvert par la formation inclut, en

premier lieu, les traçages appliqués aux aquifères karstiques, mais également les traçages en rivière, et les traçages en milieu poreux, abordés principalement à l'aide du logiciel d'interprétation des traçages TRAC, qui est le fruit d'un projet collaboratif ayant notamment associé le BRGM et CETRAHE : <http://trac.brgm.fr/>. L'enseignement est essentiellement consacré aux traceurs fluorescents, sans pour autant négliger les autres types de traceurs artificiels, notamment les traceurs salins.

La formation se décline en deux niveaux :

- **Niveau 1** : « Initiation au traçage hydrogéologique : principes, applications, méthodes, interprétations » (<http://www.univ-orleans.fr/cetrahe/initiation-au-tracage>). Il s'adresse prioritairement aux donneurs d'ordre, admi-

1. Université d'Orléans (CETRAHE, Polytech'Orléans), courriel : christian.defarge@univ-orleans.fr

2. Université d'Orléans, CETRAHE, courriel : nevila.jozja@univ-orleans.fr

3. BRGM, Orléans, courriel : t.klinka@brgm.fr

4. EWTS, Nandrin (Belgique), courriel : ewts@skynet.be

5. Calligée, Nantes, courriel : ph.mondain@calligee.fr

6. Ginger CEBTP, Limoges, courriel : p.muet@groupe-cebtp.com



Photo 1. Injection de traceur fluorescent (sulforhodamine B) dans un cours d'eau superficiel du Val d'Orléans (cliché Timothée Dupaigne, MICA Environnement⁷, Lyon).

nistrateurs et gestionnaires des établissements publics, législateurs qui œuvrent dans le domaine de la protection et de la réhabilitation de la ressource en eau et veulent comprendre les fondements de cette méthode, ses apports et ses limites. Les stages, d'une durée de 2 jours, comprennent des cours à l'université (dans les locaux de l'école d'ingénieurs Polytech'Orléans), avec notamment une présentation du logiciel TRAC, des démonstrations au laboratoire CETRAHE, et une réflexion sur la rédaction d'un cahier des charges de réalisation de traçages.

■ **Niveau 2** : « Spécialisation et perfectionnement dans la pratique du traçage hydrogéologique » (<http://www.univ-orleans.fr/cetrahe/perfectionnement-en-traçage>). Il concerne plutôt les praticiens de l'hydrogéologie souhaitant améliorer leurs pratiques du traçage, depuis l'établissement d'un protocole de mise en œuvre d'un essai, jusqu'au traitement des résultats et à leur interprétation, que ces praticiens soient ingénieurs dans des bureaux d'études ou dans l'industrie, ou des chercheurs professionnels, des post-doctorants ou des doctorants. Les stages, d'une durée de 5 jours, associent aux cours donnés à l'université, du terrain dans le Val d'Orléans (injections de traceurs fluorescents et suivis de restitution par différentes méthodes), des analyses d'échantillons à CETRAHE, et une phase d'interprétation des données, ainsi que des études d'autres cas concrets permettant notamment la pratique du logiciel TRAC.

Des images du stage de perfectionnement en traçage hydrogéologique, ayant eu lieu du 5 au 9 octobre 2015 à l'Université d'Orléans, sont présentées photos 1 à 3.

Bilan de réalisation et de participation

Depuis novembre 2009, 10 stages ont pu avoir lieu, 6 d'initiation, 4 de perfectionnement, pour un total de 58 stagiaires (36 en initiation et 22 en perfectionnement). Tous se sont déroulés à l'université d'Orléans, sauf un



Photo 2. Récupération au bout de 3 jours des échantillons d'eau prélevés par préleveur automatique ISCO 3700 (cliché Timothée Dupaigne, MICA Environnement, Lyon).

stage d'initiation qui a été réalisé en mars 2013, dans les locaux du centre EDF-CEIDRE⁸ d'Aix-en-Provence, à la demande de cet organisme.

La répartition des stagiaires par types d'organismes d'appartenance, compétences (professionnels ou étudiants), pays d'origine et niveaux, est donnée figure 1. Du point de vue des organismes, la moitié des stagiaires viennent du secteur privé, à égalité entre industries et EPIC, d'une part, bureaux d'études de l'autre, un tiers des administrations

7. Bureau d'études spécialisé dans le développement de mines et carrières et de sites d'énergies renouvelables.

8. Centre d'Expertise et d'Inspection dans les Domaines de la Réalisation et de l'Exploitation, Électricité De France.



Photo 3. Analyse des échantillons à CETRAHE (spectrofluorimètre Hitachi F-7000 - cliché Timothée Dupaigne, MICA Environnement, Lyon).

(très majoritairement des agences de l'eau) et des collectivités, et le reste, du secteur académique (universitaires, chercheurs et étudiants). La répartition est globalement la même pour les stages d'initiation considérés à part (voir figure 1), les seules différences significatives étant une augmentation de la proportion de stagiaires venant du secteur industriel par rapport aux bureaux d'études, tandis que le secteur académique n'est représenté que par les étudiants. En ce qui concerne les stages de perfectionnement (voir figure 1), on constate une inversion des proportions relatives entre bureaux d'études et secteur industriel, une forte participation des universitaires et chercheurs du secteur académique, tandis que la participation des administrations et surtout des collectivités reste non négligeable.

Les stagiaires semblent donc choisir le type de stage, moins sur la foi des titres et objectifs affichés, qu'en

fonction de leurs compétences initiales et de leurs objectifs propres, puisque, si les praticiens du traçage (comme les ingénieurs des bureaux d'études et les universitaires et chercheurs) sont plus nombreux à assister aux stages de perfectionnement, qu'aux stages d'initiation, la proportion de donneurs d'ordre et de gestionnaires publics n'est pas significativement plus importante dans les stages d'initiation qui leur sont prioritairement destinés (voir figure 1). Par ailleurs, si la proportion des ingénieurs des bureaux d'études à suivre les stages de perfectionnement est élevée (voir figure 1), en valeur absolue, ils ont été quasiment aussi nombreux à suivre les stages d'initiation, preuve que la formation initiale en France dans le domaine du traçage est insuffisamment développée ; la proportion d'étudiants parmi les stagiaires en initiation, par rapport aux stages de perfectionnement (voir figure 1), en constitue une indication supplémentaire. Ces derniers éléments confirment l'utilité des formations continues en traçage, proposées à l'université d'Orléans.

Ces formations étant uniques en Europe francophone, elles ont tout à fait logiquement attiré des stagiaires d'autres pays francophones, mais dans des proportions que l'on peut juger relativement limitées (13 % ; voir figure 1). Les stagiaires marocains (Office National de l'Électricité et de l'Eau potable) ont été formés à Orléans dans le cadre d'un projet financé par la FAO (*Food and Agriculture Organization*, ONU). Des candidats d'autres pays du Maghreb (Tunisie) et d'Afrique subsaharienne (Mali) ont effectué des démarches pour assister à ces formations, mais ont dû renoncer faute d'avoir obtenu le financement nécessaire.

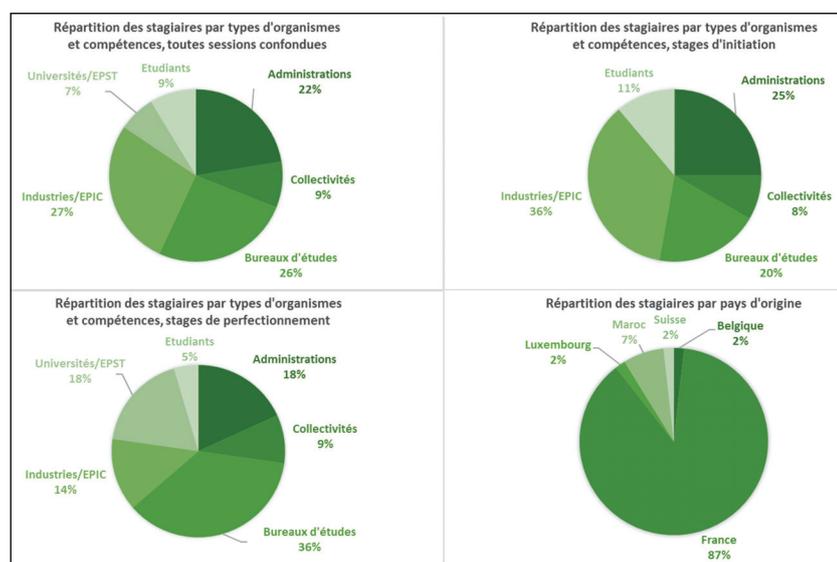


Figure 1. Répartition des participants aux formations continues en traçage hydrogéologique de l'université d'Orléans par types d'organismes d'appartenance, compétences (professionnels ou étudiants), pays d'origine et niveaux, depuis novembre 2009.

Motivations des stagiaires

L'analyse des appréciations des stagiaires sur les formations, recueillies dans des feuilles d'évaluation remises à la fin de chaque stage (même si aucune question concernant leurs motivations ne leur est explicitement posée), complétée par les échanges au moment des demandes d'informations complémentaires avant les stages, et les discussions durant et après ceux-ci, permet d'avancer que les motivations générales des stagiaires sont, pour certains, la découverte complète de la méthode traçage, qui ne leur a pas été du tout enseignée dans leur formation initiale, et pour les autres, la nécessité d'approfondir des connaissances acquises au cours de leurs études, mais qui ne leur permettent pas une

complète autonomie dans leurs activités professionnelles faisant appel à ces connaissances. Plus précisément, en ce qui concerne les donneurs d'ordre, il s'agit de pouvoir rédiger les CCTP⁹ incluant des essais de traçage, d'évaluer correctement les réponses, d'encadrer les essais et d'en valider les interprétations. Du côté des praticiens, il s'agit de pouvoir maîtriser l'ensemble des étapes de la réalisation des essais de traçage, en particulier leur dimensionnement, leur mise en œuvre concrète, le suivi des restitutions et leurs interprétations.

Les feuilles d'évaluation de ces formations ont également permis des améliorations permanentes de leurs contenus depuis 2009, en tenant compte des remarques, des suggestions et des attentes exprimées par certains stagiaires. Il a notamment été introduit ou renforcé successivement : des présentations de vidéos de démonstration des bonnes pratiques de préparation des traceurs liquides à partir de poudres (qu'il n'est pas possible de faire pratiquer aux stagiaires en raison des risques de contamination des appareillages et des échantillons dans le temps limité de la formation) ; des vidéos d'injection de traceurs dans les contextes les plus variés (complétées en sollicitant notamment les praticiens du traçage partenaires de CETRAHE) ; une démonstration d'injection en cours d'eau superficiel en parallèle avec des injections dans des pertes karstiques ; un polycopié d'accompagnement des sorties de terrain (en plus des diapositives de cours dont des copies sont remises aux stagiaires au moment des cours en salle) ; une confrontation systématique des méthodes de suivi de restitution sur le terrain (préleveurs automatiques d'échantillons, fluorimètres avec enregistrement ou suivi à distance, charbons actifs) ; des études de cas concrets permettant la pratique de l'interprétation des traçages avec le logiciel TRAC, et une extension de la présentation des applications du traçage au milieu poreux (le terrain des stages de perfectionnement étant le karst du Val d'Orléans).

Equipe enseignante

Le montage d'une formation continue en traçage hydrogéologique a fait partie, dès son origine, des tâches prévues dans le projet de création de la cellule R&D CETRAHE, dans le cadre du Contrat de Plan État-Région Centre 2007-13. Elle avait pour but de répondre aux demandes récurrentes adressées au Laboratoire d'Hydrogéologie de l'université d'Orléans (Michel Lepiller), de la part d'ingénieurs de bureaux d'études et de collectivités, ainsi qu'aux sollicitations des agences de l'eau.

Dès la création de la cellule (1^{er} avril 2009), l'équipe de CETRAHE (Ch. Défarge, N. Jozja) a sollicité le concours des spécialistes et praticiens francophones du traçage parmi les mieux à même de pouvoir couvrir l'ensemble des sujets jugés

utiles et enseignés dans le cadre de cette formation : théorie du traçage artificiel, établissement du cahier des charges, mise en œuvre pratique, importance de la composante analytique, interprétations et limites, fiabilité des essais, évolution des techniques, aspects réglementaires, communication et vulgarisation, etc. L'équipe a ainsi intégré des ingénieurs en bureaux d'études, docteurs de l'université d'Orléans et anciens élèves de M. Lepiller (P.-H. Mondain, Ph. Muet), ainsi que le responsable (Ph. Meus) d'un laboratoire belge (*European Water Tracing Services*, maintenant intégré à l'Aquapôle de l'université de Liège) jouant, pour la Belgique et le Luxembourg, le même rôle de structure de référence dans le domaine du traçage artificiel que CETRAHE (qui a pris la suite du Laboratoire d'Hydrogéologie de M. Lepiller) en France. Dès la mise en ligne des premières versions de TRAC en 2011, l'un des ingénieurs du BRGM ayant participé au développement de ce logiciel (Th. Klinka) a rejoint l'équipe de formateurs.

La formation bénéficie également de l'appui, au laboratoire et sur le terrain, des ingénieurs d'études de CETRAHE (Audrey Dufour, puis, à partir d'octobre 2015, Renata Zocatelli), pour les injections de traceurs, des spéléologues de l'association Spéléologie Subaquatique Loiret (Jacques Munerot, Olivier Cantaloube), et pour les aspects communicationnels, organisationnels, administratifs et financiers, du personnel du SeFCo.

Éléments financiers

Les tarifs des deux niveaux de formation sont calculés de manière à couvrir l'ensemble des coûts engendrés par leur organisation : rémunération des enseignants, des personnels de l'université (CETRAHE et SeFCo), pour la plupart contractuels, qui concourent à la réalisation des stages, frais de déplacements sur le terrain, missions des enseignants extérieurs à l'université, achats de traceurs, coûts des analyses au laboratoire, consommables, etc. Ils sont de l'ordre de 1 000 à 1 200 € par participant pour les stages d'initiation, et de 2 000 à 2 200 € par participant pour les stages de perfectionnement.

Des tarifs particuliers ont parfois pu être consentis pour les étudiants, doctorants et post-doctorants, ou pour des organismes souhaitant inscrire plusieurs participants, quand le nombre total d'inscrits était suffisant pour couvrir le coût global d'organisation.

Difficultés et perspectives

Un certain nombre des stages prévus chaque début d'année depuis 2010 (2 stages d'initiation et 1 stage de perfectionnement par an jusqu'en 2012, 1 stage de chaque niveau par an depuis 2013) n'ont pu avoir lieu faute d'un nombre suffisant d'inscrits pour couvrir les coûts d'organi-

9. Cahier des Clauses Techniques Particulières.

sation. Chaque fois, cela s'est joué à un ou deux inscrits manquants, et toujours parce que des candidats potentiels s'étaient finalement désistés au dernier moment. Les raisons de ces désistements sont majoritairement financières, les candidats n'ayant pu bénéficier d'aides sur lesquelles ils comptaient ou n'ayant pas obtenu l'accord de leur hiérarchie. Dans certains cas, pour les stages de perfectionnement de 5 jours, ces annulations sont liées à l'impossibilité, pour des ingénieurs de bureaux d'études, de se libérer de leurs obligations professionnelles.

Dans un certain nombre de cas également, des candidats potentiels à profil particulier (spéléologues amateurs, enseignants du second degré) ont renoncé à participer aux formations car des conditions financières adaptées n'ont pas pu leur être accordées par l'université, pour les raisons de couverture des coûts indiquées plus haut. Une formation approfondie de ces candidats au traçage présente, pourtant, un intérêt certain pour les agences de l'eau, soit en raison de l'aide indispensable que les spéléologues peuvent apporter à certains projets de reconnaissance pour une meilleure gestion de la ressource en eau des milieux karstiques, soit pour transmettre ces connaissances dès le niveau scolaire. CETRAHE est donc en

discussion avec les agences, notamment celle d'Adour-Garonne (P. Marchet), pour monter des stages spécifiques à ces publics, qui pourraient être réalisés au plus près des terrains et secteurs géographiques concernés.

Des discussions analogues ont également été récemment engagées avec la Coordination nationale des hydrogéologues agréés (Th. Gaillard), afin d'étudier les possibilités de faire bénéficier ces professionnels des formations proposées à l'université d'Orléans. En effet, alors que beaucoup d'entre eux tireraient bénéfice d'un approfondissement ou d'une remise à jour de leurs connaissances en matière de traçage, ils seraient actuellement obligés de financer leur formation sur leurs fonds propres. Une action en ce sens permettrait de contribuer à la bonne gestion de la ressource par un élargissement des préconisations d'essais de traçage, notoirement insuffisantes en France, ainsi que par l'amélioration de leur contenu technique et de leur évaluation ultérieure.

Enfin, un projet en cours associe CETRAHE, le Comité français d'Hydrogéologie et le Comité marocain de l'Association internationale des Hydrogéologues, dans le but de pouvoir réaliser ces formations au Maroc, à destination des membres dudit Comité marocain.