

Filière professionnelle : environnement

La Rédaction¹.

Le domaine professionnel

On peut d'emblée considérer qu'il n'existe pas un métier de l'environnement ou un métier de géologue de l'environnement, il n'existe que des ensembliers, c'est-à-dire des personnes aptes à appréhender différentes facettes des problèmes d'environnement et à s'appuyer sur les compétences complémentaires requises (toxicologie, santé, etc.). La protection de l'espèce humaine, ou plus largement celle du milieu vivant, constitue le repère principal des actions menées dans le domaine de l'environnement, beaucoup plus, quoiqu'on puisse en dire, que l'environnement au sens large, le milieu de vie.

Pour ce qui concerne les sites pollués (on parle de 500 000 sites en France), on ne dépollue que s'il y a un risque pour la santé, en s'appuyant sur la trilogie des paramètres du risque (source, transfert, cible). Cette focalisation sur la santé, donc sur le risque, prévaut en gros dans tous les pays européens, même si certains, comme les Pays-Bas au départ, se sont appuyés sur des normes (au-delà d'un certain niveau de contamination, on dépollue le site).

Bases de classement des activités

Le classement des domaines concernés par l'environnement peut se faire selon différentes logiques :

- les milieux, considérés soit comme une ressource soit comme un milieu d'exposition : eau, sol, air ;
- les objets d'aménagement : centre de stockage de déchets, sites pollués et friches, mines et carrières, unité de production, voie de transport, immeuble, etc. ;
- les modes de dégradation des milieux : pollution ponctuelle, diffuse, accidentelle...

Le classement par domaine le plus pertinent semble être celui par finalités de la demande : ville, industrie, agriculture, transport, défense et tourisme avec éventuellement des subdivisions plus fines, comme par exemple les branches industrielles.

On peut aussi considérer un classement par types de prestations, d'études ou de travaux, et distinguer ainsi :

- des contraintes réglementaires : dossiers d'autorisation ou de renouvellement (Installations classées pour la

protection de l'environnement, ICPE), études d'impact, demandes préfectorales de diagnostic ou de mise en conformité (arrêtés), diagnostic de situation ou de risque, évaluation des risques industriels, etc.

- des fonctions : conseil, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage déléguée, ensemblier, responsabilité de communication et négociation, etc.
- des outils : conception de mesures ou d'instruments, analyses *in situ* ou en laboratoire, gestion des informations et systèmes d'information géographique (SIG), modélisation, procédés de traitement des déchets, des sols, des eaux usées, outils de communication, etc.

Finalement, le classement qui paraît le plus pertinent revient à découper les études et travaux par phases d'avancement et, dans chacune de ces phases, à distinguer différentes rubriques. On aboutit ainsi à distinguer les phases suivantes :

- conception, démarche de haute qualité environnementale (HQE), études d'impact ;
- réalisation ;
- surveillance ;
- arrêt et mise en sécurité en fin de vie. Souvent, il s'agit de gérer l'après-mine, l'après-industrie, une restructuration urbaine, un aménagement de voie de transport, etc. Dans cette phase 4, on peut, à nouveau faire la distinction entre les trois premières phases.

Ensuite, dans chacune de ces phases, on peut distinguer les rubriques suivantes :

- outils : mesure, appareillage, gestion de données, modélisation... ;
- études à caractère réglementaire ;
- maintenance, suivi ;
- mise en conformité.

Acteurs : types d'entreprises et d'organismes.

Les acteurs de l'environnement sont très divers et les géologues présents dans tous les compartiments, du ministère chargé de l'environnement jusqu'aux petits bureaux d'études et aux experts. Les acteurs peuvent être classés de la façon suivante :

1. Remerciements à J. Ricour, P. Eberentz, J.-L. Dessenne, O. Béon, L. Bertrand, Y. Barthélémy, D. Chigot, S. Sabatier, G. Négrel (ANTEA), J. Martelain (Tauf Environnement), J. Thorette (IFEN), J.-C. Guillauneau (BRGM), P. Andrieux (université Paris 6) pour leur aide dans l'élaboration de ce document.

- les structures d'élaboration des lois et règlements (législateur), qui sont en lien avec tous les acteurs ;
- l'enseignement et la recherche, également en lien avec tous ;
- les services environnement des collectivités territoriales (Conseils généraux, Agglomérations, Villes...) et structures assimilées ;
- les établissements publics (EPIC, EPST...) comme l'ADEME, le BRGM, l'INERIS, l'INRA, les agences de l'Eau, etc. ;
- les sociétés d'État : EDF, GDF, etc. ;
- les services environnement des industries ainsi que les entreprises spécialisées en environnement ;
- les bureaux d'études, de conseil et les laboratoires ;
- les assurances et courtiers (risques).

Au total, ce sont des centaines de géologues qui travaillent dans toutes ces structures.

Les géologues dans le domaine professionnel

Évaluation quantitative.

L'information manque pour procéder à des évaluations quantitatives précises du nombre de géologues impliqués, au regard des chiffres globaux de personnel, selon la diversité des employeurs. Autre remarque : nombreux parmi les géologues relevant des métiers présentés ci-dessus ne s'occupent pas que de tâches relevant du thème environnement.

Il existe quelques gros employeurs disposant de plusieurs dizaines de géologues impliqués dans l'environnement *s.l.* C'est le cas notamment de certains établissements publics (BRGM, INERIS, etc.) et de sociétés d'ingénierie (ANTEA, BURGEAP, TAUW, etc.). Dans le ministère de l'environnement, les agences de l'Eau, les services décentralisés de l'État, on compte plutôt un à quelques géologues par structure. Il y a par ailleurs plusieurs centaines de bureaux d'études employant un ou plusieurs géologues, certains, jusqu'à 10, 20 ou 30.

Éventail des formations d'origine.

La formation géologique *s.l.* reste largement à la base de la compréhension des problèmes environnementaux, notamment les formations appliquées en hydrogéologie ou en environnement (comme l'Institut national polytechnique, INP, d'Orléans, ex ESEM). Les chimistes constituent un autre groupe de spécialistes, dans une moindre mesure les spécialistes de toxicologie ou de santé publique.

Les formations d'ingénieurs généralistes constituent un autre groupe : écoles des mines de Douai, Saint-Étienne ou Alès, École supérieure d'ingénieurs de

Poitiers (ESIP), de Limoges, ENGEES¹, ainsi que les agronomes, etc.

Généralités sur la diversité des postes occupés

Même si la classification des postes varie d'un employeur à l'autre, on peut retenir l'éventail de postes suivants, qui peuvent, si nécessaire, être regroupés par catégories,

soit à dominante technique :

- technicien d'acquisition des données (rôle tenu par un technicien ou un ingénieur débutant) ;
- ingénieur d'études débutant puis confirmé ;
- contrôleur de travaux ;
- chef de projet (encadrement de personnels) ;
- expert d'un domaine ;
- responsable environnement dans une ou plusieurs usines ;
- responsable de branche, de secteur régional (carrières, par exemple) ;
- chercheur dans un domaine thématique : dépollution, traitement des eaux, géochimie... ;
- métrologue, concepteur d'appareillages ;
- informaticien (mise au point de logiciels) ;

soit avec une connotation commerciale :

- consultant gérant sa propre clientèle ;
- directeur d'unité, de département ;
- ingénieur d'affaires (technique + commercial).

L'évolution de carrière type, courante dans les bureaux d'études, et ceci quelle que soit la formation initiale du cadre embauché, comporte les trois stades suivants :

- ingénieur d'études débutant ;
- ingénieur d'études confirmé ;
- chef de projet, ou expert, ou consultant ayant ses clients propres.

Les métiers des géologues dans la filière.

Quelle base retenir pour le classement des métiers ?

La définition des métiers ne coïncide que partiellement avec le découpage des activités en phases d'avancement. C'est le cas pour les deux métiers suivants :

- concepteur, maître d'œuvre qui correspond à une fonction d'ensemblier ;
- conducteur de travaux (chantiers).

Les autres métiers (sept fiches) relèvent d'une définition proche de la discipline. On peut ainsi distinguer :

1. École nationale supérieure du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg.

MÉTIERS ET EMPLOIS

- spécialiste de l'acquisition des données de terrain et concepteur de mode opératoire (éventuellement d'appareillage) ;
- gestionnaire de bases de données (BD) et de systèmes d'information géographique (SIG).
- hydrogéologue ;
- géophysicien ;
- modélisateur ;
- géochimiste ;
- géotechnicien ;
- ingénieur de procédés.

Nous retiendrons donc un total de sept fiches métiers.

A défaut de s'appuyer sur les fiches Rome (ANPE), trop détaillées, ou sur des grilles de classification d'employeurs, trop diverses, chaque fiche métier est élaborée selon le canevas type suivant :

- intitulé du métier ;
- définition du domaine ;
- formations initiales et permanentes ;
- tâches requises et compétences demandées ;
- perspectives d'évolution du domaine et du métier (pas de la carrière).

Concepteur, maître d'œuvre

DÉFINITION DU DOMAINE

Dans le domaine de l'environnement, ce métier concerne plus particulièrement deux types d'activités :

- le stockage de déchets (CSD). Après choix du site (qui obéit à des considérations largement politiques), il s'agit d'abord de concevoir le projet, puis d'assurer la direction de l'exécution des travaux ;
- la dépollution de sites : dans ce cas, le site est connu et il s'agit de concevoir et de mettre en œuvre le meilleur projet de dépollution ;

mais aussi : le traitement des eaux usées, les techniques alternatives d'hydraulique, etc.

Nous mettons à part le domaine du désamiantage pour lequel le maître d'ouvrage fait appel à des entreprises agréées qui assurent souvent la maîtrise d'œuvre. C'est aussi un domaine qui ne fait pas appel à la géologie, même si les analyses de contrôle peuvent relever de laboratoires travaillant en sciences de la Terre.

Enfin, le domaine de la démolition – déconstruction relève du secteur d'activité du BTP et pas spécifiquement de l'environnement.

FORMATIONS INITIALES ET PERMANENTES

Le choix des sites de stockage de déchets nécessite évidemment des compétences en géologie – hydrogéologie. Au niveau des travaux, ce sont les compétences en géotechnique, mécanique des sols, hydraulique des sols, terrassements, matériaux du génie civil (membranes...) qui sont requises.

Les formations conduisant à ces compétences sont nombreuses, soient qu'elles relèvent des filières génie civil des écoles d'ingénieurs (ENSG, ESIP, ESTP, ENTPE...), ou de la diversité des formations en géologie appliquée dans les DESS (Master Pro) d'université. La connaissance en matière de travaux s'acquiert plutôt dans les écoles d'ingénieurs.

Dans le domaine de la dépollution des sites, ce sont principalement des hydrogéologues ou des chimistes qui interviennent, souvent conjointement. Les problèmes à régler sont très divers et les solutions adaptées à chaque cas. Les filières de formation sont celles des hydrogéologues (grandes écoles et université) et des chimistes (écoles d'ingénieur en général). En outre, la mise en sécurité des sites peut nécessiter des connaissances en bâtiment – travaux publics (injections, parois moulées, couvertures...) acquises en général dans les filières génie civil des écoles d'ingénieurs.

On retiendra que globalement, les filières universitaires ne couvrent pas tout le champ des enseignements nécessaires dans ces domaines de compétence et que les grandes écoles n'ont pris conscience que récemment du problème. Une évolution des formations s'avèrerait utile pour satisfaire la demande dans ces domaines d'activité.

TÂCHES

En matière de stockage de déchets, il y a finalement deux métiers, qui relèvent, en général, de personnes différentes. La recherche de sites fait appel à des disciplines techniques (géologie, hydrogéologie) et à des compétences en sciences humaines (communication et négociation, sociologie), les secondes pouvant être déterminantes. Une fois le site choisi, on rentre dans la phase de conception avec étude de faisabilité (avant-projet simplifié, APS ; avant-projet détaillé, APD ; Projet), la consultation des entreprises et la maîtrise d'œuvre de suivi des travaux. Ce processus s'applique à la création de sites nouveaux, ou à l'extension ou la remise en état d'anciens sites.

Pour la dépollution des sites, plusieurs phases peuvent être distinguées :

- diagnostic : nature de la pollution, extension, évaluation des risques et fixation des objectifs de dépollution : compétences en hydrogéologie, chimie, santé ;
- faisabilité : comparaison technique et économique entre solutions de dépollution et choix du procédé le plus pertinent (*in situ*, hors site, physique, chimique, biologique, etc.) ;
- conception du projet depuis l'APS, jusqu'aux travaux (maîtrise d'œuvre) et à la réception.

Selon le cas, les phases 1 à 3 peuvent relever de personnes distinctes, mais en général ce sont les mêmes personnes qui assurent les phases 1 et 2 ou les phases 1 à 3.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

C'est surtout en matière de techniques de dépollution que l'évolution se poursuit. Il s'agit de rendre ces techniques plus efficaces et plus économiques. Toutes les entreprises de dépollution s'efforcent de tester de nouvelles méthodes, s'appuyant sur leurs recherches propres ou sur des développements réalisés à l'extérieur. Proposer des solutions innovantes et des performances accrues est évidemment un enjeu fort pour ces sociétés dans un contexte de concurrence très fort. Une évolution similaire se fait en matière de technologie de traitement des déchets.

Cette évolution conduit au développement de formations permanentes afin d'être en mesure de suivre ces développements techniques et également de suivre une réglementation sans cesse en évolution. La formation permanente se fait au niveau interne ou dans des structures extérieures (écoles d'ingénieur ; Edition - Formation - Entreprise, EFE, Euroforum, CFDE, BRGM, etc.).

Sur ce point, l'insuffisance de formations initiales dans ces domaines donne lieu actuellement à des réflexions qui devraient conduire à des aménagements de programmes de formation, dès la rentrée 2005.

Conducteur de travaux

DÉFINITION DU DOMAINE

Il s'agit d'un métier d'ingénieur qui se distingue de celui du technicien, chargé de l'exécution de tâches précises.

Le domaine correspond au traitement des sites pollués avec des techniques faisant appel à des méthodes *in situ*, sur site, ou hors site. On distingue ainsi :

- *in situ* : *venting* (aéragé), *stripping* (bullage), *bioventing*, *biostripping*, pompage-écrémage, confinement, etc. ;
- sur site : séparation de phases, inertage, traitement thermique basse et haute température, biotraitement en réacteur ouvert ou fermé ;
- hors site : stockage en centre de stockage de déchets (CSD), biotraitement, inertage, tri sélectif, traitement thermique.

Tous ces traitements concernent à la fois les sols, le milieu non saturé, le milieu saturé et, par voie de conséquence, les trois phases minérale, liquide et gazeuse. Ces techniques, largement employées dans d'autres domaines (déchets, minerais, etc.) se sont développées avec des applications aux sols pollués à partir des années 80 aux États-Unis et 90 en France. Pour l'essentiel (de l'ordre de 80%), les pollutions, dont il est question ici, sont liées aux hydrocarbures et aux solvants.

FORMATIONS

Les formations pour accéder à ce métier sont très ouvertes, y compris aux géologues. Parmi les écoles d'ingénieur concernées, on peut citer : ENSG, ESEM, IUT de génie civil, ESIP, écoles des mines (Alès, Douai...), Arts et Métiers, EUDIL, etc. À l'Université, de nombreux DESS (Masters Pro) peuvent conduire à ce métier. Néanmoins, on ne peut pas considérer que ces formations initiales préparent spécifiquement à assurer ce métier ; on s'appuie donc largement sur l'expérience et la formation permanente.

La formation permanente porte essentiellement sur :

- les nouvelles techniques de dépollution : masters en alternance, cycles courts (BRGM, ENPC, etc.) ;
- la réglementation, notamment en matière d'hygiène et de sécurité.

TÂCHES

Les tâches relevant du métier de conducteur de travaux requièrent une grande rigueur d'organisation, une capacité à gérer les imprévus, une aptitude à communiquer, une compétence dans l'animation d'équipe. Sur cette base, les tâches peuvent être déclinées comme suit :

- compréhension du cahier des charges ;
- définition et mobilisation des moyens à mettre en œuvre : moyens matériels et humains, hygiène et sécurité ;
- définition du calendrier d'exécution ;
- obtention des autorisations de travaux auprès des instances administratives ;
- formations spécifiques à certains chantiers faites par l'entreprise client : incendie, sécurité, etc. Il s'agit de formations courtes sur un ou deux jours ;
- suivi des travaux et de leur conformité au cahier des charges, notamment en matière de traçabilité (devenir des déchets) ;
- élaboration des données contractuelles de rendu ;
- réalisation des documents de réception et de récolement (ajustement du programme de départ) ;
- gestion de la communication en liaison avec le maître d'ouvrage.

Toutes ces tâches sont conçues par l'ingénieur concepteur – maître d'œuvre (cf. fiche métier) et le conducteur de travaux les exécute. Le technicien assure certaines tâches sous la direction de l'ingénieur conducteur de travaux.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Le marché dans ce domaine est en plein développement, en liaison avec l'augmentation des contraintes légales. Il n'y a aucune raison de croire que cette évolution ne va pas se poursuivre. Le marché se développe dans trois domaines :

- pollutions physiques et chimiques ;
- pollutions liées à des radionucléides ;
- pollutions liées à des produits pyrotechniques (explosifs).

Le corollaire de cette évolution est la complexité croissante des métiers. Ceux-ci sont, en effet, de plus en plus difficiles, en raison des exigences de sécurité, de rendu, de communication, ainsi que de l'évolution permanente des techniques.

Spécialiste de l'acquisition des données de terrain et concepteur de modes opératoires (appareillage éventuellement)

DÉFINITION DU DOMAINE

Il convient de distinguer deux types de mesure :

- en laboratoire, on utilise des appareils issus de l'industrie, les conditions opératoires sont bien maîtrisées, l'analyse se fait en routine ;
- sur le terrain, on doit souvent faire face à des situations différentes, en étant soumis à des contraintes de climat, d'environnement, de travaux (chantier), de délais, etc. Ceci nécessite une excellente organisation et du matériel éprouvé. En général, il y a moins de vocations pour ce secteur que pour le travail de laboratoire.

La mesure porte sur la caractérisation physique, hydraulique, mécanique et thermique des milieux. L'acquisition des données se fait, soit à partir de prélèvements, soit par mesures directes. Le prélèvement, quelles que soient les mesures et analyses auxquelles il est soumis, doit être

représentatif et de qualité ; aussi l'opération donne-t-elle lieu à un protocole éprouvé (prélèvement, conditionnement, transport). Cela vaut aussi pour les analyses chimiques, sur solides ou fluides.

Il faut insister sur le rôle essentiel de l'acquisition informatisée des données pour le déroulement d'une étude, en termes de qualité et de quantité d'informations recueillies. Cette acquisition est actuellement fortement contrainte par le critère du coût.

Depuis une quinzaine d'années, on a suivi une évolution en termes d'assurance qualité. Cela se traduit, en particulier, dans la formalisation des processus opératoires au niveau des entreprises et dans la rédaction de normes auxquelles il est de plus en plus fait référence au niveau national ou européen.

FORMATIONS INITIALES ET PERMANENTES

Les techniciens sont issus de formations de base, soit géologiques (TS Nancy par exemple), soit métrologiques (BTS Mesures physiques, IUT Compiègne, par exemple). Dans le premier cas, une formation permanente à la mesure est nécessaire, dans le second, une formation permanente en sciences de la Terre est requise. Il ne semble pas exister de formations couvrant en même temps les deux profils. Même s'il existe quelques formations externes, notamment pour la métrologie et l'acquisition de données industrielles ou la qualité, la formation permanente se fait principalement en entreprise. Le compagnonnage et l'acquisition de l'expérience sont essentiels.

Les ingénieurs proviennent de formations très diverses : hydraulicien, géologue, géotechnicien, etc., et sont issus des écoles d'ingénieurs ou de l'université. Initialement, ils ne sont pas particulièrement formés à la mesure, sauf s'ils ont été confrontés à cette activité dans le cadre d'un travail de thèse, par exemple. Dans la plupart des cas, comme pour les techniciens, la compétence s'acquiert par formation permanente interne et acquise de l'expérience.

À noter que d'autres formations d'ingénieur relèvent de spécialités telles que l'électronique ou la microinformatique. En raison de l'évolution des techniques et des appareillages, il est souvent indispensable d'intégrer des personnes issues de ces spécialités dans les équipes, où elles deviennent très complémentaires de celles formées davantage aux sciences de la Terre.

TÂCHES

D'une manière générale, les opérateurs se contentent d'appliquer des protocoles élaborés par ailleurs (modes opératoires). Toutefois, le développement d'appareillages de mesure, tant pour le laboratoire que pour le terrain, est souvent à la base de l'activité.

La mesure industrielle, en raison de son marché largement développé, a suscité le développement de fournisseurs spécialisés qui sont à même de proposer de larges gammes d'appareils, en constante évolution en fonction des progrès techniques. Dans le domaine des sciences de la Terre, le marché est très réduit ; aussi les fournisseurs de matériels spécialisés, bien adaptés aux besoins, sont-ils rares et constitués de petites entreprises dont la pérennité est souvent incertaine.

En dehors de mesures simples (conductivité, pH, température, etc.), on échappe difficilement à un minimum de conception adaptée au sujet à traiter. Le travail peut se limiter à un rôle d'intégrateur, c'est-à-dire trouver des équipements industriels correspondant au besoin (capteurs, centrales d'acquisition, éléments mécaniques ou hydrauliques...), puis les assembler. Face à un besoin plus complexe, on est parfois contraint de développer un équipement ou un banc d'essai. La conception nécessite des compétences diverses, qui englobent la mécanique, l'hydraulique, l'informatique, etc. L'ingénieur ou le technicien peuvent faire appel à un bureau d'études spécialisé, mais il doit, au départ, maîtriser suffisamment ces compétences pour pouvoir exprimer correctement le besoin (cahier des charges) et contrôler ensuite le travail de ses sous-traitants.

Dans le cas de la mesure *in situ*, on distingue la caractérisation du milieu et la surveillance de sites (auscultation). Pour une surveillance de site, la phase de conception, en début d'étude, nécessite généralement une approche pluridisciplinaire (hydrogéologie, géotechnique...). Il s'agit donc d'un travail d'équipe, qui relève d'ingénieurs expérimentés. De même, pour l'auscultation de travaux en souterrain, l'analyse préalable des paramètres à mesurer et l'estimation des amplitudes attendues sont nécessaires. Le pilotage de l'avancement d'un tunnelier relève par contre d'une logique industrielle incombant au constructeur de ces matériels.

La caractérisation du milieu se fait à partir de travaux en surface ou en forage. La mesure en forage, même à profondeur modeste (perméabilité, charge hydraulique, contraintes naturelles...) est une spécialité qui suppose une expérience particulière, qui se rapproche de celle des entreprises de services spécialisées (diagraphies...). Ces travaux nécessitent souvent l'adaptation ou la mise au point d'équipements adaptés à ces conditions de mesure particulièrement difficiles.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Pour la pratique de la mesure, le virage technologique, pris depuis une quinzaine d'années, a surtout porté sur l'informatisation des dispositifs de mesure : automatisation de la collecte des données, transmission informatisée, miniaturisation des systèmes d'enregistrement, etc.

Les conséquences de cette évolution sont de plusieurs ordres :

- mesures de meilleure qualité, obtenues avec des appareils plus performants, mais, en contrepartie ;
- complexité plus grande dans la mise en œuvre des mesures, nécessitant des compétences nouvelles et plus pointues ;
- et tendance à considérer les équipements de mesure comme des boîtes noires, ce qui conduit à une réflexion moindre et un déficit d'esprit critique sur les résultats obtenus.

Les mesures *in situ* de haut niveau sont pénalisées par leur coût et la tendance est à se limiter à satisfaire au cahier des charges, sauf dans le cas de projets à caractère scientifique, laboratoire souterrain de l'Andra, par exemple.

Pour conclure, un travail important de sensibilisation, des donneurs d'ordre en particulier, est nécessaire si l'on veut que la mesure (l'acquisition de données), dans sa diversité, soit mieux comprise, donc mieux reconnue.

Concepteur et gestionnaire de bases de données (BD) et de systèmes d'information géographique (SIG)

DÉFINITION DU DOMAINE

Le SIG est un outil comme le sont d'autres outils informatiques. Il correspond à une véritable « dématérialisation » de la carte géographique et réunit des fonctions de tableurs, système de gestion de base de données et logiciel de dessin, voire outils statistiques. La philosophie est la même que pour une base de données, mais avec, en plus, une dimension spatiale. Son intérêt est qu'il peut, à travers des fonctions d'analyse spatiale (« cet objet est à moins de 20 m d'un autre objet »), reproduire partiellement le travail réalisé par l'œil et le cerveau humain lors de l'analyse d'une carte, en y ajoutant des capacités de quantification qui seraient fastidieuses si elles étaient menées sur des cartes sur support papier. Il s'agit d'un accroissement spectaculaire de la rapidité d'analyse avec des possibilités de travaux multiscalaires.

Cependant, la qualité de l'information restituée dépend de la qualité des données en entrée et de la pertinence du raisonnement de l'opérateur. C'est à ce point, qu'une fois dépassé le stade de la maîtrise du logiciel, les métiers, dont celui de géologue, reprennent leur droit.

L'opérateur ou gestionnaire du SIG est souvent confronté, dans le domaine de l'environnement, à un problème particulier : l'analyse multi-thématique qui l'oblige à utiliser conjointement des bases issues des sciences de la Terre, des données non spécifiquement géologiques : topographie, réseau routier, limites administratives et réglementaires, données socio-économiques, données urbaines, données sanitaires, climatologiques, images satellitaires, etc., ce qui nécessite alors un interfaçage constant avec des spécialistes d'autres disciplines.

Le SIG ne constituant pas une fin en soi, c'est donc la finalité d'usage qui constitue l'objectif, en l'occurrence tel ou tel domaine des sciences de la Terre. Le géologue est donc déterminant dans les spécifications requises et la structuration d'un SIG. Les SIG ont débuté dans le domaine de la géostatistique (filière minière notamment), puis se sont développés pour des finalités toutes différentes relevant du marketing (implantations commerciales ou bancaires, ciblage géographique de clientèle, réseaux, etc.). Ces développements sont allés de pair avec la valorisation de l'imagerie satellitaire.

FORMATIONS

Même si l'on peut évoquer certaines formations spécifiques en SIG, par exemple dans le cadre de certains DESS mixtes entre l'université et l'École nationale des sciences géographiques, de nombreuses formations peuvent conduire à exercer ce métier. Néanmoins, deux profils principaux peuvent être distingués, celui de géographe ou de spécialiste des sciences de la Terre, et celui d'informaticien. Dans le premier cas, nombreux sont les géologues qui ont fait l'apprentissage des SIG, sans en être forcément les concepteurs. Les informaticiens, le plus souvent, travaillent en tandem avec les géologues. Leur formation devient déterminante pour le montage de systèmes lourds et compliqués, impliquant de gros gestionnaires de données (Oracle, par exemple), ou pour suivre et exploiter l'évolution des développements informatiques.

Dans ces formations, il convient de ne pas oublier la nécessité de quelques bases de sémiologie qui permettent la réalisation de cartes lisibles, qui sont les éléments essentiels d'une bonne communication en environnement. Il ne s'agit pas pour autant de franchir la limite avec le domaine des métiers de l'édition.

Dans un domaine en évolution constante, la formation permanente est une nécessité. Ainsi, divers types d'ingénieurs suivent des formations internes dans leur entreprise, ou externes, notamment auprès des concepteurs d'outils : Esri (Arcinfo et Arcview), Mapinfo et Geoconcept. Parmi les évolutions à noter, le regroupement sur une seule et même base des données géographiques et des données tabulaires, auparavant sous des formats différents, en attendant l'intégration des images. Les concepts des SIG restent les mêmes, mais les techniques informatiques évoluent beaucoup. Une conséquence de cette évolution est la complexité croissante des formats de données, impliquant des formations de plus en plus poussées, donc moins accessibles au plus grand nombre.

On notera que les étudiants ayant suivi une formation aux SIG, en plus de leur formation de base, bénéficient d'un avantage sur le marché de l'emploi.

TÂCHES

Une fois le SIG élaboré, plusieurs types de tâches sont demandés :

1. Gestion des flux de données :

- mises à jour des données ;
- contrôle de la qualité des données (graphique et sémantique) ;
- documentation des données ;
- exportation des données vers les SIG partenaires ; ce qui passe souvent par de la normalisation.

2. Analyse spatiale :

- requêtes spatiales du type : « déterminer tous les captages d'eau potable situés à moins de 50 m d'un faisceau de projet autoroutier » ;
- analyse de la forme des objets (allongements, orientations...) ;
- analyses multicritères pour l'évaluation des risques : risques potentiels générés par des implantations industrielles, en fonction d'une cartographie de vulnérabilité des aquifères (tous les SIG possèdent des langages de programmation utilisables pour automatiser des règles de décision ou peuvent faire appel automatiquement à des programmes externes) ;
- ces analyses spatiales peuvent être couplées à des analyses statistiques, soit directement dans le SIG, soit après exportation des données dans des logiciels statistiques.

3. Dérivation de nouvelles données :

- utilisation de données topographiques (modèles numériques de terrain) pour construire des cartes de pentes, d'écoulement, d'ensoleillement, etc. ;
- simplification géométrique (généralisation) de cartes plus adaptées aux représentations synthétiques (petites échelles) ;
- interpolation et krigeage : généralisation d'un ou plusieurs critères et estimation du degré de fiabilité et de généralisation.

4. Edition de rapports :

- élaboration de cartes d'étude à des échelles assez grandes (1/25 000 ou 1/50 000) ;
- élaboration de cartes de synthèse, pour un objectif de communication à des échelles plus petites (1/1 000 000) ;
- réalisation de tableaux et de graphiques.

Certaines de ces opérations d'édition peuvent être prises en charge par d'autres logiciels.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Il y a tout lieu de croire que la demande de services s'appuyant sur des SIG ne fera que croître et s'élargir en raison, notamment en raison de la mise à disposition croissante sur le marché de bases de données géoréférencées de plus en plus fiables et par la demande très forte des collectivités locales et territoriales. Le métier a donc un large avenir devant lui, sans que l'on puisse considérer que le nombre de postes à pourvoir par organisme se multipliera fortement. Il faut plutôt considérer que le nombre d'organismes adoptant cette technologie pour leurs besoins propres ira croissant, parallèlement au besoin de réponses rapides et fiables, sans oublier, comme évoqué plus haut, l'apport d'une formation complémentaire en SIG pour celui qui est en recherche d'emploi. Les géologues, en général familiarisés avec le lever cartographique et l'analyse spatiale, peuvent apporter une compétence critique dans l'usage des SIG en environnement.

Par ailleurs, les développements technologiques vont se poursuivre, notamment dans deux directions : l'élaboration et la mise à disposition de bases de données structurées (BD Topo et MNT de l'IGN, par exemple), la précision du positionnement des données, notamment grâce à l'outil GPS, et le développement du 3D. En liaison avec les évolutions informatiques, on peut également citer la normalisation des données géographiques avec l'interopérabilité (homogénéité des références) et l'utilisation interactive de SIG sur internet moyennant des procédures d'achat d'usage ou d'abonnement.

Il convient d'être très attentif à une dérive potentielle des SIG, et ceci vaut plus largement pour les modèles, qui serait de considérer que les représentations qu'ils offrent constituent la vérité vraie et que les SIG peuvent créer des données là où elles sont absentes. En fait, la qualité des SIG est conditionnée par une information de base pertinente et suffisante, seule à même de donner leur vraie valeur aux interprétations proposées.

Hydrogéologue

DÉFINITION DU DOMAINE

L'hydrogéologue s'occupe des eaux souterraines : alimentation, ressources, protection, ce qui recouvre trois principaux domaines d'activité :

- recherche de nouvelles ressources pour l'industrie, les collectivités et les particuliers ;
- réalisation et suivi de points de captage : forages, captages de sources, etc. ;
- gestion et protection. Ce domaine recouvre à la fois la prévention-protection à large échelle, qui relève plutôt des structures publiques (DIREN, agences de l'Eau, BRGM, collectivités) : élaboration des SAGE et SDAGE, surveillance des nappes, modèles de bassin versant, etc., et des actions de suivi de la qualité des eaux en liaison avec des pollutions industrielles ou domestiques qui sont plus du ressort des bureaux d'études et entreprises diverses.

Des interactions existent avec l'hydraulique des eaux de surface, ou la géotechnique, en raison de l'importance de l'eau dans la construction et les aménagements de génie civil (hydrogéotechnique).

FORMATIONS

Les formations en hydrogéologie relèvent, soit d'écoles d'ingénieur (ENSG Nancy, INP d'Orléans), soit de diplômes d'université (Bordeaux, Paris, Avignon, etc.). La double compétence (ENSG + master en environnement, par exemple) est un argument important d'embauche.

Les environnementalistes, fréquemment impliqués dans les équipes, sont issus de très nombreuses formations de type Bac + 3, à caractère généraliste (assainissement, traitement des eaux, chimie, etc.), sans que l'on puisse dire qu'il existe de véritables formations d'environnementalistes. Les techniciens sont issus de formations diverses, type IUT ou TS Nancy.

La formation permanente se fait couramment au niveau interne et porte sur l'évolution des outils, l'évolution des connaissances sur les transferts de polluants, et surtout sur la réglementation, en perpétuelle évolution. En externe, la formation peut aussi porter sur ces domaines, notamment le secteur réglementaire, mais également sur des thèmes transversaux comme la gestion de projets.

TÂCHES

Pour l'essentiel, l'hydrogéologue est un homme de terrain, à vocation largement naturaliste. Il travaille en liaison avec divers spécialistes : modélisateur, géochimiste, spécialiste environnemental, etc. L'hydrogéologue peut lui-même être spécialiste environnemental.

On peut distinguer trois tâches majeures et très pragmatiques pour l'hydrogéologue de bureau d'études :

- le terrain : acquisition des données, suivi de forage, pompes d'essai, etc. ;
- l'interprétation des données collectées : travail de bureau, élaboration de documents graphiques et de rapports ;
- les actions de contact, de formation, de communication, souvent essentielles dans le montage et le suivi d'un dossier.

La gestion à grande échelle des aquifères relève d'une autre logique, à des échelles d'espace et de temps beaucoup plus larges. L'objectif est patrimonial.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

C'est une lapalissade que de dire qu'on aura toujours besoin d'eau et qu'en conséquence il faudra toujours trouver de nouvelles ressources et surtout mieux les gérer, les protéger, les réhabiliter. Il y aura donc toujours besoin d'hydrogéologues, mais pas forcément en très grand nombre, ce qui impose un bon équilibre dans le nombre de diplômés.

Face à ces défis, on n'observe pas de développements technologiques majeurs pour la collecte des données, ni d'évolution marquante dans les connaissances susceptibles de bouleverser l'expertise des anciens. Les évolutions en matière de modélisation sont évoquées dans la fiche métier correspondante.

Parmi les domaines d'activité, la tendance est au renforcement des actions de gestion et de protection, afin de préserver ou de restaurer la qualité des ressources, considérant que celles-ci sont limitées et qu'il faut donc les gérer dans une perspective de développement durable. Cette perspective permet aux deux démarches, celle plus ciblée du bureau d'études et celle de gestion patrimoniale à échelle plus large des organismes publics, dans une logique commune de gestion maîtrisée des ressources en eau.

Dans cet esprit, la réglementation ne peut que se renforcer puisque c'est très largement elle qui est à la base des décisions d'études ou de travaux.

Géophysicien

DÉFINITION DU DOMAINE

La connaissance de la géologie des sites étudiés en matière d'environnement, est indispensable à la compréhension de leur fonctionnement. Il s'agit en général de géologie du Quaternaire. Le géologue a besoin d'outils complémentaires : tranchées, puits, forages et géophysique peu profonde.

Dans le domaine de l'environnement, comme dans pratiquement tous les autres, la géophysique intervient en général de deux façons :

- comme approche indirecte, elle contribue à la connaissance du modèle géologique, indispensable à la compréhension du fonctionnement du site : nature des formations, pendages, argilosité, barrières de porosité, etc. La géophysique peu profonde permet de limiter le nombre d'excavations ou de forages et d'interpoler entre les points reconnus par les moyens destructifs ;
- en approche directe, il arrive que les propriétés physico-chimiques des formations soient localement modifiées en relation avec l'objet des études – pollution, cavités... – et que ces modifications conduisent à des « anomalies géophysiques ». C'est une situation relativement rare, car cela suppose des concentrations d'éléments perturbateurs de l'ordre de quelques % et non de l'ordre du ppm.

FORMATIONS INITIALES ET PERMANENTES

Au sein d'un projet d'étude lié à l'environnement, la géophysique peut être mise en œuvre et interprétée, soit par un technicien ou un ingénieur appartenant au maître d'œuvre, soit par une société de service spécialisée de sous-traitance. Dans le second cas, qui n'est pas celui qui nous préoccupe, le géophysicien a une formation classique, non nécessairement en rapport avec l'environnement. Dans le premier cas, la géophysique représente une discipline complémentaire, dans un cursus délibérément orienté vers l'environnement ; c'est celui qui est traité ci-dessous.

Formation initiale : deux cursus de base peuvent être considérés, selon qu'ils sont à dominante géologie ou physico-chimie :

- **dominante géologie** : la plupart des écoles de techniciens (BTS Nancy) et d'ingénieurs (ENSG, IGAL) et toutes les formations universitaires en géologie (Bac + 3, 4 et 5) comportent un enseignement minimal de géophysique peu profonde, de qualité inégale selon les établissements ;
- **dominante physico-chimie** : Les formations de techniciens et d'ingénieurs comportent rarement un enseignement de géophysique appliquée ; le personnel est alors souvent formé en interne, dans les entreprises. Quelques formations universitaires, spécialisées dans l'environnement à Bac +3, 4 et 5, comportent un enseignement minimal de géophysique peu profonde.

Formation permanente : la formation, interne aux entreprises, à l'acquisition et au traitement de données géophysiques n'est pas rare ; l'interprétation est alors assurée par les géologues qui ont été formés à la géophysique au cours de leur cursus.

L'offre de stages courts spécialisés en géophysique peu profonde est malheureusement trop faible en France actuellement ; seulement quelques universités et quelques EPST et EPIC proposent de tels stages sur leur catalogue des formations. Il y aurait là un moyen simple d'améliorer le volume et la qualité des prestations géophysiques généralement réalisées dans l'environnement.

TÂCHES

La mise en œuvre des techniques géophysiques suppose en général un processus formé de quatre étapes successives :

- énoncé de la problématique, modélisation éventuelle, choix de la technique géophysique à mettre en œuvre ;
- définition du programme de mesure ;
- acquisition et traitement des données ;
- interprétation des données, intégration dans l'ensemble du projet.

Les deux premières tâches sont cruciales pour la réussite de la prestation. Elles sont, en général, de la responsabilité d'un technicien ou d'un ingénieur d'expérience. La seconde tâche demande des qualités d'homme de terrain et d'homme de mesure ; ce sont des qualités classiques chez les techniciens et les ingénieurs des sociétés œuvrant dans l'environnement. Il n'est pas d'équipement de géophysique peu profonde qui ne puisse être mis en œuvre par un bon « mesureur » après une formation courte. Il est important, en revanche, que des procédures de contrôle de qualité soient mises en place et respectées. Les troisième et quatrième tâches relèvent d'un géologue/géophysicien d'expérience.

Note : les techniques géophysiques adaptées aux problèmes de l'environnement sont très variées. En voici une brève liste récapitulative :

- méthodes à courant continu : sondages électriques et tomographie (panneaux) ;
- polarisation spontanée (PS) et polarisation provoquée (PP) ou résistivité complexe ;
- méthodes électromagnétiques de type Slingram, à faibles nombres d'induction ;
- sondage électromagnétique transitoire ou temporel ;
- radar géologique ;
- sismique réfraction ;
- diagraphies.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Pour ce qui est de l'évolution des techniques, elle est réelle et continue. Il y a deux revues scientifiques et au minimum quatre congrès nationaux ou internationaux annuellement, spécialisés dans la géophysique peu profonde. Il existe également des revues et des congrès propres à certains domaines d'application.

Concernant l'évolution des carrières, le technicien ou l'ingénieur qui met en œuvre les techniques géophysiques dans une entreprise spécialisée en environnement est nécessairement bien intégré dans son entreprise. L'évolution de sa carrière suivra celle de l'ensemble du personnel et sera fonction de ses qualités propres.

Modélisateur

DÉFINITION DU DOMAINE

La modélisation peut concerner :

- les écoulements souterrains ;
- les écoulements de surface ;
- le dimensionnement de structures en construction ou génie civil.

Le dimensionnement des structures échappe très largement aux métiers de l'environnement, il ne sera donc pas abordé ici. La modélisation des écoulements de surface concerne plus particulièrement, d'une part les crues et les inondations, d'autre part la navigabilité, donc des problèmes d'hydraulique de surface. Les crues correspondent à des phénomènes rapides, pouvant entraîner des risques considérables. La composante eau-souterraine est ici secondaire : débits forts affectant principalement les eaux de surface, apports du bassin versant, essentiellement par ruissellement, modélisés à l'aide de formules empiriques tenant compte de la superficie du bassin, des pentes, etc. Les enquêtes de terrain et l'utilisation d'images montrant les emprises de crues passées sont également essentielles.

La modélisation numérique des écoulements souterrains, qui a commencé il y a 30 ans environ, s'appuie sur des approches analytiques et des modèles numériques plus ou moins complexes. Jusqu'à dans les années 1990, la modélisation portait surtout sur l'évaluation quantitative d'une ressource (aquifère mono ou multicouches) ou l'optimisation des pompages dans un champ captant.

Depuis les années 90, la problématique s'est largement déplacée vers la qualité des eaux avec la prise de conscience d'enjeux environnementaux liés à des pollutions ponctuelles (sites industriels, décharges, dont certains ont des décennies, voire un siècle et plus d'histoire) ou diffuses (nitrates, pesticides) relayée par le développement considérable des techniques d'analyse chimique en labo et *in situ* (éventail grandissant d'éléments ou de molécules analysés, limites de détection abaissées).

Cette évolution s'est également traduite par la prise en compte croissante de la chimie dans les modèles hydrodynamiques (modèles chimiques, interactions eau-roche, modèles couplés), même si les outils développés sont encore pour la plupart dans les bureaux des chercheurs. Les modèles hydrodynamiques restent néanmoins à la base de toutes les études car l'écoulement de l'eau sert de vecteur aux migrations de pollution. À l'amont, les modèles d'écoulement prennent en compte l'hydroclimatologie (précipitations, évaporation, infiltration, ruissellement) et à l'aval, l'interface eaux de surface – eaux souterraines, y compris pour prendre en compte les crues, dont l'onde affecte aussi les nappes souterraines adjacentes (alluviales notamment).

La modélisation géothermique (paramètre température) porte aujourd'hui principalement sur la basse énergie urbaine avec les pompes à chaleur et la climatisation.

FORMATIONS

Traditionnellement, les spécialistes de modélisation des écoulements étaient soit hydrogéologues de formation (ENSG notamment), soit hydrauliciens (Toulouse, Grenoble), mais personne n'était spécifiquement formé à la modélisation. Depuis quelques années, les programmes des écoles d'hydraulique incluent des options modélisation mais qui sont principalement orientées vers les écoulements en milieu industriel (dimensionnement de réseaux, résistance des matériaux, corrosion, écoulements multiphasiques, fluides caloporteurs, réfrigérants, etc.), un secteur où les débouchés sont nombreux, et pas en milieu naturel.

C'est dire que la compétence en modélisation des écoulements s'acquiert principalement en entreprise, par compagnonnage et formation permanente. D'une façon générale, la formation d'ingénieur avec les compétences de base qu'elle donne (formation numérique et esprit ingénieur), permet d'accéder à ces métiers de modélisation. Ceci vaut en particulier pour les écoles d'hydraulique, l'ENSG et les écoles des mines. Ces ingénieurs acquièrent relativement rapidement les notions de base en géologie leur permettant un dialogue fructueux avec les hydrogéologues qui restent incontournables pour le recueil de données de terrain pertinentes et adaptées au problème posé et pour l'élaboration du modèle conceptuel qu'il s'agira ensuite de modéliser numériquement en quantifiant les échanges.

Pour simuler les migrations de pollution, d'autres spécialistes vont travailler avec le modélisateur, issus de formations spécifiques de chimie.

La formation permanente est essentielle dans le domaine de la modélisation, d'abord pour compléter la formation de base (géologie, hydrogéologie, modélisation des écoulements naturels), ensuite, pour suivre les développements dans l'informatique et les logiciels. Avec l'évolution actuelle de la demande, la compétence en chimie, voire en toxicologie, des modélisateurs devra aussi être renforcée.

TÂCHES

Si l'on met à part le dimensionnement d'ouvrages de génie civil, considéré comme ne rentrant pas dans le champ de cette fiche métier, la modélisation des écoulements correspond à une seule grande tâche, même si, la compétence en modélisation des écoulements souterrains et celle des écoulements de surface se retrouvent rarement chez les mêmes personnes. Au-delà des formations initiales, relativement polyvalentes, cela est principalement dû au fait que les problématiques sont différentes, dont découle une expérience acquise différente. A l'inverse, dans le domaine du thermique, c'est en général le même spécialiste de modélisation des écoulements souterrains qui traite les problèmes. La prise en compte de la chimie dans les modèles implique une synergie forte avec l'expert chimiste, distinct donc du modélisateur.

Dans les tâches de modélisation, il n'y a pas de subdivisions à introduire en fonction de l'environnement géologique ou de la nature des pollutions, ce sont les mêmes démarches qu'applique le modélisateur, adaptées à chaque cas.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Même si les logiciels de modélisation évoluent, les équations de base ne changent pas. Ce qui évolue aujourd'hui, c'est la prise en compte de plus en plus fine de la chimie dans les modèles. Faciliter le dialogue entre modélisateurs et chimistes implique que les premiers bénéficient de formations initiales et permanentes adaptées, comme cela s'est passé antérieurement pour la géologie.

Cette évolution va également de pair avec une modification des pratiques d'échantillonnage et de mesure sur le terrain, de façon à mieux tenir compte des hétérogénéités du sous-sol et à fournir une meilleure base pour généraliser les résultats. La métrologie va donc continuer à s'améliorer.

La modélisation peut aussi se développer dans un autre domaine, celui des liquides non miscibles et volatils qui flottent à la surface des nappes et induisent des déplacements de gaz dans le sol, très dangereux lorsque les gaz sont explosifs (ex : hydrocarbures) ou nocifs pour la santé, domaine pour lequel les outils logiciels appropriés manquent.

Il n'y a pas lieu de considérer que la prise en compte des risques, dans leur diversité, conduira à retenir d'autres paramètres dans les modèles. En effet, ceux-ci fournissent des conclusions ou des indicateurs qui sont ensuite traduits en termes de risques. Cette transformation continuera donc sans doute à relever d'une phase postérieure à celle de la modélisation.

Géochimiste

DÉFINITION DU DOMAINE

La géochimie concerne le comportement des éléments chimiques dans les différents milieux naturels : roches, sols et eaux. On distingue essentiellement :

- la géochimie fondamentale dont l'objectif est la compréhension des processus et des phénomènes dans des domaines géologiques divers (volcanisme, océanographie, eaux continentales, etc.) ;
- la géochimie appliquée, en l'occurrence l'application des concepts et outils de la géochimie à des problématiques environnementales.

Deux types d'outils sont à la disposition du géochimiste :

- des outils de chimie minérale ou organique : analyses des eaux, par exemple, interprétation de l'acquisition d'une composition, mécanismes de genèse. On peut dire qu'ici, la géochimie se situe entre la géologie et l'hydrogéologie ;
- des outils isotopiques, qui contribuent à la compréhension d'un héritage de composition chimique, ou permettent des datations (temps de résidence ou d'écoulement d'eaux...).

On peut dire qu'ici la géochimie se situe entre la géologie et l'hydrogéologie.

En ce qui concerne les problématiques environnementales, la géochimie intervient dans trois grands domaines :

- la pollution, ponctuelle ou diffuse, accidentelle ou chronique ;
- la qualité des eaux de consommation et la protection des ressources : vérification de conformité chimique ;
- les eaux thermo-minérales : compréhension des systèmes, homologation, gestion et protection de la ressource.

FORMATIONS

Les formations de géochimistes sont peu nombreuses. Une des filières principales est celle de l'université de Paris VII (IPGP) qui forme à la fois des géochimistes fondamentaux (pétrologie, océanographie...) et appliqués. Il existe également des formations de géochimistes à Toulouse, Strasbourg et Aix-en-Provence. D'autres formations peuvent conduire à la géochimie : océanographie, chimie, école normale supérieure. Mais, globalement, c'est une filière dans laquelle la demande d'emploi est relativement restreinte.

Pour les géochimistes, le besoin de formation permanente porte sur :

- l'hydrogéologie : concepts de base, vocabulaire ;
- les logiciels de géochimie : développement de nouveaux modèles, applications, compétences pour dialoguer avec un sous-traitant ;
- la géochimie organique, en raison de la diversité des molécules impliquées dans les pollutions ;
- les nouveaux outils, notamment isotopiques (B, Li...)

Pour leur part, les géochimistes s'impliquent dans des actions de formation permanente, dans deux domaines :

- la formation des modélisateurs en hydraulique, notamment sur le problème des incertitudes liées à la géochimie ;
- l'acquisition des données de terrain : techniques d'échantillonnage et de mesures *in situ*.

TÂCHES

Dans les études d'environnement, le géochimiste intervient dans trois tâches principales :

- l'étude du comportement géochimique des éléments polluants, dans les différents milieux, pour une étude environnementale, l'interaction polluants – milieux souterrains et l'autoatténuation naturelle ;
- l'acquisition de paramètres géochimiques dans la perspective d'une modélisation hydrodynamique, par exemple dans le cadre de l'« après-mine » ;
- l'acquisition de la minéralisation des eaux thermo-minérales en vue d'une homologation et d'un référentiel pour assurer leur protection.

A ces trois domaines, on peut ajouter les études pour le stockage des déchets radioactifs, qui constitue un cas particulier de travaux, réalisés pour l'ANDRA.

Les études sont en général dirigées par l'hydrogéologue, mais au cas par cas, le géochimiste peut être amené à jouer un rôle moteur, voire directeur.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

En dehors de l'évolution régulière des outils et des méthodes (veille technologique), c'est dans le domaine réglementaire que se situent les changements principaux, qui justifient, entre autres, l'intervention des géochimistes. Cette évolution se marque dans les prescriptions réglementaires et dans les normes.

Par ailleurs, l'accent sur la prévention, la gestion et la protection des eaux qui marque l'évolution des domaines d'activité en hydrogéologie (cf. fiche métier de l'hydrogéologue), devrait renforcer la demande d'études et d'expertises en géochimie.

Géotechnicien

DÉFINITION DU DOMAINE

La géotechnique désigne l'application au génie civil de toutes les disciplines des sciences de la Terre, comprenant la géologie, la mécanique des sols, la mécanique des roches et l'hydraulique souterraine. Cette définition se retrouve dans le terme anglais « *geotechnical engineering* ». Le terme de « géomécanique » serait plus restrictif en ce qu'il s'applique plus spécifiquement à la mécanique des sols et à celle des roches. Il existe aussi un débat avec le terme de géologie de l'ingénieur, dont on peut considérer qu'il reste plus flou dans sa définition.

Quoiqu'il en soit, il y a géotechnique dès qu'on parle de construction, de génie civil, d'aménagement, donc, plus globalement, de bâtiment et travaux publics (BTP).

FORMATIONS

Le géotechnicien doit avoir une compétence minimale dans toutes les disciplines évoquées dans la définition ci-dessus, même s'il évolue vers l'une ou l'autre de ces spécialités pour devenir un expert. Certaines formations d'ingénieurs ou de l'université fournissent des enseignements dans ces différentes disciplines, en particulier : ENSG, ESTP, ENTPE, CNAM et certains DESS (Besançon, Bordeaux, Clermont-Ferrand, etc.).

Une double formation constitue un avantage professionnel. Ainsi, l'ENSG et l'ENTPE ont mis en place un échange annuel portant sur 5 étudiants, ce qui leur permet de terminer leur scolarité dans l'autre école, moyennant une année de scolarité supplémentaire (4 années au lieu de 3).

Dans un tel contexte de demande de compétences variées, la formation permanente est essentielle. Souvent, il s'agira de compléter la formation d'un ingénieur dans un domaine où ses compétences sont plus réduites. Ainsi, un mécanicien des sols pourra acquérir des compétences complémentaires en géologie ou *vice versa*. Deux grands domaines justifient une formation permanente adaptée :

- les moyens de calcul, en constante évolution ;
- la maîtrise d'œuvre, notamment en matière de droit et de réglementation.

TÂCHES

La géotechnique rentre dans les activités de trois groupes d'acteurs :

- maîtres d'ouvrage ;
- maîtres d'œuvre ;
- entreprises.

Dans chaque groupe, les fonctions, donc les tâches requises, sont différentes. Toutefois, la tâche principale du géotechnicien reste la même : lever les incertitudes du sous-sol au regard de l'opération à mener (construction, protection, renforcement, réhabilitation, etc.).

Ces acteurs interviennent dans quatre grands domaines d'activité :

- risques naturels (compétences : géologie, mécanique des sols et des roches, hydrogéologie) ;
- infrastructures : routes, voie ferrées, barrages, etc. (compétences : géologie appliquée, mécanique des sols et des roches, hydraulique souterraine) ;
- bâtiment, domaine dans lequel évolue une part importante de l'effectif des géotechniciens (compétences : géologie et mécanique des sols) ;
- construction marine, dont *offshore* pétrolier (compétences : mécanique des sols).

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

A noter d'abord une certaine diversification des activités vers l'environnement : stockage de déchets, dépollution de sites, digues contre les crues, etc. Cette diversification est conjoncturelle et résulte d'une prise de conscience renforcée de ces problèmes, notamment au niveau du citoyen.

Pour l'avenir, on peut rester optimiste au niveau du besoin : on construira toujours. Par contre, c'est au niveau du métier de géotechnicien que des insuffisances se sont faites jour :

- faiblesse de la recherche scientifique et technique dans ce domaine ; exemples inverses : les domaines pétrolier ou médical ;
- dérive relative vers l'informatique, qui ne devrait être qu'un outil de valorisation et de présentation de la connaissance géologique de base et des données collectées ;
- crise relative du métier : manque de moyens pour travailler correctement au regard des exigences de qualité demandées et des responsabilités encourues en cas de sinistre, déficit de reconnaissance de compétences, faible rémunération.

La crise du métier conduit à un manque de candidats souhaitant se diriger dans cette voie et la crise n'est pas spécifique à la France. Certaines entreprises ne veulent même plus de géotechniciens dans leur personnel. Pour remédier à cette situation, quelques pistes : la formation des donneurs d'ordre pour qu'ils perçoivent l'intérêt d'un travail de qualité, la sensibilisation du citoyen pour qu'il fasse pression sur les donneurs d'ordre, une meilleure pondération entre intervenants dans les risques encourus en cas de sinistre, une meilleure harmonisation européenne.

Ingénieur de procédés

DÉFINITION DU DOMAINE

Le domaine dont il est question ici englobe trois activités principales :

- le traitement des déchets ;
- la décontamination des sols
- le traitement des eaux.

Ce découpage, simple, masque en fait une grande diversité de problèmes à résoudre (substances, destinée du site, objectif de valorisation des déchets...), ce qui fait que chaque étude constitue un cas particulier. Comme cela a déjà été évoqué, la réglementation est très largement à la base de toutes les études ; il s'agit ensuite de trouver un optimum économique pour faire face aux contraintes requises, avec un coût adapté.

Le domaine du traitement des déchets comporte un cousinage avec celui du traitement des minerais, avec des opérations spécifiques comme le compostage. La décontamination des sols, par contre, élargit beaucoup l'éventail des procédés de traitement, d'une part avec les opérations *in situ*, d'autre part avec l'importance allouée aux procédés biologiques.

Dans les domaines des procédés, trois grandes étapes peuvent être distinguées :

- recherche et développement ;
- mise au point de procédés ;
- production.

FORMATIONS

Les techniciens de procédés ont des formations initiales de type Bac + 2 et sont issus de BTS et de DUT divers (dont biochimie), obtenus notamment dans les instituts universitaires de technologie (IUT).

Les ingénieurs procédés sont majoritairement issus d'écoles d'ingénieurs comme l'ENSG (Nancy), l'INP (Orléans), les INSA, l'université technique de Compiègne (UTC), plus modestement les écoles des mines. Par contre, dans le domaine de la biologie et de la biochimie, ce sont plutôt les formations universitaires qui dominent. D'ailleurs, pour les aspects de R & D, les ingénieurs de procédés s'appuient beaucoup sur des centres universitaires spécialisés (Nancy, Marseille, Toulouse, etc.).

Couramment, les ingénieurs de procédés sont soit des minéralurgistes, soit des ingénieurs en génie chimique ou des chimistes. Depuis quelques années, on assiste au développement des formations en génie des procédés environnementaux, c'est-à-dire conduisant à des ingénieurs plus polyvalents, moins focalisés sur le travail « en réacteur ».

En dehors de formations spécifiques comme le Cesev (Nancy) qui s'adressent à des étudiants étrangers, ayant souvent un poste dans leur pays d'origine, la formation permanente des ingénieurs de procédés relève plutôt de la veille technologique : publications, colloques, séminaires, groupes de travail, etc., d'autant que les techniques employées évoluent rapidement. Le compagnonnage joue aussi un rôle important, notamment pour les ingénieurs de procédés comme les anciens minéralurgistes, traitant des minerais et des matériaux.

TÂCHES

Les tâches assumées par les ingénieurs de procédés se rapportent à quatre groupes qui sont autant d'étapes suivies :

- échantillonnage des déchets, des sols ou de l'eau : conception de l'échantillonnage, réalisation ;
- caractérisation des déchets, ainsi que de la nature et de la distribution de la pollution des sols ;
- mise au point du procédé de traitement ;
- traitement proprement dit.

Les deux premières étapes sont largement pluridisciplinaires, faisant aussi intervenir l'hydrogéologue, le géochimiste, voire d'autres métiers. Elles ont pour objectif d'identifier la ressource à traiter, en qualité et en quantité, avec une fiabilité aussi bonne que possible dans une enveloppe de coût acceptable. Il faut rappeler, en effet, que l'on a affaire à des matières morcelées, fortement hétérogènes, dont l'échantillonnage pose des problèmes spécifiques de représentativité. Dans cette perspective, l'ingénieur de procédés apporte sa vision propre du problème.

Les phases 3 et 4 relèvent spécifiquement de l'ingénieur de procédés. Les procédés de traitement se décomposent fréquemment en plusieurs opérations unitaires emboîtées, englobant une préparation mécanique, un traitement physico-chimique et un traitement biologique. A cet enchaînement s'ajoute la spécificité de l'éventail des traitements *in situ*, dont certains peuvent relever du BTP (écrans de protection, confinements, etc.). Dans la majorité des études, plusieurs phases de pilotage sont nécessaires pour parvenir au schéma de traitement optimum, acceptable économiquement.

Les opérations de traitement peuvent être supervisées par un technicien s'il s'agit de traitements simples. Le plus souvent, c'est la responsabilité d'un ingénieur.

PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Il faut ici, à nouveau, distinguer les déchets, les sols pollués et les eaux. Pour les déchets, il apparaît que les installations de traitement sont de plus en plus complexes et coûteuses, ce qui implique des interventions de plus en plus lourdes de l'ingénieur de procédés. En matière de sols pollués, on assiste à un développement du marché. Toutefois, la nécessité d'éviter une explosion parallèle du besoin de financement, suscite un effort particulier de maîtrise des coûts. C'est une des raisons du développement des biotraitements, moins coûteux, même si leur action est plus lente et leur efficacité limitée à certains domaines. Tous ces développements trouvent leur raison d'être dans les contraintes d'une réglementation en perpétuelle évolution, s'appliquant à un nombre très important des sites pollués.