

# LEVÉS GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES DE TERRAIN : SPÉCIFICATIONS POUR LES OUVRAGES SOUTERRAINS

## **UNDERGROUND WORKS: SPECIFICATIONS OF GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL FIELD MISSIONS**

Johan KASPERSKI<sup>1</sup>, Cédric GAILLARD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre d'études des tunnels (CETU), Bron, France

**RÉSUMÉ** – Cette communication présente le document d'information du CETU (à paraître) portant sur la définition des missions de levés de terrain nécessaires à l'étude des ouvrages souterrains. Préparatifs aux missions de terrain (bibliographie et photo-interprétation), consistance des levés, exploitation et consignation des levés géologiques et hydrogéologiques sont au cœur de ce document.

**ABSTRACT** – This article presents the new CETU guideline (to be published) on the definition of field missions. It describes how to prepare these missions (bibliography and photogeology), their consistency and the type of deliverable to produce. Published for stakeholders, it aims to describe the requirements to ensure the quality of the mission and the results.

### 1. Introduction

Le CETU est un service technique central créé fin 1970 afin de doter le ministère en charge des transports d'une compétence dans l'ensemble des techniques et méthodes relatives à la conception, la construction, l'entretien, l'exploitation et la sécurité des tunnels. Parmi ses missions, le CETU capitalise, élabore et diffuse des recommandations techniques. C'est dans cette partie de son activité que le CETU publie un document d'information (à paraître en 2018) qui rappelle la consistance des levés géologiques et hydrogéologiques de terrain et les différents livrables associés. En effet, pour la réalisation d'une étude d'un ouvrage souterrain, la traçabilité des données utilisées, des données produites et des interprétations réalisées est primordiale. Ceci est particulièrement vrai pour les levés géologiques et hydrogéologiques de terrain. Le document d'information du CETU vise à décrire la démarche à suivre pour garantir une consignation des données fidèles aux observations réalisées. Le présent article met l'accent surtout sur la description de ces livrables.

Durant les premiers stades d'études d'un ouvrage souterrain, les modèles géologiques et géotechniques sont cruciaux pour l'orientation des choix de tracés ou d'emplacements. Comme ces modèles sont élaborés en grande partie sur la base des levés géologiques et hydrogéologiques, l'atteinte des objectifs de ceux-ci est essentielle. Ces objectifs sont la collecte de l'ensemble des informations seulement disponibles sur le terrain (géomorphologie, affleurements, eau, indices d'anomalies) ainsi que leur consignation et exploitation et d'autre part l'élaboration des premiers modèles géologique et hydrogéologique pour le projet.

Le document d'information du CETU comble un vide existant entre les ouvrages techniques (ISRM, 1978 ; LCPC, 1982a, 1999b ; CETU, 1998) et les ouvrages académiques existants (Mc Clay, 1987 ; Lisle, 2004 ; Boulvain, 2011). En effet, si les ouvrages techniques décrivent les études géologiques préliminaires comme indispensables, celles-ci ne sont pas explicitement décrites. D'un autre côté, les ouvrages académiques s'attachent à l'explication de la manière de faire les levés de terrain, sans définir précisément les livrables et la consignation associée. Le document d'information du CETU vise à rappeler les étapes de réalisation des levés de terrain pour définir

précisément les livrables : la gestion contractuelle du maître d'ouvrage se trouve facilitée par cette définition précise des tâches et livrables pour garantir des levés de terrain de qualité et consignés.

Le document d'information du CETU distingue les levés de terrain « initiaux » des levés « complémentaires ». Les levés « initiaux » sont réalisés dès les premières phases d'étude (études de définition). Ils sont « complémentaires » si réalisés lors d'une phase ultérieure (étude de définition et/ou de conception) pour compléter les acquisitions existantes, par exemple avec la réalisation de lignes de mesures sur des affleurements déjà identifiés.

La mission de levés de terrain se divise en trois parties : (1) préparation, (2) réalisation et consignation, (3) exploitation et synthèse.

La phase de préparation permet au prestataire de prendre connaissance du contexte géologique et hydrogéologique afin de considérer des premiers modèles conceptuels dans lesquels il va se projeter lors des levés de terrain. Nécessaire, cette phase de préparation comprend les études bibliographique et photo-interprétative qui relèvent de missions spécifiques préalables. Dans le cas où ces études préalables ont déjà été réalisées, elles sont fournies entièrement ou pour partie au prestataire pour qu'il se les approprie.

C'est lors de cette phase de réalisation et de consignation que le prestataire parcourt l'ensemble du terrain de manière exhaustive. La consignation comprend le report de l'ensemble des observations de manière factuelle.

Lors de la phase d'exploitation et de synthèse, à partir des données issues de la phase de préparation et des données collectées sur le terrain, le prestataire propose des exploitations et produit des synthèses géologiques et hydrogéologiques qui retranscrivent les modèles conceptuels qu'il a bâtis. Le rapport reprend l'ensemble des données collectées et les synthèses produites. Un SIG est bâti avec l'ensemble des éléments cartographiques pour une appropriation facilitée pour la suite des études.

## **2. Préparation des levés de terrain**

Les levés de terrains proprement dits sont précédés par deux missions spécifiques préparatoires : une étude bibliographique et une étude photo-interprétative.

Cette phase de préparation de terrain permet de situer les grandes unités géologiques, leurs relations, les principaux accidents et l'histoire tectonique. Dans le cas où ces études ont déjà été réalisées, une étape d'appropriation est à prévoir pour permettre au prestataire de préparer la mission de terrain.

### **3.1. L'étude bibliographique**

L'étude bibliographique est réalisée sur la base de cartes géologiques et hydrogéologiques existantes, d'anciennes études, d'articles, thèses, etc. Synthétisées, ces études permettent de préparer la description des terrains rencontrés ainsi que leur organisation générale (stratigraphie, contexte structural, organisation hydrogéologique).

Les livrables de cette étude comprennent :

- les données d'entrées sous la forme d'une liste des données consultées avec les documents associés au format numérique ;
- une note bibliographique géologique décrivant le contexte structural, le log lithologique et l'ensemble des terrains susceptibles d'être rencontrés ;
- une note bibliographique hydrogéologique décrivant la présence d'aquifères, les écoulements et les connections, les régimes saisonniers, la présence de sources et les valeurs de perméabilités disponibles.

### 3.2. Une étude photo-interprétative

L'étude photo-interprétative est basée sur des couples d'images stéréoscopiques. Lorsque les images disponibles le permettent, deux échelles sont considérées permettant d'avoir une vue synthétique contextuelle (petite échelle par exemple à 1/30 000) et une vue de détail (grande échelle par exemple à 1/10 000). L'étude de ces images permet d'analyser la géomorphologie du terrain (délimitations des unités lithologiques et structurales par analyse du modelé), de décrire les linéaments et le réseau hydrographique, d'identifier des évolutions géodynamiques récentes ou actives (néotectonique, glissements de terrain observables par des ruptures de pente), de détecter toutes les anomalies observables (dues à des affaissements, karsts, anciennes carrières, changement de type de végétation, etc.).

Au format numérique et SIG, les livrables de cette étude comprennent :

- les données d'entrée que sont les références des photographies et leurs tirages papier, les minutes d'observation des photographies avec légende et commentaires indexés ;
- une note photo-interprétative géologique comprenant la définition et la justification de la zone d'étude, la description des unités lithologiques et structurales, des linéaments et des anomalies observés. Les linéaments sont décrits par des rosaces pondérées en fonction de leurs longueurs ;
- une note photo-interprétative hydrogéologique décrivant le réseau hydrographique.



Figure 1. Exemple de minute d'exploitation photo-interprétative sur fond d'orthophoto.

### **3. Réalisation et consignation des levés de terrain**

Le levé de terrain est la reconnaissance de surface basée sur une cartographie à grande échelle (1/5 000 jusqu'à 1/500 pour les urgences). Dans sa première phase, le levé de terrain permet la mise en adéquation des descriptions bibliographiques avec l'observation in-situ.

En France, les cartes géologiques des projets d'ouvrages souterrains se basent sur les cartes géologiques au 1/50 000 du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, BRGM pour les détailler et les approfondir avec une orientation ingénierie : les caractéristiques des terrains sont considérées en plus de leur lithologie et structure. Une attention particulière est portée aux formations superficielles. Souvent peu ou pas documentées, ces terrains intéressent particulièrement les ouvrages souterrains au niveau de leurs entrées en terre.

#### **4.1. Consistance du parcours du terrain**

Le plus exhaustif possible, le parcours du terrain est guidé par sa préparation. D'un point de vue géologique, il comprend l'examen de l'ensemble des indices issus de la bibliographie et de l'étude photo-interprétative. Cela permet de confirmer/infirmier leur existence. Concernant l'hydrogéologie, le parcours inclut la visite de l'ensemble des sources et des cours d'eau repérés en étude bibliographique et photo-interprétative. Pour chacun de ces éléments, une estimation est faite des débits et niveaux d'eau associés. Le suivi des débits dans le temps pour mettre en évidence les variations saisonnières relève d'une mission complémentaire spécifique.

Les informations collectées sur les affleurements permettent de décrire de manière détaillée le log lithologique, les éléments structuraux (discontinuités) et d'éventuelles singularités : cavités karstiques, gros blocs dans une formation de sols fins, zones faillées et broyées, poches d'altération dans une roche saine, venues d'eau ponctuelles, etc.

#### **4.2. Consistance du levé d'affleurement**

Le levé de l'affleurement débute par sa description contextuelle qui comprend des photographies et un schéma interprétatif d'affleurement ou de panorama pour décrypter et restituer l'observation. Le levé se concentre ensuite sur la description des terrains rocheux, des terrains meubles et des conditions hydrogéologiques observés :

- concernant les terrains rocheux, la description comprend la caractérisation de la matrice et du massif rocheux (pétrographie, état d'altération du massif) ainsi que les caractéristiques des discontinuités (mesure des vecteurs pendages et présence d'eau). Les descriptions plus détaillées comprenant l'ordre de grandeur des espacements, des extensions, des rugosités, des ouvertures, des remplissages relèvent de levés complémentaires par la réalisation de lignes de mesure ;
- concernant les terrains meubles, la description comprend les caractérisations minéralogique et granulométrique (avec estimation du diamètre maximal) ;
- concernant les conditions hydrogéologiques, la description comprend la localisation et l'extension des sources, des pertes, des zones humides, l'estimation des débits et des niveaux d'eau associés.

A l'issue de ces observations, l'affleurement est rattaché à une entité du log lithologique.

#### **4.3. Consignation des informations collectées**

Le log lithologique décrit de manière exhaustive les terrains rencontrés.

Le parcours du terrain est consigné dans un SIG et une carte est produite représentant le chemin suivi et les affleurements observés (Figure 2).

Les informations collectées sur chaque affleurement sont reprises intégralement dans une fiche de levé. Cette fiche comprend le numéro d'affleurement, son positionnement, son rattachement au log lithologique, les photographies d'affleurement ou de panorama, un schéma interprétatif, les descriptions des terrains et des conditions hydrogéologiques.

Par ailleurs, tous les éléments graphiques et photographiques sont fournis séparément au format numérique avec un nommage explicite.

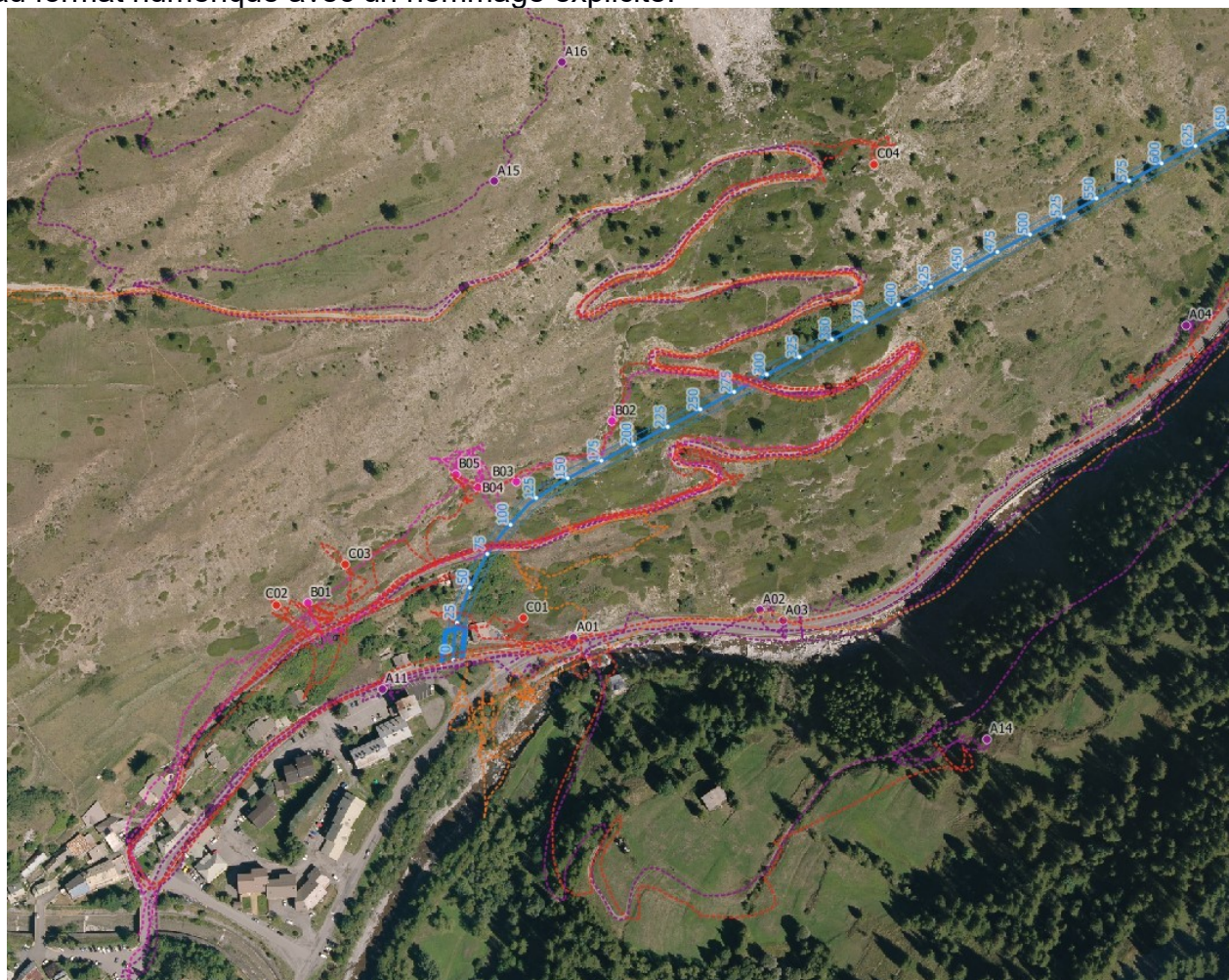


Figure 2. Chemins suivis et affleurements observés.

#### 4. Exploitation et synthèse des levés de terrains

Les modèles géologiques et hydrogéologiques s'établissent en croisant les informations bibliographiques (carte géologique du BRGM, etc.), l'étude photo-interprétative et les levés de terrain. Ces modèles sont des modèles conceptuels en trois dimensions décrits par des cartes et des coupes pour illustrer la compréhension de l'organisation des structures. Ces modèles mettent en évidence les singularités et les incertitudes.

Les documents graphiques supports sont les cartes géologique et hydrogéologique interprétatives (avec report des affleurements) associées à une ou plusieurs coupes mettant en évidence l'organisation et la structure du massif (coupe géologique interprétative) et l'estimation des niveaux des aquifères (coupe hydrogéologique interprétative).

Le rapport fait état des missions de terrains et des conditions dans lesquelles celles-ci ont été réalisées. Il rassemble l'ensemble des données consignées lors des missions de terrain, synthèses géologique et hydrogéologique ainsi que la description des modèles par les cartes et coupes interprétatives. Il s'organise autour des chapitres suivants :

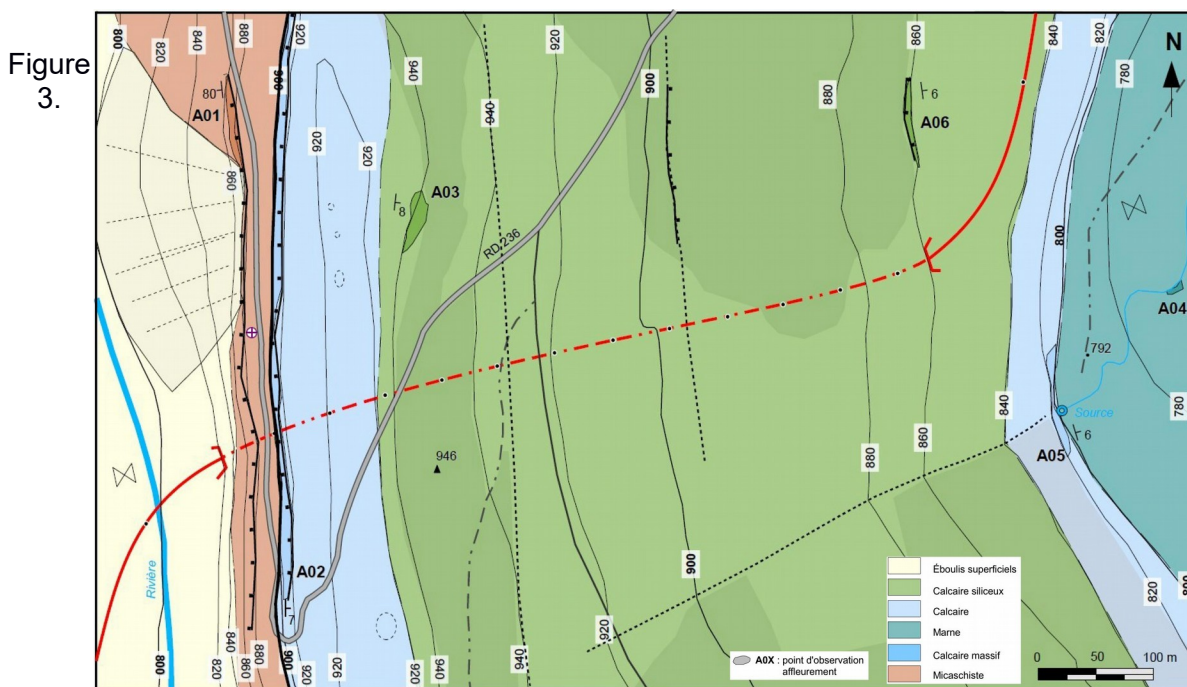
1. les études préparatoires reprenant les notes bibliographique et photo-interprétative ;

2. la consignation des observations avec la carte des affleurements et parcours, les fiches de levés et la description des données numériques fournies au format SIG (tables d'affleurement comprenant l'index, les coordonnées, l'entité lithologique de rattachement, la trace du parcours) ;

3. les descriptions des terrains rencontrés, du contexte structural et du modèle conceptuel :

- terrains rencontrés : les descriptions issues des campagnes de terrain font le lien avec les descriptions bibliographiques. Les caractéristiques des terrains sont illustrées par des photographies d'affleurements pour l'illustration des états du massif rocheux et la morphologie des terrains meubles, des photographies d'échantillons pour l'illustration des états de la matrice (massif rocheux) et les caractéristiques des terrains meubles, des photographies de discontinuités pour l'illustration des catégories d'épentes (massif rocheux).
  - contexte structural : un rappel est fait des grandes unités géologiques, leurs relations, les principaux accidents et l'histoire tectonique. Dans le cas des massifs rocheux, le contexte structural de la zone étudiée est décrit par la représentation et l'identification de familles de discontinuités (stéréogrammes de Schmidt). Cette interprétation fait le lien avec les rosaces de linéaments issues de l'étude photo-interprétative ;
  - modèle conceptuel : les cartes et coupe(s) géologique(s) interprétatives sont présentées avec une note explicative de construction.
4. la description hydrogéologique des aquifères et du modèle conceptuel :
- contexte hydrogéologique : un rappel est fait des connaissances bibliographiques des aquifères, régimes saisonniers observés le cas échéant avec une carte des sources avec estimation des débits associés ;
  - modèle conceptuel : les cartes et coupe(s) hydrogéologique(s) interprétatives sont présentées avec note explicative de construction.

Une réunion de restitution est organisée à la fin de la mission afin de présenter l'ensemble des travaux, des résultats et la description des modèles conceptuels proposés par le prestataire.



Exemple de carte géologique, les affleurements figurent coloriés soutenus alors que les parties interprétées ont une couleur plus légère.

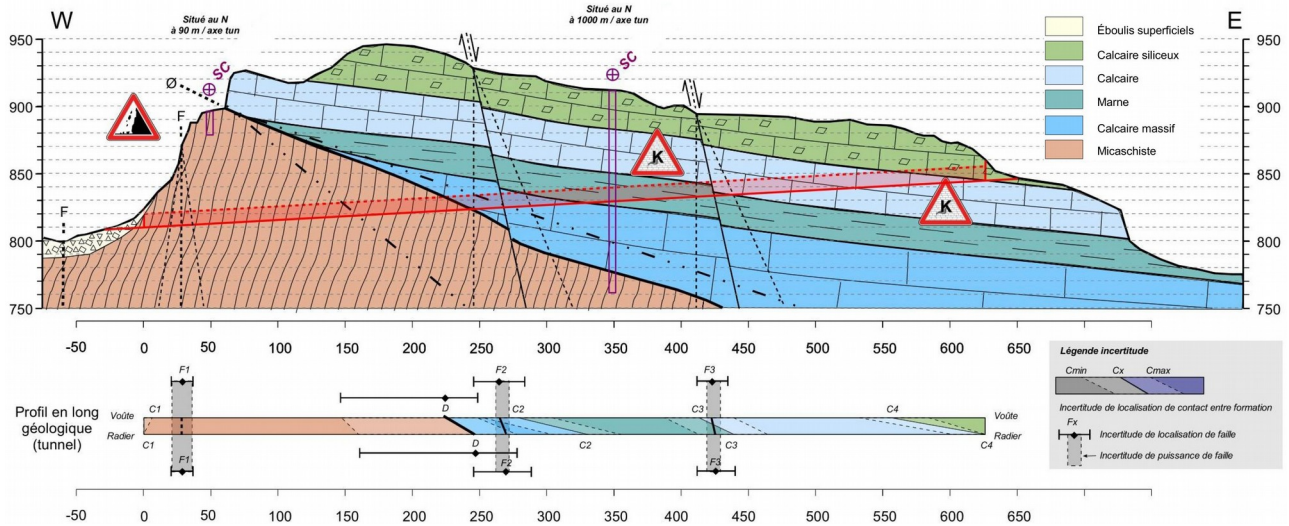


Figure 4. Exemple de coupe géologique.

## 5. Organisation contractuelle

L'organisation contractuelle doit reprendre l'ensemble des points techniques décrivant les livrables. Elle doit aussi intégrer l'éventuelle nécessité d'augmenter le temps passé préalablement estimé dans les cas où :

- le nombre de documents bibliographiques est plus important que prévu : l'appropriation ainsi que la synthèse de ces documents nécessite plus de temps ;
- l'emprise considérée pour l'étude photo-interprétative est élargie ou bien le nombre de photographies de bonne qualité et de différentes émulsions est plus important que prévu : le temps nécessaire à leur étude est proportionnel à leur nombre ;
- le nombre d'affleurements accessibles ou de lignes de mesures à réaliser est plus important que prévu ;
- le contexte géologique est complexe nécessitant une interprétation poussée ou des allers-retours entre les phases d'exploitation et de terrain.

La contractualisation doit intégrer ces aspects afin de permettre que l'atteinte des objectifs prime sur la gestion contractuelle. Ainsi, la forme du contrat doit permettre de fixer les objectifs à atteindre et demander aux soumissionnaires les moyens qu'ils mettent en œuvre pour les atteindre (dans un mémoire technique à produire). Il doit permettre également de rémunérer justement les différents aspects de la prestation tout en gardant une souplesse pour autoriser des dépassements le cas échéant.

Selon l'avancement des études, la préparation des levés de terrain est plus ou moins conséquente :

- concernant l'étude bibliographique, elle relève de l'appropriation si l'ensemble des documents est fourni au prestataire. Par contre, si rien n'est fourni, elle inclut la recherche de documents en plus de leur appropriation. Cette recherche s'accompagne de la livraison intermédiaire d'un recueil de données d'entrée ainsi que la livraison de l'ensemble des documents au format numérique ;
- concernant l'étude photo-interprétative, elle relève également de l'appropriation si une étude a déjà été réalisée. Elle est alors assimilée à de l'appropriation bibliographique dans la mesure où les photographies sont transmises au prestataire. Par contre, dans le cas où une telle étude n'existe pas, cette partie de la mission comprend l'acquisition de photographies aériennes stéréoscopiques avec deux échelles sur la zone d'étude définie ainsi que leur étude. Les minutes d'observation ainsi que les commentaires associés constituent des livrables intermédiaires.

Concernant le mode de rémunération, une distinction est réalisée entre d'une part les missions et les prestations intellectuelles qui peuvent être rémunérées au jour passé et les livrables associés qui peuvent l'être au forfait. Le document d'information du CETU récapitule le détail des prestations des levés de terrain et les types de rémunération associés.

## **6. Conclusions**

Afin de guider les maîtres d'ouvrages pour la réalisation d'ouvrages souterrains et lors des levés de terrains géologiques et hydrogéologiques, le CETU publie en 2018 un document d'information. Celui-ci est décrit dans le présent article afin de garantir une consignation des données fidèles aux observations réalisées.

## **7. Références bibliographiques**

- Boulvain (2011). Géologie de terrain : de l'affleurement au concept. Technosup.
- CETU (1998). Dossier pilote des tunnels – Génie civil – section 2 : géologie, hydrogéologie, géotechnique.
- ISRM (1978). Suggested Method for the qualitative description of discontinuities in rock masses.
- LCPC (1982). Reconnaissance géologique et géotechnique des tracés de routes et autoroutes. Notice d'information technique du Ministère des transports. Guide technique du LCPC.
- LCPC (1999). L'utilisation de la photo-interprétation dans l'établissement des plans de prévention des risques liés aux mouvements de terrain. Guide technique du LCPC.
- Lisle (2004). Geological structures & Maps : A practical guide. Elsevier.
- McClay (1987). The mapping of geological structures. Geological Society of London Handbook.