

Permeability characterization of the geological barrier of non dangerous landfill sites

Caractérisation de la perméabilité des couches constituant la barrière passive des installations de stockage de déchets non dangereux

Mouthier B.¹

¹INTERCOMPETENCES, 78100-Saint-Germain-en-Laye, France

Abstract. In order to get administrative authorization, a non dangerous waste landfill site (ISDND), must justify a favourable geological context, which follows the AFNOR “Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques ». Criteria and technical means are described among which the in situ and lab permeability determination processes. The low and very low permeability coefficient to be measured within the deep argillaceous formations of a landfill site, is a delicate operation which must be representative and accurate. Depending the permeability range, several norms are proposed.

Résumé. Pour obtenir son autorisation d’exploiter, une Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) doit justifier réglementairement sa favorabilité géologique. Le « Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques » de l’AFNOR fournit les critères d’aptitude du site à recevoir une ISDND et les moyens à mettre en œuvre, dont ceux qui concernent la perméabilité des couches géologiques qui protègent le milieu naturel. La mesure de la perméabilité in situ, en forage, des matériaux peu à très peu perméables des deux couches de la barrière de sécurité passive, est une opération délicate qui nécessite une mise en œuvre soignée respectant les normes appropriées, choisies en fonction des gammes de perméabilité attendues. Plusieurs types d’essai en forage sont présentés.

1 Introduction

La recherche du caractère peu et très peu perméable des deux couches constituant la barrière passive (BP), est l’objectif réglementaire d’un site destiné à recevoir une ISDND [1]. La perméabilité est l’aptitude d’un matériau à se laisser traverser par un fluide. C’est une grandeur facile à qualifier (perméable, imperméable), mais difficile à mesurer, tant sa vitesse d’infiltration est étendue, de 10-1

à 10-12 m/s. Par exemple, les matériaux considérés comme peu perméables ($10^{-6} < k < 10^{-3}$ m/s), sont des sables fins argileux et des roches fissurées. Les matériaux très peu perméables ($k < 10^{-9}$ m/s), sont les argiles plastiques et les roches saines. La barrière passive (BP) a deux fonctions : la protection à long terme (géologique) et l'atténuation d'une pollution résiduelle émise par l'installation de stockage. La performance de la BP se mesure par le coefficient de perméabilité k , tiré de la loi de Darcy $Q = k.S.i$, seule loi retenue par la réglementation pour mesurer in situ les faibles perméabilités. Cette loi traduit une relation linéaire entre un débit d'infiltration (Q (m³/s)) et les trois paramètres qui règlent ce débit : une charge hydraulique (i), un facteur de forme S (m²) de la cavité d'infiltration et une perméabilité k (m/s) dont la vitesse d'infiltration s'exerce dans les deux directions horizontale et verticale des matériaux testés.

La BP est composée d'une couche inférieure géologique d'au moins 5 m d'épaisseur à $k < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s (« couche d'atténuation ») et d'une couche supérieure (généralement rapportée ou remaniée) de 1 m à $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s (Figure 1). Pour mesurer la perméabilité des matériaux de la BP, les essais d'infiltration doivent être réalisés « in situ », dans le sol (les essais de perméabilité en laboratoire ne mesurent que la composante verticale de la perméabilité).

Sur de nombreux sites, ces deux couches ne présentent pas les caractéristiques réglementaires. La réglementation tient compte de cette difficulté : elle précise que dans le cas où le milieu géologique ne satisfait pas aux conditions ci-dessus (épaisseur insuffisante ou perméabilité plus forte), des mesures compensatoires équivalentes peuvent être proposées (Figure 2). Ces mesures font l'objet d'une étude spécifique qui comprend, le cas échéant, un calcul d'équivalence justifiant la performance du dispositif choisi. Cette étude doit s'inspirer des dix points mentionnés dans le « guide d'équivalence » [2].

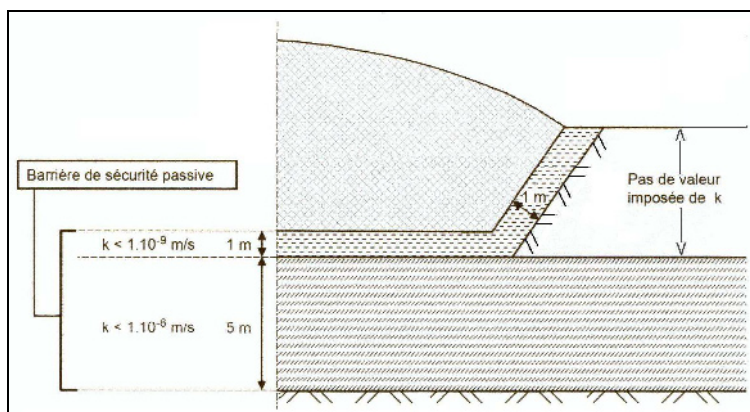


Figure 1. Principe de la barrière de sécurité passive (AFNOR, 2009).

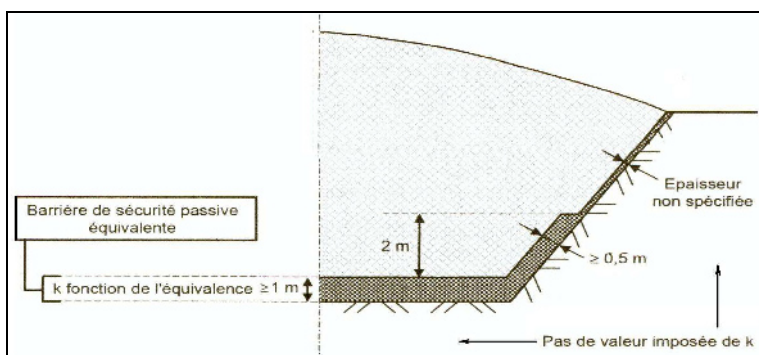


Figure 2. Principe de la barrière passive équivalente (AFNOR, 2009).

2 Le guide de bonnes pratiques AFNOR BP X 30-438

La réglementation ne précise pas les moyens de caractérisation géologique et hydrogéologique du site, mais prescrit que le site doit être « favorable », sans en définir précisément les critères de sélection pour en faire la démonstration.

Les experts de la Commission X 30P (Perméabilité-Déchets) de l'AFNOR, ayant constaté que le domaine des faibles perméabilités était peu exploré sur le plan métrologique et normatif, ont jugé nécessaire de proposer un « guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechnique des sites d'installations de stockage de déchets » BP X30-438 [3]. Ce guide, conseillé par certains services de l'administration rassemble toutes les informations et les moyens appropriés pour juger « favorable » l'aptitude géologique du site à recevoir une ISDND.

On y décrit les trois échelles d'observation (locale, le site, le projet), les objectifs, les moyens de reconnaissance et les informations pertinentes qui doivent être présentées : (1) l'étude d'aptitude aux échelles régionale et locale qui démontre que le choix du site est compatible avec l'implantation d'une installation potentiellement polluante ; (2) la qualification géologique et hydrogéologique du site proprement dit qui rend compte de son état initial ; (3) la faisabilité du projet qui définit les principes d'aménagement et les mesures compensatoires en fonction des résultats des essais normalisés de perméabilité.

Les différents types d'essais sont présentés dans ce « guide », chacun d'eux s'appliquant dans un contexte particulier, les uns pour la reconnaissance et la qualification géologique de la barrière passive du site, les autres, pour le contrôle des travaux d'imperméabilisation du fond et des flancs des casiers de stockage (non traité dans cet article).

3 Choix des essais de perméabilité

Le « guide » insiste pour que les essais de perméabilité soient les bons essais pour obtenir des valeurs représentatives des formations peu perméables de la BP. Jusqu'à présent, bon nombre d'études de qualification de sites d'ISDND effectuaient encore des essais de type LEFRANC pour caractériser la perméabilité in situ d'une barrière passive, alors qu'ils sont inappropriés pour obtenir des valeurs de k inférieures à 10^{-6} m/s. En clair, ce type d'essai ne peut pas caractériser la BP d'un projet d'ISDND, mais sont parfois utilisés au cours de la phase de recherche d'un site pour identifier les formations géologiques dont la perméabilité (non quantifiable) pourrait être inférieure à $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Pour la qualification du site choisi, dont l'aptitude régionale et locale a été acquise, on peut effectuer des essais de perméabilité superficiels (en surface) à l'infiltromètre suivant la norme X 30-420, pour identifier la perméabilité des couches peu perméables. Lors des reconnaissances à la tarière ou par des fouilles à la pelle hydraulique, des échantillons de formations argileuses peuvent être prélevés pour des essais de perméabilité en laboratoire suivant les normes X 30-441 et 442. Les valeurs obtenues vont permettre d'identifier les normes des essais en forage qui seront appliquées dans la couche d'atténuation de la BP.

En phase d'étude de faisabilité, les essais dans la barrière sont effectués dans la tranche de 6 m sous la cote du projet de fond de forme, aux altitudes définies par l'étude de qualification. Le choix des essais en forage se fait suivant l'appareillage disponible pour satisfaire aux normes (X 30-423, 424 ou 425). Les valeurs obtenues sont celles qui justifient l'aptitude et qui permettent le calcul de l'équivalence (au cas où l'épaisseur et la perméabilité de la couche d'atténuation ne sont pas réglementaires).

4 Les essais en forage

L'essai à charge constante en forage ouvert (NF X 30-424) est peu employé, mais plus rapide, pouvant s'effectuer à plusieurs profondeurs au sein d'un même forage. La gamme de mesures est assez étendue, de 10⁻⁶ m/s à 10⁻¹⁰ m/s, ce qui permet de caractériser précisément la perméabilité des deux couches de la barrière, celle de 1 m à $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s et celle de 5 m à $k < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. On mesure les quantités d'eau infiltrées pendant une durée suffisante jusqu'à obtention d'un régime quasi permanent, sous plusieurs (3) charges différentes, pour obtenir plusieurs paliers de charge croissante. L'essai à charge variable en forage fermé (NF X 30-425) sert principalement à la perméabilité de la couche rapportée en équivalence de celle réglementaire (1 m à $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s). La gamme de mesure est assez étendue, de 10⁻⁷ m/s et 10⁻¹¹ m/s, ce qui lui permet de contrôler précisément la perméabilité de la couche très peu perméable.

L'essai à charge variable en forage ouvert (NF X 30-423) est celui communément employé, pour caractériser la couche d'atténuation, ne nécessitant pas d'appareillage délicat sur le terrain. La gamme de mesure, assez étendue de 10⁻⁵ m/s à 10⁻⁹ m/s, couvre la gamme réglementaire de la couche à 10⁻⁶ m/s.

Pour le calcul du coefficient k , la loi de Darcy s'applique aux matériaux saturés. Or, les mesures de perméabilité qui sont mises en œuvre dans la barrière passive, sont généralement situées au-dessus de la nappe phréatique (pour réduire l'impact sur la qualité des eaux souterraines en cas de fuite accidentelle). Pour être représentatifs, les essais doivent donc être précédés d'une saturation préalable dont la durée minimale peut être de plusieurs heures à plusieurs jours (Figure 3).

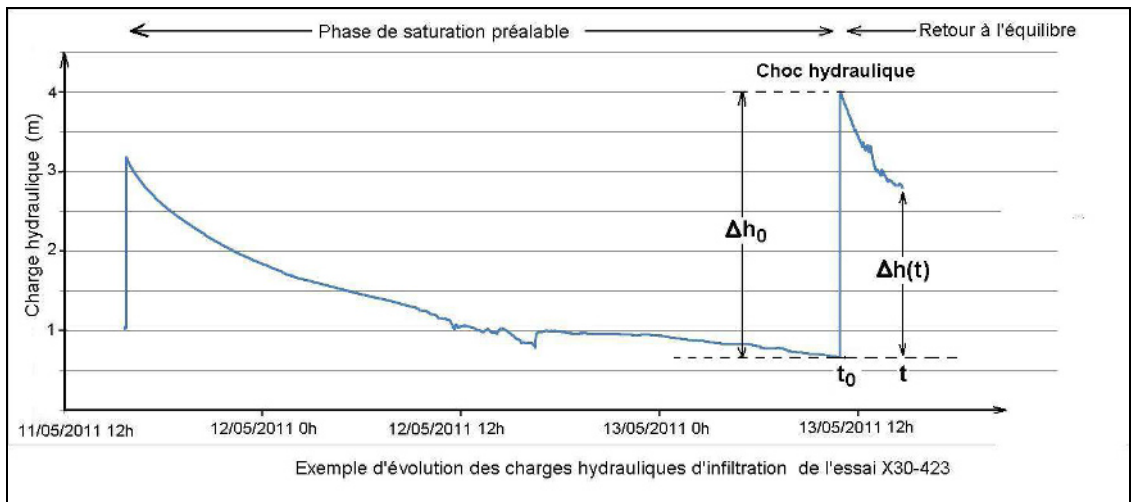


Figure 3. Saturation préalable à un essai à charge variable (2GH Entreprise, 2011).

5 Exemple de mise en œuvre d'un essai de perméabilité

L'exemple ci-dessus concerne un essai à charge variable dans un forage ouvert (X30-423) de 7 m de profondeur recoupant une formation argileuse, sur un aquifère dont la nappe est à une dizaine de mètres de profondeur.

Après une période de saturation (à vitesse d'infiltration constante), qui permet d'établir la variation de charge hydraulique initiale Δh_0 , on procède à un choc hydraulique en augmentant soudainement la charge de manière à introduire un gradient de pression qui provoque une infiltration dans des

conditions quasi-réelles de saturation du milieu. Au bout d'une durée t , on mesure la variation de charge $\Delta h(t)$, à la sonde électrique ou à l'aide d'un enregistreur sur un capteur de pression (Figure 3). Ces valeurs dont le rapport $\ln(\Delta h(t)/\Delta h_0)$ est reporté graphiquement en fonction de la durée, permettent de déterminer l'angle α , d'où on tire le coefficient de perméabilité k , selon la loi de Darcy $k = \alpha \cdot A_i / m \cdot B$ (Figure 4- Annexe).

6 Nombre de points de mesure in situ de la perméabilité

La représentativité des mesures effectuées doit être un objectif fort et constant dans la caractérisation de la perméabilité de la BP. La réglementation ne fixe pas le nombre de points de mesure qui est de la responsabilité du géologue. Cette dernière est conditionnée par son degré de connaissance du contexte géologique local.

Pour aider au choix du nombre de stations de mesures et d'essais à réaliser sur chacune d'elles, le guide AFNOR BP X30-438 propose un nombre minimal d'essais, selon :

- Le degré de connaissance géologique du site et de l'emprise de la zone de stockage ;
 - La variabilité de k mesurée dans un même horizon géologique : « si la plus grande valeur mesurée k_{max} est inférieure à 0,3 fois la valeur réglementaire k_r , le nombre minimal de points de mesure est celui correspondant au rapport $k_{max}/k_{min} < 10$, où k_{min} est la plus petite valeur mesurée » [4].
- Ainsi, plus la perméabilité sera susceptible de varier d'un point à un autre, plus le nombre d'essais devra être important afin d'obtenir une image représentative de l'homogénéité de l'horizon géologique considéré.

Tableau 1. Nombre minimal de points de mesure dans une même couche et par hectare.

Variabilité de la perméabilité mesurée	Connaissance de la couche inférieure de la barrière		
	faible	moyenne	grande
$k_{max}/k_{min} > 100$	3	2	1
$100 > k_{max}/k_{min} > 10$	2	1	0,5
$k_{max}/k_{min} < 10$ ou $k_{max} < 0,3 k_r$	1	0,5	0,3

Faible : Implantation aléatoire ou ordonnée des stations, sans investigations préalables

Moyenne : reconnaissance géophysique et sondages à la pelle hydraulique

Grande : Cartographie fine, corrélations lithologiques et diagraphiques, identification des matériaux.

Références

1. JORF. Arrêté du 9 septembre 1997, modifié le 18 juillet 2007, relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux.
2. MEEDDAT. 2009. Guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets. Version 2. http://www.sitespollués.ecologie.gouv.fr/Librairie/Guide_Equiv_V2.pdf.
3. AFNOR. 2009. Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques de sites d'installations de stockage de déchets, AFNOR BP X 30-438, 46 p. (<http://www.afnor.org>).

Annexe

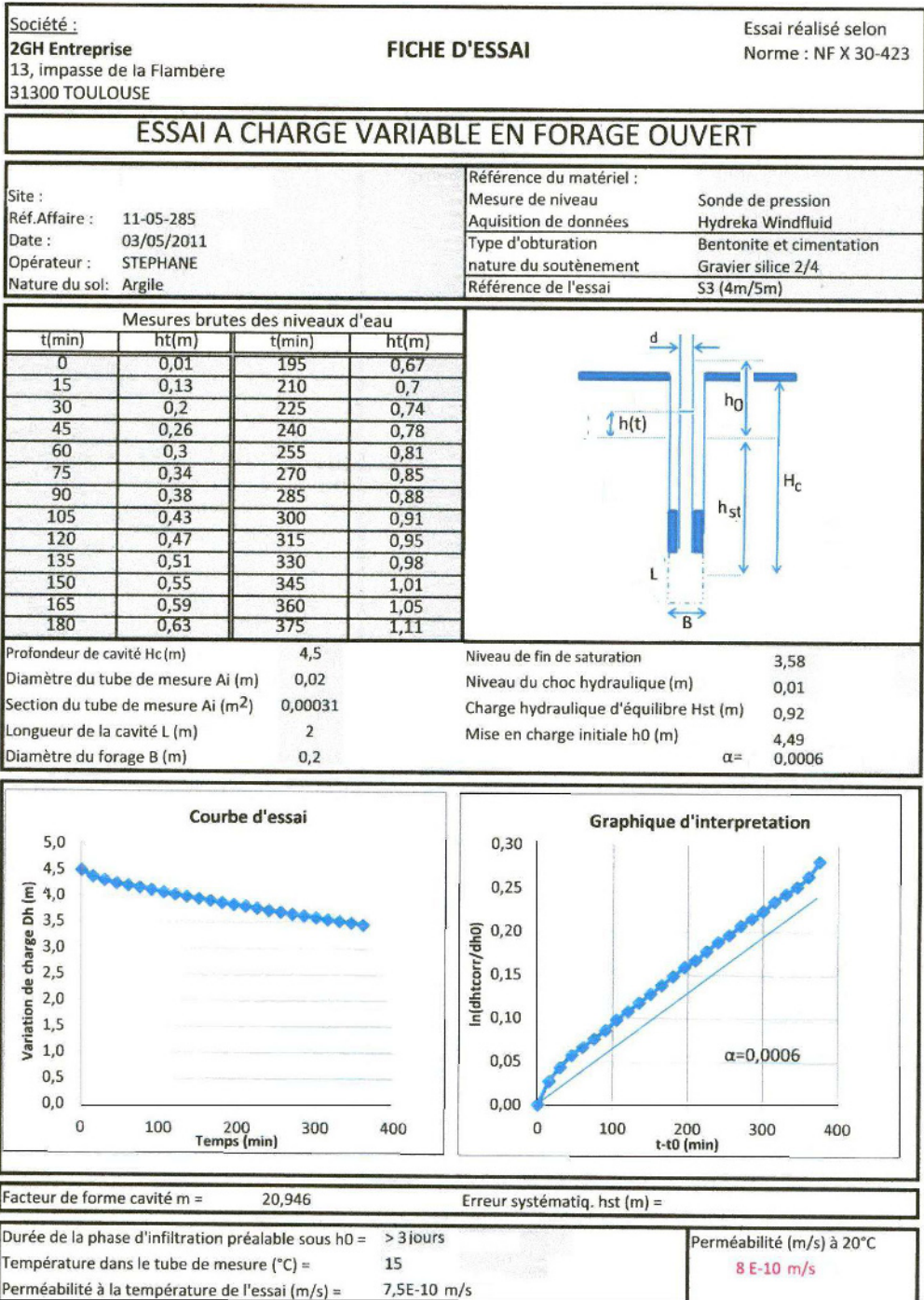


Figure 4. Exemple de fiche d'essai de perméabilité (2GH Entreprise, 2011).