

Quelle capacité d'infiltration retenir pour le dimensionnement des Techniques Alternatives ?

Ce document vise à amener des éléments de réflexion et à éveiller un regard critique sur les choix fait quant à la détermination de la capacité d'infiltration, mais n'a pas valeur de guide ou de méthodologie générale.

L'essentiel

La plupart des techniques alternatives utilisent, au moins en partie, l'infiltration pour restituer l'eau de pluie au milieu naturel. La capacité d'infiltration des sols constitue ainsi le paramètre le plus important pour le dimensionnement correct des ouvrages. Comme ce paramètre est susceptible de varier beaucoup d'un point à un autre, particulièrement en zone urbaine, des mesures locales sont indispensables. Pour que la valeur retenue soit la plus représentative possible, 3 choix doivent être effectués : le type d'essai à mettre en œuvre, le nombre et la position des essais, l'interprétation des mesures. Ces choix doivent être faits en fonction des enjeux (importance du projet), de la connaissance a priori que l'on possède de l'ouvrage à construire (surface, position, profondeur) et du moment auquel les essais sont effectués (depuis l'étude préalable, pour étudier la faisabilité et potentialités du site, jusqu'au projet détaillé, pour affiner le dimensionnement des ouvrages). Dans les projets les plus complexes, une étude préalable du sol visant à établir son profil pédologique peut être nécessaire.

Que signifie la capacité d'infiltration d'un sol?

Telle qu'elle est utilisée dans les calculs de dimensionnement, la capacité d'infiltration représente le volume moyen susceptible de s'infiltrer dans un ouvrage par unité de surface et par unité de temps. Même si ce paramètre a la dimension d'une vitesse, il est important de comprendre qu'il s'agit en réalité d'un débit par unité de surface, qui doit donc s'exprimer en m³/s/m² (mais qui dans la pratique est souvent simplifié en m/s).

La capacité d'infiltration varie en fonction de la perméabilité intrinsèque du sol à différentes profondeurs, mais aussi en fonction de la charge hydraulique, de la saturation du sol en eau, du développement des plantes...

La valeur à retenir, et donc les essais à effectuer, doivent tenir compte des conditions de fonctionnement de l'ouvrage (rapport entre la surface d'apport et la surface d'infiltration, profondeur, présence de sol végétal, ...). <u>Attention particulière</u>: La plupart des tests sont réalisés après saturation préalable du sol en eau, ce qui revient sensiblement à assimiler la capacité d'infiltration à la conductivité hydraulique à saturation. Cette assimilation peut conduire à sous-estimer de façon importante la capacité d'infiltration réelle des ouvrages.

NOTE rédigée par Bernard Chocat, Insa Lyon et Elodie Brelot en appui sur le groupe de travail "eaux pluviales et aménagement" du Graie,

GRAIE - 66, Boulevard Niels Bohr – C\$52132 - F 69603 Villeurbanne Cedex Tél. : 04 72 43 83 68 ● www.graie.org ● Email : asso@graie.org

Quels sont les essais disponibles?

Il existe principalement 4 types d'essais, qui sont rapidement décrits ci-dessous, et un essai simplifié.

Les essais de type Porchet.

Ils font l'objet d'une norme (NF XP DTU 64.1 P1-1 / Circulaire du ministère de l'environnement N° 97-49 du 22 mai 1997 - Annexe III) et sont probablement les plus utilisés. Ils reposent sur la mesure du volume d'eau nécessaire pour maintenir, pendant 10 minutes, un niveau constant de 15 cm dans une cavité dont la profondeur est choisie en fonction de l'étude (généralement de 50 à 70 cm). La mesure se fait après saturation initiale du sol pendant <u>au moins 4 heures</u>. Le respect de ce délai est important car l'objectif est de mesurer la conductivité hydraulique à saturation. Enfin, comme il s'agit d'une mesure ponctuelle l'essai doit être répété à différents endroits.

Les essais à double anneau

Il s'agit d'une variante améliorée des essais de type Porchet qui vise à éliminer les pertes latérales et ainsi mesurer spécifiquement la conductivité hydraulique verticale. L'essai consiste à placer deux anneaux (diam. 50 et 70 cm) sur la surface à tester. Les anneaux sont "collés" sur le sol de manière provisoire afin d'empêcher tout passage d'eau entre ceux-ci et la surface durant l'essai. Le collage est réalisé à l'aide d'un mortier traditionnel ou d'un coulis de ciment. L'essai débute par le remplissage des deux anneaux. Celui-ci est réalisé de manière à avoir une hauteur d'eau constante aussi bien dans l'anneau intérieur que dans l'anneau extérieur. Les mesures s'effectuent exclusivement dans l'anneau interne. L'anneau extérieur joue uniquement le rôle d'écran pour limiter au maximum les écoulements latéraux depuis l'anneau interne. Après saturation initiale du sol, la durée minimum d'un essai est de 30 min, pour approcher le plus près possible d'une saturation complète de la structure.

Les essais de type Matsuo

Ils consistent à creuser une cavité d'un volume déterminé, à la remplir et à mesurer la vitesse d'abaissement du niveau. Dans la version de base on utilise une fosse de grande taille dont les dimensions sont imposées (2,7 mètres * 4,7 mètres) ainsi que le protocole de mesure. Il existe des versions simplifiées utilisant des fosses de tailles diverses. Même s'il a un caractère peu scientifique, cet essai a l'avantage de s'approcher des conditions de fonctionnement des ouvrages d'infiltration.

Les essais la bêche

Une version très simple de l'essai de type Matsuo consiste à faire soi-même un trou de petite taille à la bêche sur son terrain et à mesurer le temps nécessaire pour infiltrer une hauteur d'eau d'une dizaine de cm.

Les essais en forage

Ces essais regroupent les essais Lefranc (qui ne nous intéressent pas ici car ils sont faits dans la zone saturée) et les essais Nasberg. Ils consistent à réaliser un forage à une profondeur donnée et soit à maintenir le niveau constant en mesurant le débit à injecter, soit à suivre la baisse du niveau. Ils présentent une bonne analogie avec le fonctionnement des puits d'infiltration, car l'infiltration se fait essentiellement au travers des parois verticales. Comme il s'agit d'une mesure très ponctuelle, l'essai doit être répété à différents endroits si l'emplacement de l'ouvrage n'est pas arrêté.

Bernard Chocat, Elodie Brelot et le GT du Graie – septembre 2020

Le tableau suivant, extrait du document du Cerema, cité en bibliographie, illustre ces différents essais :

Essais et K mesuré	Illustration	Nature des sols	Principe de l'essai	Remarques sur le domaine d'application
Percolation à niveau constant (essai Porchet) ⁱ K local		Sols superficiels, suffisamment cohérents	Réalisation d'une cavité par sondage manuel ; après saturation préalable, suivi du volume d'eau utilisé pour main- tenir le niveau d'eau dans la cavité.	Essai en sondage (de faible profondeur et de faible diamètre) généralement effectué avec une tarière à main et mesurant la perméabi- lité locale, davantage représentatif de tech- niques d'infiltration de petites tailles.
Infiltromètre ouvert à double- anneau NF EN ISO 22282-5 K vertical dominante		Sols superficiels moyennement à peu perméables <i>K entre 10⁻⁵ et</i> 10 ⁻⁸ m/s	Préparation d'une surface plane à profondeur donnée ; après saturation préalable, suivi du volume d'eau utilisé pour maintenir le niveau d'eau dans l'anneau central. L'anneau externe, dit de garde, permet de privilégier les écoulements verticaux.	Essai en surface (pouvant être réalisé dans une fosse), privilégiant la prise en compte de la perméabilité verticale des sols, davantage représentative de techniques d'infiltration telles que les chaussées à structure-réservoir.
Test à la fosse / Essai Matsuo Non normalisé K global / K vertical		Sols superficiels, suffisamment cohérents	Réalisation d'une cavité par sondage à la pelle ; après saturation préalable, suivi du niveau d'eau utilisé pour maintenir le niveau d'eau dans la cavité. Pour accéder à la seule perméabilité verticale (essai Matsuo), un 2 ^{ème} essai est réalisé en allongeant la fosse afin de supprimer les effets de bord.	Essai en cavité de grandes dimensions privilégiant la perméabilité globale du terrain, davantage représentative de techniques d'infiltration à forte emprise. Une saturation préalable sera difficilement atteignable dans le cas des sols assez perméables (K > 10 ⁻⁴ m/s)
Essai d'eau dans un forage en tube ouvert (type Nasberg) ⁱⁱ NF EN ISO 2228-2 K local		Sols fins suffi- samment homo- gènes; K supérieur à 10° 6° m/s	Réalisation d'une cavité par forage ; mesure de la perméabilité par suivi de la variation de charge hydraulique créée de préférence par injection à débit constant, à différentes profondeurs.	Essai en sondage pouvant privilégier la prise en compte de la perméabilité horizontale des sols, davantage représentative du fonctionnement attendu de techniques d'infiltration telles que les puits d'infiltration.

 $^{^{\}rm i}$ Un protocole d'essai est défini dans le cadre des études de faisabilité d'une filière ANC.

Tableau 1 : récapitulatif des différents essais (avec K conductivité hydraulique) (document Cerema)

En complément, le tableau ci-dessous permet de donner des ordres de grandeurs des coûts liés à ces différents essais:

Test	Essais à la bêche	Essais Porchet et essai double anneau	Essais Matsuo	Essais Nasberg/Lefranc
Dépenses spécifiques	Réalisation jusqu'à 5 tests : forfait de 250 € HT	Réalisation de 1 à 3 tests : forfait de 400 € HT	 Location tractopelle : 600 € HT/jour Location citerne à eau : 500 € HT/jour (jusqu'à 5 m³) Réalisation de 1 à 3 tests : forfait de 400 € HT 	 Mise à disposition matériel : 500 € HT/jour Réalisation de 1 forage : 100 € HT Réalisation de 1 test : 200 € HT
Temps d'intervention	1 à 3 heures	5 à 8 heures	1 à 2 jours	1 jour

Tableau 2 : Ordre de grandeurs des coûts moyens des essais (valeur 2019) hors temps passé opérateur pour suivi chantier et déplacement.

À ces coûts vient s'ajouter un temps de préparation et d'exploitation équivalent à une journée de technicien (400 € HT/j).

ii Des perméabilités plus faibles peuvent être mesurées avec un essai à charge variable.

Quels essais préconiser en fonction du projet ?

Pour choisir les tests les mieux appropriés, il est nécessaire de réfléchir au préalable aux principes de fonctionnement que l'on souhaite retenir. Les deux questions les plus importantes sont les suivantes :

- Veut-on privilégier un ouvrage de surface (noue, dépression, ...) ou un ouvrage profond (tranchée, puits) ?
- Quel sera l'ordre de grandeur du rapport R entre la surface active (surface totale de collecte de l'eau) et la surface d'infiltration ?

On pourra raisonner en fonction des règles suivantes :

- 1. Si R est faible (compris entre 1 et 10 selon l'épaisseur de terre végétale au fond de l'ouvrage) et que l'on souhaite privilégier un ouvrage de surface (moins de 70 cm de profondeur, de type noue ou dépression), il n'est pas nécessaire de considérer un sol saturé. Pour les projets correspondant à des surfaces actives inférieures à 1 000 m², des essais "à la bêche" seront suffisants. Au-delà, des essais de type Matsuo seront très bien appropriés. La taille de la fosse sera adaptée à l'importance du projet. Des essais à des profondeurs différentes pourront être réalisés au regard des premiers résultats.
- 2. Si l'on souhaite privilégier un ouvrage souterrain (en particulier les puits d'infiltration), des essais de type Nasberg conviendront parfaitement jusqu'à des valeurs de R de l'ordre de 10.
- 3. Dans les autres cas, le risque que le sol se sature pour les événements les plus forts devient important. Il faudra soit utiliser des essais de type Porchet, plus simples à mettre en œuvre que des essais à double anneau, soit utiliser des essais de type Matsuo, mais avec des volumes de fosses et des hauteurs d'eau plus grands.

Combien faut-il faire d'essais et à quel endroit ?

Du fait de la grande variabilité de la capacité d'infiltration du sol, parfois à quelques dizaines de mètres de distance, ou encore aux différentes profondeurs, il est conseillé de faire plusieurs essais (au moins 3). De façon pratique deux cas sont possibles :

- Si on ne sait pas où sera situé l'ouvrage: le nombre d'essais est alors à choisir en fonction de la surface du terrain; 1 essai pour 1 000 à 2 000 m² constitue un choix médian à pondérer en fonction de l'hétérogénéité du sol. Le nombre d'essais peut souvent être réduit avec un minimum de bon sens en privilégiant les zones où l'ouvrage sera implanté de la façon la plus probable (zones basses, zones éloignées des accès, ...).
- Si on sait où sera situé l'ouvrage : Le nombre d'essais est alors à faire en fonction de la surface de l'ouvrage ; 1 à 3 essais pour 1 000 m², avec un minimum de 3 essais pour le projet, est généralement satisfaisant.

Dans tous les cas, il est important de réaliser les essais à une cote altimétrique située au plus près possible du fond de fouille des futurs ouvrages.

Quelle valeur retenir en fonction des mesures effectuées ?

Comme il est conseillé de réaliser différentes mesures, la première question consiste à savoir quelle valeur retenir lorsque les résultats sont différents (ce qui sera généralement le cas).

Une pratique classique consiste à écarter les mesures extrêmes, et en particulier la valeur maximum. Cette pratique, utilisée comme coefficient sécurité, n'est pas nécessaire. En effet, dans la réalité, l'eau circule et s'infiltre là où la perméabilité est la plus grande. En toute logique c'est donc la valeur la plus grande qu'il faudrait retenir. Par précaution, nous conseillons de retenir la moyenne de toutes les mesures.

La seconde question est celle du coefficient de sécurité lui-même. On est en effet souvent tenté de multiplier la valeur retenue par un coefficient inférieur à 1, en particulier pour tenir compte du risque

de colmatage. Cette pratique n'est pas non plus nécessaire car le colmatage ne constitue pas une fatalité :

- En cas d'infiltration de surface, le développement des racines et la bioturbation (en particulier l'activité des vers), vont remanier en permanence le sol et préserver la capacité d'infiltration ; il est cependant nécessaire d'éviter le tassement du sol.
- En cas d'infiltration dans un puit ou dans une tranchée, le fond de l'ouvrage va se colmater très vite mais les parois verticales ne subiront aucun colmatage sensible dans le temps. Pour tenir compte du colmatage, il suffit donc de ne pas prendre en compte le fond de l'ouvrage dans le calcul des surfaces d'infiltration utiles.
- En cas d'infiltration profonde, sous un massif ou une chaussée à structure réservoir par exemple, l'ouvrage va jouer un rôle de filtre (qui va parfois se traduire par un colmatage de surface), mais le fond de l'ouvrage sera protégé et ne se colmatera pas.

À noter qu'un coefficient de 0,5, souvent rencontré dans la pratique, revient à doubler le dimensionnement des surfaces d'infiltration pour un temps de vidange donné.

Ordres de grandeurs

Le tableau ci-dessous permet d'avoir un ordre de grandeurs pour les capacités d'infiltration de différents sols :

		Grave		So	ol sableı	ıx	Sol lim	ioneux	Sol ar	gileux
Dénomination des sols				w F						X
Taille des grains	50 mm		2 mm		0.08 mm		0.00	0.002 mm		
Capacité d'infiltration en m³/s/m²	1	10-2	10 ⁻³	10-4	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10-8	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Equivalence en cm/h				36	3.6	0.36				
	Très perméable Imperméable						le			

Tableau 3 : Ordres de grandeur de la taille des grains et de la capacité d'infiltration selon le type de sol

Simulation d'un cas d'école

Afin de donner un ordre d'idée de temps d'infiltration en fonction de la capacité d'infiltration, un exemple fictif est proposé ci-dessous. À Lyon, nous savons que sur une année 80 % des pluies sont des pluies de moins de 15 mm.

- 1) Imaginons que:
- ces 15 mm de pluie tombent instantanément,
- nous avons un ouvrage avec une surface d'infiltration de 1/10 de la surface active,
- la conductivité hydraulique à saturation (mesurée par un essai de type Porchet) et de 10⁻⁵ m³/s/m² (ou m/s).
- 1- L'infiltration d'une pluie de 15 mm revient à infiltrer une hauteur d'eau de 15 cm (15 mm/m² x 10).
- 2- La conductivité hydraulique de 10⁻⁵ m³/s/m² permet d'infiltrer 3,6 cm en une heure.

==> il faudra donc 4 heures pour infiltrer la totalité de la pluie, dans un sol déjà saturé, cette hypothèse étant très restrictive car dans beaucoup de cas, le sol ne sera pas saturé au début de l'événement.

2) En faisant varier le rapport surface d'infiltration/surface active et la capacité d'infiltration du sol pour l'exemple précédent on obtient la variabilité des temps d'infiltration (en heures) suivante :

Capacité d'infiltration en m³/s/m²

Surface infiltration/

		10-4	5.10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	5x10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
-	1	0,0	0,1	0,4	0,8	4,2
	1/10	0,4	0,8	4,2	8,3	41,7
	1/20	0,8	1,7	8,3	16,7	83,3
	1/30	1,3	2,5	12,5	25,0	125,0
	1/40	1,7	3,3	16,7	33,3	166,7

Tableau 4 : Ordres de grandeur (en heures) des temps d'infiltration selon le type de sol et le rapport entre la surface d'infiltration et la surface active pour une pluie de 15mm

Conclusion

Ce document se concentre sur la détermination de la capacité d'infiltration dans le dimensionnement des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales. Cependant, en terme d'hydrologie, il est également important de tenir compte de la présence de nappes et des risques associés.

La capacité d'infiltration du sol n'est donc que l'un des éléments nécessaires au dimensionnement des ouvrages. Très souvent, le choix de cette donnée cumule de nombreuses sécurités :

- La réalisation des tests sur un sol préalablement saturé, ce qui ne correspond pas aux conditions de fonctionnement les plus courantes ;
- Le choix de la valeur moyenne après élimination de la valeur la plus favorable, voire l'application d'un coefficient de sécurité supplémentaire, alors que l'eau s'écoulera préférentiellement vers les points les plus perméables ;
- La prise en compte partielle des surfaces d'infiltration : le fond mais pas les côtés pour les ouvrages peu profonds ; inversement, les parois mais pas la surface du fond pour les ouvrages profonds ;
- Qui plus est, il est important de rappeler les objectifs et niveaux de services attendus. Les techniques alternatives visent notamment à gérer les pluies petites à moyennes.

Toutes ces précautions conduisent souvent à un surdimensionnement des ouvrages, voire à l'abandon de solutions intégrées, sous prétexte d'une insuffisance de la capacité d'infiltration du sol.

Il est indispensable d'éviter ces pièges. Dans tous les cas, le choix final de la valeur retenue doit être clairement affiché et explicité en fonction des mesures effectuées et des enjeux du contexte particulier. Il appartient au maître d'ouvrage d'arbitrer entre le risque éventuel qu'il souhaite prendre et le surcoût potentiellement important associé à un coefficient de sécurité trop fort. Selon nous, un coefficient de sécurité de 1 (on retient pour le dimensionnement la moyenne des mesures) est toujours suffisant.

Perspectives

Des études actuelles tendent à mettre en place des méthodes plus simples mesurant la capacité d'infiltration des sols en étant seul ou à 2 personnes. Ces démarches permettraient par exemple de généraliser et faciliter les mesures pour :

- une première évaluation d'un terrain avant aménagement et ainsi envisager des techniques de surface non destructives plus régulièrement,
- le suivi du colmatage,
- l'identification de la cause de certains disfonctionnements constatés...

Pour en savoir plus :

- INFILTRON et la méthode BEST : https://infiltron.org/.
- Projet Perméanoue de l'<u>Adopta</u>.

Autres références utiles :

https://www.o2d-environnement.com/observatoires/test-de-permeabilite-sols-etude-coefficient/

http://www.assainissement.developpement-

durable.gouv.fr/documents/Fiche SPE EP etudes sols integral decembre 2014.pdf

 $\underline{https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/recommandations-commande-etudes-\underline{infiltrabilite-sols}}$