

TABLE DES MATIERES

1	OBJECTIFS	2
2	DOMAINES D'APPLICATION	2
3	RÉFÉRENCES	2
4	PROCÉDURE	3
4.1	Techniques de forage pertinentes	3
4.2	Techniques de forages moins pertinentes	3
4.2.1	Pour les techniques sèches	3
4.2.2	Pour les autres techniques de forage	4
4.3	Forages dans le cadre d'études de sol	4
4.3.1	Echantillonnage de sol	5
4.3.2	Echantillonnage d'eau souterraine	6
4.4	Forages dans le cadre des travaux d'assainissement.....	7
4.5	Mesures générales de précaution	8
4.6	Mesures de précaution supplémentaires en zone saturée	8
4.7	Points d'attention en présence d'une couche surnageante	9
4.8	Placement de puits d'extraction et d'injection	10
4.9	Nettoyage des puits	10
	ANNEXES	12
	Annexe 1. Techniques de forage pertinentes	12

FIGURES

Figure 1:	Prélèvement par single tube	4
Figure 2:	Prélèvement par dual tube	6

1 OBJECTIFS

Les objectifs des forages mécaniques et le placement des crépines diffèrent selon qu'il s'agisse d'études de sol ou de travaux d'assainissement.

L'objectif d'une étude de sol est d'obtenir une image représentative de la qualité du sol et de l'eau souterraine. En outre, il peut également être important de prélever un échantillon d'air du sol pertinent dans le cadre de l'analyse des risques. Un suivi correct de l'exécution des forages est alors exigé. Il y a lieu d'éviter que la technique de forage influence la composition des échantillons pour analyses de sol et d'eau souterraine.

L'objectif lors des travaux d'assainissement est d'obtenir le meilleur rendement possible des puits d'extraction installés. Nous entendons par là aussi bien les puits placés dans le cadre d'un rabattement lors des travaux de génie civil, de tests pilotes que de travaux in situ.

2 DOMAINES D'APPLICATION

Lors de la réalisation d'études de sol, des tests pilotes in situ et de travaux d'assainissement in situ, des forages sont souvent réalisés. Ceux-ci sont souvent équipés de puits et de piézomètres. Les domaines d'application possibles ou une combinaison de ceux-ci sont:

1. La détermination de la structure du sol;
2. La détermination et le suivi des paramètres de qualité du sol;
3. La détermination et le suivi des paramètres de qualité des eaux souterraines;
4. La détermination et le suivi des paramètres de qualité de l'air du sol;
5. La détermination de la piézométrie des eaux souterraines et que de leur sens d'écoulement;
6. La mesure des dépressions ou des surpressions pour la détermination du rayon d'influence en cas de venting /air sparging;
7. L'extraction d'eau, de produit ou d'air du sol;
8. L'injection d'air, de nutriments ou de produits chimiques.

3 RÉFÉRENCES

- Le système de gestion "Achilles Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsaneringswerken"; OVAM, publié en février 2017;
- VLAREM Bijlage 5.53.1 CGP voor boringen en voor exploiteren en afsluiten van boorputten;
- CMA, DEEL 1, Monsternemingstechnieken;
- CWEA, Prélèvements et mesures de terrain (partie P);
- Bruxelles Environnement, Code de bonnes pratiques forages, prélèvement et analyses N° 1-2-3;
- ISO18400-102:2017 (Sol) & ISO 18400-204 (gaz des sols).

4 PROCÉDURE

4.1 Techniques de forage pertinentes

Le tableau en annexe 1 indique la ou les techniques de forage pertinentes pour les différents domaines d'application (voir ci-dessus). Le tableau est informatif et constitue une aide à la préparation de la stratégie d'échantillonnage et à la réalisation de l'assainissement des sols. Le tableau est divisé en techniques de forage sèches et autres techniques de forage (par injection d'eau, à la gouge à soupape (pulse), forage au marteau fond de trou, etc.).

4.2 Techniques de forages moins pertinentes

Un certain nombre de techniques de forage sont moins pertinentes pour les domaines d'application de BOFAS et ne sont donc pas incluses dans le tableau. Pour les sites BOFAS, ces techniques de forage ne peuvent être utilisées que dans des cas très spécifiques. Il existe souvent une technique plus appropriée.

Il s'agit notamment des techniques suivantes accompagnées d'une liste non limitative de remarques contraignantes vis-à-vis des applications pour les sites BOFAS

4.2.1 Pour les techniques sèches

Carottage

Les carottages (carottes de roche) permettent de prélever des échantillons de roche presque parfaits. Cependant, il s'agit d'une technique de forage très coûteuse qui ne sera utilisée que dans des cas exceptionnels.

Forage sonique en combinaison avec tubage à l'avancement (casing) et échantillonnage non remanié du sol à l'aide de cylindres et aqualock

L'utilisation de l'eau exogène en zone insaturée est en conflit avec les codes régionaux (CMA, CWEA, CBP Bruxelles Environnement). En outre, la plupart des tours de forage de ce type nécessitent une hauteur libre et un empâtement relativement grand. Cette technique est particulièrement utile pour le forage et l'échantillonnage rapides à de grandes profondeurs.

Percussion en combinaison avec:

- (1) Prélèvement du sol par « single tube »: Les techniques "single tube" utilisent un seul train de tiges ou « tubage d'avancement » pour insérer le porte-échantillon avec le liner dans le sol. Les échantillons de sol sont prélevés séquentiellement pendant que le forage se poursuit en profondeur. Le liner avec les échantillons de sol est extrait systématiquement du trou de forage sans y laisser de tubage à l'avancement, ce qui crée un risque de rupture du forage ou de contamination croisée. La technique trouve

principalement sa plus-value dans le cadre d'un échantillonnage de sol ponctuel à grande profondeur. Cette technique pose souvent problème dans les sols non consolidés et dans le cadre de l'échantillonnage en zone saturée.

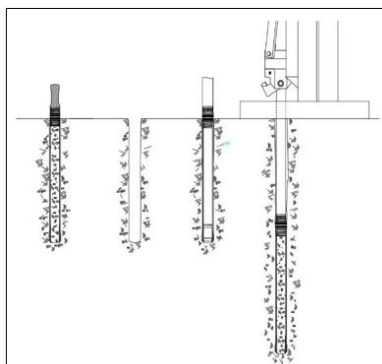


Figure 1: Prélèvement par single tube

(2) Un puits temporaire d'échantillonnage d'eau : le caractère non permanent du point de prélèvement est souvent un obstacle à son application sur les sites du BOFAS.

(3) Échantillonnage temporaire de l'air du sol ou implants Air du sol : voir remarque au point (2). La technique a une valeur ajoutée, en particulier pour l'échantillonnage très profond de l'air du sol ou pour des échantillonnages ponctuels sur l'ensemble du forage, ce qui s'avère moins pertinent sur les sites BOFAS.

(4) Imagerie directe (MIP/OIP/MIHPT/EnISSA, ...) : la technique est semi quantitative et n'implique pas de mesures répétitives, elle est plus adaptée aux sites complexes présentant des pollutions profondes.

4.2.2 Pour les autres techniques de forage

Air Lift (et injection d'eau)

En principe, la technique est précédée dans la dizaine de mètre supérieure d'un forage par injection d'eau traditionnel et n'est donc guère pertinente pour les sites BOFAS qui sont souvent caractérisés par des panaches de pollution relativement peu profonds.

4.3 Forages dans le cadre d'études de sol

Pour l'exécution de forages environnementaux dans le cadre d'études des sols et de suivi environnemental, il est fait référence en premier lieu aux codes d'échantillonnage régionaux inclus dans la CMA, CWEA et au code de bonne pratique n° 1-2-3 de Bruxelles Environnement.

Toutefois, pour les forages environnementaux, en raison du contexte hydrogéologique spécifique et de la situation environnementale, il sera parfois nécessaire de déroger à ces codes moyennant justification.

Si les forages sont réalisés pour les domaines d'application 1 à 4, le rendement des puits ou des piézomètres est généralement d'importance secondaire. Dans le cas des techniques par injection d'eau ou de forage au marteau fond de trou, pour lesquels une forte perturbation des paramètres de qualité du sol et des eaux souterraines par la circulation d'eau exogène et eaux souterraines dans le forage est attendue, il est préférable d'utiliser des techniques de forage à sec. En zone saturée, le forage à la soupape est peut-être la technique de forage la plus appropriée.

4.3.1 Echantillonnage de sol

A l'exception des forages manuels, l'échantillonnage du sol pour les analyses dans le cadre d'applications environnementales est réalisé de préférence selon la technique "Dual Tube" en combinaison avec des forages à percussion. Dans certains cas, comme lors de forages profonds (environ 12 m, selon le type de sol, etc.) ou en combinaison avec l'installation de piézomètre, il peut être utile d'utiliser d'autres techniques de forage (p. ex. tarières creuses + cylindre d'échantillonnage). Les techniques de "dual tube" utilisent des tubages à l'avancement concentriques (au moins les tubages extérieures) pour poursuivre progressivement le forage en profondeur. Le tube extérieur reste dans le sol tandis que le tube intérieur sert à remonter le tube d'échantillonnage (avec le liner) ou le redescendre pour le prochain prélèvement. Le tube extérieur (casing) empêche l'effondrement du forage et réduit le risque de contamination croisée. Dans certains cas (par ex. sols saturés, fortement non consolidés), il est recommandé d'utiliser un système de retenue des sédiments ou coquille (core catcher) à la base du liner ou un échantillonneur à piston. Le liner (généralement) en PVC ne sert pas de tubage à l'avancement, mais se trouve à l'intérieur du tubage à l'avancement intérieur.

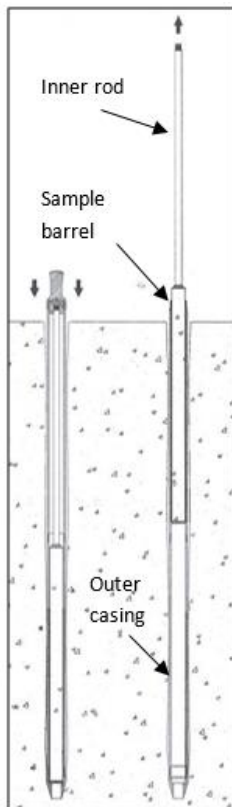


Figure 2: Prélèvement par dual tube

4.3.2 Echantillonnage d'eau souterraine

Conformément au CMA, l'espace annulaire lors de l'installation de piézomètres doit être d'au moins 1,5 cm, selon la CWEA, l'espace annulaire doit être d'au moins 50 % du diamètre du forage.

S'il n'est pas possible de vérifier le comblement de l'espace annulaire autour du piézomètre, il y aura lieu de travailler avec des piézomètres préfabriqués "prepack" intégrant un manchon sableux et un bouchon d'argile.

Compte tenu de la situation actuelle du marché, cela signifie que lors de l'utilisation de crépines et tubes aveugles en PE de diamètre intérieur/extérieur de 25/32 mm (massif filtrant de 60 mm, bouchon d'argile prepack 60 ou 70 mm), le forage à percussion (ou avec tubage à l'avancement dans le cas d'autres techniques) doit être réalisé avec des tubes de forage de diamètre intérieur de 3,75 pouces. Les prepacks sont équipés d'une collerette bloque-sable. Le comblement du forage au-dessus du bouchon d'argile ne s'effectue PAS à l'intérieur du tubage à l'avancement ou du tube de forage. En cas de diamètres plus importants (crépine PE Diam int/ext de 51/63 mm avec un massif filtrant prepack de diam de 88 mm, bouchon d'argile de 100 mm), il y a lieu de d'utiliser des tubes de forage ayant un diamètre intérieur d'au moins 5,25 pouces. Le contractant peut opter d'effectuer le forage proposé en réalisant, d'une part,

un forage de plus petit diamètre (<3,75 pouces) pour l'échantillonnage du sol et, d'autre part, de placer le piézomètre dans un second forage voisin du premier par la technique de la pointe perdue ayant le diamètre intérieur minimal requis

Après placement, il n'est pas permis de pousser le piézomètre plus profondément dans le sol (par ex. en raison de sa remontée lors du démontage des tubes de forage ou du tubage à l'avancement).

4.4 Forages dans le cadre des travaux d'assainissement

Si les forages sont réalisés dans le cadre des domaines d'application 7 et 8, les puits placés doivent attendre le meilleur rendement d'extraction possible. Selon la structure du sol, les techniques de forage suivantes seront privilégiées.

Terrains meubles:

- En présence de sols **limoneux (et argileux) compressibles et plastiques**, une technique de forage par injection d'eau sera préconisée;
 - Les avantages de cette méthode sont les suivants:
 - Seule une partie limitée du terrain autour du forage est comprimée ;
 - Le colmatage des parois du forage par les sédiments du sol est infime.
 - Les inconvénients de cette méthode sont les suivants:
 - En cas de contamination importante du sol, l'entièreté du forage peut être contaminée suite à la circulation de l'eau exogène ;
 - L'eau exogène utilisée lors du forage est potentiellement contaminée et doit être récupérée et traitée avant rejet.
- Pour **les sols purement sableux et incompressibles**, parallèlement à la technique par injection d'eau, la technique de forage à la tarière hélicoïdale (creuse) peut être envisagée. Cette technique ne présente pas les désavantages cités ci-dessus mais l'expérience démontre que le forage à la tarière hélicoïdale est très sensible au colmatage lié à la présence de sols plastiques (argiles, limons et glauconite). Ce colmatage entraîne une réduction du rendement de pompage dans les puits placés en comparaison avec une technique par injection d'eau;
- Une troisième technique de forage envisageable, présentant dans une moindre mesure les inconvénients de la technique par injection d'eau et de la tarière creuse, est le forage à la soupape (gouge à clapet). Cette technique est un bon compromis entre les 2 méthodes citées ci-dessus, cependant, cette technique de forage est très lente et donc par conséquent plus onéreuse.

Sols rocheux :

- La technique de forage au marteau fond de trou (marteau pneumatique) sera généralement privilégiée. Les principaux avantages de cette technique sont sa rapidité d'exécution et son coût relativement modéré. Les désavantages de cette technique sont très comparables à ceux de la technique du forage par injection d'eau. Lorsque la roche est recouverte d'une épaisse couche de terrains meuble de couverture, il sera d'abord fait usage d'une technique de forage adaptée à ce type de terrains (voir ci-dessus) jusqu'au sommet de la roche. Avant de poursuivre le forage plus profondément dans la roche, un

tubage sera installé au travers des terrains de couverture. Ce tubage est parfois scellé à l'aide de ciment afin de stabiliser le forage au niveau des terrains de couverture. En effet, si ce tubage n'est pas placé, les terrains de couverture risquent de s'effondrer lors de la remontée de l'eau et des cuttings du forage.

- La technique de forage par injection d'eau avec utilisation d'une tête de forage type "trépan à molettes" (rollerbit). Cette technique a les mêmes avantages et inconvénients que le forage par injection d'eau classique. Un gros avantage supplémentaire est que cette technique de forage peut être appliquée à la fois dans les terrains meubles de couverture et dans la roche. Seule la tête de forage doit être changée au moment du passage dans la roche. Les inconvénients de cette méthode sont la lenteur de la progression dans la roche, l'utilisation et l'usure du trépan à molettes (diamantées) rendant la méthode relativement onéreuse.

Les techniques de forage pour la réalisation de forages dans les domaines d'application 5 et 6 sont moins critiques. Dès lors, il est souvent décidé d'effectuer ces forages en combinaison avec des forages pour un domaine d'application différent.

4.5 Mesures générales de précaution

Afin d'éviter de percer des conduites souterraines, il faut, avant de commencer à forer mécaniquement, forer manuellement ou excaver les terres sur minimum 1 m de profondeur. Le diamètre de forage manuel doit être supérieur au diamètre de forage mécanique.

En présence (ou suspicion) d'une couche surnageante, des précautions suffisantes doivent être prises pour s'assurer que celle-ci ne s'infilte pas plus en profondeur. Les précautions consistent par exemple en l'utilisation d'un tubage à l'avancement perdu (casing perdu), d'un bouchon en bentonite, (Voir plus loin).

Toutes les terres ou cuttings contaminés forés doivent être collectés dans un conteneur approprié pour évacuation et traitement.

La perte de tous types d'hydrocarbures (diesel, huile hydraulique, etc.) de machines ou de véhicules doit être évitée à tout prix. Les fuites doivent être immédiatement colmatées. Si ce n'est pas le cas, les activités de forage doivent être arrêtées et les mesures correctives nécessaires doivent être prises. Le foreur est responsable de toute nouvelle pollution qu'il peut générer.

4.6 Mesures de précaution supplémentaires en zone saturée

Un système hors sol de collecte des eaux, des terres ou cuttings de forage doit être prévu (certaines techniques de forages par injection ou marteau font usage d'un système de tamis pour séparer l'eau de la terre et/ou des cuttings (pierres) qui sont directement collectés dans un conteneur distinct). La réinfiltration partielle ou complète de l'eau exogène de forage

n'est pas acceptable. Au cas où il n'y a pas de risque de contamination croisée et que la propreté n'est pas source de problème, il est possible de déroger à cette règle moyennant l'autorisation préalable de BOFAS (par exemple, réalisation de forages en zone propre ou sur un terrain en jachère).

Si du produit pur est présent dans l'eau exogène ou si elle est fortement contaminée, cette eau doit être recueillie dans un conteneur approprié pour son évacuation et traitement.

L'eau exogène utilisée ne peut pas être plus contaminée que l'eau souterraine à cet endroit.

S'il y a des doutes quant à l'étanchéité de la couche de couverture en zone non saturée, un tubage à l'avancement suffisamment long doit être placé. Le cas échéant, l'espace annulaire entre ce tubage et les parois du forage devra être rempli avec un matériau étanche approprié telle que de la bentonite afin d'éviter toute dispersion de l'eau contaminée via cet espace.

Les mesures nécessaires seront prises de sorte à ce que les alentours (y compris les bâtiments) soient protégés de la saleté (boue de forage, eau, boue, cuttings). Ceci s'applique en particulier au forage au marteau fond de trou.

4.7 Points d'attention en présence d'une couche surnageante

Si possible, utiliser un casing perdu de minimum 1 m au-dessus jusqu'à 1 m en dessous de la couche surnageante en tenant compte de l'amplitude des fluctuations du niveau de l'eau souterraine.

Le bouchon d'argile doit être placé avec précision. Il faut utiliser le type d'argile adéquat (voir plus loin « placement de puits d'extraction et d'injection »).

Avant de poursuivre le forage sous la couche surnageante, le forage, toutes les conduites, les pompes, ... qui a été en contact avec le produit doit être vidangés et rincés à l'eau propre.

Collecter l'ensemble du produit et des eaux souterraines ou exogènes contaminées émergeant et provenant des opérations de forage et pompage, dans des conteneurs appropriés, ensuite procédé à l'épuration sur place ou à l'évacuation et traitement.

Prévoir suffisamment de matériel absorbant approprié (par exemple sciure de bois, ecoperles) afin de limiter immédiatement la dispersion de la pollution en cas d'incident.

Prévoir un extincteur « en standby » pour une intervention rapide en cas d'incendie (par exemple suite à une étincelle survenue à l'impact de la soupape (gouge à clapet) sur le tubage à l'avancement.

4.8 Placement de puits d'extraction et d'injection

La crépine sera placée dans le forage de la manière la plus centrale possible.

Lors du placement du massif filtrant autour de la crépine, une attention particulière sera portée à la mesure de la profondeur du massif filtrant afin de garantir son bon positionnement.

Les bouchons d'argile doivent être composés d'argile gonflante sous forme **de granulés et non sous forme de poudre**. Sous le niveau d'eau, pour en faciliter la mise en place, il peut être fait usage de types d'argile de faible adhérence et à gonflement plus lent (ex. type Mikolit 300 ou similaire). Au-dessus du niveau de l'eau souterraine, les bouchons d'argile seront obligatoirement composés de bentonite pure (ex type Cebogel ou similaire). Des types d'argile qui ne gonflent pas ou très peu (ex. type Mikolit 00 ou similaire) ne sont pas autorisés. Ces types d'argile se désagrègent et rétrécissent et provoquent à terme des tassements suite à l'apparition de cavités.

Pour les puits d'injection d'air dans le cadre de l'injection d'air comprimé, le bouchon en argile est remplacé par un coulis constitué d'un mélange bentonite / ciment / eau dans un rapport de 5/100/75 kg. La bentonite est le Cebogel Premium sous forme de poudre ou équivalent et le ciment est le ciment Portland P30 ou équivalent. Le ciment Portland est d'abord mélangé avec de l'eau, puis la bentonite est ajoutée après avoir été préalablement diluée dans un peu d'eau. Il est également recommandé d'injecter le mélange ciment-bentonite au moyen d'une lance ou d'un flexible. Le coulis est injecté après placement, au-dessus du massif filtrant, d'un bouchon d'argile classique d'environ 1 m de hauteur constitué de granules d'argile Cebogel QSE.

4.9 Nettoyage des puits

Un puits doit, si possible, être nettoyé immédiatement après le placement et au plus tard le jour même du forage à un débit suffisamment élevé pendant une durée suffisamment longue. Le pompage est effectué jusqu'à ce que l'eau soit suffisamment claire et exempte de sable. La capacité (débit) du puits est estimée et enregistrée sur base des informations recueillies pendant le pompage même. Si le débit est suffisamment élevé pendant suffisamment longtemps, la hauteur de la colonne d'eau dans le puits, définie comme la différence entre le niveau de la nappe aquifère et la base du puits, doit être réduite de moitié pendant 1 heure minimum.

Si le rabattement renseigné ci-dessus est obtenu dans le puits, la pompe sera arrêtée au moins une fois pendant un intervalle très court afin de remplir à nouveau la crépine. Le but est de rincer à nouveau le massif filtrant s'étant dénoyé.

Si, en zone polluée, une couche surnageante est observée, le débit de pompage doit être limité afin d'éviter la dispersion verticale du produit dans le sol aux alentours du puits. Dans ce cas, le débit sera réglé de manière à ce que la colonne d'eau dans le puits ne descende pas plus bas qu'1 mètre en dessous du niveau naturel de l'eau. Cette réduction du débit signifie que le nettoyage devra être effectué pendant une période proportionnellement plus longue.

Si, pour raisons pratiques le niveau d'eau ne peut pas être suffisamment rabattu (par exemple, présence d'une couche surnageante qui ne peut pas se disperser ou un puit présentant un rendement tel qu'il nécessite l'utilisation d'une pompe trop puissante avec un débit > 5 m³/h) alors, afin de rincer suffisamment le massif filtrant sur toute sa hauteur, l'aspiration sera placée à différents niveaux dans le puits pendant son développement.

Toutes les eaux polluées ou produits pur pompés lors du développement du puits doivent être collectés dans un conteneur approprié pour leur évacuation et le traitement. Dans certains cas, si disponible et si la nature de la pollution le permet, on peut envisager d'utiliser le séparateur d'hydrocarbure ou l'installation d'épuration d'eau présent.

Les puits d'extraction d'air équipés de crépines en zone non saturée qui ont été forés en utilisant une technique par injection d'eau doivent, après placement des crépines et élimination des éventuelles boues de forage, être rincés à l'eau claire. Après le rinçage, le puits sera vidé. L'eau de rinçage utilisée ne sera pas plus contaminée que l'eau souterraine au droit du forage. Les directives relatives à la collecte des eaux polluées et des boues de forage, indiquées ci-dessus, sont d'application.

ANNEXES

Annexe 1. Techniques de forage pertinentes

T5110_ Code de bonne pratique pour le forage mécanique et le placement de filtres dans le cadre d'une étude du sol ou d'un assainissement du sol



Domaines d'application	Description	A. Technique sèche de forage				B. Autres techniques de forage					
		manuel Edelman combiné avec cylindre	forages mécaniques		percussion combinée avec dual tube	forages par injection d'eau				soupape	Marteau fond de trou
			tarière pleine	tarière creuse		direct	direct avec casing	forage par aspiration	forage par aspiration avec casing		
1	Structure du sol, propriétés et observations	xxx	x	x/xx ⁽¹⁾	xx	x	x	x	x/xx ⁽¹⁾	xx	x
2	Echantillonnage de sol	xx ⁽¹⁾	x	x/xx ⁽¹⁾	xxx	-	-	-	-	xx ⁽¹⁾	-
3	Echantillonnage de l'eau souterraine	xx	x	xx	xx	x	xx	x	xx	xx	xx
4	Echantillonnage de l'air du sol	xx	x	xx	xx	x	x	x	x	-	xx
5	Piézométrie	xx	x	xx	x	xx	xxx	xx	xxx	xxx	xx
6	Mesures de dépression pour détermination du rayon d'influence	xx	x	xx	xx	xx	xxx	xx	xxx	xxx	xx
7	Extraction d'air, eau, produit	x	x	x	x	xx	xxx	xx	xxx	xxx	xx
8	Injection d'air, nutriments, produits, chimiques	x	x	x	x	xx	xxx	xx	xxx	xxx	xx
xxx	très pertinent										
xx	pertinent										
x	moins pertinent										
-	non pertinent										
⁽¹⁾	en combinaison avec cylindre/liner										