

**FERMETURE DEFINITIVE DES PUIITS
D'HYDROCARBURES
RECOMMANDATIONS**

AVANT-PROPOS

Le manuel "Fermeture définitive des puits d'hydrocarbures" est un document professionnel de référence destiné à mettre à jour les recommandations de 2007 pour la préparation et la réalisation d'un programme de fermeture définitive d'un puits d'exploration ou d'un puits d'exploitation.

Il a été réalisé dans le cadre d'un groupe de travail d'Ufip Energies et Mobilités (Ufip EM) pour tenir compte de l'évolution des textes réglementaires.

Le groupe de travail était composé des sociétés suivantes : Bridge Energies, Geopetrol, IPC, SPPE, Storengy, Terega, Vermilion.

Il s'adresse particulièrement aux responsables de l'exploration ou de l'exploitation pour la préparation des demandes d'ouverture de travaux suivant la procédure du Code minier et également aux ingénieurs et superviseurs de forage chargés de l'exécution des travaux.

Table des matières

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | DOMAINE D'APPLICATION | 5 |
| 1.1 | OBJECTIFS | 5 |
| 1.2 | CADRE REGLEMENT AIRE | 5 |
| 2 | DEFINITIONS | 7 |
| 2.1 | FERMETURE DEFINITIVE | 7 |
| 2.2 | BARRIERES | 7 |
| 2.2.1 | Barrière liquide (BL) | 7 |
| 2.2.2 | Barrières solides (BS) | 7 |
| 2.2.2.1 | Barrière solide consolidée (BSC) | 7 |
| 2.2.2.2 | Barrière d'isolation (BI) | 7 |
| 2.2.2.3 | Barrière solide mécanique (BSM)..... | 7 |
| 2.2.3 | Arrière en tête (BT) | 8 |
| 2.3 | NIVEAUX PERMEABLES..... | 8 |
| 2.3.1 | Niveaux hydrostatiques..... | 8 |
| 2.3.2 | Niveaux en surpression | 8 |
| 2.3.3 | Niveaux en dépression | 8 |
| 2.3.4 | Série de niveaux perméables | 8 |
| 2.3.5 | Aquifère | 9 |
| 2.4 | BOUCHON DE CIMENT (BC)..... | 9 |
| 2.5 | ANNULAIRES CIMENTES..... | 9 |
| 3 | PRINCIPES..... | 10 |
| 3.1 | FIABILITE DES BARRIERES..... | 10 |
| 3.1.1 | Barrière Solide Consolidée (BSC)..... | 10 |
| 3.1.2 | Barrière Solide Mécanique (BSM) | 10 |
| 3.1.3 | Cuvelages | 10 |
| 3.1.4 | Fluide de fermeture | 11 |
| 3.2 | ARCHITECTURE D'UNE FERMETURE | 11 |
| 3.2.1 | Barrières d'isolation (BI) | 11 |
| 3.2.2 | Nombre de barrières d'isolation..... | 11 |
| 3.3 | DISPOSITION DES BARRIERES D'ISOLATION | 11 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.1 | Barrière d'isolation primaire (BIP)..... | 11 |
| 3.3.2 | Barrière d'isolation secondaire (BIS)..... | 12 |
| 3.3.3 | Barrière de surface (BSU) | 12 |
| 4 | REALISATION | 13 |
| 4.1 | CARACTERISTIQUES DES BOUCHONS DE CIMENT | 13 |
| 4.2 | MISE EN PLACE DES BOUCHONS DE CIMENT | 13 |
| 4.3 | CAS DES ANNULAIRES | 14 |
| 4.4 | BARRIERE DE SURFACE (BSU) | 14 |
| 4.5 | FERMETURE D'UN PUIITS AVEC ABANDON DE LA COMPLETION..... | 14 |
| 4.6 | PROGRAMME TYPE DE FERMETURE (en référence à l'arrêté du 14 octobre 2016) | 15 |
| 5 | CONTROLE QUALITE | 16 |
| 5.1 | FERMETURE DES PUIITS D'HYDROCARBURES..... | 16 |
| 5.2 | DEMARCHE QUALITE | 16 |
| 5.2.1 | Vérification de l'état du puits à fermer | 16 |
| 5.2.2 | Conception du programme..... | 16 |
| 5.2.3 | Réalisation de la fermeture..... | 17 |
| 5.2.4 | Contrôles additionnels..... | 17 |
| 5.2.5 | Rapport de fermeture..... | 17 |
| 5.2.6 | Phase d'observation des puits | 17 |
| 6 | ANNEXES..... | 18 |

1 DOMAINE D'APPLICATION

1.1 OBJECTIFS

Ce document vise à définir les recommandations de la profession, qui serviront de référence à l'établissement des règles techniques propres à chaque exploitant, applicables dans le cadre des opérations de fermeture définitive de puits d'hydrocarbures, sur des gisements de production ou des stockages souterrains.

Les recommandations présentées ci-après sont applicables à tous les types de puits d'exploration ou exploités à terre, indépendamment de leur fonction. Elles se limitent à aborder l'aspect subsurface et ne traitent donc pas en particulier de la remise en état de la surface.

Elles sont destinées à assurer la protection des intérêts visés par l'article L.211-1 du code de l'environnement. et l'article L161-1 du Code Minier.

Les recommandations contenues dans ce recueil sont destinées aux exploitants de gisements d'hydrocarbures et de stockage d'hydrocarbures. Elles s'adressent aussi aux ingénieurs et techniciens des services administratifs chargés de l'instruction des dossiers miniers et du contrôle de l'application des textes réglementaires.

Des conditions particulières sont susceptibles d'affecter les recommandations de ce guide (proximité de stockage souterrain, ressources minérales, ...).

1.2 CADRE REGLEMENTAIRE

Les textes de référence pour les opérations de fermeture des puits sont contenus dans le code minier et les décrets associés :

- Code minier (articles L163-1 à L163-12)
- Décret n°2006-648 relatif aux titres miniers et aux titres de stockages souterrains,
- Décret n°2006-649 relatif aux travaux miniers, aux stockages souterrains et à la police des mines et des stockages souterrains,
- Décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, et abrogeant l'annexe intitulée « Titre Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du décret n° 80-331 du 7 mai 1980 portant règlement général des industries extractive
- Arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, en particulier articles 69 et 70

Il faut noter que la fermeture définitive d'un ou plusieurs puits est une opération technique à ne pas confondre avec la procédure d'arrêt définitif des travaux et de cessation d'utilisation d'installations minières.

Les textes de références précités ne sont pas applicables aux stockages souterrains lorsque ceux-ci sont soumis aux dispositions du titre Ier du Livre V du code de l'environnement. Par analogie, les exploitants de ces stockages souterrains pourront se référer aux recommandations contenues dans ce guide dans le cadre de travaux de fermeture de puits en gaz.

2 DEFINITIONS

Afin de permettre une bonne compréhension des opérations décrites, il est également apparu utile de préciser quelques termes habituellement employés afin d'avoir une correspondance entre les langages réglementaires et professionnels.

2.1 FERMETURE DEFINITIVE

La fermeture définitive d'un puits représente une série d'opérations destinées à restaurer l'isolation des différents niveaux (ou série de niveaux) perméables à débit potentiel.

2.2 BARRIERES

Séparations physiques aptes à contenir ou isoler des niveaux perméables à débit potentiel.

2.2.1 Barrière liquide (BL)

Colonne de liquide au toit d'un niveau perméable dont la charge hydraulique empêche tout débit vers le puits.

2.2.2 Barrières solides (BS)

2.2.2.1 Barrière solide consolidée (BSC)

Matériaux (ciment, résine, agent sédimentable ou polymérisable, ...) mis en place en circulation, dans un découvert, un cuvelage ou un espace annulaire, dont le temps de consolidation et la longueur utile sont à définir au cas par cas.

2.2.2.2 Barrière d'isolation (BI)

Une ou plusieurs BSC.

2.2.2.3 Barrière solide mécanique (BSM)

Système ancré localisé à un endroit particulier du puits :

- Bouchon mécanique : Bouchon destiné à obturer un sondage en un point désigné (Bridge Plug, packer de cuvelage avec plug) .

- Obturateur de cimentation : Dispositif permettant de réaliser l'étanchéité entre les tiges de forage ou les tubes de pompage et le cuvelage pour faire remonter du ciment derrière celui-ci à partir d'un point déterminé (Cement retainer).
- Obturateur annulaire : Bouchon isolant la formation productrice de la colonne de fluide du puits. Pour la production le bouchon reçoit en son centre l'extrémité inférieure de la colonne de production permettant la remontée de l'effluent en surface (Packer de production).
- Obturateur annulaire de raccordement : Système d'étanchéité d'un raccordement de cuvelage suspendu (Tie-back packer).

2.2.3 Arrière en tête (BT)

Tout équipement surmontant les cuvelages en tête de puits (obturbateurs, tête de production, bride pleine, ...).

2.3 NIVEAUX PERMEABLES

Tout niveau géologique où un mouvement de fluide est possible en termes de débit de fluide ou d'absorption de fluide). (Article 3 du décret 2016-1303)

2.3.1 Niveaux hydrostatiques

Tout niveau (ou série de niveaux) perméable qui présente à sa partie supérieure une pression de pore égale à la pression hydrostatique.

2.3.2 Niveaux en surpression

Tout niveau (ou série de niveaux) perméable qui présente à sa partie supérieure une pression de pore supérieure à la pression hydrostatique.

2.3.3 Niveaux en dépression

Tout niveau (ou série de niveaux) perméable qui présente à sa partie supérieure une pression de pore inférieure à la pression hydrostatique.

2.3.4 Série de niveaux perméables

Tout groupe de niveaux perméables entre lesquels un débit incontrôlé est acceptable. Pour apprécier ce caractère acceptable, en ce qui concerne un niveau de risque pour lequel, en l'état de la technique, le temps, les coûts ou les efforts nécessaires pour réduire davantage ce risque seraient nettement disproportionnés par rapport aux avantages d'une telle réduction il convient de tenir compte des meilleures pratiques en termes de niveaux de risque compatibles avec l'exploitation.

2.3.5 Aquifère

Niveau (ou série de niveaux) perméable réservoir d'eau qui peut être destinée à l'usage public ou industriel.

2.4 BOUCHON DE CIMENT (BC)

Colonne de ciment d'une longueur suffisante (voir paragraphe 4.1), mise en place par circulation et dont la qualité est contrôlée telle que définie dans le chapitre 5 - "Contrôle qualité".

Le bouchon peut également être constitué d'une colonne de matériau sédimentable tel que la bentonite, la baryte, l'hématite, le carbonate de calcium, etc...

2.5 ANNULAIRES CIMENTES

Annulaires remplis (correctement au sens du chapitre 5 - "Contrôle qualité") de ciment ou de matériau sédimentable lors de la mise en place des cuvelages ou lors des opérations de restauration.

3 PRINCIPES

La fermeture d'un puits représente une série d'opérations destinées à restaurer l'isolation des différents niveaux (ou série de niveaux) perméables à débit potentiel par des barrières d'isolation, de façon à :

- Interdire toute migration d'effluents
- Protéger l'utilisation future des aquifères
- Empêcher la circulation des fluides entre les niveaux perméables.

L'efficacité des barrières d'isolation devra être fiable dans le temps.

Le programme de forage doit prendre en compte les impératifs de la fermeture du puits et en faciliter les opérations.

3.1 FIABILITE DES BARRIERES

3.1.1 Barrière Solide Consolidée (BSC)

La seule barrière fiable dans le temps est la barrière solide consolidée (BSC) mise en place dans un découvert, un cuvelage cimenté ou dans un annulaire.

3.1.2 Barrière Solide Mécanique (BSM)

Les barrières solides mécaniques (BSM) doivent être considérées comme temporaires et ne sont utilisées que pour réaliser une meilleure mise en place d'une barrière solide consolidée et assurer sa fiabilité dans le temps.

3.1.3 Cuvelages

Les cuvelages non protégés par une BSC ne doivent pas être considérés comme des barrières fiables dans le temps car ils ne sont pas protégés de la corrosion :

- Par les fluides présents dans le puits au moment de sa fermeture,
- Par les fluides des niveaux perméables dont la circulation assure le renouvellement en oxygène notamment pour les aquifères,
- Par les acides présents dans certains hydrocarbures.

3.1.4 Fluide de fermeture

Pour chaque opération élémentaire, le fluide laissé en place sera en général le fluide utilisé pour les opérations de fermeture ou un fluide inhibé. Ses caractéristiques seront dictées par les besoins opérationnels (contrôle du puits, mise en place des BSC, inhibition à la corrosion du cuvelage)

Le fluide de fermeture ne peut être considéré systématiquement comme une barrière liquide. Si tel est le cas, cette barrière ne doit pas être considérée comme fiable dans le temps.

3.2 ARCHITECTURE D'UNE FERMETURE

L'architecture d'une fermeture résulte du nombre et de la position des niveaux (ou série de niveaux) perméables à isoler au moyen d'une succession de barrières d'isolation.

3.2.1 Barrières d'isolation (BI)

Une barrière d'isolation est constituée, sur toute la section transversale du puits initialement forée, d'une ou plusieurs barrières solides consolidées (BSC) mises en place :

- Dans le découvert, dans un annulaire, dans un cuvelage cimenté ou dans un entrefer
- Avant ou pendant les opérations de fermeture
- Sur une longueur suffisante (voir chapitre 4).

3.2.2 Nombre de barrières d'isolation

Chaque niveau (ou série de niveaux) perméable à débit potentiel sera isolé :

- D'un autre niveau perméable, par au moins une barrière d'isolation
- De la surface, par deux barrières d'isolation ou une barrière de hauteur doublée, sauf pour les niveaux perméables trop proches de la surface pour lesquels il est physiquement impossible de placer deux barrières distinctes de longueur suffisante.

3.3 DISPOSITION DES BARRIERES D'ISOLATION

3.3.1 Barrière d'isolation primaire (BIP)

De façon à satisfaire les objectifs de fermeture, une barrière d'isolation dite primaire (BIP) sera mise en place entre chaque niveau ou série de niveaux perméables à débit potentiel de façon à reconstituer localement une couverture (Fig 1 et 2A).

3.3.2 Barrière d'isolation secondaire (BIS)

Dans le cas d'un défaut d'étanchéité d'une BIP, la pression qui s'établirait à la base de la BIP immédiatement supérieure doit être inférieure à la pression de craquage des terrains à ce niveau.

Si cette condition n'est pas respectée, une seconde barrière d'isolation (BIS) devra être mise en place entre ces deux BIP (Fig.2B).

3.3.3 Barrière de surface (BSU)

Une barrière de surface (BSU) complétera la série des barrières pour la fermeture du puits. La BSU permettra la récupération de la barrière en tête (BT) et pourra être une barrière secondaire (BIS) pour un niveau inférieur.

4 REALISATION

Ce chapitre constitue les recommandations pour la mise en place des BSC. Ces barrières peuvent être constituées de ciment, résine, agent sédimentable ou polymérisable, ...)

Nous ne traitons dans ce chapitre que de BSC constituées par un BC, car c'est le matériau habituellement utilisé pour les fermetures définitives.

4.1 CARACTERISTIQUES DES BOUCHONS DE CIMENT

Les hauteurs sont exprimées en longueur mesurée (MD).

Une longueur de 30 mètres est suffisante selon les normes internationales existantes (Norsok D 010). Toutefois, compte tenu de la réglementation minière, chaque BC aura une longueur de 50 mètres (Fig.3A), sauf cas particuliers décrits plus loin.

Dans les cas suivants (découverts cavés, puits fortement déviés,), de manière à prendre en compte les difficultés de mise en place, cette longueur sera doublée.

Dans le cas de zones à pertes, cette longueur sera doublée ou adaptée si une barrière mécanique est mise en place (Fig.3B).

Dans le cas de structure géologique présentant un empilage rapproché de niveaux perméables à débit potentiel devant être isolés les uns des autres, les préconisations précédentes sur les hauteurs des BSC devront être adaptées :

- Un même BC pourra rentrer dans la définition de plusieurs BI et ainsi isoler une succession de niveaux perméables.
- L'annulaire sera cimenté à minima face à la zone couverture présente entre deux niveaux perméables (Fig.3F)

4.2 MISE EN PLACE DES BOUCHONS DE CIMENT

Le laitier est mis en place en circulation.

Le laitier sera fabriqué et testé suivant les règles de l'art de la profession développées dans le chapitre 5 "Contrôle qualité".

La mise en oeuvre sera effectuée de façon à éviter une pollution du laitier (par le fluide de complétion, gaz,) et le glissement du bouchon vers le bas.

Les techniques utilisées sont, par exemple, la mise en circulation du laitier au-dessus d'un bouchon visqueux, d'un bouchon de colmatants, d'un bouchon mécanique (BSM).

Le volume des bouchons circulés sera au minimum d'1 m3.

4.3 CAS DES ANNULAIRES

Une BSC dans un cuvelage ne participe à une BI que si le ou les annulaire(s) à son droit est ou sont cimenté(s) sur une longueur de 100 mètres en cumulé dont 30 mètres en continu (Fig.3D), Si tel n'est pas le cas, la restauration de l'isolation peut s'effectuer par :

- Circulation de ciment après perforations (Fig.3C),
- Esquiche de ciment par l'espace annulaire à partir de la surface (Fig.3E)
- Ouverture d'une fenêtre dans le cuvelage pour atteindre les 100 mètres
- Toute autre méthode spécifique au puits,

4.4 BARRIERE DE SURFACE (BSU)

Le bouchon de ciment faisant fonction de BSU doit avoir une hauteur de 100 mètres minimum à l'intérieur du plus petit cuvelage remontant jusqu'à la surface. Les annulaires libres seront également remplis sur une hauteur de 100 mètres depuis la surface quand les conditions techniques le permettent, même si des aquifères sont entièrement recouverts. La densité du ciment sera compatible avec la densité des fluides présents dans le puits.

A terre, le sommet du bouchon pourra ne pas remonter jusqu'à la surface si les objectifs d'isolation des aquifères sont satisfaits. Dans tous les cas le cuvelage de surface est laissé quelques mètres sous la surface du sol et le sommet du cuvelage doit être obturé par une plaque boulonnée ou soudée.

4.5 FERMETURE D'UN Puits AVEC ABANDON DE LA COMPLETION

Le tubing de complétion crée un annulaire supplémentaire qu'il convient de traiter conformément aux principes exposés au paragraphe 4.3. Cependant l'état du tubing dans un puits ancien ne permet pas toujours de placer facilement une BSC dans l'annulaire ni à l'intérieur du tubing.

Dans la mesure du possible, la complétion sera retirée avant les opérations d'abandon. En cas d'impossibilité de remontée de la complétion dans son ensemble, une partie pourra rester en place sans qu'il soit nécessaire de la traiter sous réserve que l'ensemble des principes généraux ci-dessus mentionnés soient respectés (voir figure 1).

4.6 PROGRAMME TYPE DE FERMETURE (en référence à l'arrêté du 14 octobre 2016)

L'exploitant doit établir un programme de principe de fermeture et le faire approuver. Il est nécessaire que le programme proposé comprenne :

- Identification et localisation géographique du ou des puits à fermer définitivement,
- Etat du puits avant la fermeture,
- Coupe stratigraphique des terrains traversés avec positions des niveaux perméables identifiés,
- Positionnement et nature des barrières primaires et secondaires pour chaque niveau perméable ou série de niveaux,
- Contrôle qualité des barrières d'isolation,
- Coupe technique du ou des puits après fermeture.

Dans le cas des programmes de fermeture joints au programme des travaux de forage des puits d'exploration, celui-ci devra être adapté en fonction de l'historique des opérations et soumis à l'Administration pour approbation.

5 CONTROLE QUALITE

5.1 FERMETURE DES PUIITS D'HYDROCARBURES

Des barrières solides consolidées (BSC) sont mises en place dans un découvert ou un cuvelage cimenté pour réaliser la fermeture des puits d'hydrocarbures.

Pour les puits d'exploration, cette fermeture est normalement prévue dans le programme de forage initial. Pour les autres puits ayant servi à l'exploitation, l'équipement du puits peut avoir notablement changé depuis la complétion initiale et le programme de fermeture doit s'adapter à l'état réel du puits.

La qualité des opérations de cimentation au moment de la réalisation de l'ouvrage et durant les opérations de fermeture est le facteur le plus important contribuant à une bonne tenue dans le temps des dispositifs de fermeture.

5.2 DEMARCHE QUALITE

Pour pouvoir estimer la qualité des opérations de fabrication et de mise en place d'un laitier de ciment ou de matériau sédimentable destiné à constituer une barrière solide consolidée, il faut une spécification technique du produit et une procédure pour les opérations à réaliser incluant un contrôle du laitier en laboratoire.

5.2.1 Vérification de l'état du puits à fermer

Sauf si l'exploitant est en mesure de justifier qu'il a une bonne connaissance de l'état des cimentations et des cuvelages, un diagnostic de l'état du puits doit être fait dans le cadre de l'opération de fermeture. Pour cela il est nécessaire d'évaluer les cimentations primaires (contrôles de hauteur et qualité éventuellement réalisés après l'opération), de recenser la totalité des équipements de complétion présents dans le puits, et de connaître la présence éventuelle de pression dans les annulaires.

5.2.2 Conception du programme

Chaque programme de fermeture doit être spécifique. Il se base sur le résultat du diagnostic. Les moyens mis en œuvre (produits et contrôles) doivent être définis. Les essais de conformité des produits aux spécifications doivent être réalisés (composition, temps de prise). Les contrôles à réaliser durant la mise en œuvre seront indiqués.

5.2.3 Réalisation de la fermeture

Lors de la réalisation, la démarche qualité est assurée par le contrôle des paramètres suivants :

- Continuité de l'injection
- Bilan des volumes,)
- Densité du laitier, conformes au programme
- Nature et quantités d'additifs
- Evolution des pressions

Dans le cas de la pose d'une barrière solide consolidée à l'intérieur du découvert ou du cuvelage, la qualité dépend de la conformité de l'opération au programme prévu, notamment densité du laitier adapté au fluide présent dans le puits, utilisation éventuelle d'une barrière solide mécanique pour empêcher la migration du laitier vers le bas, volume suffisant pour assurer la longueur voulue.

5.2.4 Contrôles additionnels

En plus des contrôles habituels (essai en poids et en pression de la BSC), dans le cas de dysfonctionnement notable pendant l'opération ou si l'on observe des pertes par fracturation du terrain, un contrôle complémentaire sera envisagé pour repérer avec précision les hauteurs cimentées...

5.2.5 Rapport de fermeture

A la fin des opérations de fermeture, l'exploitant établira un rapport qui reprendra :

- La liste des opérations effectuées et leur durée,
- Un schéma de l'état du puits à l'abandon,
- Les rapports relatifs aux fluides/ciments utilisés.

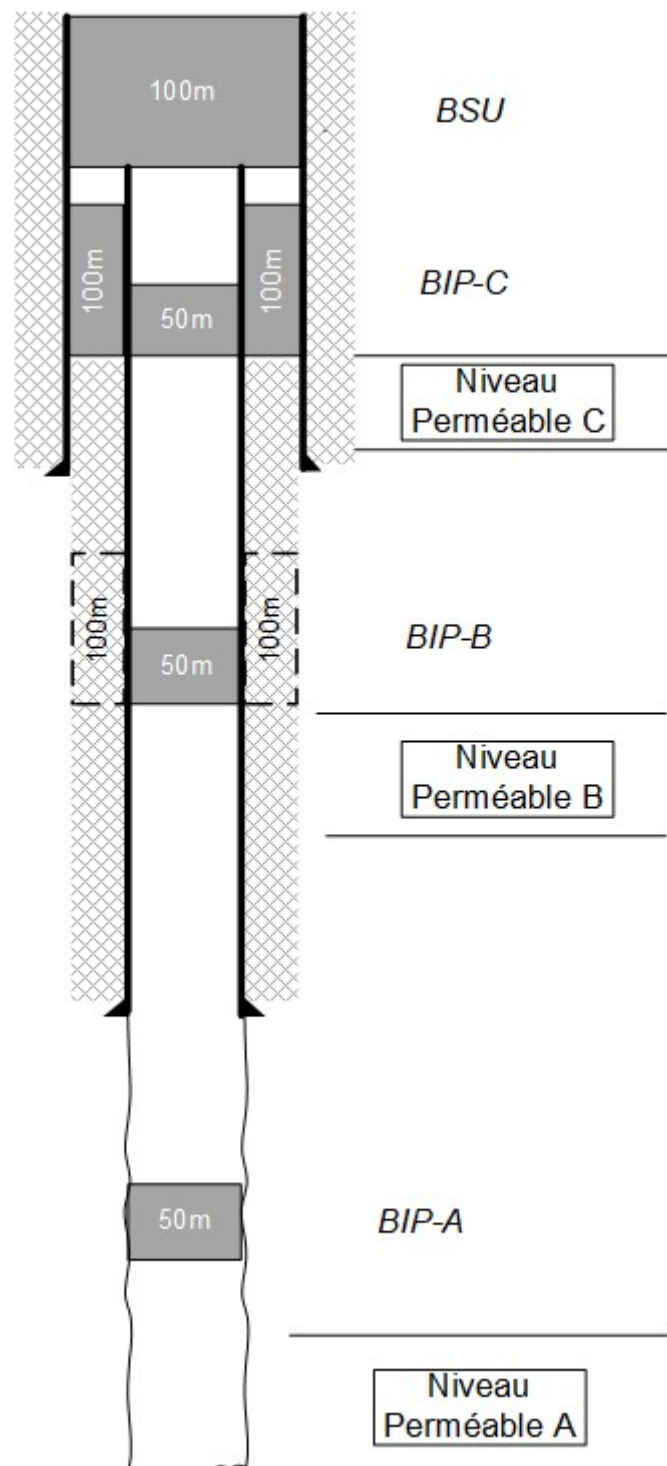
5.2.6 Phase d'observation des puits

Pour les puits à huile, une phase d'observation de 1 mois intervient, avec monitoring de la pression par manomètre et enregistrement avant la coupe de la tête de puits.

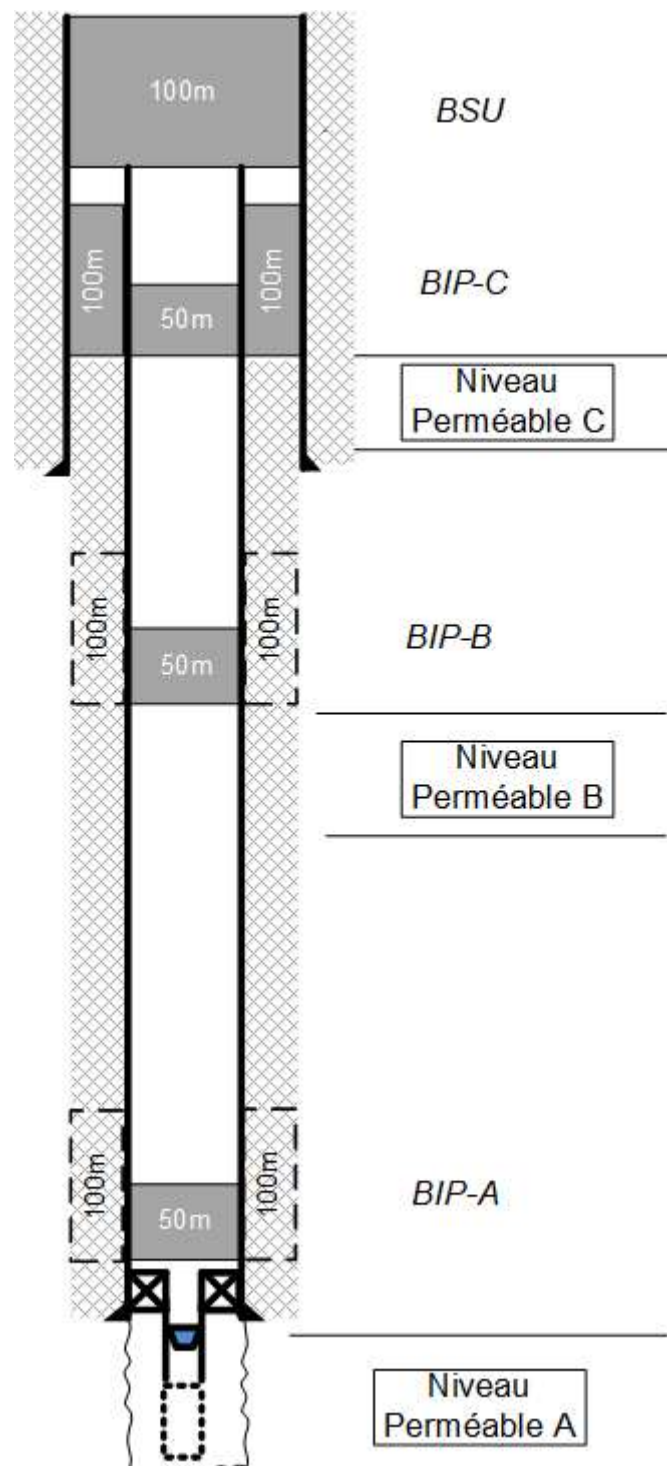
Pour les puits à huile à fort Gas oil Ratio (supérieur à 160 m³/m³) et les puits à gaz, une phase d'observation de 6 mois intervient, avec monitoring de la pression par manomètre et enregistrement avant la coupe de la tête de puits.

6 ANNEXES

Cas général : puits d'exploration ou de développement négatif (Fig.1)

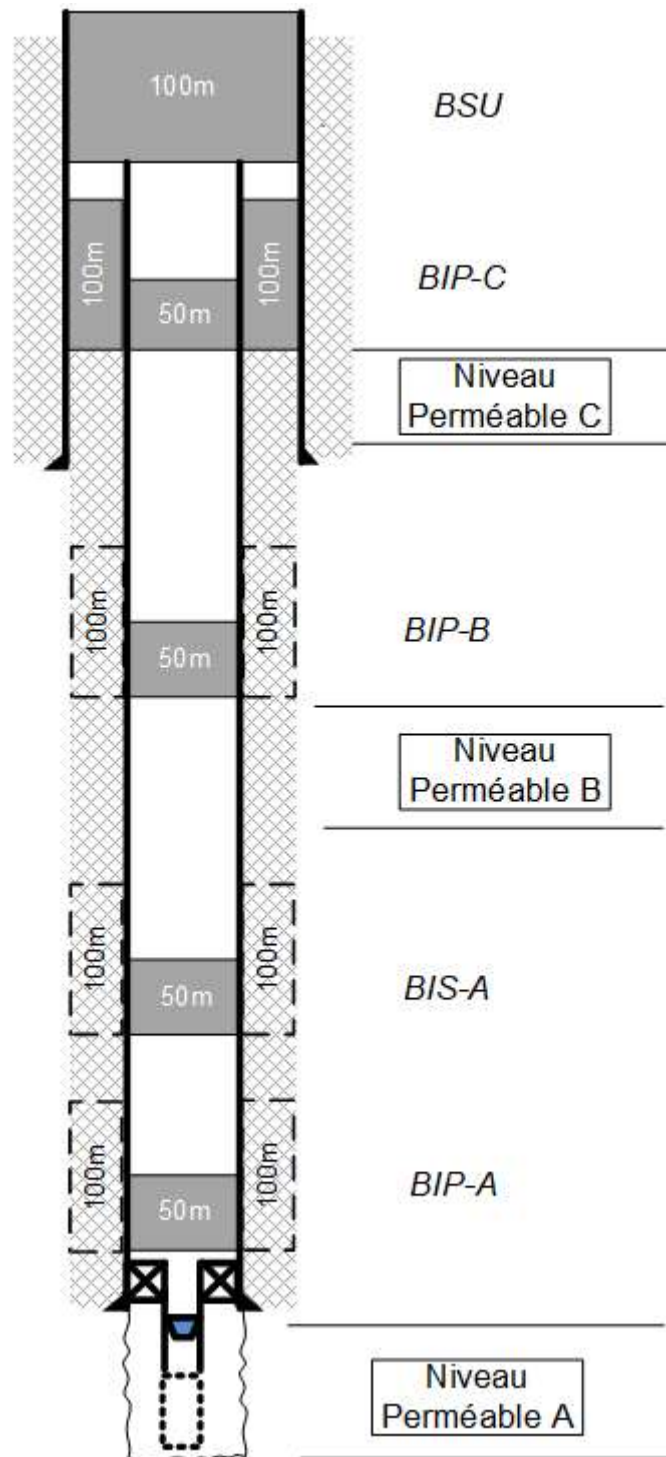


Cas général : puits d'exploitation (Fig.2A)



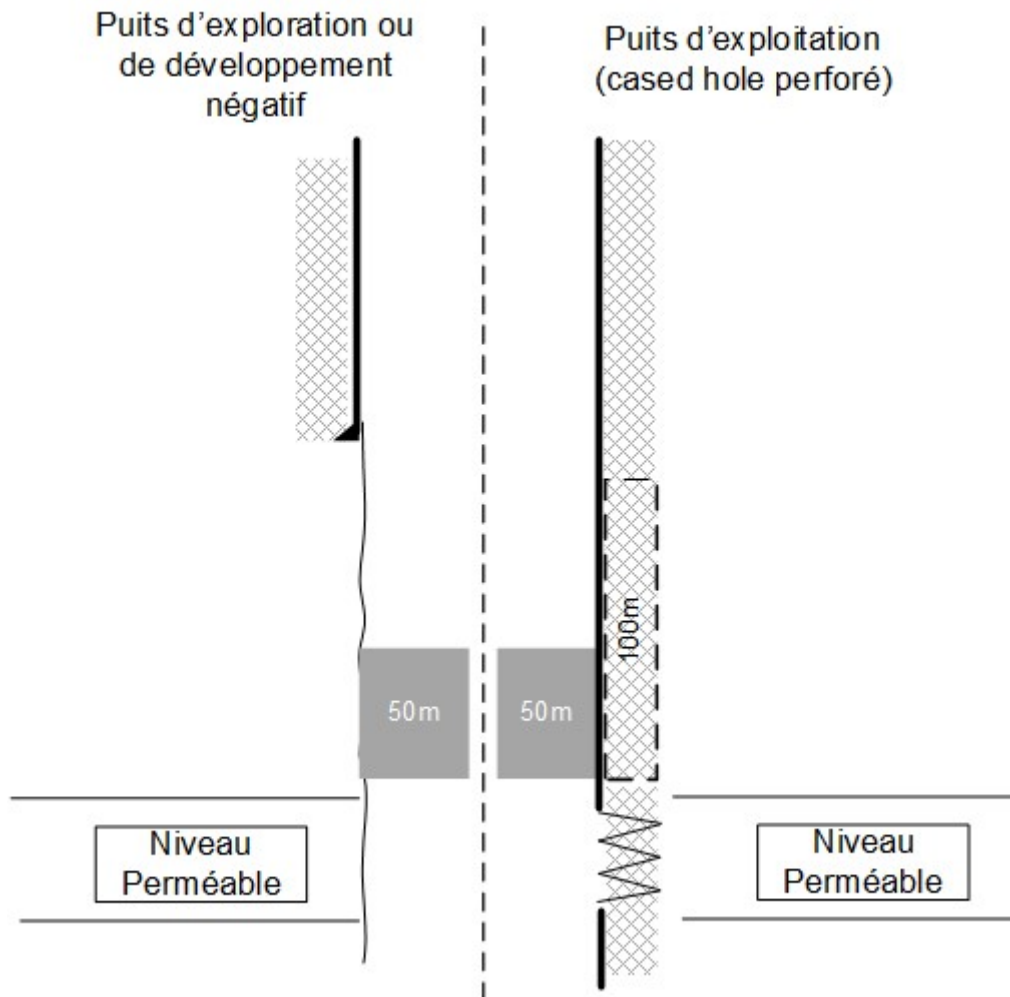
Cas particulier : doublement de la barrière d'isolation du niveau perméable A

(Fig.2B)



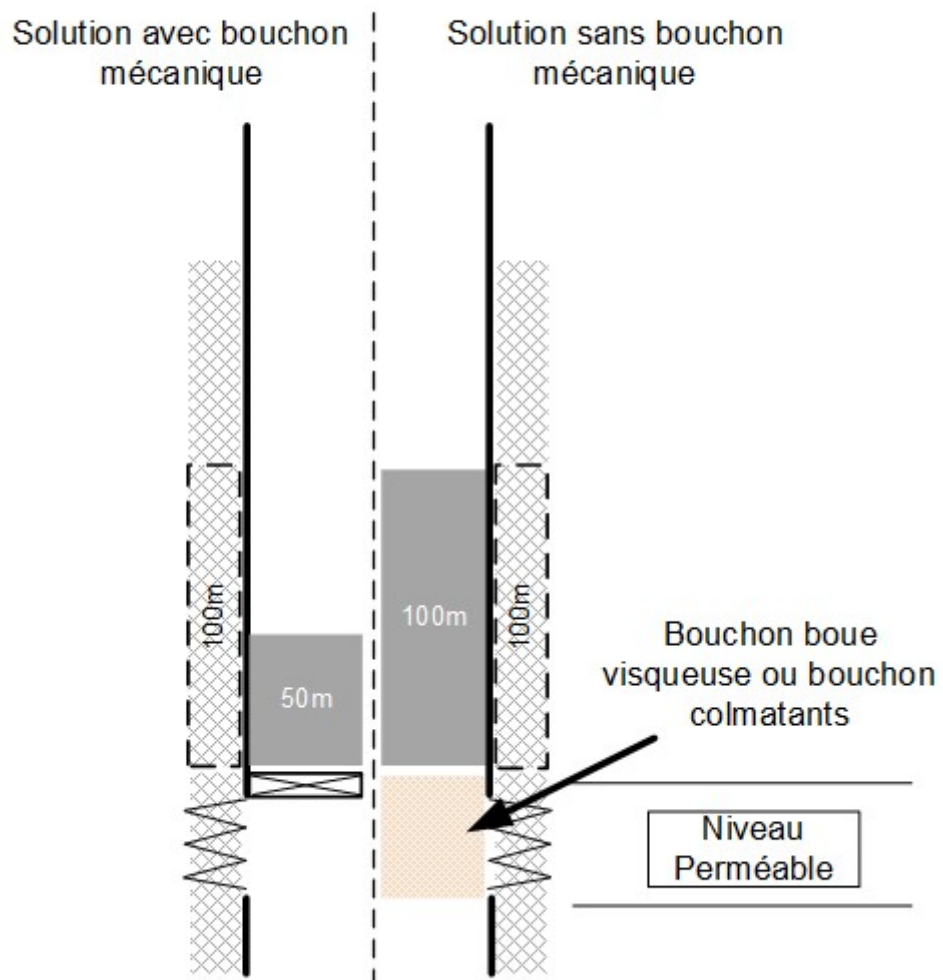
Barrières d'isolation

Cas général (Fig.3A)



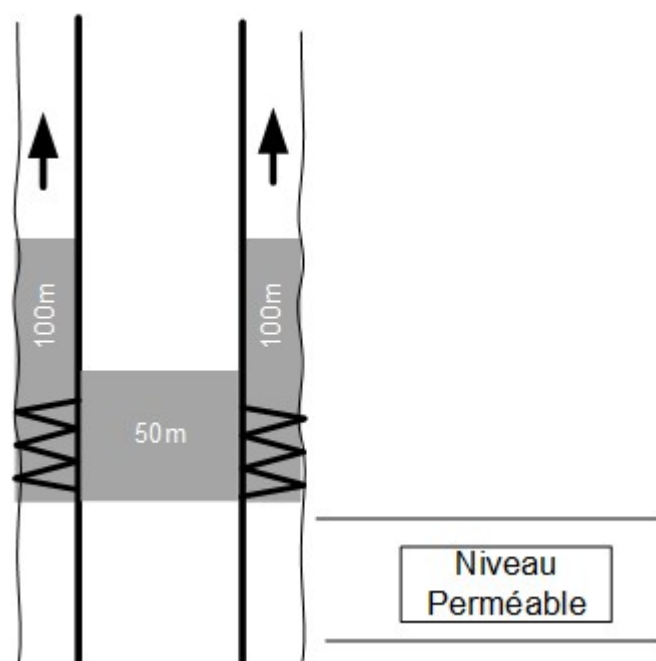
Isolation zone à pertes (Fig.3B)

Isolation zone à pertes

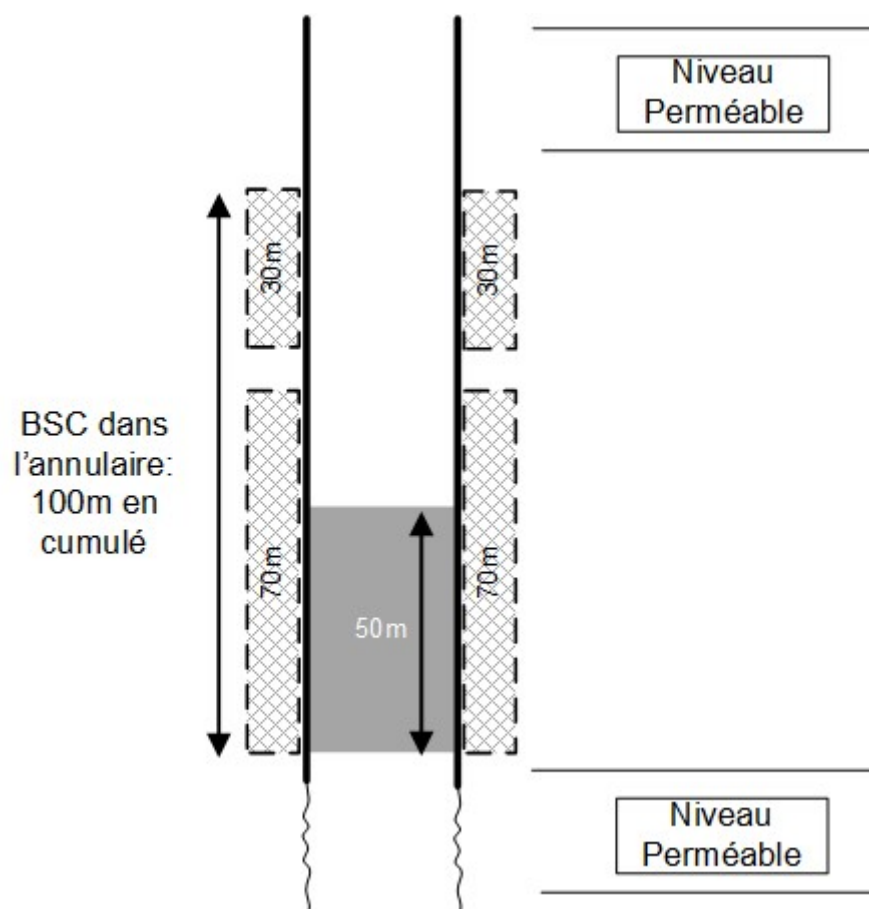


Restauration annulaire non cimenté par circulation de laitier après perforations

(Fig.3C)

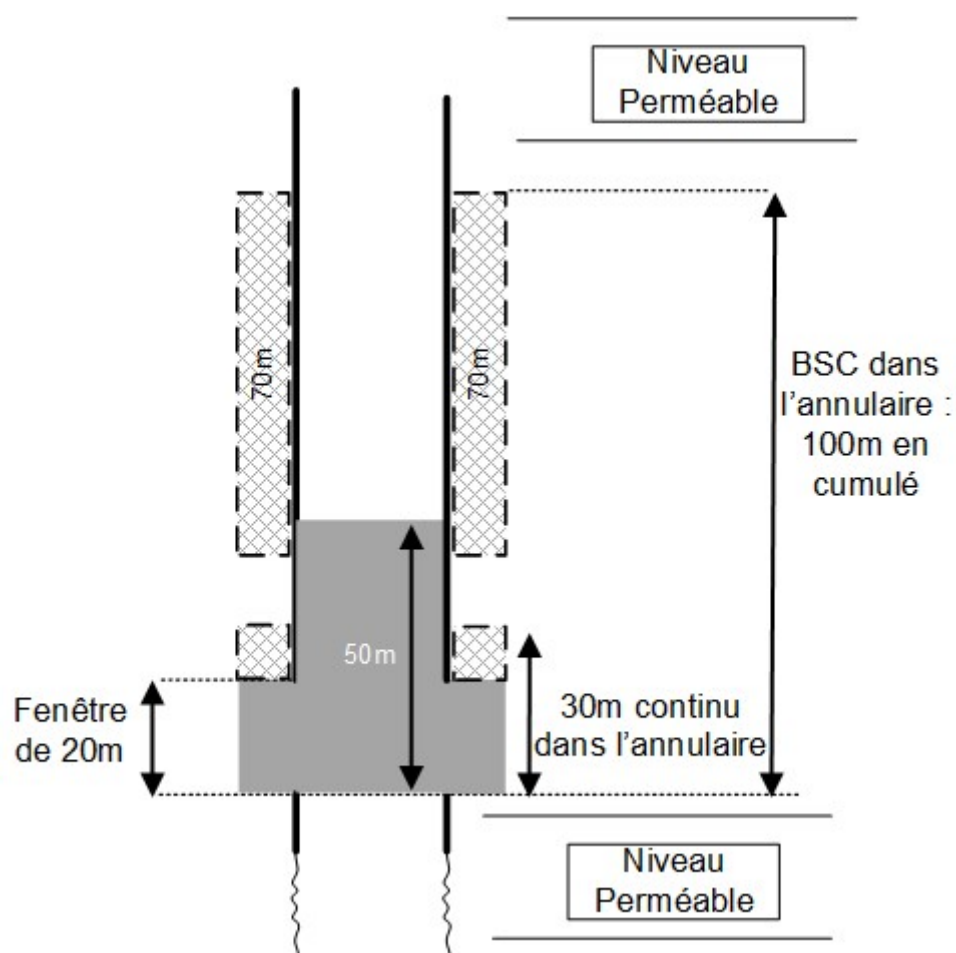


Annulaire partiellement cimenté (Fig.3D)



Restauration cimentation annulaire par ouverture de fenêtre

(Fig.3E)



Cas des niveaux perméables rapprochés (Fig.3F)

