

**FERMETURE DEFINITIVE DES PUITS
D'HYDROCARBURES**

RECOMMANDATIONS

AVANT-PROPOS

Le manuel "Fermeture définitive des puits d'hydrocarbures" est un document professionnel de référence destiné à remplacer les recommandations de 1998 pour la préparation et la réalisation d'un programme d'abandon d'un puits d'exploration ou d'un puits d'exploitation en fin de service.

Il a été réalisé dans le cadre de *la Chambre Syndicale de l'Exploration Production d'hydrocarbures* (CSEP) pour tenir compte de l'évolution des textes réglementaires.

La rédaction a été confiée à un groupe de travail de la Commission Sécurité Environnement Opérations avec la participation active des sociétés suivantes :

TOTAL E&P France
GAZ DE FRANCE
VERMILION
LUNDIN
PETROREP
GEOPETROL
TOREADOR ENERGY FRANCE

Le document a été élaboré au cours de 3 réunions de travail entre juin 2007 et Novembre 2007.

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.

Nous tenons à remercier les sociétés impliquées dans ce travail pour les efforts déployés par leurs techniciens et spécialistes lors de l'élaboration et de la mise en forme de ce recueil, fruit de la collaboration d'une équipe.

AVANT-PROPOS.....	2
1 - DOMAINE D'APPLICATION.....	4
1.1 - OBJECTIFS.....	4
1.2 - CADRE REGLEMENTAIRE.....	4
2 - DEFINITIONS.....	5
2.1 – FERMETURE DEFINITIVE.....	5
2.2 - BARRIERES.....	5
2.2.1 - <i>Barrière liquide (BL)</i>	5
2.2.2 - <i>Barrières solides (BS)</i>	5
2.2.3 - <i>Barrière en tête (BT)</i>	5
2.3 - NIVEAUX PERMEABLES.....	5
2.3.1 - <i>Niveaux hydrostatiques</i>	6
2.3.2 - <i>Niveaux en surpression</i>	6
2.3.3 - <i>Niveaux en dépression</i>	6
2.3.4 - <i>Série de niveaux perméables</i>	6
2.3.5 - <i>Aquifère</i>	6
2.4 - BOUCHON DE CIMENT (BC).....	6
2.5 - ANNULAIRES CIMENTÉES.....	6
3 - PRINCIPES.....	7
3.1 - FIABILITE DES BARRIERES.....	7
3.1.1 - <i>Barrière Solide Consolidée (BSC)</i>	7
3.1.2 - <i>Barrière Solide Mécanique (BSM)</i>	7
3.1.3 - <i>Cuvelages</i>	7
3.1.4 - <i>Fluide de fermeture</i>	7
3.2 - ARCHITECTURE D'UNE FERMETURE.....	7
3.2.1 - <i>Barrières d'isolation (BI)</i>	7
3.2.2 - <i>Nombre de barrières d'isolation</i>	8
3.3 - DISPOSITION DES BARRIERES D'ISOLATION.....	8
3.3.1 - <i>Barrière d'isolation primaire (BIP)</i>	8
3.3.2 - <i>Barrière d'isolation secondaire (BIS)</i>	8
3.3.3 - <i>Barrière de surface (BSU)</i>	8
3.3.4 - <i>Figure générale</i>	8
4 - REALISATION.....	9
4.1 - CARACTERISTIQUES DES BOUCHONS DE CIMENT.....	9
4.2 - MISE EN PLACE DES BOUCHONS DE CIMENT.....	9
4.3 - CAS DES ANNULAIRES.....	9
4.4 - BARRIERE DE SURFACE (BSU).....	10
4.5 - FERMETURE D'UN PUITS AVEC ABANDON DE LA COMPLETION.....	10
4.6 - PROGRAMME TYPE DE FERMETURE.....	10
5 - CONTROLE QUALITE.....	11
5.1 - FERMETURE DES PUITS PETROLIERS.....	11
5.2 - DEMARCHE QUALITE.....	11
5.2.1 - <i>Vérification de l'état du puits à fermer</i>	11
5.2.2 - <i>Conception du programme</i>	11
5.2.3 - <i>Réalisation de la fermeture</i>	11
5.2.4 - <i>Contrôles additionnels</i>	11
5.2.5 - <i>Rapport de fermeture</i>	12

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..

Les opérations de fermeture provisoire ou de mise en sommeil ne sont pas traitées dans ce guide.

Les recommandations présentées ci-après sont applicables à tous les types de puits d'exploration ou d'exploitation aussi bien à terre qu'en mer, producteurs, injecteurs. 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 79 du Code Minier.

Les recommandations contenues dans ce recueil sont destinées aux exploitants de gisements d'hydrocarbures et aux ingénieurs et techniciens des DRIRE 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 applicables aux opérations de fermeture des puits sont contenus dans le code minier et les décrets associés :

- ♦ Code minier (articles 91 et 92)
- ♦ 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°2000-278 du 22 mars 2000 complétant le règlement général des industries extractives institué par le décret n° 80-331 du 7 mai 1980 modifié et notamment les articles 49 à 51 du nouveau titre « forage ».

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 cessation d'utilisation d'installations minières.

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)

Matériau (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).
- 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 - Barrière en tête (BT)

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

2.3 - NIVEAUX PERMEABLES

Tout niveau où une possibilité de mouvement de fluide existe (débit ou absorption).

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.

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 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 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 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 le fluide utilisé pour les opérations de fermeture. Ses caractéristiques seront dictées par les besoins opérationnels (contrôle du puits, mise en place des BSC, inhibition à la corrosion du cuvelage,voir chapitre 4).

Le fluide de fermeture ne doit pas être considéré comme une barrière liquide 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 foré, 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 §4.1).

3.2.2 - Nombre de barrières d'isolation

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

- d'un autre niveau perméable, par **une** barrière d'isolation,
- de la surface, par **deux** barrières d'isolation, 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 première barrière d'isolation (BIP) dite primaire sera mise en place au plus près possible de chaque niveau ou série de niveaux perméables à débit potentiel de façon à reconstituer localement une couverture.

3.3.2 - Barrière d'isolation secondaire (BIS)

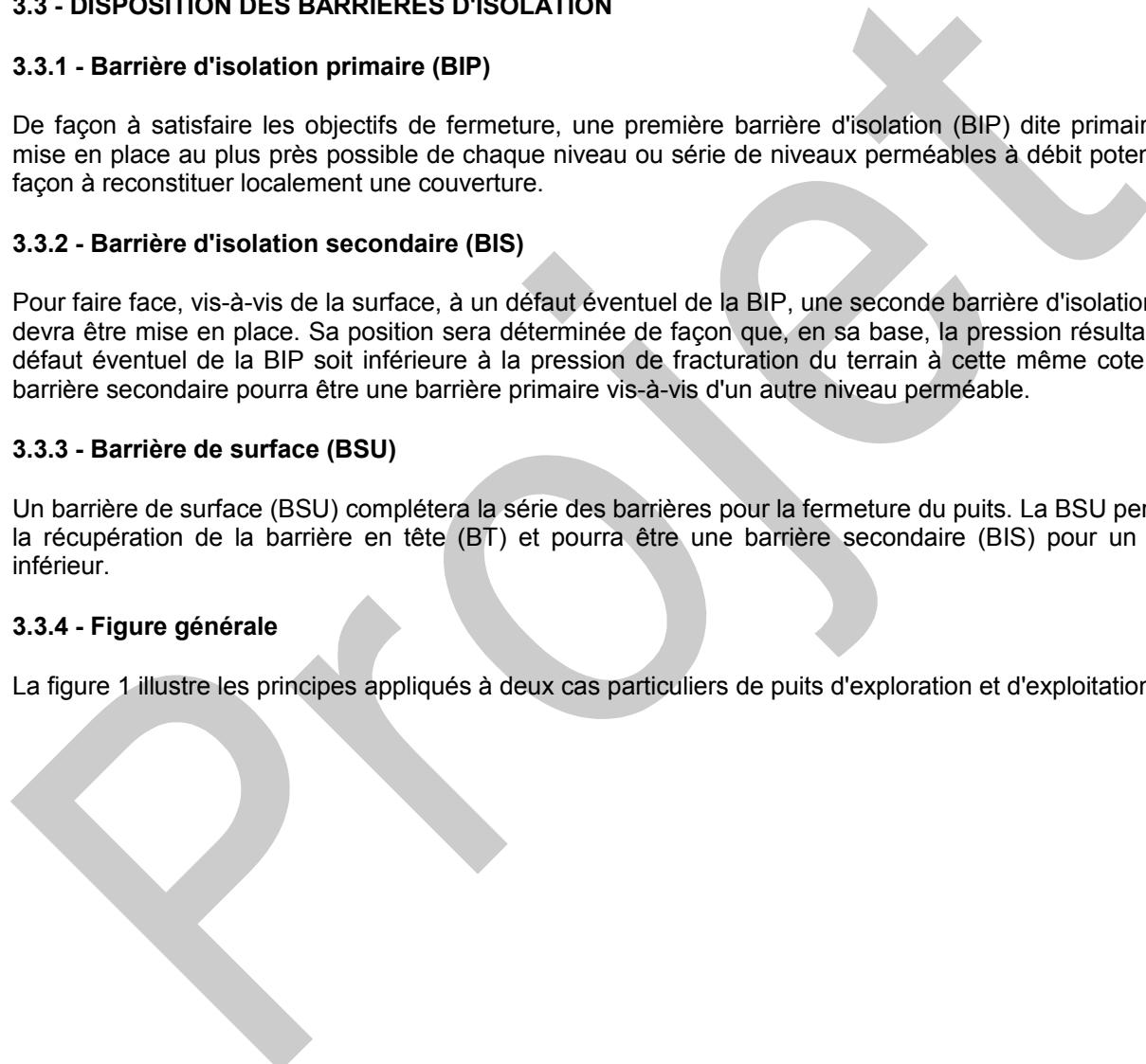
Pour faire face, vis-à-vis de la surface, à un défaut éventuel de la BIP, une seconde barrière d'isolation (BIS) devra être mise en place. Sa position sera déterminée de façon que, en sa base, la pression résultant d'un défaut éventuel de la BIP soit inférieure à la pression de fracturation du terrain à cette même cote. Cette barrière secondaire pourra être une barrière primaire vis-à-vis d'un autre niveau perméable.

3.3.3 - Barrière de surface (BSU)

Un 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.

3.3.4 - Figure générale

La figure 1 illustre les principes appliqués à deux cas particuliers de puits d'exploration et d'exploitation.



4 - REALISATION

Ce chapitre constitue les recommandations pour la mise en place des barrières solides consolidées (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 bouchon de ciment (BC), car c'est le matériau habituellement utilisé pour les fermetures définitives.

4.1 - CARACTERISTIQUES DES BOUCHONS DE CIMENT

La longueur d'un BC nécessaire pour constituer une BSC est évaluée avec un coefficient de sécurité qui prend en compte les difficultés de mise en place.

Une longueur de 50 mètres est suffisante et doit être considérée comme un standard pour les BC mis en place dans le découvert ou les cuvelages.

Dans les cas défavorables :

- ♦ dans les annulaires,
- ♦ dans des découverts cavés,
- ♦ dans les puits fortement déviés,
- ♦ dans les zones à pertes

cette longueur sera portée à 100 mètres.

Si un bouchon mécanique est utilisé en tant qu'assise du ciment la longueur du BC restera de 50 mètres.

Les bouchons auront un volume minimum de 1 m3.

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

4.2 - MISE EN PLACE DES BOUCHONS DE CIMENT

Le laitier est mis en place en circulation [figure 2-A].

La mise en oeuvre sera effectuée de façon à éviter une pollution du laitier (par le fluide de complémentation, 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), ..., [figure 2-B].

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 (voir §4.1),

Si tel n'est pas le cas, la restauration de l'isolation peut s'effectuer par :

- ♦ esquiche de ciment par l'espace annulaire à partir de la surface [figure 2-C],
- ♦ circulation de ciment après perforations [figure 2-D],
- ♦ 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, 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.

En mer, le sommet du bouchon sera positionné de façon à permettre la coupe des tubulaires sous le fond de la mer. La tête de puits est retirée avec le sommet des tubages de façon à laisser le fond marin libre de toute obstruction (Loi n° 68-1181 du 30 décembre 1968, article 14).

4.5 - FERMETURE D'UN PUITS AVEC ABANDON DE LA COMPLETION

Le tubing de complétiion 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 complétiion sera retirée avant les opérations d'abandon. En cas d'impossibilité de remontée de la complétiion dans son ensemble, une partie pourra rester en place sous réserve que l'ensemble des principes généraux ci-dessus mentionnés soient respectés (voir figure 1).

4.6 - PROGRAMME TYPE DE FERMETURE

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 groupe 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 PUITS PETROLIERS

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

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 notamment changé depuis la complétiion 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 nécessairement une spécification technique du produit et une procédure pour les opérations à réaliser.

5.2.1 - Vérification de l'état du puits à fermer

Un diagnostic de l'état du puits doit être fait préalablement à toute opération de fermeture. Pour cela il est nécessaire d'évaluer l'ensemble des cimentations primaires (contrôles de hauteur et qualité éventuellement réalisés après l'opération), de recenser la totalité des équipements de complétiion 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,
- ◆ tous documents demandés par les DRIRE en fonction des spécificités des champs pétroliers.

Projet

Figure 1

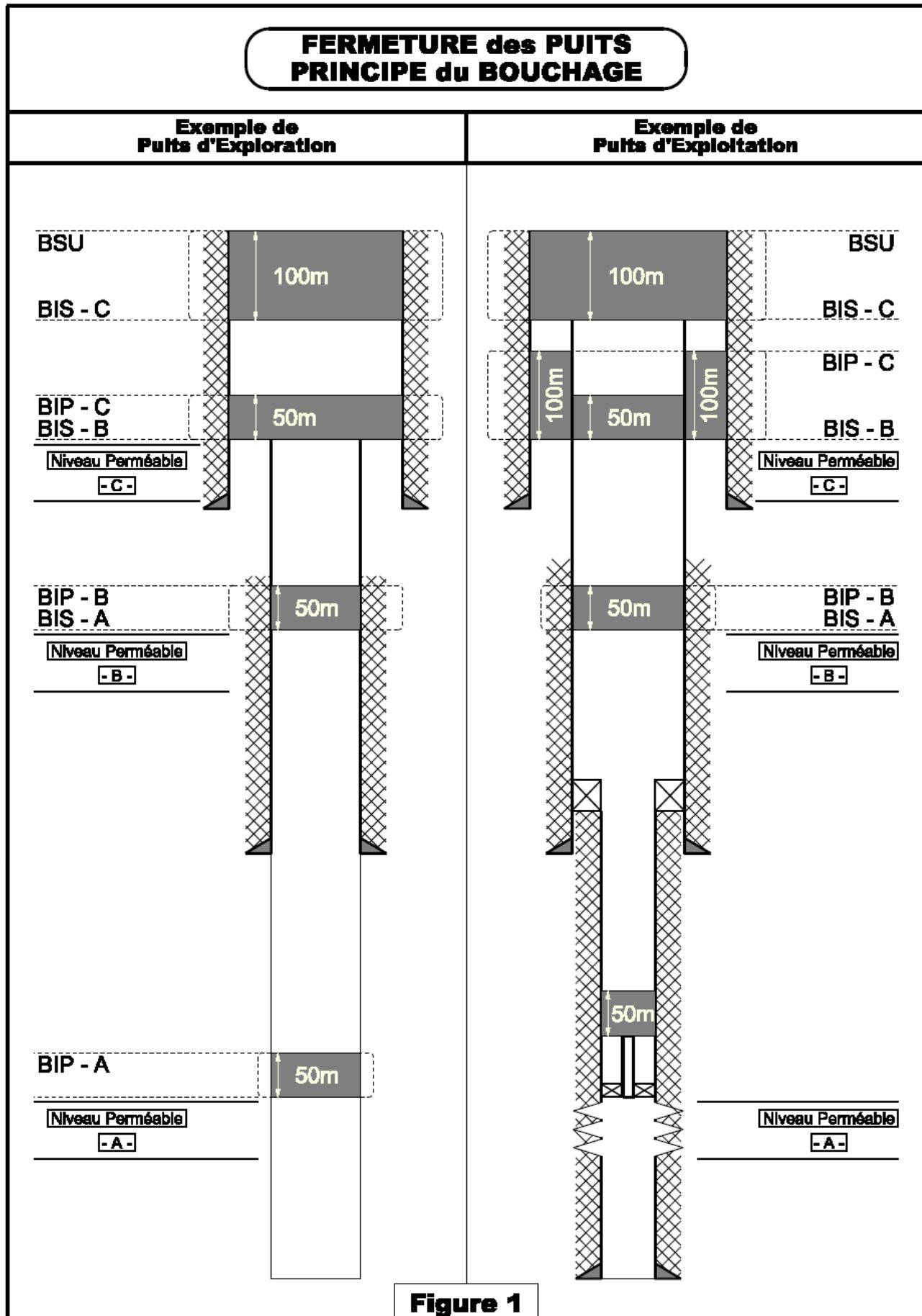


Figure 2

