

AFRICAN UNION

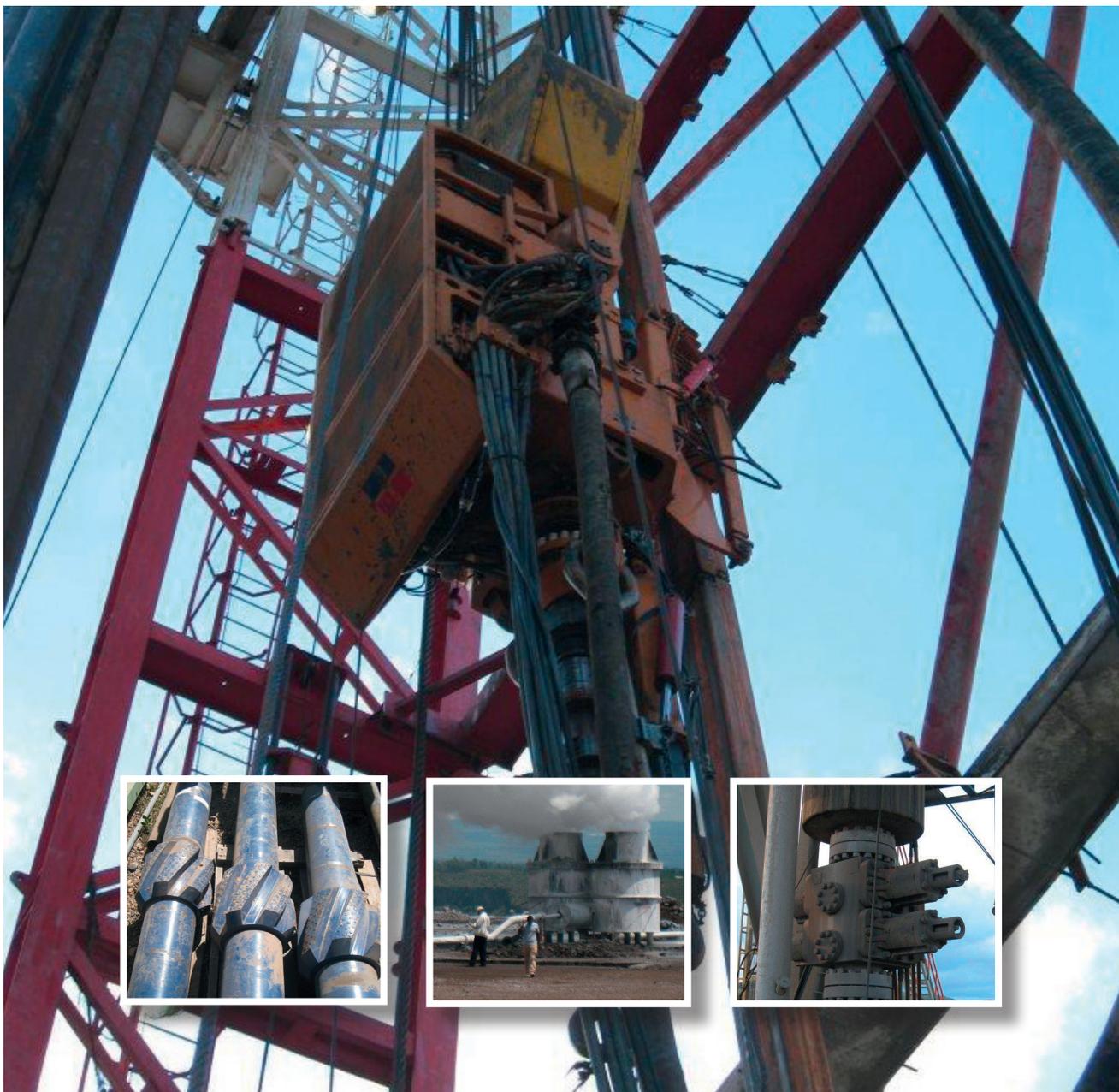
الاتحاد الأفريقي



UNION AFRICAINE

UNIÃO AFRICANA

Code de pratique de l'Union Africaine pour le forage géothermique

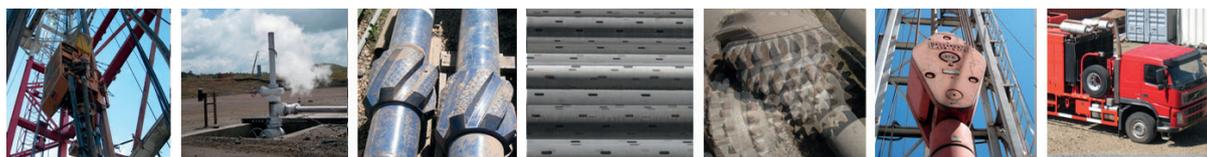


Publié par l'unité de coordination géothermique
régionale de l'Union Africai



Cette page a été volontairement laissée vierge.





Code de pratique de l'Union Africaine pour le forage géothermique

AFRICAN UNION

الاتحاد الأفريقي



UNION AFRICAINE

UNIÃO AFRICANA

Publié par l'unité de coordination géothermique
régionale de l'Union Africain

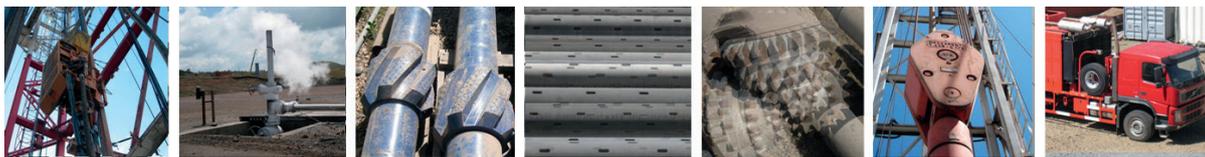
Copyright © 2016 African Union



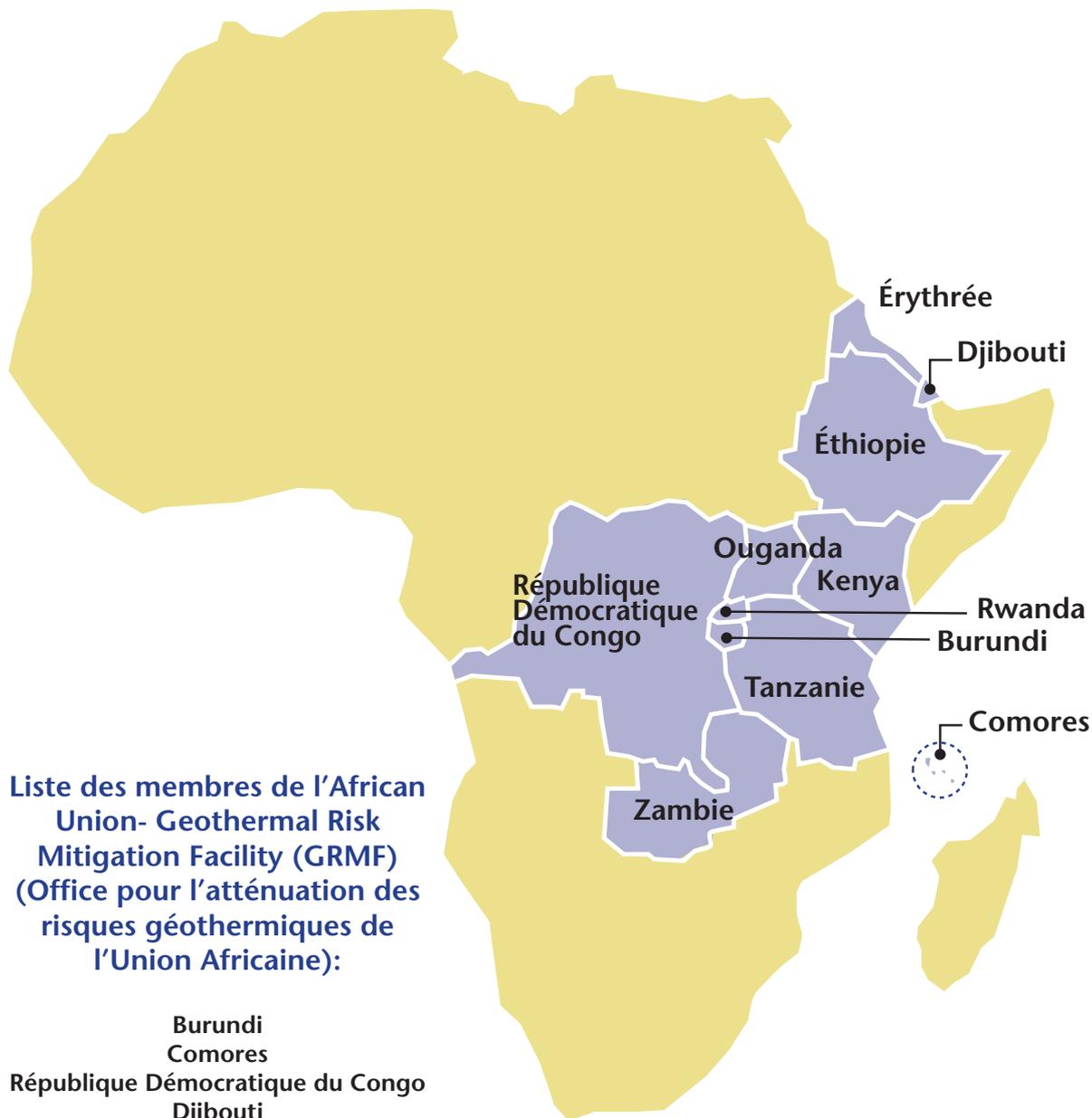


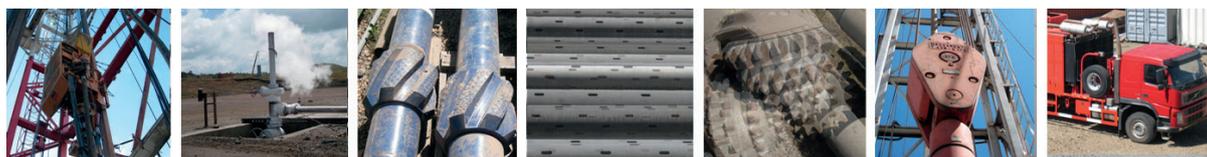
Cette page a été volontairement laissée vierge.





ÉTATS MEMBRES DU GRMF – UNION AFRICAINE





REMERCIEMENTS

Le Code de pratique de l'Union Africaine pour le forage géothermique a été préparé pour la Commission de l'Union Africaine (CUA). La CUA désire exprimer ses remerciements pour le soutien obtenu de la part de l'Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)). La CUA souhaite également exprimer ses remerciements au Gouvernement de la Nouvelle Zélande pour la mise à disposition du *New Zealand Code of Practice* (Code de pratique néo-zélandais) afin d'incorporer ce dernier dans le présent document, et R. Gordon Bloomquist, Ph.D., pour avoir adapté et amélioré cette norme afin de mieux répondre aux conditions de l'industrie géothermique en Afrique.

La *New Zealand Standard* NZS 2403:2015 (norme néo-zélandaise) a été préparée sous la supervision du P 2403 Committee the Standards Council (Comité de l'association néo-zélandaise de normalisation) créée par le Standards Act (loi néo-zélandaise sur la normalisation) de 1988.

Ce comité était constitué des représentants des organismes et entreprises suivants:

- Ralph Winmill, Contact Energy Ltd
- Greg Bignall, GNS Science
- Chris Taylor, Institution of Professional Engineers New Zealand
- Bridget Robson, Local Government New Zealand
- Alastair Maxwell, MB Century
- Shanon Garden, Mighty River Power
- Hagen Hole, New Zealand Geothermal Association
- Donna Ellis, Worksafe New Zealand

La version anglaise de l'**Union Africaine** a été éditée par :

- Rashid Abdallah, African Union Commission (AUC)
- Max Winchenbach, Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*)
- Georg Mayer, Ph.D., Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*)
- R. Gordon Bloomquist, Ph.D., International Geothermal Consultant (USA et Danemark), *retraité du Programme d'accroissement de l'énergie de l'Université d'État de Washington (Washington State University Extension Energy Program)*



Commission de l'Union Africaine



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



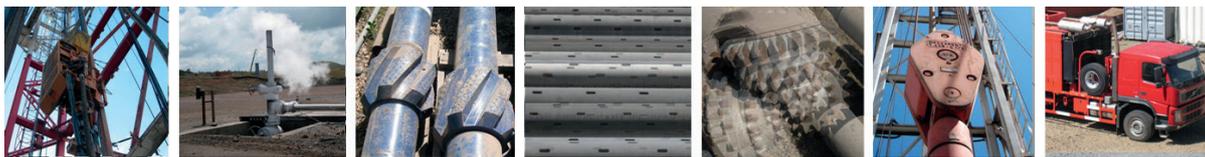
RGBloomquist

La traduction Française a été réalisée par Philippe Perchirin, traducteur membre de la sft, 39 Rue d'Aiguillon à Brest – France, assisté de Claude Bannwarth, expert en géothermie basé à Auckland - Nouvelle Zélande.

Photographies de couverture/Conception graphique

Grande photographie: plateforme de forage géothermique, Olkaria, Kenya. **Petites photographies,** gauche à droite: outils de forage, Aluto, Éthiopie; tests de puits, Menengai, Kenya; bloc obturateur anti-éruption de puits, Olkaria, Kenya. Toutes les autres photographies sont de R. Gordon Bloomquist.

Conception graphique de la couverture par Gerry Rasmussen, concepteur graphique, Gerry Rasmussen Design, Lacey, Washington, USA, travaillant en collaboration avec R. Gordon Bloomquist.



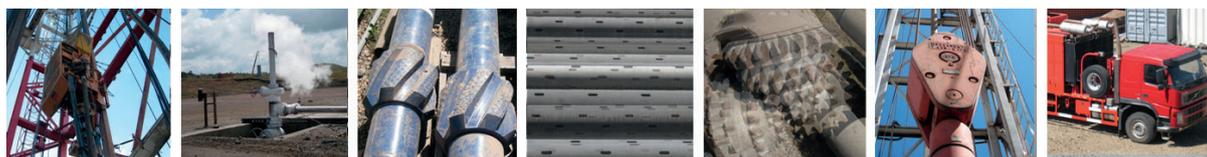
COPYRIGHT

Les droits d'auteur du présent document sont la propriété de l'Union Africaine. Il est interdit de reproduire tout ou partie du présent document par photocopiage ou par tout autre moyen sans l'autorisation écrite préalable de l'African Union Commission's Department of Infrastructure and Energy (Département de l'Union Africaine aux Infrastructures et à l'Énergie).

Le Code de pratique d'origine a été publié par Standards New Zealand (Association néo-zélandaise de normalisation), le bras commercial du Standards Council (Conseil néo-zélandais à la normalisation), Private Bag 2439, Wellington 6140. Téléphone: (04) 498 5990, Fax: (04) 498 5994, Website: www.standards.co.nz.

Standards New Zealand (Association néo-zélandaise de normalisation) détient les droits d'auteur originaux du Code de pratique et poursuivra devant les tribunaux tous les contrevenants à de tels droits d'auteur.





INTRODUCTION

Code de pratique de l'Union Africaine pour le forage géothermique

Les projets géothermiques se développent à un rythme sans cesse plus accéléré le long de l'ensemble du Système du rift est-africain. Ce développement est porté par un certain nombre de facteurs, notamment un accroissement rapide des besoins en énergie consécutif à l'électrification croissante des pays de l'Afrique orientale. Les estimations réalisées au niveau d'un certain nombre de pays prévoient que les besoins en énergie feront plus que décupler au cours des deux à trois prochaines décennies. Cet état de fait combiné aux impacts du changement climatique global sur la disponibilité des systèmes hydrauliques desservant actuellement de nombreux pays font de la production géothermique utilisée comme charge de base une cible de premier choix pour développer les quelques 20.000+ MWe estimés de potentiel géothermique. Les succès obtenus en termes de hausse de la production d'énergie géothermique provenant du champ kényan d'Olkaria, la constitution de la Geothermal Development Company (GDC) au Kenya, le Programme des Nations-Unies pour l'environnement (UNEP), le programme de l'African Rift Geothermal (ARGeo) (Géothermie du rift africain), qui aide les évaluations détaillées de ressources, et enfin la Geothermal Risk Mitigation Facility (GRMF) (Office pour l'atténuation des risques géothermiques de l'Union Africaine (CUA), qui accorde des subventions pour les études de surface et les forages de confirmation de réservoirs ont également contribué à susciter un intérêt croissant envers les projets d'énergie géothermique. L'Afrique orientale est actuellement le marché géothermique connaissant la plus forte croissance dans le monde. Cette région est par ailleurs devenue la priorité de nombreux développeurs privés.

Cet intérêt récent pour l'Afrique orientale et le potentiel de croissance significative de cette région en termes de développement géothermique comporte cependant des risques importants pour l'environnement et dans des domaines touchant aux questions sociales, à la santé et à la sécurité. Et s'il est vrai que certains des impacts sociaux et environnementaux les plus sérieux ne peuvent être constatés qu'après d'assez longues périodes d'exploration, de forages de développement de champs de puits et de construction et d'exploitation de centrales électriques, les risques les plus immédiats sont ceux qui sont associés avec les explorations en profondeur ou les forages de confirmation de réservoir. Le risque lié au forage est réel et doit être pris très au sérieux du fait du risque potentiel pour la santé, la vie et l'environnement.

Les risques comportent le potentiel d'éruptions du puits, qui sont susceptibles d'entraîner des lésions corporelles sévères ou la mort des membres du personnel impliqués dans les opérations de forage, sans compter les sérieux impacts éventuels sur l'environnement. Les autres risques sanitaires sont liés au dégagement de gaz toxiques tels que l' H_2S (hydrogène sulfuré), qui peut non seulement affecter les équipes de forages et le personnel associé, mais encore présenter un risque sanitaire sérieux pour les personnes vivant à proximité des opérations de forage et/ou pour leur élevage domestique. Il existe également un risque non négligeable que les opérations de forage aient un impact négatif significatif sur les approvisionnements en eau potable, que ce soit du fait de la pollution d'eaux de surface ou bien de la contamination de sources potables puisant dans les nappes phréatiques par la pénétration de fluides de forage dans les bassins d'eaux souterraines potables ou suite à la création de voies d'entrée qui permettent que des fluides géothermiques non-potables se mélangent avec des réservoirs d'eau potable.



Afin de répondre aux besoins de l'industrie géothermique relatifs au forage de puits géothermiques profonds et d'aider les pays d'Afrique orientale à relever le défi posé par la régulation des activités de forage géothermique, la Commission de l'Union Africaine (CUA) et l'Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)) ont mis en place un partenariat et ont organisé un atelier intitulé « Règles et réglementations applicables au forage à la complétion de puits géothermiques ». Cet atelier s'est déroulé à Naivasha au Kenya en mai 2014, et avait été conçu afin d'évaluer le besoin de développer un Code de pratique pour le forage géothermique complet et la meilleure manière de développer un tel code pour répondre aux besoins du programme GRMF de la Commission de l'Union Africaine et du développement de la géothermie en Afrique en général. Cet atelier a été suivi par des représentants de différents pays de l'Afrique orientale qui étaient concernés au premier chef par la probable réalisation prochaine de forages géothermiques conditionnés par l'octroi de subventions de la part du GRMF.

Cet atelier de trois jours a initié les participants aux risques associés au forage géothermique profond ainsi qu'à la manière dont différentes législations (celle des États-Unis et celle de la Nouvelle Zélande) ont traité ces risques avec succès en développant et en adoptant des Codes de pratique ou des règles et réglementations. Les participants ont également écouté des responsables de la mise en œuvre de telles réglementations ainsi que ceux qui y seraient soumis et seraient tenus de faire en sorte que toutes les opérations entreprises dans le cadre de telles réglementations y soient conformes de façon responsable.

Les discussions tenues pendant l'atelier et le passage en revue du questionnaire rempli par chacun des participants à l'atelier ont clairement fait ressortir que la toute première priorité *devait* être accordée à la rédaction d'un Code de pratique sain et compréhensible, et que des ateliers supplémentaires traitant directement du développement d'un tel code *devaient* être organisés. Les participants étaient également unanimement d'accord sur le fait que le *Code de pratique néo-zélandais*, qui avait été révisé et était donc devenu le code le plus complet et le plus à jour au niveau international, *devrait* être examiné de façon plus approfondie afin de servir de base à un code de pratique pour le forage de puits géothermiques en Afrique.

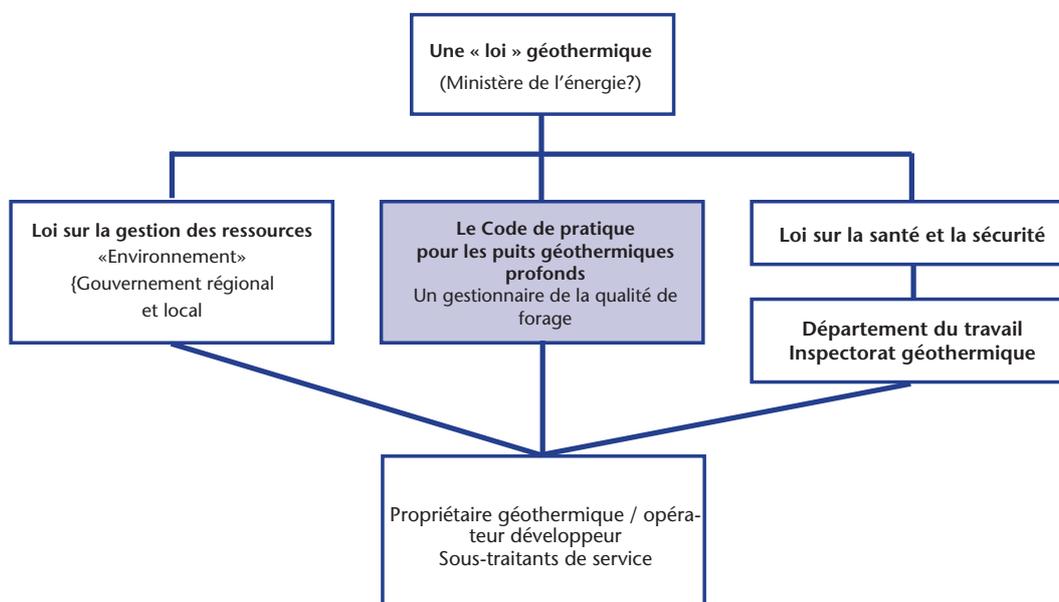
Un second atelier basé sur les résultats de l'atelier de Naivasha et les discussions que celui-ci suscita par la suite parmi les organisateurs a été organisé et a eu lieu à Entebbe, en Ouganda, du 10 au 12 février 2015. Cet atelier s'est focalisé sur le nouveau Code de pratique néo-zélandais récemment révisé et sur son adéquation aux besoins du forage géothermique en Afrique, et notamment sur la capacité de ce dernier à fournir non seulement des garde-fous pour la protection de l'environnement et de la santé et pour la sécurité des personnes impliquées dans les activités de forage ou vivant à proximité de telles activités, mais aussi sur le rôle joué par le Code dans la sécurisation de pratiques saines de forage et de collecte de données géologiques vitales pendant le forage, les essais et les diagraphies de puits géothermiques.

Cet atelier de trois jours a été suivi par des représentants de sept pays d'Afrique orientale (Comores, Djibouti, Érythrée, Éthiopie, Rwanda, Tanzanie et Ouganda) ainsi que des représentants de la Commission de l'Union Africaine, de la Communauté économique des Pays des Grands Lacs, de l'Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)), de l'Établissement de crédit pour la reconstruction (Kreditanstalt für Wiederaufbau - KfW) et du Programme des Nations-Unies pour l'environnement (UNEP).

Une introduction exhaustive au *Code néo-zélandais* et aux questions qu'il aborde ou bien laisse de côté par rapport aux besoins des pays africains a fait clairement apparaître que ce dernier n'est pas un document devant être considéré de façon isolée.

Il représente plutôt l'élément majeur d'un cadre légal et réglementaire complet qui consiste, d'un côté, en des statuts et des règles et réglementations traitant des questions relatives aux ressources naturelles, au sol, à l'eau et à l'environnement, et de l'autre de statuts traitant de leur côté des sujets touchant à la santé et à la sécurité.

Figure A
Le cadre légal et réglementaire néo-zélandais



Comme on peut clairement le voir dans le diagramme ci-dessus, le Code de pratique néo-zélandais ne représente qu'une partie d'un cadre légal et institutionnel extensif qui encadre les activités de forage géothermique. En Afrique, le lien existant entre le Code de pratique africain pour le forage géothermique et les statuts nationaux est moins bien défini, et il continue à y avoir dans certains cas un besoin de développer davantage les statuts nationaux relatifs à l'environnement, à l'utilisation des sols et à la santé et à la sécurité au travail en relation non seulement aux forages géothermiques, mais encore à tous les aspects du développement et de l'exploitation géothermique.

C'est la raison pour laquelle il est recommandé que tous les développeurs, tant publics que privés, ne se contentent pas de respecter le Code de pratique pour le forage géothermique de l'Union Africaine, mais s'efforcent autant que possible de suivre les mandats des statuts nationaux et règles et réglementations d'application ayant pour but de mettre en œuvre les statuts relatifs à l'utilisation des sols, les mesures de protection environnementales et sociales, et les directives relatives à la santé et à la sécurité au travail.

LES DÉVELOPPEURS DEVRAIENT AU MINIMUM OBSERVER LES NORMES DE PERFORMANCE DE LA BANQUE MONDIALE SUR LA DURABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE.

TPour être parfaitement clair, il est essentiel que la situation existant en Afrique orientale soit pleinement prise en compte à la lumière du fait que l'application du Code néo-zélandais à la situation africaine exige de la part de l'utilisateur de pleinement comprendre les lois associées dans le pays où le forage géothermique doit avoir lieu. Ce Code est un document destiné à servir de guide fournissant un certain nombre de suggestions relatives aux meilleures pratiques du forage géothermique, dont certaines *devraient* être sérieusement prises en considération et d'autres **doivent** être respectées. Cependant, la seule observation du code peut ne pas suffire pour satisfaire aux exigences nationales voire même locales applicables relatives, par exemple, aux mesures de protection de l'environnement ou bien à la santé et à la sécurité au travail.

Dans cette mesure, les bénéficiaires de subventions de la part de la GRMF ne doivent pas se contenter de mener leurs activités de forage selon les stipulations du Code. Ils doivent s'assurer de mener ces activités en conformité avec les lois, règles et réglementations dans le pays où se déroule le forage. Rien dans le Code n'a pour but d'exonérer une entité de la nécessité de se conformer aux exigences nationales ou locales. Et les dispositions du Code ne **doivent** en aucun cas être comprises comme se substituant aux statuts nationaux ou locaux.

Si des entités individuelles nationales ou locales devaient envisager d'adopter ce Code, il est également important que ces dernières comprennent qu'un nombre d'aspects importants de règles applicables au forage géothermique ne sont pas évoqués dans le Code tel qu'il existe actuellement. Le Code n'aborde pas, par exemple, les sujets critiques suivants:

- Désignation de l'autorité responsable (ministère, agence ou département)
- Processus d'application et les exigences que celui-ci pose
- Honoraires d'application
- Exigences de cautionnement
- Application des dispositions du Code
- Amendes en cas de non-conformité avec les dispositions du Code

De telles dispositions peuvent être incorporées dans le Code lui-même ou bien dans les statuts qui sont conçus pour donner accès au sol, à l'eau ou aux ressources naturelles ou pour protéger l'environnement.

Objet

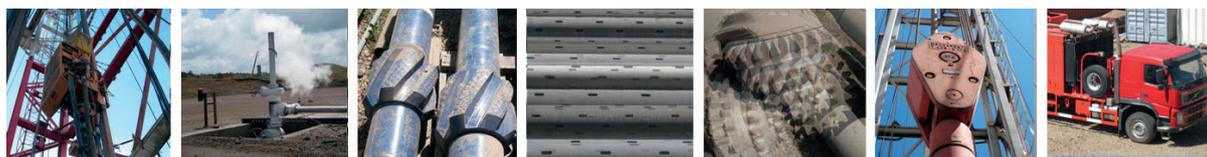
La Commission de l'Union Africaine a estimé et décidé ici que les peuples de l'Afrique orientale ont un intérêt direct et premier au développement de ressources géothermiques, et que des puits destinés à la découverte et à l'exploitation de ressources géothermiques devront être forés, exploités, maintenus et abandonnés de manière à sauvegarder la vie, la santé, la propriété et le bien-être public, et à encourager au maximum une reprise économique responsable.

Remerciement

*Le Code de pratique de l'Union Africaine pour le forage géothermique a été préparé pour la Commission de l'Union Africaine (CUA) et l'Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)). La CUA et le BGR souhaitent exprimer leur reconnaissance au Gouvernement de la Nouvelle Zélande et à Standards New Zealand (Association néo-zélandaise de normalisation) pour avoir autorisé que le *Nouveau code néo-zélandais* puisse être inclus dans ce document.*

Clause de non-responsabilité

La Commission de l'Union Africaine, l'Office fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)), le Gouvernement néo-zélandais et Standards New Zealand (Association néo-zélandaise de normalisation), aussi bien en tant que contributeurs à et éditeurs de la présente publication, ne garantissent pas l'exactitude des données et des informations incluses dans cette publication, et déclinent toute responsabilité de quelque nature que ce soit pour toute conséquence résultant de l'usage de toute donnée ou information qu'elle contient.



SOMMAIRE

	Page
États membres de l'Union Africaine - GRMF	i
Remerciements	ii
Copyright	ii
Introduction	iv
Sommaire	viii
Documents référencés	xii
Normes américaines	xii
Autres publications	xiii
Dernières révisions	xiv
Politique	xv

1 GÉNÉRALITÉS

1.1	Étendue	1
1.2	Variation des dispositions impératives	3
1.3	Définitions	3
1.4	Unités de mesure	10
1.5	Notation	10
1.6	Abréviations	12
1.7	Interprétation	12
1.8	Conservation des rapports et relevés	12

2 DESIGN DE PUIITS

2.1	Dans la présente section	13
2.2	Colonne de tubage	14
2.3	Processus de design de puits	16
2.4	Conditions souterraines	17
2.5	Pression de design maximale	19
2.6	Confinement de la pression	21
2.7	Profondeurs de fixation des tubages	22
2.8	Diamètres des tubages	24
2.9	Matériaux et propriétés de performance des tubages	25
2.10	Contraintes dans les tubages.	28
2.11	Têtes de puits permanentes	43
2.12	Révision et modification du design de puits pendant le forage	50
2.13	Rapports de design de puits	50

3 SITES DE FORAGE

3.1	Dans la présente section	51
3.2	Accès au site de forage	51
3.3	Sélection du site de forage	51



3.4	Design et construction du site de forage	53
3.5	Cave	54
3.6	Drainage et élimination des déchets	55
3.7	Alimentation en eau	57
3.8	Sites à puits multiples	57
3.9	Sécurité et signalétique du site	58
3.10	Comptes-rendus de site de forage	59
4 ÉQUIPEMENT, OUTILS ET MATÉRIAUX DE FORAGE		
4.1	Dans la présente section	61
4.2	Équipement	62
4.3	Outils	74
4.4	Matériaux consommables	77
5 PRATIQUES DE FORAGE ET DE TESTS DE PUIITS		
5.1	Dans la présente section	81
5.2	Compétence et supervision du personnel	82
5.3	Fluides et produits hydrauliques de forage	82
5.4	Maniement de la colonne de forage	85
5.5	Contrôle du puits	86
5.6	Mise en place du tubage	91
5.7	Cimentation du tubage	95
5.8	Perte de circulation	99
5.9	Forage dirigé	100
5.10	Repêchage	102
5.11	Achèvement du puits	103
5.12	Essais de puits et diagraphies	107
5.13	Relevés de forage	111
6 EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU PUIITS		
6.1	Dans la présente section	115
6.2	Maintien de l'intégrité du puits.	115
6.3	Surveillance du puits	115
6.4	Puits en exploitation	119
6.5	Reconditionnements du puits de forage	121
6.6	Puits suspendus	127
6.7	Maintenance du site de forage	128
6.8	Livres d'exploitation et de maintenance de puits	128
7 ABANDON DU PUIITS		
7.1	Dans la présente section	129
7.2	Objet et exigences justifiant l'abandon	129
7.3	Évaluation du puits préalable à l'abandon	129
7.4	Opérations d'abandon	130
7.5	Rapports d'abandon de puits	131



ANNEXE A – Cimentation de consolidation (à titre informatif)

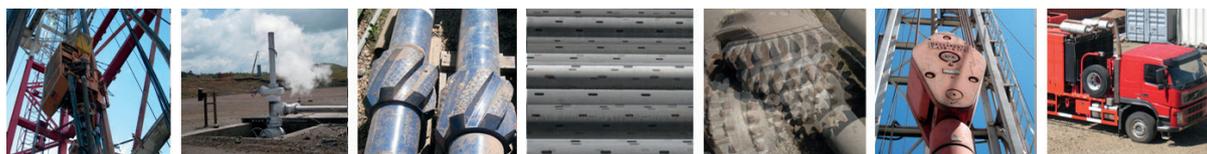
A1	133
A2	133
A3	134

FIGURES

Figure A	Le cadre légal et réglementaire néo-zélandais	vi
Figure 1	Conventions de dénomination utilisées pour les colonnes de tubage et les crépines	15
Figure 2	Caractéristiques des fluides en fond de puits et en tête de puits.	20
Figure 3	Exemple de méthode de sélection de la profondeur du sabot de tubage	25
Figure 4	Exemple de calcul de forces de tubage	32
Figure 5	Contraintes dans les tubages en fonction de la température	35
Figure 6	Tête de puits permanente typique	44
Figure 7	Dégrèvement de la pression de service des vannes et brides en tête de puits conforme à l'ANSI B16.5 et à l'API 6A	46
Figure 8	Tête de puits typique destinée à être utilisée dans les forages avec de l'eau ou de la boue (non-aérée)	72
Figure A-1	Implantation typique de la cimentation de consolidation	134

TABLEAUX

Tableau 1	Variation de la pression ambiante et de la température d'ébullition pour de l'eau pure avec l'élévation	2
Tableau 2	Le processus de design de puits, étape par étape	16
Tableau 3	Pressions hydrostatiques standard et températures BPD pour une colonne d'eau pure sans gaz dissout	18
Tableau 4	Effet de la température sur les propriétés du tubage	27
Tableau 5	Facteurs de design minimal	43
Tableau 6	Limites de pression recommandées pour les brides en tête de puits	47
Tableau 7	Compatibilité de bride API/ANSI (liste non-exhaustive)	48
Tableau 8	Spécifications API et pratique recommandée pour les équipements rotatifs	63
Tableau 9	Sommaire des rapports de forage	112
Tableau 10	Sommaire du rapport d'activité de forage quotidien	114



Les publications suivantes font directement référence à ce code ou bien contiennent des informations qui sont pertinentes pour son développement et sa mise en œuvre.

AMERICAN STANDARDS

American Petroleum Institute

API Spec 4F:2013	Spécification pour les structures de forage et les structures d'entretien des puits
API RP 5A3:2011	Pratiques recommandées pour les composants de filetages pour tubage, colonnes, canalisations et éléments de train de tiges
API RP 5C1:1999	Pratiques recommandées pour l'entretien et l'utilisation des tubages et colonnes
API TR 5C3:2008	Rapport technique sur les équations et les calculs pour les tubages, les colonnes et les conduites utilisés dans les tubages ou les colonnes; et tableaux des propriétés de performance pour les tubages et les colonnes
API Spec 5CT:2011	Spécification pour tubages et colonnes
API Spec 5DP:2009	Spécification pour tube de forage
API Spec 5L:2012	Spécification pour colonnes
API Spec 6A:2013	Spécification d'équipements de tête de puits et d'arbre de Noël
API Spec 6D:2012	Spécification pour vannes de tuyauteries
API Spec 7-1:2012	Spécification pour éléments de train de tiges de forage rotatif
API Spec 7-2:2010	Spécification pour fileter et étalonner les connexions fileté à épaulement
API Spec 7F:2010	Spécification pour chaînes et pignons sur champ pétrolier
API RP 7G:2009	Recommandations pour le design des trains de tiges de forage et limites opérationnelles
API Spec 7K:2010	Spécification pour les équipements de forage et d'entretien des puits
API Spec 8A:2001	Spécification pour les équipements de levage de forage et de production
API RP 8B:2012	Pratiques recommandées pour les inspections, la maintenance, les réparations, et le reconditionnement de l'équipement de levage
API Spec 8C:2014	Spécification pour équipements de levage, de forage et de production
API Spec 9A:2012	Spécification pour câbles en acier
API RP 9B:2012	Pratique recommandée pour l'application, le traitement et l'utilisation de câbles en acier pour l'exploitation des champs pétrolifères
API Spec 13A:2010	Spécification pour les matériaux de fluides de forage
API RP 13B-1:2009	Pratique recommandée pour les fluides de forage à base d'eau utilisés dans les tests sur site
API RP 13I:2009	Pratiques recommandées pour les tests en laboratoire de fluides de forage

API Spec 15HR:2001	Spécification pour les canalisations en fibre de verre haute pression
API Spec 16A:2004	Spécification pour l'équipement de forage
API Spec 16RCD:2005	Appareillages de contrôle pour équipement de forage traversant rotatif
API RP 64:2001	Équipements de déviation et leur exploitation
API STD 53:2012	Standard pour les systèmes de prévention d'éruption lors du forage de puits (systèmes de Bloc Obturateur du Puits (BOP))

American National Standards Institute (institut national américain de normalisation)

ANSI/ASME B16.5:2013	Brides de tuyauteries et raccords de brides
ANSI/NACE MR 0175/ISO 15156:2009	Matériaux utilisés en environnement contenant du H ₂ S en production pétrole et gaz.

American Society of Mechanical Engineers (Société américaine des ingénieurs mécaniciens)

ASME :2010	Code des chaudières et appareils sous pression Standards referenced in this code will continue to evolve beyond the publication of this code. Take care to ensure that standards more recently published remain contextually appropriate; if there is any doubt, use the version of the standard referenced in this code.
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

American Society for Testing and Materials (Société américaine pour les tests et matériaux)

ASTM E1008-03:2009	Pratique courante pour l'installation, l'inspection et la maintenance de méthodes de décharge en surpression de corps de vannes pour des applications en géothermie et à d'autres liquides à haute température
--------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

For updates to this code, go to www.grmf-eastafrika.org.

AUTRES PUBLICATIONS

- Eaton, B.A. Fracture Gradient Prediction and its application in oilfield operations, Journal of Petroleum Technology, 1969, V246, p1353-1360
- Enform, Canada, Petroleum Industry Training Service: Heavy Oil and Oil Sands Operations, Industry Recommended Practice (IRP) Volume 03-2002
- Enform, Canada, In situ Heavy Oil Operations (IRP3 2012 3.2.1.3.1e)
- Holliday, G. H., Calculation of Allowable Maximum Casing Temperature to Prevent Tension Failures in Thermal Wells. ASME (Series) 69-PET-10, 1969
- Parry, W.T. et al, ASME International Steam Tables for Industrial Use. Second Edition, 2009
- WorkSafe New Zealand, Health and safety guidelines for shallow geothermal wells, 2005 (previously the NZ Department of Labour)

Documents liés

ANSI/ASME B31.1:2012	Tuyauteries de centrales électriques et de chaudières
API Spec 10A:2010	Spécification pour ciments et matériaux pour cimentation de puits

API RP 10B-2:2013	Pratique recommandée pour tester les ciments de puits
API RP 49:2001	Pratique recommandée pour le forage sécurisé de puits contenant de l'hydrogène sulfuré
ISO/PAS 12835:2013	Qualification des raccords de tubage pour puits thermiques
ISO 13679:2002	Procédures de test des tubages et raccords

TOUTES DERNIÈRES RÉVISIONS

Les utilisateurs de ce code doivent s'assurer que leurs copies des documents en référence énumérés aux pages xii et xiii correspondent bien aux mises à jour les plus récentes.

Les normes référencées dans ce code continueront à évoluer après la publication de ce code. Veuillez à vous assurer que les normes publiées tout récemment restent appropriées dans le contexte; en cas de doute quelconque, utilisez la version de la norme référencée dans ce code.

Allez consulter le site www.grmf-eastafrika.org pour les mises à jour de ce code.

Review of standards

Suggestions for improvement of this code are welcome. They should be sent to the following:

**African Union Commission
Regional Geothermal Coordination Unit**
P.O. Box 3243
Addis Abada, Ethiopia

Telephone: (251-11) 5182402
Fax: (251-11) 5182400

Website: www.africa-union.org

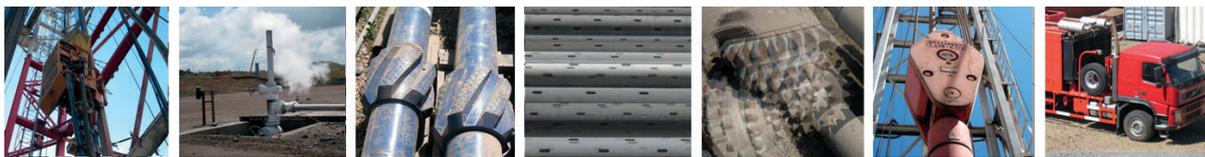
**Chief Executive
Standards New Zealand**
Private Bag 2439
Wellington 6140 New Zealand

Telephone: (04) 498 5990
Fax: (04) 498 5994

Website: www.standards.co.nz

Fracturation hydraulique

La pratique de la fracturation hydraulique, répandue dans l'industrie du pétrole et du gaz, n'est pas une pratique reconnue généralement utilisée dans l'industrie géothermique. Par conséquent, ce code ne traite pas de telles pratiques.

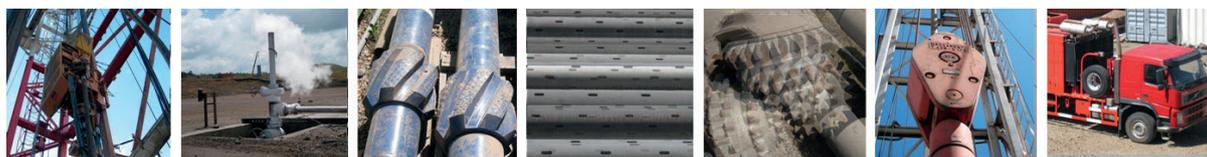


POLITIQUE

Déclaration finale

Ce code promeut la meilleure pratique dans la gestion de puits géothermiques profonds tout au long de leur durée de vie depuis le forage jusqu'à l'abandon de puits. Il donne des conseils et encourage les opérateurs, les sous-traitants de forage, les sociétés de service, les régulateurs et autres acteurs afin d'améliorer la gestion globale des puits, y compris la gestion de la sécurité et de l'environnement. Le code aide également à assurer que toutes les données techniques et scientifiques qui peuvent et doivent être obtenues pendant toutes les opérations de forage soient collectées et rendues disponibles pour l'entité gouvernementale appropriée du pays dans lequel se déroule le forage. De telles données apporteront une contribution importante à la banque de données géologique et à la compréhension du potentiel de développement géothermique.





1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Étendue

1.1.1. – Application du code

Les bonnes pratiques spécifiées peuvent être appliquées à toute une série de circonstances. Les points suivants sont cependant applicables spécifiquement aux puits géothermiques qui :

- (a) atteignent, ou dont on peut raisonnablement s'attendre à ce qu'ils atteignent une profondeur dépassant 250 m et contenant essentiellement de l'eau ou de la vapeur à une température excédant le point d'ébullition de l'eau pour les conditions ambiantes moyennes à la surface du site du puits;
- (b) atteignent, ou dont on peut raisonnablement s'attendre à ce qu'ils atteignent une profondeur comprise entre 150 m et 250 m, et qui
 - (i) contiennent de la vapeur ou de l'eau chaude dont on peut raisonnablement attendre à ce qu'elle exercera une pression de fermeture en tête de puits de 0,5 MPa ou plus; ou
 - (ii) ont attendu ou atteint des températures réelles en fond de puits comprises dans les 20°C de la température du point d'ébullition en fonction de la profondeur (BPD) telle que mesurée depuis le niveau d'eau local.

1.1.2. – Inclusions

Le code couvre le forage, l'exploitation, la réparation et l'abandon de puits géothermiques profonds. Cela comprend tous les travaux souterrains plus la tête de puits jusqu'au sommet de la vanne maîtresse.

Le code s'applique également aux carottages par câble continu, aux opérations à tubage enroulé ou aux autres méthodes atypiques de construction et de maintenance de puits géothermiques profonds.

NOTE:

- (a). Des conditions extrêmes ou inhabituelles peuvent créer des circonstances qui sortent du cadre de ce code. Il peut s'agir de conditions telles que des températures supérieures au point critique (373°C) de l'eau ou la présence de fluides hautement corrosifs.
- (b). La température d'ébullition de l'eau baisse au fur et à mesure de l'élévation, ce qui doit être pris en compte. Les solides dissous et les gaz non-condensables affectent également la température d'ébullition de l'eau.
En l'absence de meilleures données, les valeurs moyennes peuvent être interpolées du tableau 1.

- (c). The Health and Safety Guidelines for Shallow Geothermal Wells (Directives relatives à la santé et à la sécurité dans les puits géothermiques peu profonds), New Zealand Department of Labour (Département du travail néo-zélandais) 2005, couvre les exigences posées aux puits géothermiques peu profonds (moins de 150 m ou compris entre 150 m et 250 m dans des conditions n'excédant pas les caractéristiques indiquées dans 1.1 (b)).

Tableau 1
Variation de la pression ambiante et de la température d'ébullition pour l'eau pure avec l'élévation

Élévation (m)	Pression ambiante (kPa)	Température d'ébullition (°C)
Niveau de la mer	101,3	100
+ 500	95,5	98
+ 1000	89,9	97
+ 2000	79,5	93
+ 3000	70,1	90
+ 4000	61,5	86

1.1.3. – Exclusions

Ce code ne couvre pas:

- (a). l'ingénierie des réservoirs, bien que les changements affectant les conditions des réservoirs (par exemple du fait de l'exploitation) puissent devoir être pris en compte dans le design de puits;
- (b). la gestion environnementale des activités de forage et d'exploitation du puits, y compris le contrôle des écoulements de surface, l'élimination des fluides de forage et le bruit. Ces questions seront habituellement traitées via des autorisations relatives à l'environnement et des permis octroyés par le pays dans lequel les travaux ont lieu;
- (c). les exigences relatives à la santé et à la sécurité au travail généralement couvertes par les statuts légaux nationaux et les règles et réglementations d'application.
- (d). l'équipement et exploitation en aval de la vanne maîtresse ou d'autres composants de la tête de puits contenant les fluides géothermiques (tels que définis au 2.11.1, voir page 43), sauf là où cela pourrait affecter le design ou l'utilisation de composants du puits; ou
- (e). l'étude, la construction et la maintenance d'un bâti de poussée.

1.2. Variation des dispositions impératives

Tout écart par rapport à une disposition contraignante du présent code sera basé sur des données et une ingénierie saines, ou sur le recours à des normes alternatives reconnues. Tout écart **devra** être justifié et documenté de façon adéquate. La documentation **devra** être archivée en permanence par le propriétaire du puits et être tenue à la disposition des autorités de régulation (voir 5.13 à la page 111 et 6.3 à la page 115).

Le code n'exclut pas l'adoption de techniques alternatives basées sur des données et une ingénierie saines, ni le recours à des normes alternatives reconnues si celles-ci sont approuvées par l'évaluation collégiale d'une tierce partie.

1.3. Définitions

1.3.1. – Focalisation sur la meilleure pratique de l'industrie géothermique

Les définitions de ce code sont généralement conformes à l'usage international. Notamment les diverses colonnes de tubage sont définies tel que cela est montré à la figure 2 de la page 20.

1.3.2. – Termes définis

Les définitions suivantes s'appliquent aux fins du présent code:

Fluide de forage aéré	Un mélange composé pour l'essentiel d'air comprimé, ainsi que de boue ou d'eau
Abandon	Scellage d'un puits de manière à le rendre inopérant de façon permanente en l'absence de disposition prévoyant un futur rétablissement (également 'abandon')
Tubage d'ancrage	Le tubage cimenté sur lequel est montée la tête de puits permanente. Dans certains cas, il peut être identique à la colonne perdue de production
Anneau	L'espace compris entre deux objets concentriques dans lequel un fluide peut s'écouler, tel qu'entre le puits de forage et le tube de forage ou entre deux tubages
Boîte Banjo	Té défecteur dans la tête de puits de forage lors d'un forage avec des fluides aérés
Purge	Décharge d'un puits à un débit très bas afin de maintenir la tête de puits et le tubage dans un état chaud
Ligne d'écoulement	Conduite d'écoulement de la boîte Banjo au séparateur air-eau utilisé pendant un forage avec des fluides aérés



Éruption	Un flux incontrôlé de fluides de réservoir, que ce soit vers le puits de forage pendant le forage, ou hors du puits de forage vers la formation au-dessus du réservoir, ou vers la surface. Une éruption peut consister en de la vapeur, de l'eau, du gaz ou un mélange de ces éléments. Les éruptions peuvent se produire dans tous les types d'opérations d'exploration et de production, pas seulement pendant les opérations de forage. Si les fluides de réservoir se répandent, via le puits de forage, dans une autre formation à l'extérieur du réservoir et non vers la surface, le résultat s'appelle une éruption souterraine. Dans les puits géothermiques, des écoulements entre les zones apparaissent régulièrement au sein du réservoir et ne sont pas considérés comme des éruptions.
Dispositif de prévention d'éruption	Le Bloc Obturateur du Puits (blowout preventer - BOP) est une grande vanne spécialisée ou un dispositif mécanique similaire utilisé pour sceller, contrôler et empêcher toute décharge incontrôlée de fluides depuis un puits pendant des opérations de forage.
Point d'ébullition en fonction de la profondeur	Conditions représentant une colonne d'eau pure à la température d'ébullition (saturation) correspondant à la pression à chaque profondeur.
Forage	Voir puits
Brochage	Une opération filaire recourant à des dispositifs de coupe étalons pour enlever les dépôts situés à l'intérieur d'un puits.
Tubage	Joints ou colonne de tubage
Raccord de tubage	Les interfaces filetées situées entre les joints de tubage et qui raccordent ces derniers. Dans certains cas, ce raccord peut constituer un tout avec le joint de tubage, avec ou sans recouvrement extérieur ou intérieur.
Raccord de tubage	Une courte longueur de tube utilisée pour raccorder deux joints du tubage. Un raccord de tubage possède des filets femelles internes usinés de façon à correspondre aux filets mâles externes des joints longs du tubage. Les deux joints du tubage sont filetés dans des extrémités opposées du raccord de tubage.
Bride de tête de tubage	La bride, attachée au tubage d'ancrage, à laquelle est attachée la tête de puits permanente
Joint	Une longueur de tube en acier, généralement comprise entre 6 et 13 m, avec un raccord de tubage à chaque extrémité. Les joints sont assemblés pour former une colonne de tubage.
Cave	Une excavation, habituellement doublée de béton, réalisée autour du sommet du puits et destinée à héberger une partie de la tête du puits et à aider à gérer la boue ou l'eau de forage pendant le forage et pendant toute la durée de vie du puits





Ligne d'évacuation	Une conduite à haute pression menant d'une sortie située sur la partie inférieure du Bloc Obturateur du Puits (BOP) vers une vanne d'étranglement et la tuyauterie associée. Ceci est utilisé pour contrôler le flux et la pression du puits.
Résistance à la compression	Contrainte maximale à laquelle un matériau cède à la compression
Tube-guide	Le tube à très faible profondeur et à grand diamètre normalement installé avant que le forage ne commence. Le tube-guide est utilisé afin d'empêcher tout matériau de surface de s'effondrer ou d'être lessivé, et d'élever le fluide de forage de retour au-dessus du niveau du sol. L'équipement BOP n'est pas habituellement installé sur le tube-guide du fait de la faible profondeur de ce dernier. Également appelé «pré-collier».
Résistance du raccord de tubage	Force à laquelle on prévoit qu'un raccord de tubage va faire défaut
Facteur de design	Le rapport sans dimension: la situation dans laquelle la résistance du matériau est la valeur minimale spécifiée corrigée pour les effets de température ou de corrosion, et la force ou la contrainte est la valeur totale, y compris tout effet biaxial.
Programme de forage	Un document formel qui indique les étapes et processus requis pour réaliser le puits en toute sécurité et en conformité avec le design du puits
Pression de retenue effective	Pression qu'une formation située à n'importe quelle profondeur peut contenir de manière à ce que le fluide ne migre pas vers la surface ou d'autres aquifères superficiels, que ce soit directement, à travers des failles ou à travers des puits proches
Pression de fracture de la formation	La pression requise pour produire des fractures dans la roche à une profondeur donnée. Cette dernière est établie de façon typique en recourant à un essai de fuite de formation (formation leak-off test - FLOT).
Essai de fuite d'étanchéité de la formation	Essai destiné à déterminer la résistance ou la pression de fracturation de la formation rocheuse, généralement réalisé immédiatement après avoir foré en dessous d'un nouveau sabot de tubage. Pendant l'essai, le puits est fermé et le fluide est pompé dans le puits de forage afin d'accroître progressivement la pression à laquelle la formation est soumise jusqu'à ce que la progression de la pression cesse, indiquant que la pression de fracture de la formation a été atteinte.
Géothermique	Associé avec la chaleur dérivée de la terre
Charge d'entraînement	Outil cylindrique utilisé pour vérifier le diamètre de passage du tubage ou de la colonne perdue



Tubage intermédiaire	Tubage installé, là où les conditions souterraines l'exigent, pour faire en sorte que cette profondeur de cible soit atteinte pour cet étage du puits
Pression interne de rupture	Pression à laquelle la paroi interne du tubage atteint la contrainte de rupture
Écoulement interzonal	Flux entre deux zones perméable à travers le puits de forage. On ne considère pas avoir affaire à une éruption si les zones perméables restent à l'intérieur du réservoir.
Joint	Une seule longueur de conduite ou de tubage
Ligne de tuage du puits	Une ligne haute pression menant des pompes de forage jusqu'à une admission au bas du Bloc Obturateur du Puits BOP afin de permettre au fluide d'être pompé dans le puits
Colonne perdue	Joints connectés ensemble dans une colonne qui ne s'étend pas en retour jusqu'à la surface
Recouvrement	L'espace annulaire situé dans le recouvrement entre le sommet d'une colonne perdue et le fond de la colonne de tubage précédente (extérieure). Celui-ci peut être cimenté ou non
Vanne maîtresse	La vanne de confinement primaire sur le puits située au-dessus de la bride de tête de tubage (CHF)
Design maximal Pression	Il s'agit ici, pour n'importe quelle section de puits considérée, la pression maximale évaluée pouvant être générée à l'intérieur de la section de puits, tant pendant la construction que pendant le service
Profondeur mesurée	Une mesure de tuyau, de tubage ou de longueur de section de puits telle que mesurée sur tout le parcours du puits depuis le niveau de la surface jusqu'au point considéré
Température neutre	La température du tubage à la profondeur et au moment où le ciment prend dans l'anneau
Colonne perdue perforée ou crépine	Une colonne non cimentée de colonne perdue perforée installée le long du forage non tubé (open hole) afin de protéger le puits de forage contre tout effondrement du fait de formations rocheuses, d'une chute de la pression ou des effets érosifs de l'écoulement de fluide
Résistance du corps de tuyau	Force axiale à laquelle le corps du tuyau cède
Pression de rupture du tuyau	Pression externe au point de défaillance sous l'effet d'une rupture ou d'un effondrement



Pompes primaires	Pompes de forage utilisées pour faire circuler les fluides à travers la colonne de tubage et dans le puits
Colonne perdue de production	La colonne de tubage cimentée la plus profonde s'étendant jusqu'à la surface. Si la tête de puits est attachée à cette colonne de tubage, elle sert également de tubage d'ancrage
Sabot de la colonne perdue de production	Le sabot du tubage de production ou de la colonne perdue de production qui définit la transition entre le puits de forage tubé et le forage non tubé dans le puits achevé
Colonne perdue de production	Une colonne perdue cimentée installée au premier étage d'un ouvrage de raccordement. La colonne perdue de production sera habituellement le tubage cimenté le plus profond
« Tuer » le puits	Injecter du liquide froid dans le puits afin de condenser la vapeur ou d'empêcher toute formation de cette dernière, ou de réduire les températures à d'autres fins de manière à ce qu'il y ait une pression positive sur la tête de puits
Colonne de réparation	Une colonne de tubage cimentée ou partiellement cimentée installée à l'intérieur de la colonne perdue de production ou du tubage d'ancrage. Ceci est généralement installé pendant un reconditionnement destiné à réparer un tubage endommagé
Sabot	Le fond d'une colonne de tubages ou de colonnes perdues
Vanne de contournement	Une petite vanne attachée à la tête de puits en dessous de la vanne maîtresse. Parfois appelée guide de clapet
Site	Zone préparée pour accueillir la plateforme et tous les équipements auxiliaires pendant une opération de forage ou un reconditionnement
Colonne	Une conduite à haute pression reliant les pompes primaires au flexible d'injection. La pression de la colonne montante indique donc la pression au sommet de la colonne de forage
Train (de tiges)	Un jeu de joints de conduites ou de tubages reliés ensemble et considérés comme constituant une seule unité
Bassin de décharge	Excavation conçue pour collecter des déblais de forage et des déchets pendant l'opération de forage
Suspendre	Ce terme désigne le fait de rendre temporairement inactif dans le contexte d'un puits, et «suspension» a le même sens





Colonne de surface	Le premier tubage installé dans le puits, et qui supporte une tête de puits de forage
Résistance à la traction	Contrainte maximale à laquelle un matériau cède à la tension
Constante de contrainte thermique	La contrainte incrémentale induite dans le tubage tenu contre le mouvement par unité de hausse de la température
Pâte à joint pour filetages	Lubrifiant de filetage ou de composant de joint appliqué au tube de forage et aux connecteurs de tubages
Cadre de poussée	Un cadre, habituellement installé sur des têtes de puits permanentes et ancré dans la cave environnante ou dans le sol afin de supporter la tête de puits en compensant les forces latérales
Tubage de raccordement	Une colonne de tubage qui est connectée au sommet d'une colonne perdue de production et est cimentée en retour jusqu'à la surface
Profondeur verticale	La profondeur de n'importe quel point mesurée verticalement depuis le niveau de surface jusqu'au point considéré
Puits	Un puits de forage percé dans le but d'évaluer l'opportunité d'exploiter des fluides géothermiques. Cela comprend n'importe quel puits de forage destiné à la production, à l'injection, à la réinjection ou à des fins de surveillance de réservoirs
Puits de forage	Le puits foré ou le puits de forage y compris le forage non tubé ou toute portion non tubée du puits
Tête de puits	Un jeu de vannes et autres composants à capacité de pression reliés au sommet du puits et servant à confiner les fluides du puits
Section de puits	Une combinaison de section tubée et de forage non tubé qui existe comme faisant partie d'une construction de puits ou du puits final achevé
Reconditionnement du puits de forage	Toute opération durant laquelle on pénètre à nouveau dans un puits à des fins de maintenance ou de réparation





Cette page a été volontairement laissée vierge.



1.4. Unités de mesure

Comme la plupart des normes de forage rotatif ont été développées aux États-Unis d'Amérique, l'utilisation des unités de mesure courantes aux USA est encore très répandue (par exemple pieds et psi), ainsi que d'autres unités adoptées dans l'industrie du pétrole (par exemple barils).

Ce code utilise les unités de mesure et les abréviations du Système d'unités internationales (SI). L'utilisation d'unités impériales reste cependant une pratique courante pour certaines mesures de diamètres et de débit.

Les unités de mesure utilisées dans tous les rapports **devraient** être notées pour les coordonnées de puits, les élévations et les informations de déviation; c'est-à-dire le système de coordonnées, les données d'élévations et les unités d'azimut (magnétique ou quadrillage).

En l'absence d'autres qualifications, toute indication de pression sera considérée comme voulant dire au-dessus de la pression ambiante.

1.5. Notation

Ce code utilise les notations suivantes:

<i>a</i>	coefficient d'expansion thermique ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
<i>A_p</i>	zone transversale de la paroi du tubage (mm^2), compte tenu de n'importe quel rainurage
<i>d</i>	diamètre interne au tubage (mm)
<i>D</i>	diamètre externe au tubage (mm)
<i>e</i>	excentricité (mm) = diamètre réel (pas nominal) du puits moins D
<i>E</i>	module d'élasticité (MPa)
<i>f_b</i>	contrainte maximale due à la flexion (MPa)
<i>f_c</i>	contrainte totale de compression extrême de fibre sous l'effet de forces axiales et de flexion (MPa)
<i>f_t</i>	résistance maximale à la traction (MPa)
<i>F_{poussée}</i>	force de poussée (kN)
<i>F_{tubage air humide}</i>	poids d'air du tubage (kN)
<i>F_{contenu tubage}</i>	poids des contenus internes du tubage (kN)
<i>F_{charge crochet}</i>	force en surface suspendant le tubage qui est soumise à des charges hydrauliques gravitationnelles et statiques (kN)
<i>F_{fluides déplacés}</i>	poids des fluides déplacés par le tubage (kN)
<i>F_c</i>	changement survenu dans la force axiale à l'intérieur du corps du tubage sous l'effet de la chaleur (kN)

F_m	force nette vers le bas appliquée par la tête de puits (kN) sous l'effet de sa propre masse et de réactions éventuelles de la tuyauterie (kN)
F_p	force axiale à l'intérieur du corps du tubage à la prise du ciment (kN)
F_r	force axiale résultante à l'intérieur du corps du tubage, combinant la force à la prise du ciment et les forces thermiques consécutives (kN)
F_t	changement survenu dans la force axiale à l'intérieur du corps du tubage sous l'effet du refroidissement (kN)
F_w	force de levage due à la pression de la tête de puits (kN)
g	accélération due à la gravité (par exemple $9,81 \text{ m/s}^2$)
I_p	couple d'inertie net de la section de tuyau, compte tenu de n'importe quelle perforation (mm^4)
L_{if}	longueur verticale d'une section de fluide ayant la même densité – à l'intérieur du tubage (m)
L_{ef}	longueur verticale d'une section de fluide ayant la même densité – à l'intérieur de l'anneau externe (m)
L_f	longueur verticale totale d'une colonne de fluide dans un anneau (m)
L_z	longueur verticale totale de la colonne perdue ou du tubage (m)
P_f	pressions interstitielles (MPa)
ΔP	pression différentielle sur le tubage pendant la cimentation (MPa)
P_{frac}	pression de fracture in situ d'une formation (MPa)
P_w	pression maximale de tête de puits (MPa)
P_z	pression de fluide externe sur le sabot de tubage (MPa)
R_i	facteur de réduction de la température (coefficient)
R_j	efficacité du raccord en compression
S_v	pression de surcharge (pression verticale due au poids des formations supérieures en MPa)
T_1	température neutre (température du tubage au moment de la prise du ciment ($^{\circ}\text{C}$))
T_2	température maximale attendue ($^{\circ}\text{C}$)
T_3	température minimale après refroidissement du puits ($^{\circ}\text{C}$)
W_p	poids d'unité nominale de tubages dans l'air (kg/m)
q	courbure (degrés tous les 30 m)
ν	coefficient de Poisson
π	3,142 (c'est-à-dire par rapport à 4 figures significatives)
ρ_{ef}	densité d'une section de fluides ayant une densité constante à l'intérieur d'un anneau (kg/l)
ρ_{if}	densité d'une section de fluides ayant une densité constante à l'intérieur d'un tubage (kg/l)
ρ_c	densité du coulis de ciment (kg/l)
ρ_f	densité du fluide – habituellement de l'eau – dans le puits de forage ou l'anneau (kg/l)

1.6. Abréviations

Les abréviations ont les significations suivantes:

BOP	blowout preventer (Bloc Obturateur du Puits, dispositif de prévention d'éruption)
BPD	boiling-point-for-depth (point d'ébullition en fonction de la profondeur)
CHF (bride de tête de tubage)	casing head flange (bride de tête de tubage)
FLOT	formation leak-off test (essai de fuite d'étanchéité de la formation)
LCM	lost circulation material (matériau de circulation perdu)
MPa	Mégapascal. 1 MPa équivaut à 10 bar
NRV	non-return valve (clapet anti-retour / CAR)
OEM	original equipment manufacturer (fabricant d'équipement d'origine)
SG	specific gravity (gravité spécifique)
SI	Le Système International d'Unités/International System of Units
TVD	true vertical depth (profondeur verticale véritable)
WHP	wellhead pressure (pression en tête de puits)

1.7. Interprétation

Aux fins du présent code, le mot '**devra**' fait référence à des pratiques qui sont essentielles pour faire preuve de la meilleure pratique au sens de ce code.

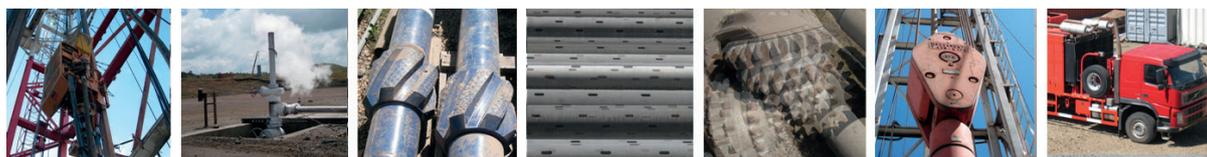
Le mot '**devrait**' fait référence à des pratiques qui sont fortement conseillées ou recommandées.

On trouvera, tout au long de ce code, des **notes** destinées à fournir des conseils supplémentaires venant compléter le texte principal.

Le terme '**informatif**' est utilisé dans le présent code pour préciser l'application de l'annexe à laquelle il fait référence. Une annexe informative fournit une information complémentaire, et sert seulement à orienter. Elle ne contient pas d'exigence.

1.8. Conservation des rapports et relevés

La documentation et les rapports requis selon chaque section du présent code seront tenus à jour en permanence et stockés par le propriétaire du puits, des copies devant être envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.



2. DESIGN DE PUIITS

2.1. Dans la présente section

La section 2 traite du design des puits. Les aspects à prendre en compte comprennent:

- (a). les conditions souterraines qui seront probablement rencontrées;
- (b). l'équipement requis et la performance du matériel; et
- (c). les pratiques de forage destinées à assurer l'intégrité à long terme du puits.

2.1.1. – Données et suppositions ayant servi de base au design

Les prédictions concernant les roches profondes et les états de fluide peuvent être sujettes à des incertitudes considérables, notamment en exploration. C'est la raison pour laquelle il **faudrait** partir de suppositions conservatrices. Au fur et à mesure que le forage de puits progresse, il faudrait collecter suffisamment de données afin de confirmer la validité du design du puits ou d'identifier les points nécessitant d'être examinés de façon plus approfondie ou réclamant des modifications du design.

2.1.2. – Considérations de design

Le design **devrait** prendre en compte:

- (a). l'objet visé;
- (b). la durée de vie de design; et
- (c). l'exploitation et la maintenance courantes.

Les hypothèses concernant les taux de corrosion, les taux d'érosion et les cycles thermiques utilisés pour déterminer la durée de vie du puits **seront** consignées en tant que part de la documentation de design (voir 2.1.3).

2.1.3. – Programme de forage à préparer

Un design de puits et un programme de forage détaillés **seront** préparés avant de commencer les opérations de forage. Le design de puits et le programme de forage **devront**:

- (a). décrire les travaux;
- (b). démontrer que des précautions adéquates ont été prises pour satisfaire aux dispositions de ce code; et
- (c). inclure les méthodes de contrôle de puits utilisées pendant le forage.



22.1.4. – Révision du design

Le design du puits **devrait** être préparé par des ingénieurs compétents en design de puits géothermiques et qui sont familiarisés avec le présent code, et seront passés en revue par un de leurs pairs convenablement qualifié et expérimenté.

2.2. Colonnes de tubage

2.2.1. – Service de tubage

Le design des colonnes de tubage dans les puits géothermiques **tiendra compte** des conditions attendues pendant le forage ainsi que des conditions attendues pendant l'ensemble de la durée de vie du puits. Les critères de design des tubages prendront notamment en considération les points suivants:

- (a) la prévention de l'écrasement, de l'explosion, du gauchissement ou de toutes autres déformation des tubages;
- (b) la prise en charge de têtes de puits de forage et permanentes;
- (c) le confinement sûr des fluides de puits;
- (d) le contrôle de la contamination d'aquifères souterrains;
- (e) les pertes de contre-circulation pendant le forage; et
- (f) la protection de l'intégrité du puits contre la corrosion, l'érosion ou la fracturation.

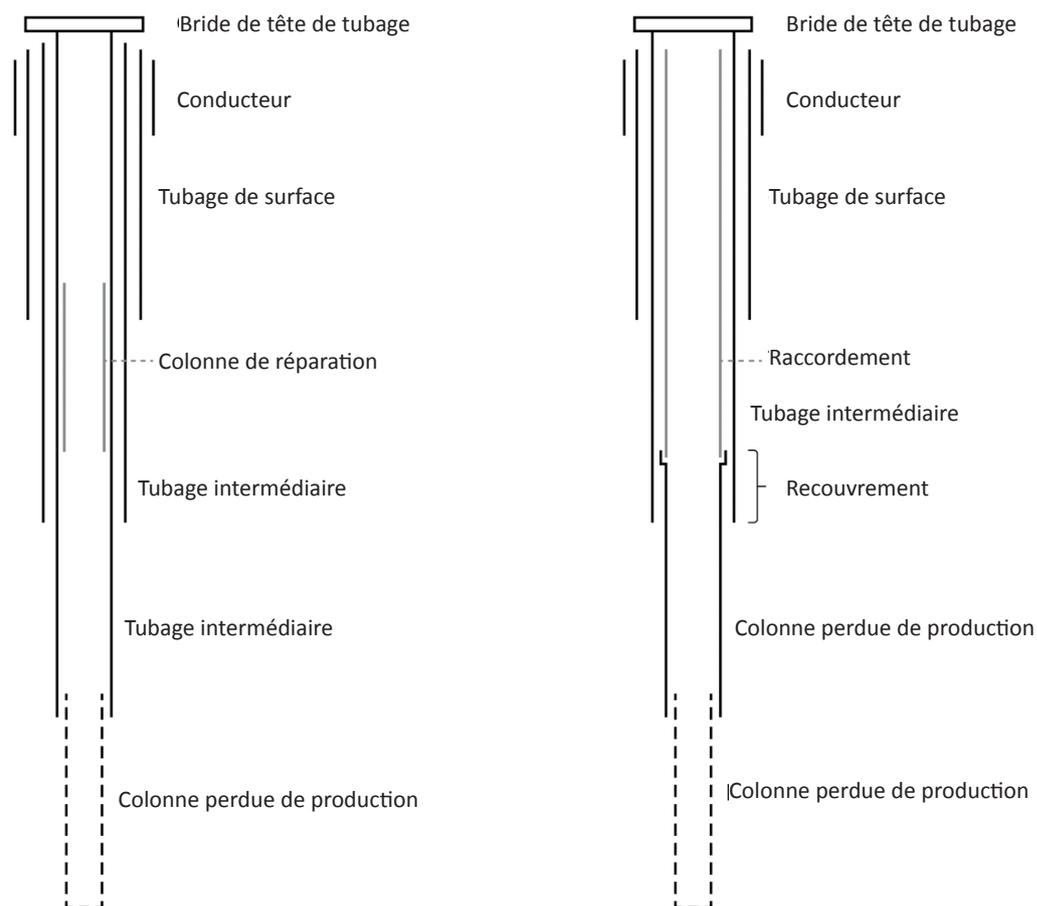
2.2.2. – Terminologie et description du tubage

La figure 1 illustre les significations données aux différents tubages tout au long de ce code. Voir 1.3.2 en commençant à la page 3.





Figure 1
Conventions de dénomination utilisées pour les colonnes de tubage et les crépines



(a) Ouvrage avec tubage de production utilisé en tant que tubage d'ancrage

(b) Ouvrage avec un tubage intermédiaire utilisé en tant que tubage d'ancrage

2.2.3. – Fixation de la tête de puits

La tête de puits peut être attachée au tubage le plus profond – la colonne perdue de production ou de raccordement, ou bien un tubage intermédiaire moins profond. Dans tous les cas, le tubage auquel la tête de puits est attachée est également défini comme le tubage d'ancrage (voir figure 2 à la page 20).

NOTE

Une réalisation traditionnelle ne prévoit pas de colonne de réparation. Celui-ci peut être installé plus tard au cours de la vie du puits dans le but de réparer des tubages endommagés.

Les puits pourvus de colonnes perdues de production cimentées ne possèdent pas toujours de tubages de raccordement installés une fois achevés.



2.3. Processus de design de puits

Le processus de design d'un puits consiste généralement en les étapes soulignées au tableau 2. Le processus de design de puits est plus amplement détaillé dans les sections 2.4 à 2.13.

Tableau 2
Le processus de design de puits, étape par étape

Étape	Action
1	Déterminer une prévision de profondeur verticale de puits, d'emplacement de tête de puits et de cible de puits.
2	Collectez toutes les données et évaluations de données disponibles concernant les conditions souterraines régnant entre la tête de puits et la cible de puits. Ceci inclut, sans toutefois s'y limiter: a. température en fonction de la profondeur b. pression en fonction de la profondeur c. formations géologiques attendues d. réévaluation de compétence des formations géologiques et des intervalles de perte de circulation e. évaluation des zones susceptibles de causer des problèmes
3	Évaluation de la pression de design maximale sur toute la profondeur du puits.
4	Évaluation de la pression de confinement effective des formations sur toute la profondeur du puits.
5	Détermination des profondeurs de sabot de tubage sûres pour chaque colonne de tubage en retour jusqu'à la surface. Pour ce faire, utilisez: (1). pression de design maximale; (2). pression de confinement effective; (3). connaissance de l'intégrité de la formation; et (4). connaissances des zones susceptibles de causer des problèmes.
6	Déterminer un tubage de production (ou une colonne perdue de production) souhaitée et un diamètre de forage non tubé. Considérer l'utilisation finale du puits et la performance de production/de réinjection souhaitée dans le cadre de cette évaluation.
7	Déterminer la taille, le poids, le degré et les raccords des colonnes de tubage souhaités, et les tailles de puits de forage associées pour chaque colonne de tubage jusqu'au retour à la surface.
8	Contrôler la résistance de chaque colonne de tubage aux charges de mise en place et de cimentation. Réviser le design au besoin.
9	Contrôler que chaque colonne de tubage présente un confinement sûr de la pression dans les conditions de pression de design maximales Pression pendant la construction du puits. Réviser le design au besoin.
10	Passer en revue la résistance de chaque colonne de tubage aux sollicitations survenant dans les conditions d'exploitation du puits attendues, et réviser le design au besoin.

2.4 Conditions souterraines

2.4.1. – Évaluation des conditions souterraines

Il **sera** procédé à une évaluation des conditions souterraines attendues sur tout le parcours du puits. Exploitez à cette fin les informations provenant des puits voisins et des évaluations scientifiques et d'ingénierie pertinentes. Cette évaluation **devrait** inclure les températures, les types de fluides, les compositions de fluides et les pressions attendues, ainsi que les informations géologiques pertinentes:

- (a). lithologie des formations géologiques y compris l'emplacement de tous les lits stratigraphiques marqueurs spécifiques;
- (b). intensité et nature des altérations de roches;
- (c). résistance à la compression, ou au moins le degré de consolidation des roches;
- (d). failles, fractures, et perméabilité brute;
- (e). potentiel de formations instables, telles que des brèches non consolidées ou des successions volcano-sédimentaires, ou des lithologies pouvant contenir des argiles gonflantes sensibles à l'eau; et
- (f). pressions de fractures obtenues à partir de FLOT réalisés sur des puits voisins ou des formations similaires.

2.4.2 – Cas où les conditions souterraines ne peuvent pas être déduites des données disponibles.

Il arrive parfois, dans les puits exploratoires, qu'il soit impossible de déduire les profils de température et de pression par rapport à la profondeur des données provenant des puits voisins ou des investigations menées en surface. Dans ce cas, les informations à utiliser pour le design du puits seront déterminées comme suit:

- (a). à moins qu'il n'y ait une suspicion de conditions artésiennes, les pressions souterraines de fluides correspondront aux valeurs hydrostatiques d'une colonne d'eau froide située en dessous du niveau général de la nappe phréatique de la zone. Si l'hydrologie de la nappe phréatique, la topographie locale ou les caractéristiques thermiques naturelles suggèrent la présence de conditions artésiennes, les pressions des fluides **seront** augmentées dans la mesure impliquée par de telles indications pour le design; et
- (b). il **sera** supposé que les valeurs de température souterraines suivent les conditions de saturation d'une colonne d'eau en ébullition située en dessous du niveau défini par (a).

NOTE

- (1). Les pressions de saturation correspondant aux températures souterraines seront inférieures aux anciennes pressions hydrostatiques dérivées en (a).

- (2). Les valeurs de pression et de température sont représentées graphiquement dans la figure 2 (voir page 20) et peuvent être interpolées du tableau 3 (voir page 18).
- (3). L'analyse d'échantillons de sources chaudes et de fumerolles pourrait indiquer la présence de conditions de vapeur d'eau en profondeur. Si ce devait être le cas, il faut réaliser des calculs par des moyens informatiques ou bien élaborer des modèles de pressions de fluides dans une colonne de vapeur d'eau dont la pression pourrait correspondre à la température de la source indiquée à des conditions de vapeur d'eau saturée. Pour ce qui est de l'extension verticale de la colonne de vapeur d'eau, considérer les indications géologiques et géophysiques. Supposer qu'une colonne de vapeur présente le même équilibre de pression que le sommet d'une colonne d'eau en ébullition.

2.4.3. – Pression hydrostatique et BPD

Le tableau 3 montre les pressions hydrostatiques et les températures BPD standard d'une colonne d'eau pure sans gaz dissout, en supposant que le niveau d'eau correspond au niveau de la mer (pressions relatives et non absolues).

Tableau 3
Pressions hydrostatiques et températures BDP standard pour une colonne d'eau pure sans gaz dissout

Profondeur en dessous du niveau d'eau	Pression hydrostatique de fluide à		Température BPD
	20°C	BPD	
Mètres	MPa	MPa	°C
0	0,00	0,00	100
10	0,10	0,09	119
20	0,19	0,19	132
40	0,39	0,36	149
60	0,58	0,54	162
80	0,78	0,72	172
100	0,98	0,89	180
150	1,47	1,32	196
200	1,95	1,75	208
300	2,93	2,57	227
400	3,91	3,37	242
500	4,89	4,16	254
600	5,87	4,93	264
800	7,82	6,43	281
1000	9,78	7,87	295
1200	11,7	9,26	306
1500	14,7	11,27	321
2000	19,6	14,40	339
2500	24,5	17,30	354
3000	29,3	19,90	365

2.5. Pression de design maximale

2.5.1. – Application de la pression de design maximale

L'ensemble des colonnes de tubage, recouvrements, raccords de tubage, raccords de tête de puits et têtes de puits seront conçus afin de résister à la pression de design maximale pour la section de puits de forage correspondante. Voir la figure 2 à la page 20.

2.5.2. – Calcul de la pression de design maximale

La pression de design maximale **sera** calculée sur toute la longueur de chaque section de puits de forage, et correspondra à la plus grande valeur parmi les suivantes:

- (a). 100% de l'état d'injection, basée sur la pression d'injection continue maximale;
- (b). 100% de l'état de vapeur; et
- (c). l'état gazeux, modifié en fonction des besoins exposés par une analyse d'ingénierie. Ceci peut comprendre les facteurs suivants:
 - (i). connaissance des conditions gazeuses souterraines des puits voisins ou régnant au sein de l'ensemble du champ géothermique
 - (ii) capacité ou incapacité de purger le gaz afin de maintenir une pression en tête de puits WHP réduite
 - (iii) durée d'exposition aux conditions gazeuses.

2.5.3 – Condition d'injection.

La condition d'injection correspond à la pression appliquée à la surface, à quoi vient s'ajouter celle due à la colonne de fluide statique, diminuée des pertes de pression dynamique, jusqu'au niveau considéré.

NOTE

- (1). Ceci pourrait s'appliquer pendant le pompage dans le tuyau ou le tubage dans le puits ou dans l'anneau tubage-à-tubage pendant les opérations de cimentation.
- (2). La pression d'injection maximale (avec un puits en service) sera normalement gérée en contrôlant le débit d'injection.

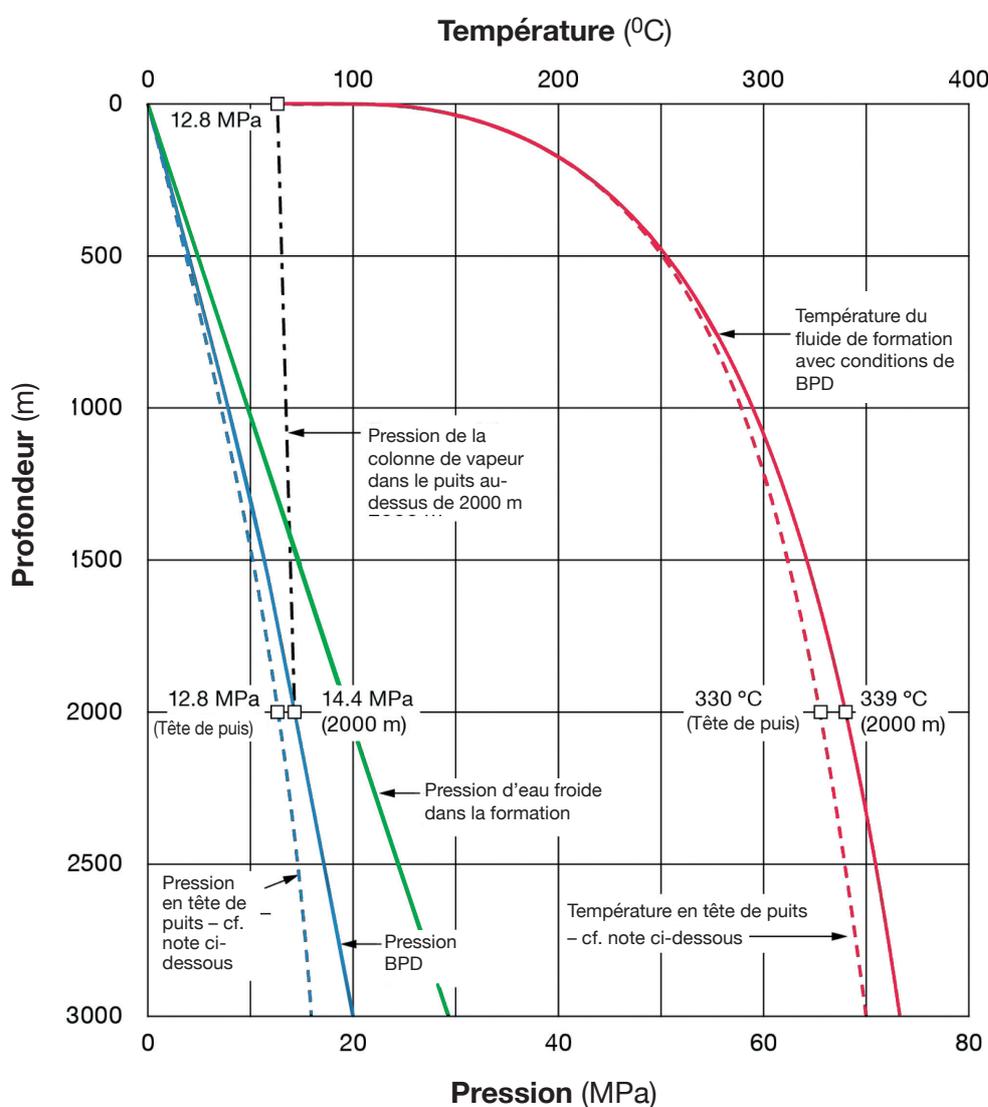
2.5.4 – Condition de vapeur

La condition de la vapeur correspond à la pression de saturation de la vapeur au niveau de la température la plus élevée dans le forage non tubé, diminuée de la pression due à une colonne de vapeur saturée jusqu'au niveau considéré. Voir l'exemple de pression de vapeur donné dans la figure 3 à la page 25.

NOTE

- (1). À l'intérieur du puits, la section supérieure d'une colonne de liquide pourrait être remplacée par une colonne de vapeur générée et contrôlée par la pression par en dessous. Du fait de la réduction de la densité (et par conséquent du gradient de pression), les pressions régnant dans la partie supérieure du puits de forage pourraient augmenter considérablement au-dessus des pressions de formation à la même profondeur.
- (2). Sous des conditions de BPD, la réduction de la pression compte tenu de la densité de la vapeur peut être ignorée pour des profondeurs modérées. Proportionnellement à la pression totale, la réduction est seulement de 5% à 1000 m, mais atteint environ 20% à 3000 m pour la colonne de vapeur totale jusqu'à la surface.

Figure 2
Downhole and wellhead fluid conditions



Les lignes en pointillés montrent les conditions de vapeur en tête de puits, extrapolées à la profondeur où l'ébullition est supposée se produire. L'exemple montre les pressions et températures en tête de puits et à 2000 m, en supposant une ébullition entre 2000 m et la surface.



2.5.5 – État gazeux

L'état gazeux correspond à la pression maximale du gaz attendue à la profondeur de chaque section du puits de forage.

NOTE

- (1). La densité du gaz est supposée être celle du CO₂.
- (2). Les pressions de gaz anormales surviennent dans les formations à faible profondeur situées au-dessus d'un réservoir géothermique.
- (3). Pour les puits fermés, il est typique la colonne de gaz s'étende jusqu'à la première zone de la perméabilité majeure.

2.6. Confinement de la pression

2.6.1. – Évaluation de la pression de confinement effective

La pression de confinement effective **sera** évaluée à chaque profondeur à l'intérieur du puits, jusqu'au sabot de la colonne perdue de production.

NOTE

Les formations géologiques peu profondes associées à des réservoirs géothermiques sont habituellement stratifiées, et contiennent éventuellement des couches de perméabilité forte et faible. Les couches perméables ne retiennent pas toujours la pression à un niveau nettement plus élevé que la pression interstitielle de la formation. Dans ce cas, la pression de confinement effective reposera sur une formation plus adaptée située à un niveau supérieur. La capacité de confinement de la pression à l'intérieur des zones perméables sera régie par la dissipation du fluide à l'intérieur des formations perméables, et par la somme du confinement de la pression et du gradient de la pression de fracture des formations situées au-dessus de la profondeur considérée.

2.6.2. – Objectif de confinement de la pression

L'objectif primaire de confinement de la pression consiste en la prévention d'une éruption du puits vers la surface, que ce soit du fait de formations, de failles, d'autres puits ou du sous-sol.

Une fonction secondaire du confinement de la pression consiste à prévenir la contamination croisée de fluides souterrains.

NOTE

- (1). Si une roche faiblement consolidée ou fracturée présentant une perméabilité connectée dans le sens verticale ou une caractéristique structurale (telle qu'une faille) relie le forage non tubé à la surface au sol, il y a une possibilité d'éruption si les pressions dans le puits de



forage excèdent la pression hydrostatique en dessous du niveau de la nappe phréatique. Cette situation peut être générée depuis un point profond du puits, même si le fluide de refroidissement est injecté vers une moindre profondeur.

- (2). Une éruption peut se produire si la pression du fluide dépasse le niveau nécessaire pour provoquer la rupture et un écoulement dans les formations supérieures. Voici les points significatifs liés aux éruptions géothermiques hors de la tête du puits:
 - (a) l'échappement du fluide du puits peut se produire depuis des profondeurs très faibles – moins de 150 m;
 - (b) dans les puits géothermiques, des écoulements entre les zones se produisent régulièrement au sein du réservoir à haute température et ne sont pas considérés comme des éruptions Voir 1.3.2 à la page 3;
 - (c) une stricte adhérence à la théorie classique de la fracturation hydraulique peut conduire à un nombre irréaliste de colonnes de tubage à de faibles profondeurs et devrait être spécifiquement évoquée dans le document de design du puits; et
 - (d) accroître la protection contre les éruptions de surface en positionnant la section la plus basse de chaque colonne dans la formation qui convient au plan structural et est relativement imperméable. La sélection des profondeurs de sabot est facilitée par l'examen des faibles profondeurs, voir 3.3.1 (voir page 51), mais une telle préparation ne remplace pas le besoin de réviser la situation au fur et à mesure que le forage progresse.

2.6.3. – Estimation de la pression de fracture de la formation

Là où la pression de fracture de la formation n'est pas connue, elle peut être estimée en recourant à la formule d'Eaton (Eaton, 1969) comme suit:

$$P_{frac} = P_f + \frac{\nu}{1 - \nu} (S_v - P_f)$$

2.7. Profondeurs de fixation des tubages

2.7.1. – Profondeurs minimales des sabots de tubage

La profondeur minimale du sabot de tubage de chaque colonne de tubage ou de colonne perdue cimentée **sera** calculée de façon à être la profondeur à laquelle la formation présente une pression de confinement effective égale à la pression de design maximale que l'on s'attend à rencontrer dans la prochaine section du forage non tubé.

Les profondeurs verticales **seront** utilisées pour tous les calculs de profondeur de réglage des sabots de tubage.



2.7.2 – Sélection de la profondeur du sabot de tubage de design

Pour chaque tubage, la profondeur du sabot de tubage ne **sera** pas fixée à un niveau moindre que la profondeur minimale du sabot de tubage telle que décrite ci-dessus. Les raisons motivant un placement du sabot de tubage à un niveau plus bas que la profondeur minimale du sabot de tubage peuvent être les suivantes:

- (a). Placer le sabot de tubage dans une formation adaptée;
- (b). Exclure les zones de perte ou les zones à problèmes;
- (c). Réaliser une isolation du réservoir et empêcher la pénétration de courants froids ou une communication indésirable entre les zones;
- (d). Fournir une protection supplémentaire contre la corrosion; et
- (e). Éviter la possibilité d'une interférence ou d'une communication avec un puits adjacent.

2.7.3. – Considérations relatives aux colonnes perdues cimentées et aux raccordements

Les points suivants **devront** être pris en compte lors de la détermination de la profondeur du sabot de tubage de design pour les colonnes perdues cimentées.

- (a). Les recouvrements cimentés **seront** testés avant de forer le sabot afin de s'assurer qu'ils présentent une intégrité de pression adéquate pour forer la prochaine section de puits. On ne peut pas considérer que les recouvrements cimentés, avec ou sans tubage de raccordement, fournissent une étanchéité dans toutes les directions (contenus du puits fuyant hors du puits ou fluide de la formation fuyant dans le puits) sur toute la durée de vie d'un puits géothermique, mais on peut considérer qu'un recouvrement testé fournit une étanchéité adéquate pendant les opérations de forage
- (b). Lorsque le dernier tubage cimenté consiste en un raccordement de la colonne perdue, il **faudrait** tenir compte de la pression de confinement effective de la formation sur le sabot de la colonne de tubage cimentée précédente. La pression à l'intérieur ou à l'extérieur du puits ne peut pas être contenue sur le recouvrement de la colonne perdue et la liaison de la colonne de raccordement pendant toute la durée de vie du puits.





2.7.4. – Processus de design de la profondeur du sabot de tubage du puits

Le design de la profondeur de tubage **devrait** commencer par la sélection de la profondeur verticale maximale planifiée pour le puits.

À partir de ce point de départ, déterminer la profondeur du sabot de la colonne perdue de production de design telle que spécifiée dans 2.7.1 et 2.7.2 ci-dessus.

Utilisez cette profondeur de design pour déterminer la profondeur de sabot de design de la prochaine colonne de tubage en recourant au même processus.

Répétez ce processus pour déterminer les profondeurs de placement de toutes les colonnes de tubage restantes en retour jusqu'à la surface.

La figure 4 (voir page 32) représente un exemple de la manière dont les profondeurs de placement des sabots de tubage sont établies pour un puits à quatre colonnes (y compris le tube-guide). Dans cet exemple, des profondeurs verticales minimales de sabots de tubage de 1000 m, 400 m, 150 m, et 30 m ont été calculées pour une profondeur verticale de puits de 2000 m.

2.8. Diamètres des tubages

2.8.1. – Sélection du diamètre du tubage

Le diamètre intérieur de la colonne perdue de production ou des colonnes perdues de production cimentées **devrait** être sélectionné de façon à pouvoir y loger:

- (a). les équipements de fond de puits, tels que les colonnes et les équipements d'essai requis pour achever le puits;
- (b). outils de forage et fluides nécessaires pour forer et entretenir le reste du puits;
- (c). capacité de production ou d'injection souhaitée;
- (d). Les diamètres des outils de repêchage; et
- (e). Objectifs opérationnels destinés à atteindre des vitesses d'écoulement et des pertes de pression acceptables.

2.8.2. – Distance entre les tubages

Les tailles des tubages **devraient** être sélectionnées afin de procurer une distance suffisante entre les colonnes afin de permettre une cimentation satisfaisante du tubage complet vers l'anneau de tubage.

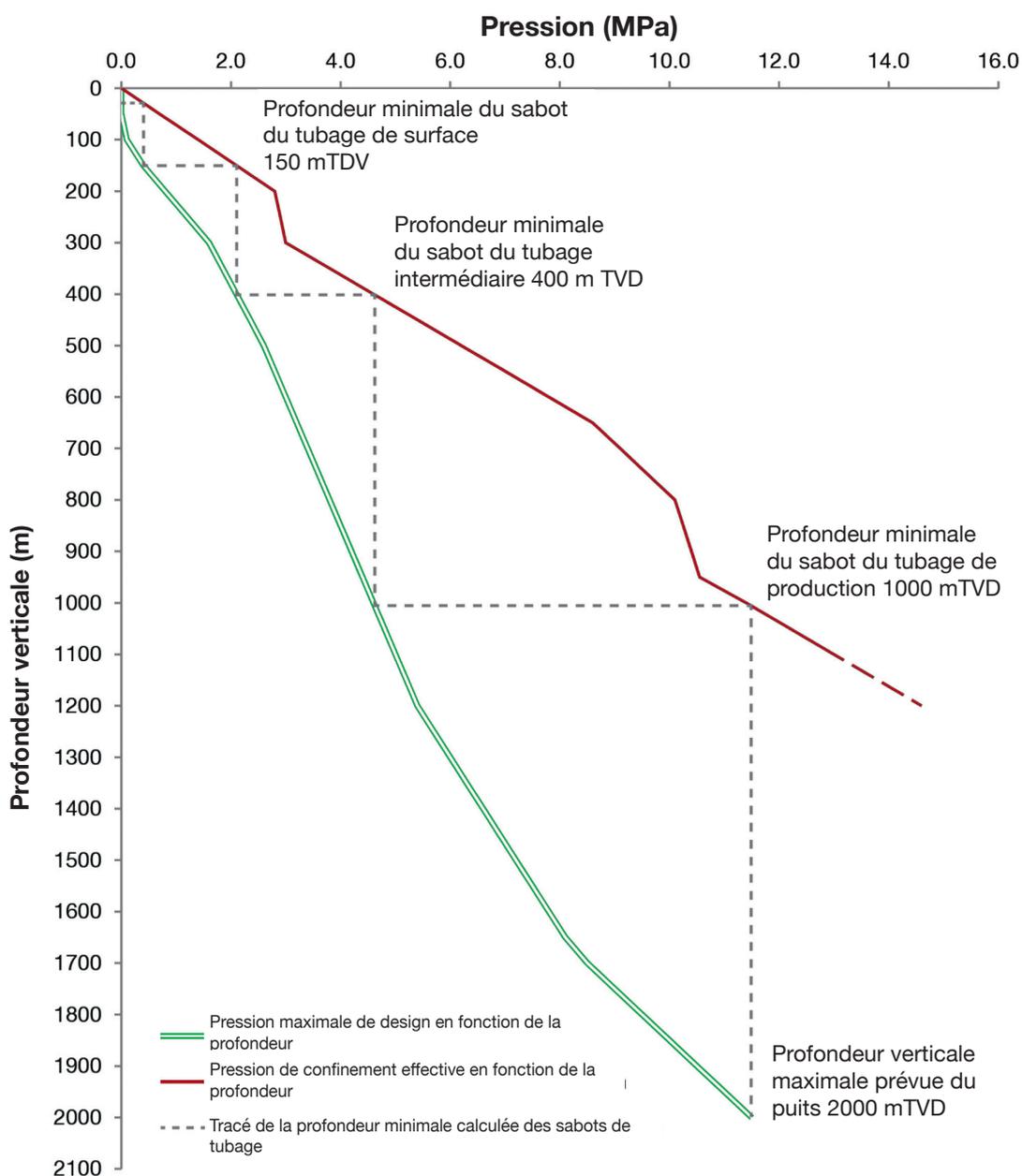
2.8.3. – Spécification des tailles des tubages

Les diamètres des colonnes de tubage **devraient** être sélectionnés à partir de l'API Spec 5CT ou de l'API Spec 5L.





Figure 3
Exemple de méthode de sélection de profondeur minimale de sabot de tubage



2.9. Matériaux et propriétés de performance des tubages

2.9.1. – Spécifications des nuances de tubage

Les tubages en acier **devraient** être sélectionnés à partir de l'API Spec 5CT ou de l'API Spec 5L.

NOTE

Alors que l'acier faiblement allié est le matériau prédominant utilisé pour le tubage, des conditions spéciales (notamment une exposition sévère à la corrosion) pourraient faire envisager de prendre d'autres produits en considération.





2.9.2. – En cas de présence de gaz

Dans les situations où il pourrait y avoir du gaz, les matériaux de tubage **seront** sélectionnés afin de réduire au minimum les possibilités de défaillance du fait d'une fragilisation par l'hydrogène ou d'une corrosion sous contrainte due au sulfure. Afin d'être en mesure de résister aux attaques du H₂S, il **faudrait** sélectionner des matériaux qui sont approuvés ou conforme ANSI/NACE MR 0175/ ISO 15156. De tels aciers API approuvés sont:

nuances Spec 5CT.: H-40, J-55, K-55; M65,
L-80 type 1, C90 type 1, T95 type 1;

nuances Spec 5L.:A, B et X-42 jusqu'à X-65

L'utilisation d'autres aciers de nuance API ou de propriétaire exclusif **devrait** être restreinte aux aciers possédant des propriétés métallurgiques qui ont démontré qu'ils convenaient à un usage dans l'exploitation de gaz acides dans l'industrie du pétrole ou géothermique.

NOTE

- (1). La résistance des aciers faiblement alliés à la corrosion sous contrainte due au sulfure dépend de la composition chimique de ces derniers et de leurs processus de fabrication incluant le traitement thermique. En général, ce sont les aciers présentant une faible résistance à la rupture et une dureté inférieure à 22 sur l'échelle C de Rockwell qui font preuve de la plus grande résistance. Voir la section 1 et 2 de l'ANSI/NACE MR 0175/ ISO 15156 pour les détails.
- (2). On ne s'attend pas à ce que la corrosion sous contrainte due au sulfure devienne un problème à des températures élevées. Ceci est dû au fait que l'acier est moins susceptible de subir de telles attaques et que les contraintes de traction sont faibles. Mais si un puits ayant été exposé au H₂S à des températures élevées est tué, une fracturation peut se produire, si bien qu'il est impossible de se fier aux températures élevées pour prévenir la fracturation, sauf si le puits est maintenu en permanence dans cet état.

2.9.3. – Spécifications d'autres matériaux de tubage

Dans les cas où des aciers API faiblement alliés traités au 2.9.2 ne devaient pas convenir, il faudrait spécifier des matériaux alternatifs pour les tubages ou les colonnes perdues. Les propriétés pertinentes des matériaux sélectionnés **conviendront** à l'exploitation sur toute la plage des températures attendues. L'évaluation de matériaux alternatifs **devrait** inclure les résultats d'essais à long terme pour des matériaux similaires. Les produits renforcés par des fibres devraient être considérés et devraient être conformes à l'API Spec 15HR.

2.9.4. – Effet de la température sur les propriétés du tubage

Sauf si d'autres valeurs **doivent** être appliquées à des aciers spéci-



fiques, le coefficient d'expansion thermique (α) devrait être calculé comme suit:

$$13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

La constante de contrainte thermique à considérer pour l'acier des tubages tenus contre le mouvement est **E.a**.

En l'absence d'autres données, un calcul conservateur pour ceci correspondra à:

$$210 \times 10^3 \times 13 \times 10^{-6} = 2.73 \text{ MPa}/^{\circ}\text{C}$$

La rupture à la traction et les résistances ultimes des matériaux de colonnes **devront** être dé-tarés à des températures élevées, tel que spécifié dans le tableau.

Tableau 4
Effet de la température sur les propriétés du tubage

Nuance	Température (°C)						
	20	100	150	200	250	300	350
	Résistance à la rupture API (facteur)						
J55/K55	1,00	0,94	0,90	0,90	0,85	0,80	0,70
L80/C90/T95	1,00	0,96	0,92	0,90	0,88	0,85	0,81
	Résistance à la traction (facteur):						
Toutes les nuances	1,00	0,96	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84
	Module d'élasticité (103.MPa)						
Toutes les nuances	210	205	201	197	194	190	185
NOTE							
(1) Les valeurs indiquées dans le tableau se situent généralement dans une marge de 5% par rapport aux valeurs sélectionnées.							
(2) On ne dispose pas de données d'essais publiées suffisantes sur certains aciers préférés listés en 2.9.2 pour pouvoir inclure ces dernières dans le tableau 4.							
(3) Le tableau 4 a été préparé en se fondant sur les données publiées récupérées auprès de sociétés telles que Tenaris, Sumitomo, Grant Prideco et Nippon. Ces jeux de données présentent quelques différences. Ce tableau représente une limite inférieure réaliste de ces données.							

2.9.5. – Propriétés de performance

Aux fins du design, on **recourra** aux tableaux et équations de la publication API TR 5C3 pour calculer les propriétés de performance du tubage telles que:

- (a). résistance axiale;
- (b). résistance interne à la pression; et
- (c). résistance à l'écrasement.



Les propriétés de performance et de résistance **seront** modifiées chaque fois que cela sera nécessaire afin de répondre aux effets de:

- (a). la température;
- (b). la corrosion;
- (c). l'érosion; (d). l'usure, et
- (e). le potentiel d'endommagement des tubages pendant l'installation de ces derniers.

2.10. Contraintes dans les tubages

2.10.1 – Évaluation de la contrainte dans les tubages

2.10.1.1

Le design de tubages **tiendra compte** des effets de toutes les combinaisons de pression, de température et de changements de température susceptibles de se produire à tout moment et à toute profondeur pendant le forage et l'exploitation du puits. On retiendra, parmi les aspects particuliers à prendre en compte:

- (a). les espaces destinés à l'expansion ou la contraction linéaire des longueurs non cimentées de tubages ou de colonnes perdues, y compris les effets potentiels agissant sur la suspensoir de colonne perdue;
- (b). les espaces destinés à l'expansion ou la contraction linéaire des longueurs non cimentées de tubages ou de colonnes perdues, y compris les effets potentiels agissant sur la colonne perdue;
- (c). une intégrité d'étanchéité adéquate aux points de raccord, afin d'assurer un design plastique axé sur la déformation (voir 2.10.1.4);
- (d). les accumulations de contraintes découlant des propriétés des matériaux ou des variations de dimensions susceptibles de conduire à des fatigues ou des défaillances sur un cycle court, toujours afin d'assurer un design plastique axé sur la déformation; et
- (e). la prévoyance de l'expansion thermique de liquides.

2.10.1.2

Les contraintes sur les tubages **seront** évaluées:

- (a) en calculant chaque contrainte individuelle en se fondant sur les méthodes indiquées en 2.10.2, 2.10.3, 2.10.4, et 2.10.5; ou
- (b) en calculant la contrainte triaxiale en se recourant à l'API TR 5C3 ou à méthodes équivalentes. Le calcul de contrainte triaxiale combine toutes les contraintes agissant sur le tubage, comme cela est listé en (i) à (iv), afin de déduire la contrainte équivalente maximale:





- (i) la contrainte radiale et circonférentielle telle que déterminée par les équations de Lamé pour un cylindre épais
- (ii) la contrainte axiale uniforme due à toutes les sources à part la flexion
- (iii) la contrainte de flexion axiale pour une poutre de Timochenko
- (iv) la contrainte de cisaillement torsionnelle due à un couple aligné avec l'axe du tuyau

Le facteur de design pour le design triaxial est:

contrainte de rupture minimale de matériau
contrainte triaxiale équivalente totale maximale

Les calculs de contrainte indiqués aux points 2.10.2, 2.10.3, 2.10.4 et 2.10.5, et le calcul de contrainte triaxial sont tous basés sur une contrainte maximale dans le tubage limitée à la résistance à la rupture du tubage en incluant le facteur de design spécifié. Les calculs de contrainte individuels et le calcul de contrainte triaxial ne sont pas applicables à un design plastique ou axé sur la déformation. Les facteurs de design associés **ne devraient pas** être utilisés dans ce cas. Les designs plastiques ou axés sur la déformation répondant aux contraintes induites thermiquement sont discutés au point 2.10.3.4 (voir page 34).

2.10.1.3

Une chute de la pression externe et un gauchissement axial peuvent avoir une autre origine que le dépassement de la contrainte de rupture du matériau. Ces types de défaillance **seront** pris en considération dans le cadre d'un calcul séparé du calcul de contrainte triaxial. Voir le point 2.10.5 (page 38) pour le calcul de la pression externe nette (d'écrasement) et la comparaison par rapport à la résistance à l'écrasement du tubage.

2.10.1.4

Dans le cas où les colonnes de tubage sont réalisées dans deux matériaux ou plus, le design **tiendra compte** du coefficient relatif d'expansion thermique de chaque matériau.

NOTE

Les amplitudes des effets thermiques sont illustrées par les exemples suivants:

- (a). L'expansion libre est d'environ 1,8 m pour 1000 m de longueur de tubage d'acier et une hausse de la température de 150°C;
- (b). La contrainte de compression induite dans ce cas en prévenant l'expansion est de 409 MPa. À titre de comparaison, l'acier de tubage de nuance K-55 présente une résistance minimale à la rupture de 379 MPa.





2.10.1.5

Si on s'attend à ce que les contraintes thermiques s'approchent de voire dépassent la résistance à la rupture du matériau de tubage, il **faudra** sélectionner les raccords de tubage de manière à ce qu'ils possèdent une résistance suffisante pour compenser ou dépasser la résistance à la rupture du corps du tuyau, tant en termes de compression que de tension. Un tel examen de la résistance des raccords tiendra compte de l'effet de la hausse de la température.

NOTE

- (1). Une défaillance axiale se produit habituellement sur ou à proximité immédiate d'un raccord de tubage lorsque des filetages en V lourdement chargés tendent à se séparer dans le sens radial sous l'effet d'une force de calage avant de glisser dans le sens longitudinal en vertu d'un mécanisme connu sous le nom de 'détricotage'. Les formes de filetage carré et les raccords épaulés défontent sous l'effet de la compression par gauchissement de tuyau plus mince ou de la section de raccord. Les caractéristiques des raccords tels que les raccordements broche à broche ou les raccords épaulés peuvent procurer une résistance supplémentaire à la compression.
- (2). Seules les résistances à la traction sont listées pour les raccords de tubage dans les bulletins API et la plupart des fiches techniques exclusives (de propriétaires).
- (3). Une étanchéité à 100% des raccords de gaz n'est pas considérée comme une exigence primaire pour l'exploitation géothermique. Si le concepteur du puits devait considérer que l'étanchéité est essentielle, les raccords de tubage pour la colonne perdue de production devraient être sélectionnés de façon à maintenir, lors des cycles thermiques, l'étanchéité au gaz à des plages de températures allant jusqu'à la température de production attendue.

2.10.1.6

Il **faudrait** examiner les effets de la rupture plastique et du relâchement de contrainte avec le temps si on s'attend à une rupture plastique. L'évaluation des forces de traction pendant le tuage d'un puits **devrait** supposer que les contraintes de tubage ont été neutralisées au cours du temps dans le cadre de l'état normal du puits – c'est-à-dire fermeture, purge ou production.

NOTE

La mise en chauffe initiale du puits induit des contraintes de compression dans des tubages cimentés. On peut partir du principe que ces contraintes diminuent avec le temps, à des rythmes qui peuvent être significatifs à des niveaux de température et de contrainte élevés, et qui varient avec la microstructure du matériau de tubage particulier. La réduction de contrainte dans le cadre de ce mécanisme a tendance à prendre des semaines et des mois. Du fait de cette réduction de contrainte, le refroidissement consécutif d'un puits entièrement chauffé est susceptible de développer des contraintes de traction supérieures à celles qui étaient apparues au moment de l'installation du tubage (voir 2.10.3.3 à la page 34).

Si on s'attend à une rupture plastique, le design devrait prendre en compte l'effet d'une fracturation de fatigue oligocyclique.



2.10.2. Évaluation des charges axiales avant et pendant la cimentation

2.10.2.1

Jusqu'à ce que le ciment annulaire prenne autour du tubage, la force de traction à n'importe quelle profondeur sera calculée en prenant en compte le poids dans l'air des matériaux de tubage, augmenté du poids des contenus du tubage, diminué de l'effet de poussée de tout fluide déplacé par le tubage. Celle-ci est définie comme suit:

$$F_{\text{crochet}} = F_{\text{tubage air humide}} + F_{\text{contenu tubage}} - F_{\text{fluides déplacés}}$$

où:

$$F_{\text{tubage air humide}} = L_z \cdot W_p \cdot g \times 10^{-3}$$

$$F_{\text{contenu tubage}} = \sum \rho_{if} \cdot L_{if} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot g \times 10^{-6}$$

$$F_{\text{fluides déplacés}} = \sum \rho_{ef} \cdot L_{ef} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot g \times 10^{-6}$$

NOTE

Il est possible que $F_{\text{charge crochet}}$ soit négative. Dans ce cas, le tubage flotte et peut être poussé hors du puits. Dans ces circonstances, des mesures devraient être prises pour retenir le tubage contre cette flottaison.

10.2.2

La différence entre le poids de l'air du tubage ($F_{\text{tubage air humide}}$) et la charge de crochet ($F_{\text{charge crochet}}$) est la force de poussée appliquée ($F_{\text{poussée}}$). La force de poussée positive agit vers le bas, et la force de poussée négative agit vers le haut. Ceci est calculé de la façon suivante:

$$F_{\text{poussée}} = (F_{\text{charge crochet}} - F_{\text{tubage air humide}}) = (F_{\text{contenu tubage}} - F_{\text{fluides déplacés}})$$

À moins qu'une évaluation plus détaillée ne s'impose, la force de poussée devrait être considérée comme étant appliquée en tant que charge ponctuelle à la profondeur à l'intérieur du tubage qui retient la pression différentielle. Ce sera typiquement au niveau du collier de forage flottant ou du sabot de forage, ou à la surface.

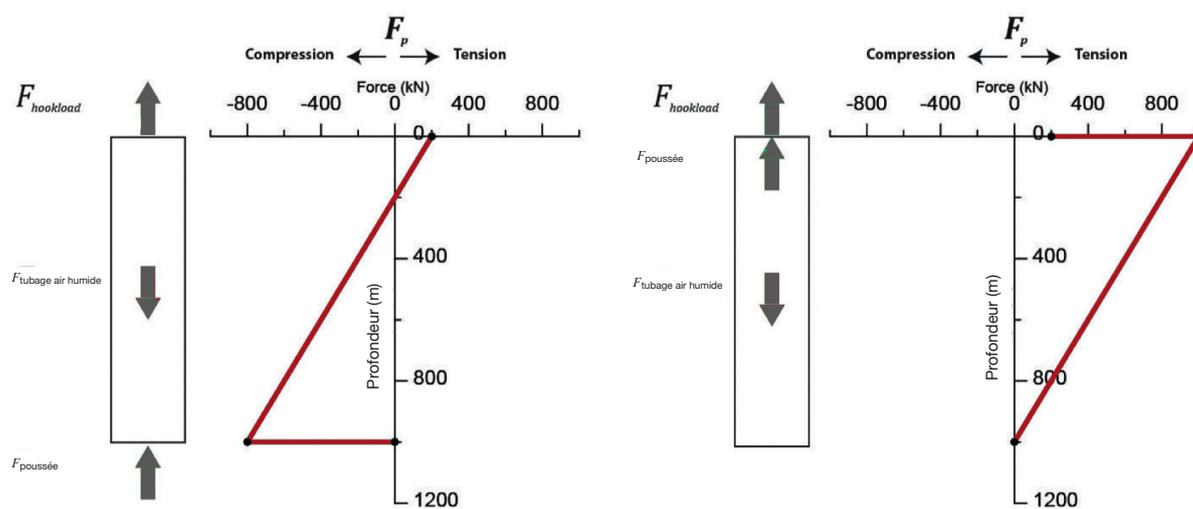
2.10.2.3

La force à n'importe quel point dans le tubage sous des charges hydrauliques et gravitationnelles avant la prise du ciment – définie comme F_p – peut être évaluée comme correspondant aux charges ponctuelles appliquées, $F_{\text{charge crochet}}$ et $F_{\text{poussée}}$ et le poids d'air du tubage depuis la surface vers le bas jusqu'à la profondeur considérée (Voir la figure 4 à la page 32).



Figure 4

Exemple de calcul de forces de tubage avant la prise du ciment pour des situations dans lesquelles la force de poussée est appliquée au fond du tubage (Figure 4a) et où elle est appliquée en surface (Figure 4b). Pour cet exemple, $F_{poussée} = -800$ kN et $F_{tubage\ air\ humide} = 1000$ kN. Les deux exemples ont $F_{charge\ crochet} = 200$ kN, mais possèdent des forces internes différentes.



(a) Force de poussée appliquée au fond du tubage

(b) Force de poussée appliquée à la surface

2.10.2.4

Outre les charges statiques, la force de traction de design **devrait** répondre:

- (a). aux charges dynamiques imposées pendant la mise en place du tubage. Ces charges résultent de l'accélération lorsque la colonne est soulevée du reste vers la vitesse de levage, ou la décélération due au freinage ou réglage du glissement; et
- (b). Les forces de résistance développées par le tubage agissant contre le côté du puits de forage, en agissant dans le sens inverse à celui du déplacement.

2.10.2.5

Dans un puits infléchi non-vertical, la contrainte de flexion maximale induite est:

$$f_b = 0.291 \times E \times q \times D \times 10^{-6}$$

Cette contrainte est appliquée à la fois en tant que contrainte de compression supplémentaire à l'intérieur de l'arc, et la contrainte de traction supplémentaire à l'extérieur de l'arc. Les contraintes supplémentaires **seront** ajoutées à la contrainte de tubage créée par le poids, les charges hydrauliques et les charges thermiques.





2.10.2.6

La force de traction de design **inclura** toutes les pré-tensions de la section supérieure de la colonne qui peuvent être appliquées après l'ancrage du sabot (généralement par cimentation primaire), afin de réduire les contraintes de compression ultérieures due à la mise en chauffe.

2.10.2.7

Les charges axiales appliquées avant la cimentation **seront** ajoutées ensemble chaque fois qu'elles peuvent être appliquées simultanément. Lorsque la résistance minimale devant être utilisée est la plus petite des valeurs du corps de tuyau ou de raccord de tubage, le facteur de design est:

$$\frac{\text{résistance minimale à la traction}}{\text{charge maximale à la traction}}$$

2.10.3. Évaluation de la charge axiale après la cimentation

2.10.3.1

Les forces axiales imposées après la cimentation **seront** vérifiées par rapport à leur applicabilité et à leur amplitude à proximité du sommet et du sabot de la colonne de tubage. Pour calculer la force résultante nette ou totale, chacune des charges **sera** combinée avec la force statique présente dans le tubage au moment de la prise du ciment. Si la contrainte calculée en 2.10.3.2 ou 2.10.3.3 dépasse la contrainte de rupture, il faudra recourir à un design plastique/axé sur la déformation.

La force statique présente est normalement F_p telle que calculée en 2.10.2.1. Les contraintes sont représentées dans la figure 5 à la page 35.

2.10.3.2

Le changement dans la force axiale (avec une tension positive) du à la hausse de la température dans des situations de contrainte longitudinale et latérale partielle est :

$$F_c = E.a(T_1 - T_2)A_p \times 10^{-3}$$

La force résultante est: $F_r = F_p + F_c$

Si la contrainte résultante dépasse la contrainte de rupture de matériau, alors on **tiendra** compte du point 2.10.3.4.

NOTE

Aux sections en angle du puits de forage, les forces de compression dans le tubage augmenteront et ces forces sont ajoutées aux charges de compression induites sur le tubage. Il faut tenir compte dans le design du potentiel d'amincissement du tubage sur ces sections coudées du fait des opérations de forage.





2.10.3.3

Ignorant toutes les dissipations de contrainte avec le temps, la réduction de température provoque, lorsque du fluide froid est circulé depuis la surface pendant les opérations suivantes de forage, de test ou de réinjection, un changement dans la tension axiale correspondant à:

$$F_t = E \cdot a(T_1 - T_3) \times A_p \times 10^{-3}$$

À toutes les profondeurs, sauf à proximité de la tête du puits, la force résultante est $F_r = F_p + F_t$.

Si la contrainte résultante dépasse la contrainte de rupture de matériau, alors on tiendra compte du point 2.10.3.4.

NOTE

Si le puits s'est trouvé à des températures élevées pendant une durée prolongée, il est probable que les contraintes aient été réduites de façon significative par fluage. Dans la plupart des circonstances, on s'attendra à ce que les contraintes (tant plastiques qu'élastiques) soient à la rupture ou bien en dessous. Dans ce cas, T_1 devrait être remplacé par T_1 dans le calcul.

2.10.3.4

Les facteurs de design traditionnels ne sont pas applicables au tubage qui est conçu pour céder. Si on s'attend à ce que le tubage cède au plan thermique pendant les opérations, il sera conçu pour accepter une déformation plastique limitée, en tenant compte de la dissipation des contraintes, du durcissement cyclique et des effets de la localisation de la déformation.

NOTE

- (1). Le design du tubage peut être évalué quant à son caractère adapté en comparant le design à l'annexe E d'Industry Recommended Practice Volume IRP3-2012 (Enform Canada). L'annexe E fournit des directives destinées à montrer la manière dont les contraintes doivent être évaluées sur de multiples cycles thermiques. Holliday, 1969: 'Calculation of Allowable Maximum Casing Temperature to Prevent Tension Failures in Thermal Wells' fournit des méthodes de calcul pour vérifier si un tubage est adapté. Tenez compte du fait que ce papier n'a pas admis que la dissipation de contrainte pourrait se produire au-dessus de 200°C.
- (2). Les déformations axiales $\leq 0,5\%$ ne sont pas considérées comme un sujet de préoccupation en termes de fatigue oligocyclique (Enform Canada, IRP3 2012).

2.10.3.5

Il faudrait tenir compte de forces déséquilibrées pour les raccords entre les tubages de zones transversales différentes.

Les forces thermiques sont à la fois multipliées et divisées par la zone transversale. Si deux tubages possèdent des zones transversales,



ceci aura pour effet qu'une force plus importante sera appliquée au membre le plus faible et générera une contrainte plus importante au-dessus des contraintes de charge thermiques.

2.10.3.6

La tension apparaissant au sommet de toute colonne qui ancre une tête de puits contre la force de levage appliquée au fluide dans le puits est:

$$F_w = \frac{\pi}{4} \times P_w \times d^2 \times 10^{-3} - F_m$$

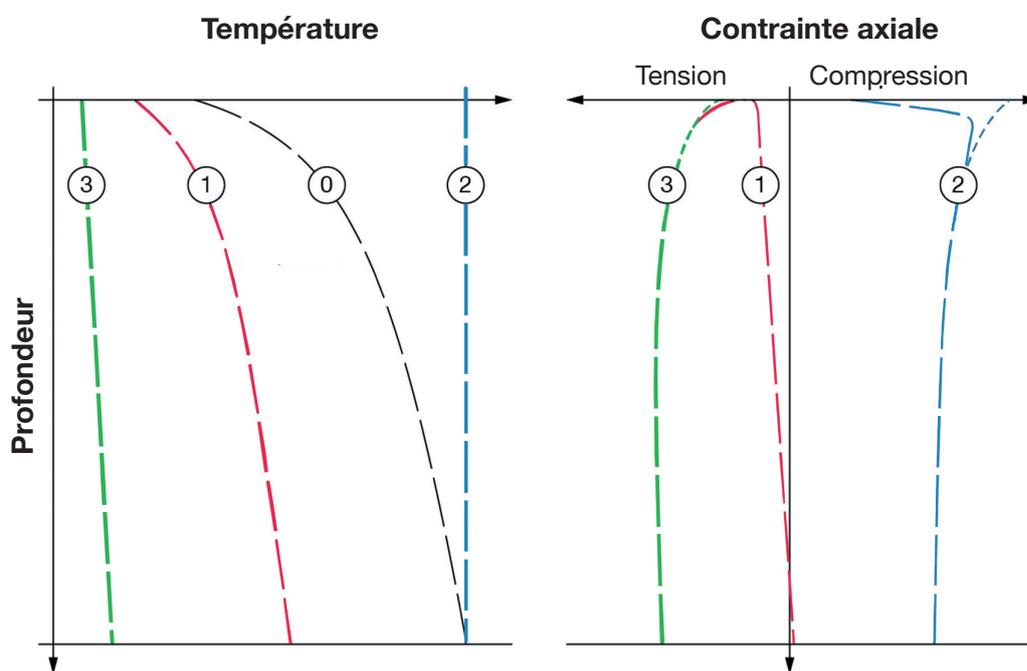
Pour permettre la variation de la résistance de l'acier avec le changement de température, il **faudra** contrôler à la fois les états de chaleur (vapeur) et de froid (gaz) de la tête de puits. Le facteur de design du point 2.10.2.7 s'applique.

Une alternative pourrait consister à considérer cette charge en même temps que les contraintes circonférentielles dans le cadre d'une analyse de contrainte biaxiale, tel que cela est décrit au point 2.10.5.4. Voir figure 5.

NOTE

Ceci ne nie pas le besoin de calculer la pression différentielle maximale évoquée au point 2.10.6.3 (voir page 39).

Figure 5
Contrainte sur le tubage en fonction de la température



Voir la **figure 5 note** à la prochaine page



Figure 5 Note

Les courbes sont des exemples des conditions suivantes:

courbe 0: dans les formations non perturbées;

courbe 1: à la prise du ciment, avec tubage suspendu au crochet;

courbe 2: à température maximale, avec de la vapeur dans le puits; et

courbe 3: à température minimale, pendant l'injection ou la circulation de fluide froid.

2.10.3.7

Une force de levage peut être appliquée au tubage d'ancrage par l'expansion thermique d'une autre colonne de tubage lorsque le design mécanique lui permet d'interférer avec une partie de la tête de puits. Dans de tels cas, l'intégrité du tubage d'ancrage et de la tête de puits sera protégée en s'assurant qu'une défaillance quelconque se produit ailleurs. Le facteur de design est:

$$\frac{\text{résistance à la traction du tubage d'ancrage}}{\text{résistance à la compression du tubage montant}}$$

NOTE

- (1). En pratique, ceci s'applique à chaque fois où il y a un tubage de production mal cimenté à l'intérieur du tubage d'ancrage, si bien que la partie supérieure du tubage de production est libre de s'étendre. Lorsqu'il est possible de déterminer la longueur d'un tubage non cimenté (par exemple à l'aide d'une fiche des raccords cimentés), la solution pratique consiste à retirer suffisamment de longueur du tubage de production de façon à ce que l'extrémité libre d'expansion ne puisse pas atteindre la bride de tête de tubage.
- (2). La résistance minimale à la traction correspondra probablement au raccord entre le sommet du tubage d'ancrage et la bride de tête de tubage.

2.10.4 Évaluation de la charge axiale de colonnes perdues non cimentées soumises à un gauchissement et à une flexion

2.10.4.1

Les colonnes perdues non cimentées, qu'elles soient accrochées en tension depuis le sommet de la colonne perdue ou supportées sur le sabot en compression, **devraient**:

- (a). permettre une expansion thermique à leur extrémité libre; ou bien
- (b). la colonne perdue **sera** conçue de manière à résister à toute force de gauchissement supplémentaire imposée.

Chaque fois qu'une colonne perdue ou un tubage n'est pas complètement retenue dans le sens radial, elle **devrait** être analysée par rapport aux possibilités de gauchissement hélicoïdal.





NOTE

Les colonnes perdues suspendues devraient être plus difficiles à placer et à récupérer que les colonnes perdues supportées au fond du fait que les dépôts de minéraux peuvent empêcher le décrochement de la suspente. Par ailleurs, la nécessité de laisser un jeu pour l'expansion thermique empêche de protéger le fond du puits par une colonne perdue de tension. Mais il ne devrait pas apparaître de contraintes de gauchissement et de compression dans une colonne perdue accrochée.

2.10.4.2

La contrainte totale de compression extrême des fibres dans une colonne perdue non cimentée soumise à son propre poids dans le sens axial et à un gauchissement hélicoïdal est:

$$f_c = L_z \times W_p \times g \times \left[\frac{1}{A_p} + \frac{De}{2I_p} \right]$$

NOTE

Lorsqu'une colonne perdue non cimentée est soumise à une contrainte de compression (par exemple une colonne perdue perforée supportée au fond du puits), le tuyau subira une légère flexion dans les limites imposées par la paroi du trou, et adoptera probablement une position légèrement hélicoïdale. Le rapport du diamètre du forage vis-à-vis du diamètre du tuyau déterminera le montant de la flexion et par conséquent les contraintes de flexion.

Le facteur de design est:

$$\frac{\text{contrainte de rupture minimale. } x.R_j}{\text{contrainte de compression totale}}$$

lorsque R_j ne dépasse pas 1.0.

NOTE

- (1). Un gauchissement (notamment dû à l'augmentation de la température avec contrainte d'extrémité) peut se produire lorsqu'il n'y a pas de support latéral suffisant du fait d'un forage surdimensionné ou érodé;
- (2). Voir 2.10.1.4 (voir page 29) pour les directives concernant les raccords de tubage et les résistances des raccords.
- (3). Dans certaines circonstances, il pourrait être acceptable de permettre à une colonne perdue d'être contrainte au-delà de la contrainte de rupture à partir du moment où cela n'a pas d'effet négatif significatif sur l'intégrité du puits.

2.10.4.3

Les colonnes perdues perforées devraient être conçues avec un jeu suffisant pour l'affaiblissement de la section du tuyau résultant de:

- (a). réduction de la section effective et du module de résistance de la section;
- (b). concentration de la contrainte là où il y a un coude dans le puits de forage; et
- (c). réduction de la résistance de l'acier du fait du processus de perforation.





NOTE

Certaines méthodes de coupage au chalumeau peuvent induire des micro-fissurations de l'acier du tubage. Les poinçonnages provoquent des concentrations de contraintes locales.

2.10.5 – Évaluation des contraintes circonférentielles

Les contraintes circonférentielles dues aux causes suivantes **seront** examinées:

- (a). la différence entre les pressions à l'intérieur et à l'extérieur du tubage avant et pendant les opérations de cimentation;
- (b). les pressions de fluide de puits à l'état statique ou bien lors de la production ou de l'injection.
- (c). les changements de température accompagnés de restrictions des mouvements;
- (d). réchauffement d'un liquide confiné; et
- (e). charge dynamique

NOTE

À l'état statique, la pression de fluide d'une formation à n'importe quelle profondeur forée peut être reflétée à n'importe quel niveau supérieur par une colonne de vapeur ou de gaz dans le puits. Voir la figure 2 à la page 18.

2.10.6 – Contrainte circonférentielle – Rupture interne

Le design **assurera** une sécurité adéquate contre la rupture naissant de la pression de fluide interne due à l'une des causes quelconques suivantes:

- (a). la pression de surface plus une colonne statique de fluide;
- (b). l'expansion thermique de liquides prisonniers;
- (c). les pressions de puits générées par la formation; et
- (d). une combinaison des effets en (a) à (c).

NOTE

Pour (b), parce que le coefficient d'expansion thermique de l'eau n'est pas constant, l'effet de l'eau de chauffage dans un espace confiné est calculé au mieux en recourant à des valeurs dérivées des tables de valeurs. À des températures au-dessus de 100°C, le changement de pression dû au changement de température est environ de 1,6 MPa/°C.

2.10.6.1

Le design assurera une sécurité adéquate contre la rupture naissant de la pression de fluide interne due à l'une des causes quelconques suivantes:

- (a). la pression de surface plus une colonne statique de fluide;
- (b). l'expansion thermique de liquides prisonniers;
- (c). les pressions de puits générées par la formation; et
- (d). une combinaison des effets en (a) à (c).





NOTE

Pour (b), parce que le coefficient d'expansion thermique de l'eau n'est pas constant, l'effet de l'eau de chauffage dans un espace confiné est calculé au mieux en recourant à des valeurs dérivées des tables de valeurs. À des températures au-dessus de 100°C, le changement de pression dû au changement de température est environ de 1,6 MPa/°C.

2.10.6.2

Pendant la cimentation, la pression différentielle interne maximale de la colonne apparaît à proximité du sabot ou des orifices de cimentation d'étage lorsque l'ensemble des points suivants s'appliquent:

- (a). le tubage est rempli de coulis de ciment;
- (b). l'anneau contient une colonne d'eau ou est soumis à une pression de formation; et
- (c). il y a une constriction suffisante à l'intérieur du tubage (par exemple un bouchon de cimentation) pour résister à la pression différentielle.

La pression différentielle interne maximale est:

$$\Delta P_{internal} = [L_z \rho_c - L_f \rho_f] \times g \times 10^{-3}$$

Le facteur de design est:

pression interne de rupture
pression différentielle interne

NOTE

La pression de rupture interne peut être dépassée si une pression suffisante est appliquée à la surface située à l'intérieur du tubage. Ceci n'est pas pris en compte à des fins de design, mais d'un point de vue opérationnel, toute pression supplémentaire appliquée doit être limitée afin de prévenir tout dépassement de la pression de rupture interne du tubage.

2.10.6.3

Après la cimentation, la pression différentielle interne maximale apparaîtra à la surface. Deux cas **devraient** être pris en compte, à savoir:

- (a). avec de la vapeur en tête de puits, le facteur de design est:

Pression de rupture interne. x.Ri
pression en tête de puits

- (b). avec du gaz froid en tête de puits, lorsque la limite à la traction de l'acier sous l'effet de la corrosion sous contrainte devrait être utilisée pour déterminer la résistance à la rupture appropriée.





2.10.6.4

Si la tête de puits est fixée au tubage considéré, il y a une situation de contrainte biaxiale. Les effets combinés de la tension axiale et circonférentielle **seront** calculés à partir de l'expression suivante:

$$f_t = \frac{\sqrt{5}}{2} \times \frac{P_w d}{(D - d)}$$

Le facteur de design est:

$$\frac{\text{résistance à la rupture de l'acier}}{\text{résistance maximale à la traction}}$$

2.10.7 Contrainte circonférentielle – écrasement

2.10.7.1

Le design du tubage **devrait** assurer une marge de sécurité adéquate contre tout écrasement du tuyau consécutif à la pression externe engendrée par l'expansion du liquide prisonnier, à la pression appliquée ou à la pression statique produite par une colonne liquide lourde telle qu'un coulis de ciment, éventuellement compte tenu d'une combinaison avec des contraintes axiales dans le cadre d'une analyse de contrainte biaxiale.

2.10.7.2

Pendant les étapes ultérieures de l'opération de cimentation du tubage, la pression différentielle externe maximale apparaît à proximité du sabot de tubage lorsque l'anneau de tubage est rempli d'un coulis de ciment dense, et le tubage est rempli d'eau. La pression différentielle externe maximale est:

$$\Delta P_{\text{externe.}} = [L_z \rho_c - L_z \rho_f] \times g \times 10^{-3}$$

Le facteur de design est dans ce cas:

$$\frac{\text{pression de rupture du tuyau}}{\text{pression différentielle externe}}$$

NOTE

- (1). La pression d'écrasement peut être dépassée si une pression suffisante est appliquée en surface à l'extérieur du tubage. Ceci n'est pas pris en compte à des fins de design, mais d'un point de vue opérationnel, toute pression supplémentaire appliquée doit être limitée afin de prévenir tout dépassement de la pression d'écrasement du tubage.
- (2). S'il existe une éventualité qu'il soit impossible d'empêcher que l'eau à l'intérieur du tubage ne puisse parvenir à l'ébullition, supposez que ρ_f est égale à zéro.
- (3). Les forces de compression qui s'exercent sur le sabot de tubage sous l'effet de forces de poussée pourraient servir à renforcer la pression d'écrasement du tubage.





- (4). La pression maximale possible provenant de l'expansion thermique d'un liquide prisonnier dépasse de beaucoup les résistances de colonnes de tubage normales, que ce soit en termes d'explosion ou d'écrasement. Le renforcement du tubage extérieur par ciment et formation signifie que le mode de défaillance correspond presque toujours à un écrasement du tubage intérieur. Pour éviter ce mode de défaillance, déployez tous vos efforts pour empêcher que du liquide ne soit emprisonné entre les colonnes de tubage pendant le placement du ciment.

2.10.7.3

Pendant les opérations de production, la pression différentielle externe maximale est atteinte à proximité du sabot de tubage lorsque l'anneau est à la pression de la formation ($P_z = P_f$) et la pression interne est contrôlée par le rabattement du puits. Dans le pire des cas, la pression interne sur le sabot de tubage peut approcher la pression de service de la tête de puits.

Le facteur de design pour le design est, dans ce cas:

$$\frac{\text{pression de rupture du tuyau}}{\text{pression différentielle externe}}$$

La résistance du tuyau à l'écrasement est réduite en tenant compte de la température sur le sabot.

2.10.8 Prévoir une réduction dans la zone transversale

2.10.8.1

L'analyse de la contrainte **tiendra** compte de la réduction graduelle de la zone transversale effective par usure, érosion et corrosion.

NOTE

- (1). Avec une charge constante, cette réduction accroîtra la contrainte sur le matériau restant.
- (2). L'érosion et l'usure peuvent être provoquées par la rotation des outils à face dure pendant le forage, ou par l'action de roches abrasives pendant le forage ou la production de fluide.

2.10.8.2

Lorsque l'érosion du tubage menace l'intégrité du puits, les mesures suivantes devraient faire partie des options considérées:

- (a). réduction des vitesses ou de la turbulence;
- (b). réduction des quantités de particules et des propriétés agressives; et
- (c). prévoir une épaisseur sacrificielle ou une colonne perdue sacrificielle.



2.10.8.3

Les effets suivants liés à la corrosion **devront** être pris en compte:

- (a). l'attaque de la surface externe de l'acier et du mortier de ciment par de l'eau de nappe phréatique et du gaz, y compris les zones proches du niveau de nappe d'eau où la présence d'oxygène accélère la rapidité de l'action chimique; et
- (b). fissuration par corrosion sous contrainte en présence de gaz d'hydrogène sulfuré froid et humide entraînant une réduction de la résistance d'acier de tubage lorsque ce dernier est soumis à une forte charge de traction.

NOTE

Lorsqu'il est complètement fermé, un puits contenant une grande quantité de gaz a tendance à se stabiliser avec une colonne de gaz froid (essentiellement du CO₂ et du H₂S) jusqu'à un niveau inférieur ou égal au sabot de tubage. Cette situation favorise également les contraintes de traction élevées dues à la baisse de la température.

2.10.8.4

Lorsque les conditions sont susceptibles de corroder le tubage, des mesures adéquates **seront** prises pour maintenir l'intégrité du puits. Ceci peut comprendre les points suivants:

- (a). prévoir une épaisseur sacrificielle ou une colonne perdue sacrificielle pour pouvoir atteindre la durée de vie requise pour le tubage;
- (b). l'application d'un revêtement résistant sur la surface du tubage;
- (c). le choix d'un matériau de tubage autre que l'acier faiblement allié – tel que des alliages à base de titane, de chrome ou de nickel, ou des résines thermodurcissable renforcées à la fibre de verre; et
- (d). limiter la durée de vie du puits lors du design.

2.10.9 – Facteurs de design lors de l'évaluation des contraintes qui s'exercent sur le tubage

Les facteurs minimaux de design d'un tubage sont résumés dans le tableau 5.

2.10.10 – Colonnes combinées

Une colonne de tubage peut consister en une combinaison de longueurs ayant différentes spécifications. Tous raccords croisés entre les sections se conformeront en tout point à ce code.

Tableau 5
Facteurs de design minimaux

Condition de contrainte	Cas de charge	Section	Facteur de design minimum
Triaxiale	Conformément aux applications et mises en garde indiqués aux points 2.10.1.2	2.10.1.2	1,25
Axiale	Force de traction pendant la mise en place et la cimentation du tubage	2.10.2.7	1,80
	Force de levage de fluide sur le tubage d'ancrage	2.10.3.6	1,80
	Charge thermique sur le tubage d'ancrage (le cas échéant)	2.10.3.7	1,40
	Gauchissement hélicoïdal dû au poids propre augmenté de la charge thermique (colonne perdue non cimentée)	2.10.4.2	1,00
Cerceau	Pression interne sur le sabot pendant la cimentation	2.10.6.1	1,50
	Pression interne sur la tête de puits (vapeur de fermeture/gaz après le forage)	2.10.6.2	1,80
	Pression interne sur la tête de puits (vapeur de fermeture/gaz après le forage) dans laquelle la tête de puits est fixée au tubage	2.10.6.3	1,50
	Chute de la pression externe (pendant la cimentation)	2.10.7.1	1,20
	Chute de la pression externe (pendant la production)	2.10.7.2	1,20

2.11 Têtes de puits permanentes

2.11.1

Composants de tête de puits visés par ce code

Les composants de la tête de puits permanente visés par ce code sont:

- (a). les brides extérieures de la vanne maîtresse de la vanne maîtresse directement exposées au fluide au sommet du puits;
- (b). les brides extérieures des vannes du côté primaire directement exposées au fluide au sommet du puits; et
- (c). le fond de la bride de tête de tubage reliant la tête de puits au tubage, augmenté de toute manchette de forage ou autres composants inclus entre ces éléments.

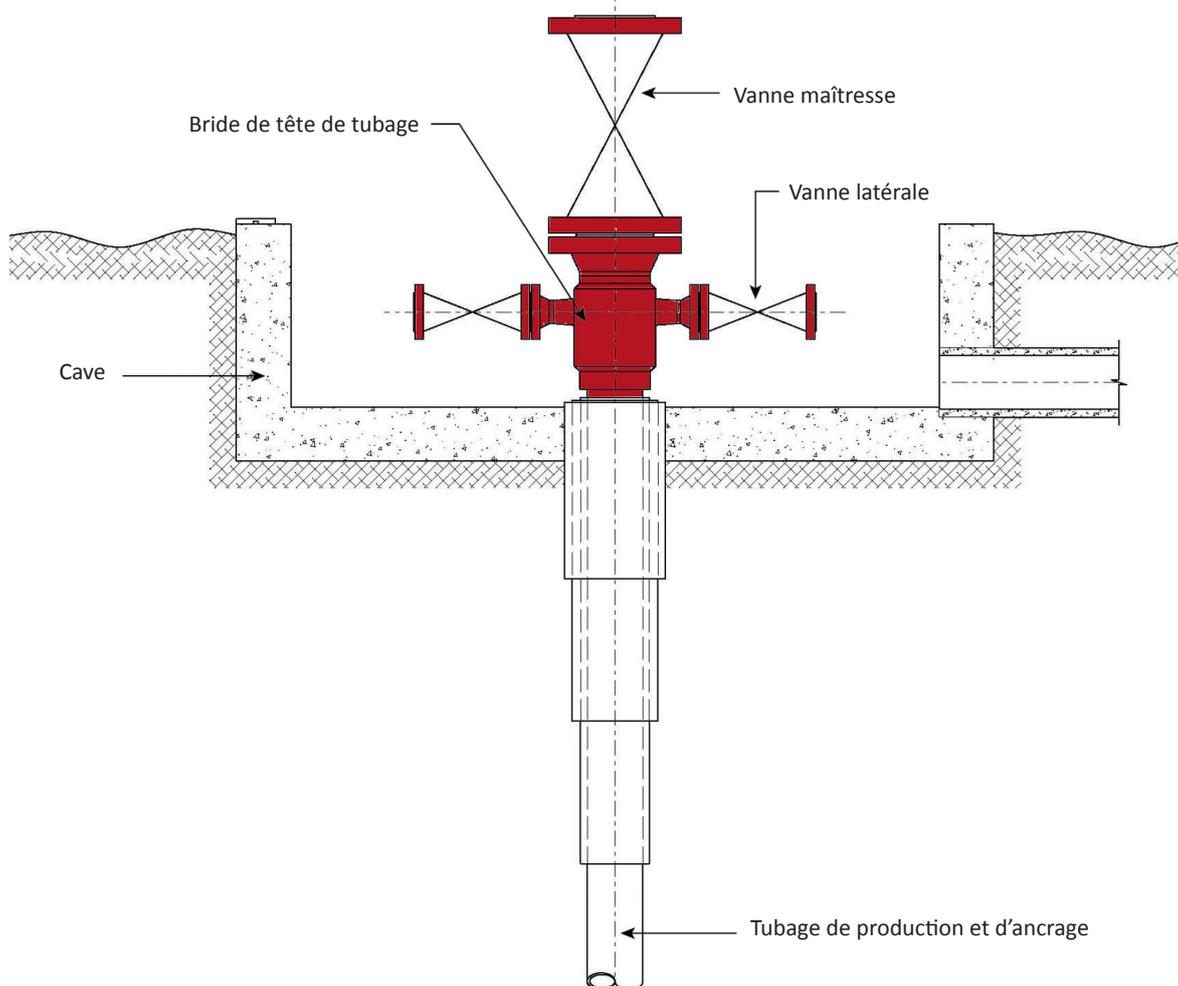


NOTE

La configuration préférée de la tête de puits est celle qui prévoit deux vannes latérales. Pour les puits réalisés avec des tubages de production de 9-5/8" ou plus, des vannes latérales d'un diamètre à alésage traversant d'au moins 3" sont recommandées afin de pouvoir disposer des débits d'injection d'eau nécessaires pour tuer certains puits.

La figure 6 illustre une tête de puits typique destinée à une installation permanente. Pour les têtes de puits de forage, voir la section 5 à partir de la page 81.

Figure 6
Tête de puits permanente typique



2.11.2. Spécifications de la tête de puits

Les têtes de puits **seront** conçues pour la pression et la température de service décrites au point 2.5 (voir à la page 19), et **seront** conformes à l'API Spec 6A ou à l'API Spec 6D.





2.11.3. Matériaux des composants de la tête de puits

Les matériaux utilisés dans les composants de tête de puits **conviennent** à une utilisation à toutes les températures, pressions et autres états de service attendue (voir la figure 3 à la page 25). Les pressions nominales de brides conformes à l'ANSI B16.5 et à l'API 6A sont établies en fonction de la température dans la figure 8 (voir page 72).

NOTE

Les matériaux ayant une teneur substantielle en cuivre ne conviennent normalement pas dans les environnements potentiellement menacés par des attaques chimiques du fait d'une teneur élevée en H₂S.

2.11.4. Facteurs de design de la tête de puits

2.11.4.1

Dans les cas où cela paraît adapté, le design prévoira:

- (a). l'environnement corrosif qui peut exister autour de la tête de puits;
- (b). le besoin de réduire au minimum la montée et la chute de tête de puits pendant l'exploitation;
- (c). l'orientation de l'équipement de la tête de puits par rapport aux puisards; et
- (d). la fixation de la tuyauterie de surface aux composants de la tête de puits.

2.11.4.2

Le design de la tête de puits **partira** du principe qu'au moins 25 m de la partie supérieure de chaque colonne de tubage s'étendra librement sur toute leur plage de température attendue, sans interférence des composants projetant ancrés aux autres colonnes de tubage.

2.11.4.3

Le design de la tête de puits **comprendra** des moyens destinés à protéger les surfaces de la tête de puits et les sommets des tubages des effets corrosifs des fluides du puits et de l'atmosphère (voir aussi le point 5.11.4.1 à la page 106).

NOTE

Une protection supplémentaire pourrait provenir de:

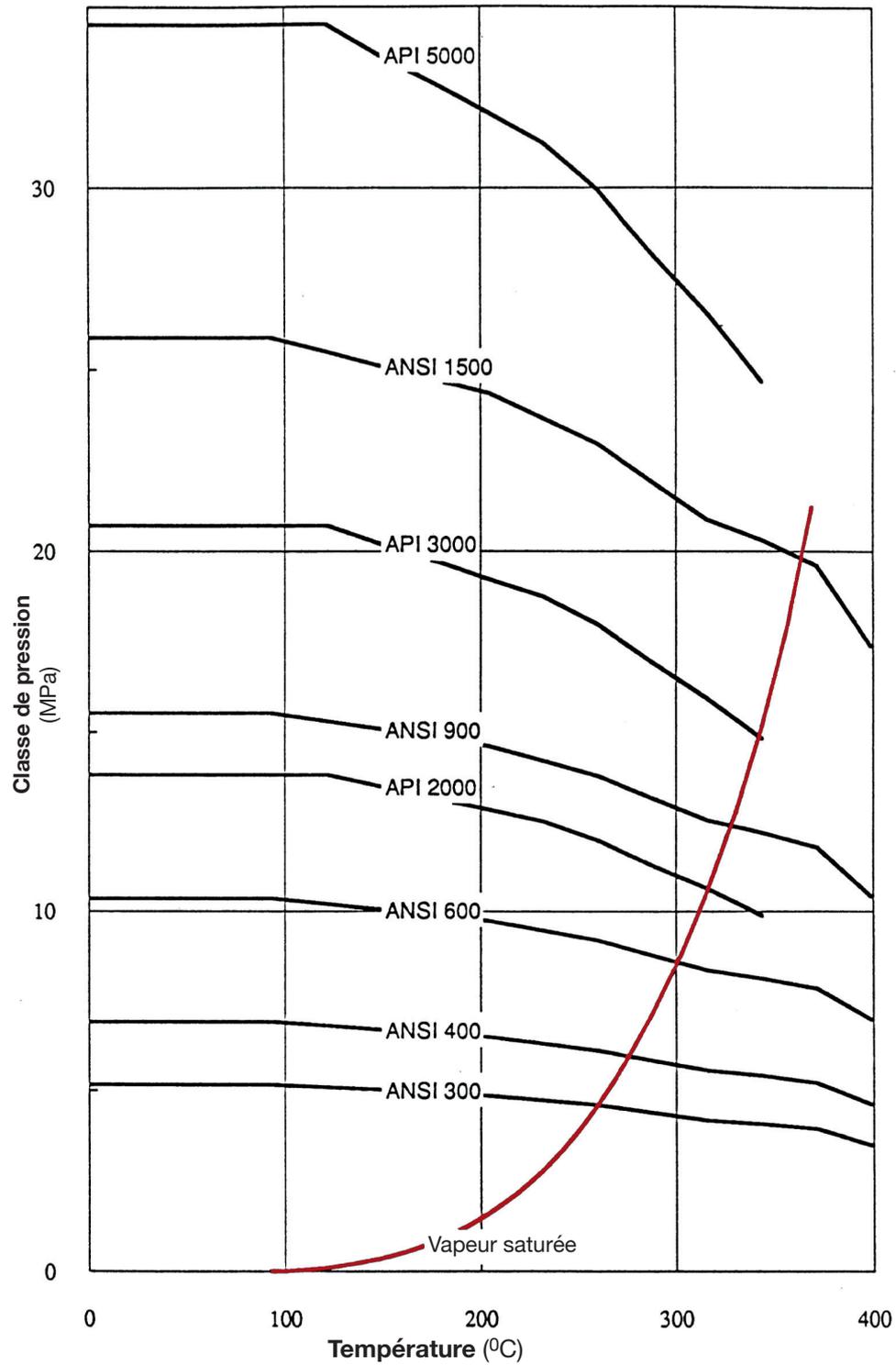
- (a). l'amélioration de l'environnement – telle que du gaz de nettoyage;
- (b). l'isolation des composants critiques de l'environnement corrosif, en garnissant et/ou en remplissant l'espace avoisinant avec du matériau inerte – par exemple, du coulis de ciment;
- (c). le revêtement de la surface avec un film résistant – par exemple de la résine époxy; et
- (d). des brides à face surélevée – celles-ci réduisent le taux de corrosion des boulons ou goujons et permettent une évaluation visuelle aisée d'une telle corrosion.



2.11.4.4

Les composants de tête de puits **seront** conçus pour les états de pression et de température décrits au point 2.5 et réduits pour la température (voir figure 7).

Figure 7
Réduction de la pression de travail de la tête de puits pour les brides et les vannes conforme à l'ANSI B16.5 et à l'API 6A



2.11.5. Brides de tête de puits

2.11.5.1

Pour les classements ANSI 400 et plus, tous les composants de tête de puits devraient être boulonnés ensemble par des brides à joint annulaire. Les raccords goujonnés ne **devraient** être utilisés sur des parties quelconques de la tête de puits permanente que s'il n'y a pas d'autre solution.

2.11.5.2

La méthode préférée pour raccorder la bride de tête de tubage au tubage d'ancrage est représentée par le filetage de tubage pour les tailles et les pressions API nominales indiquées au tableau 6:

Tableau 6
Limites de pression recommandées pour les brides de tête de tubage

Taille du tubage	Classe de pression
4-1/2" à 10-3/4"	Jusqu'à 5000 psi (34,5 MPa)
11-3/4" à 13-5/8"	Jusqu'à 3000 psi (20,7 MPa)
16" à 20"	Jusqu'à 2000 psi (13,8 MPa)

Si la pression de design dépasse ces valeurs, la tête de puits **devrait** être raccordée en recourant à une bride de tête de tubage soudée.

2.11.5.3

Lorsque le raccord de la bride de tête de tubage au tubage d'ancrage est réalisé par filetage, les filetages de raccord **seront** suffisamment solides pour remplir l'ensemble des états de service attendus.

NOTE

Si le raccord est réalisé par filetage, il faut éviter tout frein-filet sur ce raccord.

2.11.5.4

Si on recourt au soudage pour raccorder la bride de tête de tubage au tubage, ce dernier **devrait** être réalisé en utilisant une procédure qui convient aux matériaux et par des soudeurs qualifiés pour cette procédure. En cas de présence éventuelle de H₂S, le soudage **devra** être conforme à l'ANSI/NACE MR 0175/ISO 15156. Tous les soudages **seront** inspectés et testés quant à la présence de défauts éventuels y compris la capacité d'assurer l'étanchéité par rapport à une pression appliquée égale à la pression de design maximale à

laquelle la section sera exposée. Le soudage sera également testé quant à une porosité éventuelle chaque fois que ce sera possible. Tous les défauts **seront** repris avec du bon métal de base, à nouveau soudés et testés.

2.11.5.5

Les brides boulonnées ANSI et API ont des dimensions similaires – et peuvent typiquement être accouplés ensemble, mais leurs différentes nuances d’acier entraînent des pressions nominales différentes. Ceci s’applique aux tailles de bride indiquées dans le tableau 7:

Tableau 7
Compatibilité de bride API/ANSI (liste non-exhaustive)

API 6A	ANSI
9" x 3000 psi	8" classe 900
11" x 2000 psi	10" classe 600
11" x 3000 psi	10" classe 900
11" x 5000 psi	10" classe 1500
13-5/8" x 2000 psi	12" classe 600
13-5/8" x 3000 psi	12" classe 900

NOTE: API 13-5/8" 5000 psi ne peut pas être accouplé à l’ANSI 12" classe 1500.

2.11.5.6

Lorsque les équipements ANSI et API sont boulonnés ensemble, on recourra à la classe de pression la plus basse dans les calculs de design.

2.11.6 – Vannes de la tête de puits

2.11.6.1

L’ensemble de la tête de puits (y compris la vanne maîtresse, les manchettes d’expansion et la bride de tête de tubage) **prévoira** un diamètre de forage libre d’au moins 1/8 pouce (3 mm) supérieur à n’importe quel outil devant être introduit ou passer à travers la vanne.

2.11.6.2

Des vannes d’expansion à passage direct **devraient** être prévus pour tous les puits susceptibles de produire des fluides ou des matières particulières ayant la capacité de provoquer une érosion sur les sièges de vanne éventuellement exposés pendant la décharge.



2.11.6.3

L'étanchéité des vannes **devrait** être réalisée par des joints métal contre métal. Lorsque le joint secondaire est réalisé en matériaux élastomères, ces derniers **devraient** convenir aux conditions amiantes auxquelles ils peuvent être exposés.

2.11.6.4

On **utilisera** des vannes susceptibles d'indiquer extérieurement la position de l'obturateur pour les vannes maîtresses.

2.11.6.5

Les vannes **devraient** être conçues de façon à permettre de réaliser une nouvelle garniture ou bien une étanchéité secondaire des joints de tige tout en restant en service

2.11.6.6

Les vannes **seront** spécifiées, installées et fonctionneront de manière à empêcher que des fluides pris au piège à l'intérieur de la cavité de la vanne ne fracturent le corps de cette dernière. L'expansion de fluides emprisonnés dans le corps de la vanne sous l'effet d'un réchauffement ou d'un gel peut entraîner une défaillance de la vanne.

On pourrait recourir à des soupapes mécaniques de surpression pour protéger la cavité de la vanne contre la surpression. Ces vannes ou disques peuvent ne pas fonctionner correctement sous l'effet de la corrosion, de dépôts minéraux ou de la détérioration au cours du temps. C'est la raison pour laquelle il est recommandé de procéder à des inspections et une maintenance de routine.

2.11.6.7

Dans les cas où il existe un tubage permanent suspendu vers le bas ou une colonne de tubage installée à travers la vanne maîtresse qui empêche la fermeture de la vanne, il **faudra** prévoir une isolation primaire du puits au niveau du design et des procédures opérationnelles.



2.12. Révision et modification du design de puits pendant le forage

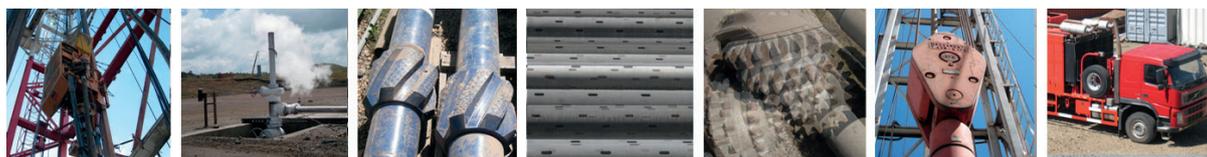
Pendant la construction, le design du puits **sera** passé en revue du point de vue de sa sécurité et sera modifié au besoin si l'une des conditions suivantes est rencontrée pendant le forage:

- (a). des états de fluide au fond du puits tels que des températures, des pressions ou la présence de gaz susceptibles de générer des pressions supérieures à la pression de design maximale telle que calculée pour le design initial du puits.
- (b). des états de formation au fond du puits tels que des failles ou des formations fragiles susceptibles d'indiquer que la pression de confinement effective est inférieure aux valeurs utilisées pour le design initial du puits; et
- (c). les profondeurs de mise en place des tubages ont matériellement changé par rapport aux profondeurs utilisées pour le design du puits (par exemple si un tubage est suspendu et doit être cimenté à une profondeur inférieure à la profondeur de design).

2.13. Rapports de design de puits

Le propriétaire du puits **tiendra** un compte-rendu permanent de chaque design de puits incluant:

- (a). les données d'entrée et les hypothèses ayant servi pour le design fondées sur ces données;
- (b). les étapes suivies pour réaliser le design;
- (c). les calculs de facteur de sécurité; et
- (d). toutes les ingénieries s'écartant du design de puits prescrit dans cette section.



3. SITES DE FORAGE

3.1. Dans la présente section

La section 3 traite des exigences posées à la sélection, à l'évaluation, au design, à la construction et à la maintenance de sites de puits. Ceci comprend les infrastructures telles que les routes d'accès, les systèmes de drainage, les bassins de retenue de déchets et les alimentations en eau.

3.2. Accès au site de forage

Les routes, ponts et caniveaux **seront** prévus et entretenus de manière à permettre un accès continu au site pour la plateforme de forage et l'équipement associé à tout moment pendant le forage du puits. Une fois le puits achevé, et jusqu'à ce qu'il soit abandonné, l'accès au site **sera** maintenu à un standard qui:

- (a). permet un accès en toute sécurité pour les activités normales de diagraphies et de maintenance par des véhicules légers; et
- (b). peut être facilement rétabli dans un état permettant l'accès d'une plateforme ou de toute autre équipement afin de reconditionner le puits.

NOTE

- (1). Le design des pentes des routes d'accès au site, les alignements et les besoins de drainage doivent permettre le transport des charges lourdes et aux dimensions encombrantes de l'équipement de la plateforme.
- (2). Dans les cas où les caniveaux ou ponts existants sont utilisés pour l'accès au site et où ces derniers ne relèvent pas de la responsabilité des ponts et chaussées locaux ou ne bénéficient pas de limites de capacité de charge publiées, contrôler leur capacité de charge en termes de type, de taille et de poids de toutes les charges attendues. Il est possible que les charges appliquées doivent être réduites ou bien les ponts ou caniveaux renforcés si cela s'avère nécessaire.

3.3. Sélection du site de forage

3.3.1. – Évaluation

Toute sélection de site **comprendra** une évaluation des capacités de charge du sol et des conditions de forage probables à faible profondeur. Dans les zones nouvelles, ou si les informations dont on dispose sur les sites proches sont inadéquates, cette évaluation devrait comprendre les puits peu profonds afin de pouvoir estimer les conditions géotechniques et thermiques près de la surface.



NOTE

Les sites de puits géothermiques sont généralement situés dans des zones dominées par des sols volcaniques présentant les problèmes potentiels suivants:

- (a). Les sols légers, non compacts et non cimentés présentent une faible capacité de charge et peuvent être sujets à une érosion rapide du fait du ruissellement naturel ou d'un drainage incontrôlé provenant du site;
- (b). Il pourrait y avoir des gouffres peu profonds ou des cavernes du fait d'une lixiviation acide ou de flux d'eau de nappe phréatique;
- (c). Les cendres volcaniques soumises à une érosion de faible intensité ou altérées au plan géothermique (par exemple riches en argile) possèdent une faible capacité de charge et sont éventuellement sujettes à des glissements importants;
- (d). Les sols vibrés pourraient se liquéfier; et
- (e). Les dépôts minéraux peuvent donner naissance à de minces couches cimentées au-dessus de matériaux ayant une faible capacité de charge. La couche cimentée peut s'effondrer sous l'effet de charges en surface.

3.3.2. – Considérations relatives à la sélection de sites de puits

3.3.2.1

La sélection d'un site de forage **prendra** en considération l'activité thermique en surface et la géologie à proximité immédiate de l'emplacement. Ces facteurs peuvent affecter la construction du site, la convenance à long terme du site, et les opérations de forage.

NOTE

- (1). Les sols chauds et contenant de la vapeur présentent des risques de dégagements gazeux et d'échaudements.
- (2). Les puits situés à proximité d'un sol contenant de la valeur souffrent souvent d'une corrosion rapide de la tête de puits et du tubage proche de la surface. Ceci résulte de concentrations atmosphériques élevées en H₂S ou de conditions souterraines acides.
- (3). Le maniement d'un équipement de construction par-dessus un sol chaud dans lequel il pourrait y avoir des cavernes expose les opérateurs de ce dernier au risque extrême d'un effondrement du sol dans des fluides brûlants.
- (4). Dans les cas où les températures proches de la surface s'approchent de l'ébullition, l'élimination d'une surcharge et l'abaissement consécutif du niveau de la nappe phréatique sont susceptibles d'entraîner une éruption localisée de vapeur et de boue.

3.3.2.2

Le site de forage **sera** sélectionné de manière à disposer de suffisamment d'alentours ouverts permettant une dispersion de gaz dangereux provenant du puits.

NOTE

- (1). Éviter si possible les zones basses au plan topographique.
- (2). Les risques liés aux gaz pourraient être augmentés par une forêt dense et des ceintures d'arbres qui limitent la liberté de mouvement de l'air.



3.3.2.3

La sélection du site de forage **tiendra** compte des exigences posées par la gestion de l'incidence de l'éclairage (c'est-à-dire la gestion de la luminescence), et la réduction du bruit pendant les opérations de forage et d'essai de puits.

3.4. Design et construction du site de forage

3.4.1. – *Considérations relatives au design et à la construction du site de forage*

Le site **sera** conçu et construit de manière à:

- (a). supporter toutes les charges imposées par l'équipement de forage et l'installation associée (telle que les grues);
- (b). contrôler le ruissellement et contenir les fluides de forage pendant les opérations de forage;
- (c). passer en revue l'évaluation géotechnique pendant la préparation du site et réaliser les travaux de remède exigés;
- (d). veiller à réaliser une cimentation de consolidation dans les cas où les conditions souterraines le justifient. Voir l'annexe A (à partir de la page 133) pour de plus amples directives sur la cimentation de consolidation.
- (e). posséder des pentes finies dans la zone de site couverte par l'équipement de forage dans les tolérances spécifiées dans la documentation OEM (du constructeur) de l'équipement de forage. En dehors de cette zone, la surface du site **devrait** être finie par des pentes fournissant un drainage contrôlé.

3.4.2. – *Enquête géotechnique*

Une enquête géotechnique **devra** être réalisée pendant la construction du site, à l'achèvement de la construction du site ou après tous travaux de remède consécutifs afin de s'assurer que les travaux ont bien été exécutés en conformité avec la spécification du design du site du puits, et en particulier avec les exigences pertinentes des charges à supporter.

3.4.3. – *Gestion du ruissellement*

Il est de bonne pratique que de gérer et de traiter les ruissellements à l'intérieur du site pendant les opérations de forage.

À la fin du forage, ajustez les pentes du site en fonction des nécessités afin de remplir les exigences du point 5.11.5 (voir page 106).

3.4.4. – *Ancres du hauban de mât*

Si la plateforme de forage exige l'installation d'ancres de ligne de hauban de mât dans le sol situé autour du site de forage, le design et la construction de ces ancres **devront** être conformes à la documentation du fabricant de l'équipement d'origine (OEM).

3.4.5.– Conformité

Les sites de puits et les travaux associés **seront** construits et exploités afin de répondre aux exigences des autorisations et permis environnementaux applicables délivrés par le pays où les travaux ont lieu ainsi que toutes les réglementations relatives à la santé et à la sécurité au travail applicables.

3.5. Cave

3.5.1. – Fonction de cave

Une cave **devra** être installée autour du sommet du puits proposé. La fonction de cette cave consiste à répondre à n'importe lequel des ou à tous les besoins suivants:

- (a). en tant que bassin de récupération destiné aux fluides de retours de forage jusqu'à ce que le premier tubage ou tube-guide ait été placé et cimenté (à moins qu'un tuyau servant de tube-guide de hauteur adéquate permettant de remonter les retours de forage à un niveau situé au-dessus des cribles vibrants pour schiste ait été installé préalablement au forage);
- (b). pendant la cimentation du tubage, afin de capturer les fluides de forage contaminés, les pré-flux de cimentation, les coulis de ciment contaminés et excédentaires et de les acheminer vers le puisard;
- (c). pour héberger une partie de toute tête de puits de forage dans les cas où la plateforme de forage ne dispose pas d'un espace adéquat entre la table de rotation et le niveau du sol pour la toute la tête de puits et les brides de tubage; et
- (d). pour fournir un point de collecte central pour le drainage local pendant l'opération de forage.

3.5.2. – Design de la cave, construction et considérations relatives à la maintenance

3.5.2.1

La profondeur de la cave **devrait** être réduite au minimum et la cave **sera** bien ventilée.

3.5.2.2

Les caves **résisteront** à toutes les charges directes et indirectes imposées par l'équipement et les opérations de forage et toute installation ultérieure.

NOTE

Les caves peuvent être conçues afin d'incorporer des points d'ancrage permanents d'un cadre de poussée de la tête de puits.

3.5.2.3

L'accès **sera** contrôlé dans les cas où les caves sont susceptibles de piéger des gaz toxiques. Les caves ayant une profondeur supérieure à 1 m **seront** gérées comme des espaces confinés. Les caves **incor-**



poreront un moyen rapide et facile de sortie du fond de la cave, lorsque la plateforme est en exploitation et après l'enlèvement de la plateforme. Les échelles ne sont pas considérées comme adaptées en tant que seuls moyens de sortir de la cave.

3.5.2.4

Les données de nivellement permanent **devraient** être marquées sur la cave en tant que points de référence pour la mesure des changements en hauteur de la bride de tête de tubage par rapport à la cave. La donnée de la cave **devrait** également être surveillée et incluse dans le réseau de repères local.

NOTE

- (1). Dans les zones présentant des signes évidents d'affaissement du sol, le fait de tenir à jour un relevé des changements en hauteur de la bride de tête de tubage ou du repère de la cave au cours du temps pourrait fournir une indication utile de la contrainte exercée sur le tubage et le potentiel d'endommagement du tubage qui en résulte.
- (2). Les autorisations environnementales et les conditions assorties au permis exigeront normalement de réaliser des réexamens du réseau de repères à des intervalles réguliers (habituellement tous les 4 à 6 ans).

3.5.2.5

La cave **sera** drainée:

- (a). par un tuyau dont le diamètre intérieur ne sera pas inférieur à 250 mm ou par un canal équivalent;
- (b). à un degré minimal de 1 sur 40; et
- (c). avec une pente inversée au niveau du sol de la cave ou légèrement en dessous.

NOTE

Les tuyaux de diamètres plus petits sur les pentes plus douces risquent d'être bouchés par des déblais, du ciment, de la boue et des débris et d'être rendus ineffectifs avant la fin des opérations de forage.

3.6. Drainage et élimination des déchets

3.6.1. – Conformité consentie

Le drainage du site et l'élimination des déchets générés par les opérations de forage et d'essai de puits **seront** conformes à toutes les autorisations environnementales et permis délivrés par le pays dans lequel les travaux ont lieu.

3.6.2. – Considérations relatives au design et à l'utilisation de puisards

Tenez compte des points suivants pour le design et l'utilisation de puisards:

- (a). les puisards sont construits de manière à contenir les déblais et les déchets liquides de forage et de cimentation ainsi que tous les autres fluides contaminés générés par les opérations de forage;





- (b). le puisard est habituellement conçu de manière à permettre l'isolation d'une partie du volume pour la déposition primaire de solides, et à réaliser toute déposition secondaire et traitement nécessaires dans le volume restant. Une alternative peut consister à utiliser deux puisards;
- (c). des procédures opérationnelles devraient assurer que le niveau maximal de fluide dans le puisard reste en dessous du niveau du sol de la cave;
- (d). le design et la construction du puisard devraient assurer qu'il n'y ait pas d'érosion ni d'effondrement des parois du puisard pendant les opérations;
- (e). dans les cas où deux puisards sont construits à proximité l'un de l'autre, le design **devra** prévenir les fuites, l'érosion ou l'effondrement des matériaux séparant les deux puisards lorsque le puisard en amont est plein et le puisard en aval est vide;
- (f). le design du puisard en amont devrait permettre de disposer d'une capacité de rétention correspondant au moins à cinq fois le volume total des matières solides attendues du forage du puits;
- (g). le volume nécessaire pour contenir les solides forés, les déchets de boue et de ciment seront déterminés par les éléments suivants:
 - (i) les volumes extraits du puits – une fois amenés à la surface, les déblais de forage occuperont environ deux fois le volume in situ occupé au fond du trou
 - (ii) les formations devant être forées – les formations soumises à l'érosion peuvent entraîner des débordements de forages et des excès de déblais;
- (h). les exigences posées aux volumes des puisards peuvent être réduits dans les cas où:
 - (i) les déblais sont enlevés directement du crible vibrant pour schiste
 - (ii) l'équipement d'enlèvement de solides adjoint à la plateforme de forage produit des déchets de forage présentant une faible teneur en eau et un minimum de déchets de boue;
- (i) les puisards devraient être surveillés périodiquement en conformité avec les autorisations et permis environnementaux.

3.6.3. – Éviter le ruissellement dans la cave

Une fois puits terminé, le site **sera** remodelé de façon à exclure toute pénétration d'un ruissellement à l'intérieur de la cave.



3.7. Alimentation en eau

3.7.1. – Alimentation adéquate

Une alimentation en eau adéquate **sera** disponible sur le site pendant l'ensemble des opérations de forage. Le débit d'alimentation **devra** convenir à tous les tuages, forages (y compris les forages sans retours de circulation) et opérations de cimentation. Toutes les dispositions applicables ainsi que les règles et réglementations liées aux droits de l'eau du pays dans lequel le forage a lieu **devront** être respectées.

NOTE

Le forage de la section d'un diamètre de 8,5 pouces au fond d'un puits typique de 2000 m exigera une capacité d'alimentation en eau d'au moins 2000 litres par minute. Il faut également tenir compte de la sécurité et de la redondance des lignes d'alimentation en eau.

3.7.2. – Équipement redondant ou de soutien

Dans les cas prévoyant l'utilisation de deux jeux de pompes, ces derniers **devront** avoir des sources d'énergie indépendantes (par exemple deux générateurs diesel, ou bien un générateur diesel et un générateur électrique, ou bien deux générateurs électriques avec un générateur diesel en veille).

3.7.3. – Stockage d'eau en l'absence de pompe d'appoint

Si on ne dispose d'aucune pompe d'alimentation en eau, il **faudra** installer un stockage supplémentaire d'eau et la tuyauterie afférente nécessaire pour :

- (a). alimenter le site de forage en eau par gravité;
- (b). procéder à un débit adéquat pour tuer et contrôler le puits; et
- (c). posséder une capacité qui permette un tuage continu du puits pour une période qui ne sera pas inférieure à 12 heures.

NOTE

On aura typiquement besoin de 800 à 1000 litres par minute pour le tuage.

3.8. Sites à puits multiples

3.8.1. – Configuration de cave sur les sites à puits multiples

Sur les sites à puits multiples, les emplacements de tête de puits et la configuration de tête de puits, y compris toute infrastructure de surface, **seront** conçues et protégées de façon à permettre l'installation et l'exploitation d'une plateforme de forage au-dessus de n'importe quel puits sans mettre en danger tout autre puits sur le même site.



NOTE

- (1). L'espacement entre les têtes de puits sera déterminé par les distances requises entre l'équipement de forage et les têtes des puits achevés, et par la capacité à contrôler ces distances par rapport aux rails de puits préalablement terminés. Cet espacement ne devrait normalement pas être inférieur à 5 m.
- (2). Un site à puits multiples pourrait utiliser des puisards communs pour tous les puits. Afin d'éviter le besoin de construire des puisards excessivement grands, des mesures devront être prises afin d'intercepter les déchets solides avant que ceux-ci ne pénètrent dans le puisard, ou bien enlever ces derniers avant de commencer les opérations de forage sur les puits suivants.

3.8.2. – Sorties de caves à puits multiples

Dans les cas où plusieurs puits sont forés à partir d'une cave commune, il **faudra** prévoir un moyen de sortie pour chaque tête de puits.

3.9. Sécurité et signalétique du site

3.9.1. – Sécurité pendant le forage

Il **faudra** assurer une sécurité adéquate afin que seul du personnel autorisé puisse accéder au site pendant les opérations de forage.

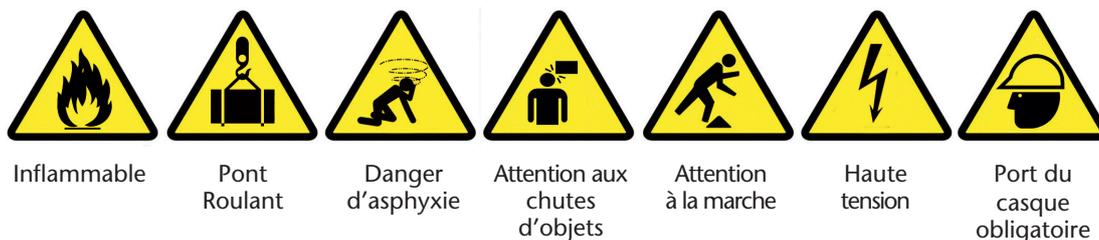
3.9.2. – Clôture et signalétique

Il **faudra** ériger et entretenir une clôture et une signalétique appropriées.

La signalétique **sera** située à l'entrée du site et signaler:

- (a). Les risques, contraintes relatives à l'entrée et les exigences posées à l'équipement de protection individuelle;
- (b). les puisards qui représentent des risques; et
- (c). les zones dans lesquelles des gaz dangereux sont susceptibles de se décharger ou de s'accumuler.

Toute la signalétique en relation avec les questions de sécurité **inclura** les pictogrammes relatifs à la sécurité et aux risques internationalement reconnus afin d'assurer une sécurité maximale pour les ouvriers, les résidents locaux et les visiteurs. Les pictogrammes **Inflammable, Pont roulant, Danger d'asphyxie, Attention chute d'objets, Attention à la marche, Haute tension** et **Port du casque obligatoire** font partie des pictogrammes les plus recommandés, ainsi que tous autres estimés nécessaires.





Une signalétique permanente **sera** installée dans chaque cave ou sur la tête de puits indiquant le nom et les détails de contact du propriétaire du puits.

3.9.3. – *Sécurisation des vannes de la tête de puits*

L'équipement de la tête de puits **sera** sécurisé à tout moment contre toute manipulation par du personnel non autorisé.

3.10. Rapports de site de forage

Le propriétaire du puits **tiendra** à jour un compte-rendu permanent montrant les détails « tels que conçus » ou « tels que réalisés » du site de forage incluant:

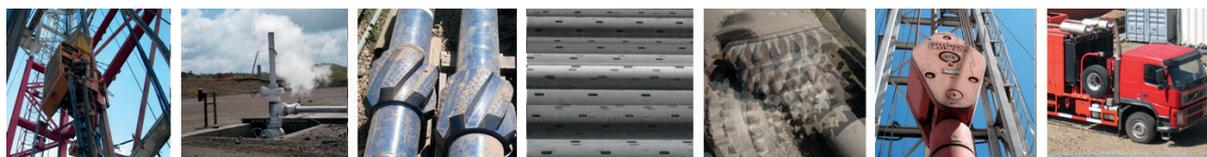
- (a). l'emplacement du puits;
- (b). la construction de la cave, y compris l'emplacement de drains de cave éventuels;
- (c). tous autres services ou tuyaux souterrains;
- (d). les zones de déblayage et de remblayage, d'excavation et d'amélioration du sol, y compris les cimentations de consolidation éventuelles;
- (e). les emplacements de déblais de forage quelconques ou autres puisards, qu'ils demeurent là ou soient évacués; et
- (f). si les déblais de forage demeurent sur site, l'emplacement de ces derniers et les analyses chimiques associées.





Cette page a été volontairement laissée vierge.





4. ÉQUIPEMENT, OUTILS ET MATÉRIAUX DE FORAGE

4.1. Dans la présente section

La section 4 traite de la description de l'équipement et des outils de forage, de leur inspection et de leur maintenance, et des descriptions des matériaux normalement associés au forage et à l'achèvement du puits.

4.1.1. – Capacités de levage de la plateforme et de l'équipement

Une fois le design du puits achevé, toutes les charges devant être imposées par les opérations de forage y compris la mise en place et la cimentation de tubages devront être évaluées, et une marge de sécurité devra être ajoutée afin de définir la capacité de levage minimale.

Les capacités de tous les composants de l'équipement spécifié et sélectionné pour le forage dépasseront les capacités minimales estimées comme nécessaires pour faire face aux charges. Il faudra procéder à une évaluation des capacités de composants séparés.

4.1.2. – Fluides de forage et programmes hydrauliques

Des fluides de forage et des programmes hydrauliques devront être préparés pour chaque section de puits afin de spécifier et de sélectionner l'équipement. Ces programmes **devraient** au moins tenir compte des aspects suivants:

- (a). les types de fluides de forage utilisés et leurs propriétés;
- (b). les vitesses annulaires minimales nécessaires pour assurer un enlèvement adéquat des déblais du puits;
- (c). les pertes de pression à travers chaque composant du système de circulation (par exemple à travers la colonne de forage, les buses du trépan, l'anneau);
- (d). les pressions différentielles entre les fluides de circulation dans le puits et les pressions de fluide dans les formations;
- (e). les exigences de puissance en chevaux-vapeur (CV) du système hydraulique; et
- (f). la capacité à refroidir et à tuer le puits.

4.2. Équipement

4.2.1. – Convenance de l'équipement

L'adéquation de l'équipement associé aux travaux de forage devra être évaluée. Celui-ci devra en outre, le cas échéant, être conforme aux normes nationales, internationales et API.

4.2.2. – Mât et sous-structure

Le mât et les sous-structures **devraient** être conçus en conformité avec l'API Spec 4F.

Le mât devra avoir une capacité de charge dépassant la charge de crochet maximale évaluée en 4.1.1. Cette capacité de charge s'appliquera à la fois avec le chargement minimal de tubages (zero set back) et le chargement maximal (full setback) lorsque soumis à des vitesses de vent maximales pour l'emplacement de forage proposé. Le mât **disposera** également d'une capacité dépassant la puissance d'entrée du treuil, la résistance du câble de forage ou la capacité du bélier hydraulique, selon le cas d'espèce.

La fatigue, la corrosion, la surcharge ou les endommagements éventuels du mât et des sous-structures feront l'objet d'inspections périodiques. Les soudures défectueuses et les membres fléchis, corrodés ou endommagés seront réparés ou remplacés par des professionnels compétents. Tous les programmes de soudage seront basés sur les matériaux utilisés dans la fabrication des structures, et **seront** soumis à un traitement pré- et post-thermique en fonction des nécessités. Dans les cas où les structures ne peuvent pas être réparées de façon à être remises dans leur état d'origine, leur charge de fonctionnement en toute sécurité **sera** réduite en conséquence. Cette charge nominale révisée ne **sera** pas dépassée dans les opérations suivantes, et une note **sera** clairement affichée recommandant la charge nominale réduite.

NOTE

La fréquence des inspections dépendra de l'historique de forage et de stockage précédent, et devrait notamment avoir lieu immédiatement après tout dommage accidentel ou toute longue période de stockage. Les mâts et les sous-structures font normalement l'objet de contrôles visuels avant de commencer les opérations de forage.

4.2.3. – Équipement de transport et de levage

L'équipement de transport et de levage **présentera** les caractéristiques suivantes:

- (a). les divers articles de l'équipement de levage **seront** conformes à l'API Spec 8A et **seront** inspectés et entretenus selon l'API RP 8B;

- (b). le câble de forage **sera** en conformité avec l'API Spec 9A et **devrait** être inspecté et entretenu selon l'API RP 9B;
- (c). le câble de forage **fera** l'objet d'une inspection visuelle quotidienne pendant les opérations;
- (d). il **faudrait**, le cas échéant, tenir à jour un compte-rendu tonnes-miles (ou unité équivalente) pour le câble de forage, et il **faudrait** recourir à une procédure de glissement et de découpage régulière ou à un remplacement du câble; et
- (e). pour les plateformes de forage conventionnelles, les treuils **devront** être équipés d'un dispositif de sécurité qui empêche le moufle mobile d'être tiré à l'intérieur du moufle fixe.

4.2.4. – Équipement rotatif

L'équipement rotatif comprend la table de rotation, les coins d'entraînement, la tige carrée d'entraînement et la tête d'injection.

Les différents éléments de l'équipement rotatif **répondront** aux spécifications de l'API, et seront inspectés et entretenus conformément à la pratique recommandée par l'API, tel qu'indiqué au tableau 8:

Tableau 8
Spécifications API et pratique recommandée pour les équipements rotatifs

Article	API Spec	API RP
Table de rotation	7K	–
Coins d'entraînement	7K	–
Tige carrée d'entraînement	7-1	–
Tête d'injection	8C	8B

La tête d'injection et la tige carrée d'entraînement devront avoir une capacité de charge statique dépassant la charge de crochet maximale évaluée en 4.1.1 (page 61). Elles **devraient** posséder une capacité dynamique ou rotative dépassant les charges de crochet maximales susceptibles d'apparaître pendant une opération de forage normale.

4.2.5. – Moteurs et entraînements

Les chaînes et dents de pignon **devraient** être conformes à l'API Spec 7F.

Le train d'entraînement **sera** réalisé de façon à ce que le fonctionnement de la pompe à boue puisse continuer pendant que la colonne de forage est rentrée dans le forage ou sortie du forage.



4.2.6. – Générateurs, système électrique et éclairage

La capacité du générateur **conviendra** pour fournir la totalité de la charge électrique requise par la plateforme et l'équipement associé pour être utilisés dans le forage du puits.

NOTE

- (1). Il n'est pas nécessaire que l'équipement réponde aux exigences d'ignifugation normalement exigées dans les opérations de forage de pétrole et de gaz.
- (2). Les opérations de forage dans les zones géothermiques sont susceptibles de rencontrer des quantités d'hydrogène sulfuré (H₂S) anormales, et il faudrait tenir compte des effets nocifs de ce gaz sur les composants électriques et électroniques.

Les éléments qui pourraient se trouver sur ou avec la plateforme et nécessiter une alimentation électrique comprennent entre autres (mais sans se limiter à cette liste):

- (a). les appareils moteurs entraînant les treuils, les pompes ou la table de rotation;
- (b). les compresseurs d'air à motorisation électrique;
- (c). l'éclairage;
- (d). la pompe de l'accumulateur hydraulique du BOP;
- (e). les agitateurs de boue;
- (f). les treuils de pont;
- (g). le chauffage;
- (h). les équipements de refroidissement des fluides (par exemple ventilateur de tour de refroidissement);
- (i). les pompes de transfert de carburant et d'alimentation en eau supplémentaire; et
- (j). les besoins en énergie des espaces d'ateliers, de bureaux, d'ablution et de logement.

4.2.7. – Capacité de générateur de veille

Il **faudra** également disposer d'une capacité de générateur de veille capable de fournir, au minimum, la charge électrique nécessaire aux éléments (a) à (d) de 4.2.6.

4.2.8. – Éclairage

Un éclairage adéquat **devra** être prévu dans toutes les zones de travail afin d'assurer des opérations sûres et sans entraves pendant la nuit.

4.2.9. – Compresseurs

Les pressions et débits de l'air alimenté **devront** convenir à l'usage auquel ce dernier est destiné. Lorsqu'une alimentation en air remplit un certain nombre d'exigences, la capacité du compresseur **devra** être suffisante pour satisfaire à tous les besoins survenant tout en maintenant une pression acceptable (par exemple l'utilisation d'un





treuil pneumatique ne **devrait** pas réduire la pression du flexible pneumatique en dessous de ce qui est nécessaire au bon fonctionnement des embrayages pneumatiques).

Des compresseurs d'air pourraient s'avérer nécessaires pour les besoins suivants:

- (a). l'alimentation de la plateforme avec l'air nécessaire aux commandes de la machine (par exemple embrayages, vannes d'étranglement);
- (b). le fonctionnement ou la vidange des instruments;
- (c). l'air destiné à l'atelier;
- (d). la pompe de secours de l'accumulateur hydraulique de secours du BOP;
- (e). les outils de manutention (par exemple treuils pneumatiques, dispositif de rotation de tuyau, dispositif de rotation de tige carrée d'entraînement);
- (f). le transfert pneumatique de matériaux poudreux (par exemple le ciment, la bentonite); et
- (g). le forage avec des fluides aérés.

Une alimentation en air de secours devra également être prévue sur la plateforme et suffire aux besoins exprimés dans le 4.2.9 (a) et le (d).

Cet équipement devra faire régulièrement l'objet d'une inspection visuelle, outre les inspections des récepteurs d'air ou des récipients sous pression telles qu'exigées par d'autres réglementations.

L'équipement ne **sera** pas utilisé s'il semble être physiquement endommagé, à moins d'être à nouveau inspecté, réparé au besoin, et testé. Les récipients contenant de l'air comprimé **seront** protégés contre les dommages physiques pendant que des opérations sont réalisées à proximité.

NOTE

L'air comprimé peut être dangereux, notamment à des pressions élevées (par exemple plus de 9.0 MPa lorsqu'on utilise des fluides de forage aérés) ou contenu dans de grands récipients (par exemple des silos de stockage de ciment en vrac).

4.2.10 – Équipement de cimentation

4.2.10.1

Cette section traite:

- (a). du ciment;
- (b). des équipements de mélange des additifs au ciment;
- (c). des pompes à ciment;
- (d). des têtes de cimentation;
- (e). des équipements de stockage et de transfert du ciment et des additifs;
- (f). des pompes à coulis;
- (g). des équipements de test de coulis; et
- (h). les équipements de stockage et d'alimentation en eau.





4.2.10.2

L'équipement **devra** être dimensionné de façon à stocker, à mélanger ou à pomper au fond du puits tous les flux préalables, pièces d'écartement et coulis de ciment requis pour la plus grande opération de cimentation programmée pour le puits.

4.2.10.3

Si le stockage primaire de ciment sur le site ne possède pas de capacité adéquate pour toutes les étapes de la cimentation d'un tubage particulier (par exemple premier étage, second étage, remplissage), alors il **faudra** prendre des mesures pour transférer ailleurs le stockage primaire. Ce transfert **sera** réalisé dans un délai qui n'aura pas d'impact négatif sur la réalisation de la cimentation du tubage.

4.2.10.4

Le stockage de ciment et d'additifs se fera dans des sacs ou bien en vrac. On préférera le stockage en vrac pour les matériaux de cimentation primaire. Il **faudra** prendre des mesures afin de prévenir que la pluie et d'autres facteurs environnementaux n'affectent négativement la qualité des matériaux. Le stockage en vrac peut avoir lieu dans des réservoirs ou des silos alimentés par gravité ou pressurisés. Les réservoirs pressurisés et les silos pressurisés **seront** conçus sous la forme de récipients sous pression.

4.2.10.5

L'ensemble de l'équipement destiné au transfert du ciment et des additifs **possèdera** une capacité suffisante pour recevoir les débits auxquels les coulis seront mélangés et pompés au fond du trou. Ceci **comprendra** les équipements de manutention et d'ouverture de matériaux pour les alimentations en sacs éventuelles, ainsi que la quantité et la qualité de l'alimentation en air requises pour les systèmes de transfert éventuels impliquant les transferts pneumatiques ou à assistance pneumatique.

4.2.10.6

Le mixage de l'eau avec du ciment et des additifs pour former des coulis pouvant être pompés **sera** réalisé en recourant à un équipement qui assure un mixage complet des matériaux dans des proportions qui satisfont aux exigences de contrôle de la qualité. Il **faudrait** prévoir un réservoir de retenue (et une sortie de dérivation ou une benne de récupération) d'un volume adéquat entre l'unité de mixage et le pompage au fond du puits afin de pouvoir prendre des mesures correctives au cas où les coulis devaient ne pas correspondre aux spécifications. Le réservoir de retenue **sera** équipé de d'agitateurs assurant un mixage continu du coulis dans le réservoir.





4.2.10.7

Une capacité d'alimentation en eau suffisante **devra** être prévue, de préférence dupliquée ou accompagnée d'un stockage sur site adéquat, de façon à ce qu'une défaillance du système d'alimentation en eau ou d'une partie de ce dernier n'affecte pas la cimentation.

4.2.10.8

La méthode de cimentation préférée consiste en un système de mixage et de pompage dédié destiné à placer le coulis. Si un tel système est indisponible, on pourra recourir à des pompes de forage à mouvement rectiligne. Quel que soit le système choisi, il **faudra** faire en sorte de disposer de 100% de capacité redondante pour le pompage et le manifold vers la tête du puits de façon à ce que l'équipement de secours puisse être rapidement mis en circuit en cas de défaillance du système primaire.

4.2.10.9

Le système de tuyauterie et de manifold des pompes à coulis vers la tête de puits de cimentation permettra un transfert rapide du pompage au fond du puits (par le tubage ou le tuyau de forage) au pompage de coulis ou d'eau dans l'anneau.

4.2.10.10

L'équipement minimal pour le contrôle de la qualité du coulis de ciment consistera en:

- (a). une balance à boue; et
- (b). des équipements destinés à prélever et à stocker des échantillons de coulis de ciment.

4.2.11 – *Systèmes de fluides de forage*

4.2.11.1

Cette section traite:

- (a). des réservoirs de boue;
- (b). de l'aspiration des pompes et de la tuyauterie d'évacuation;
- (c). de l'équipement de mixage et de circulation des boues;
- (d). la tuyauterie d'évacuation du compresseur pneumatique;
- (e). du manifold de mixage et de distribution de fluide;
- (f). de la colonne montante;
- (g). du flexible rotatif;
- (h). de la conduite de retour de boue;
- (i). de la ligne d'écoulement;
- (j). des séparateurs liquide-gaz;
- (k). des cribles vibrants pour schiste;
- (l). des desilteurs;



- (m) des dessableurs;
- (n). du refroidisseur de fluide; et
- (o). de l'équipement associé.

4.2.11.2

La classe de pression des conduites haute pression **tiendront compte** de l'érosion, de la corrosion et de l'usure.

4.2.11.3

Il **faudra** prévoir et installer une ligne d'écoulement si on recourt à un forage aéré ou si on s'attend à la présence de fluides géothermiques dans les flux de retour. Celle-ci possèdera une capacité adéquate avec des ancrages, des supports et une commande d'évacuation appropriés. La ligne d'écoulement comprendra au moins une vanne près de la tête de puits. Tant la ou les vannes que la connexion à la tête de puits **seront** conçues de façon à contenir les pressions de service maximales attendues. Si un séparateur connecté à la ligne d'écoulement peut être mis sous pression, alors le séparateur et la ligne d'écoulement **seront** conçus et dimensionnés en tant que récipients sous pression. Le design **devra** prévoir des mesures prévenant l'érosion causée par les retours aérés.

4.2.11.4

Un système de refroidissement de fluide **devra** être installé à l'intérieur du système de transport des fluides pendant le forage. Ce dernier **doit** être capable de maintenir la boue aux aspirations de pompe primaire à une température ne dépassant pas 60°C dans les conditions de forage.

NOTE

Les températures de boue élevées peuvent avoir un effet négatif sur les propriétés de cette dernière et peuvent provoquer une mise en ébullition de la boue à la surface ou proche d'elle. Ce refroidissement peut être réalisé par évaporation assistée de tours de refroidissement à tirage forcé.

4.2.12 – Pompes à boue

Les pompes à boue **devraient** être type à mouvement rectiligne. Ces dernières **devront** être spécifiées de façon à maintenir les débits et les pressions définies au point 4.1.2 (voir page 61) sans dépasser la puissance d'entrée en chevaux-vapeur (CV), la puissance nominale en chevaux-vapeur (CV), ou les limitations de la vitesse de la pompe.

Les pompes primaires utilisées pour faire circuler les fluides de forage dans le puits **posséderont** des capacités redondantes de façon à ce qu'en cas de défaillance d'une pompe, une pompe de secours possède une capacité adéquate pour contrôler le puits à travers la colonne de forage.



Les pompes **seront** en mesure de pomper des fluides à des températures élevées (ne dépassant toutefois pas 85°C). On peut avoir besoin de pompes de précharge afin d'élever la pression d'aspiration des pompes primaires.

4.2.13 – Têtes de puits de forage

Les points suivants s'appliquent aux têtes de puits utilisées pendant le forage et qui sont retirées lorsque le puits est achevé et qu'une tête de puits permanente est installée (c'est-à-dire une tête de puits de forage) (pour les exigences posées aux têtes de puits permanentes, voir le point 2.11 [page 43] et 5.11 [page 103]):

- (a). tous les composants de l'ensemble de la tête de puits pouvant être utilisés pour contenir les pressions dans le puits ou consécutives aux opérations de forage **verront** leur classe de pression fixée à la pression de design maximale pour chaque section du puits;
- (b). les vannes et brides **répondront** à l'API Spec 6A et à la Spec 6D;
- (c). les manchettes de forage **répondront** à l'API Spec 16A et à l'API Spec 6A; et
- (d). tous l'équipement de forage traversant **sera** conforme à l'API Spec 16A.

NOTE

- (1). Les têtes de puits de forage incluent un ou tous les composants suivants:
 - (a).des vannes;
 - (b).des BOP ;
 - (c). des brides ou moyeux serrés;
 - (d).des manchettes, tés et croix;
 - (e).une boîte Banjo; et
 - (f).une tête de rotation.
- (2). Les manchettes doivent être inspectées quant à la présence d'une érosion excessive, notamment dans les cas où des fluides de forage aérés sont utilisés.

4.2.14 – Équipement de forage aéré

4.2.14.1

L'équipement d'alimentation en air en surface utilisé pour aérer les fluides de forage **sera** équipé de soupapes de surpression à débit approprié afin d'être certain qu'il n'aura en aucun cas de dépassement des pressions nominales.

4.2.14.2

Des clapets anti-retour **devraient** être prévus sur les conduites pneumatiques afin d'empêcher que des liquides ne pénètrent dans les conduites à partir des pompes de forage, de la colonne de forage, ou du puits.





4.2.14.3

Toutes les conduites flexibles pneumatiques **devront** posséder des chaînes attachées ou bien des liens de sécurité consistant en câbles métalliques sur l'ensemble des connexions finales afin de limiter le mouvement de la conduite pneumatique si la conduite flexible devait faire défaut.

4.2.14.4

Le manifold de la conduite pneumatique **devrait** permettre de dériver tout excès d'air et de purger la tige carrée d'entraînement, le flexible d'injection, et la colonne de forage ou tout équipement d'entraînement au sommet équivalent.

4.2.14.5

La colonne de forage **comprendra** un clapet anti-retour (CAR) afin de prévenir tout flux entrant de fluides annulaires ou toute formation au fond de la colonne de forage (par exemple lorsque des fluides aérés sont ventilés depuis la colonne de forage). Des clapets anti-retour **devraient** être utilisés dans les sections supérieures de la colonne de forage afin de minimiser le volume de fluide aéré devant être ventilé depuis la colonne de forage lors de l'établissement d'une connexion. Les clapets **devraient** utiliser des joints et des sièges haute température, notamment en cas d'utilisation de fluides aérés parce que les températures de circulation sont habituellement plus élevées lorsqu'on utilise de la boue ou de l'eau.

4.2.14.6

En cas de forage avec des fluides aérés, le Bloc Obturateur du puits **devra**, outre les exigences normales posées au BOP, comprendre un joint tournant afin de contrôler les fluides de retour qui pourraient sans cela se décharger dans l'espace de travail, et une dérivation destinée à transporter les fluides de retour aérés d'une façon contrôlée depuis la tête de puits.

4.2.14.7

Toute la tuyauterie d'évacuation utilisée lors d'un forage aéré **présentera** une classe de pression suffisante pour résister à la pression dynamique maximale de la tête de puits (ayant habituellement les mêmes caractéristiques nominales que le BOP), ou bien aura une vanne d'isolation en amont, qui sera conçue de façon à ce que la tuyauterie (y compris des séparateurs quelconques) en aval de la vanne d'isolation soit ventilée vers l'atmosphère, et ne puisse pas être coupée de l'atmosphère.



4.2.15 – Bloc Obturateurs du Puits et accumulateurs

4.2.15.1

L'équipement de BOP et les accumulateurs pour les éléments de l'équipement du BOP qui fonctionnent hydrauliquement devront être conformes à l'API STD 53. Les BOP seront sélectionnés et installés selon le point 5.5 (voir page 84). Une tête de puits et un BOP typique pour le forage avec de l'eau ou de la boue est montré à la figure 8 (voir page 72).

NOTE

Les BOP pourraient être des types suivants:

- (a). vanne d'arrêt (équipée soit de mâchoires d'obturateurs à fermeture complète ou « pleines », soit de tuyau, tubage ou d'obturateurs de type à cisaillement);
- (b). annulaire;
- (c). rotatif (davantage utilisé pour le contrôle de la pression qu'en tant qu'obturateurs). Voir API Spec 16RCD et API RP 64; et
- (d). câble de forage (utilisés lors de la mise en place d'instruments ou d'outils sur un câble).

4.2.15.2

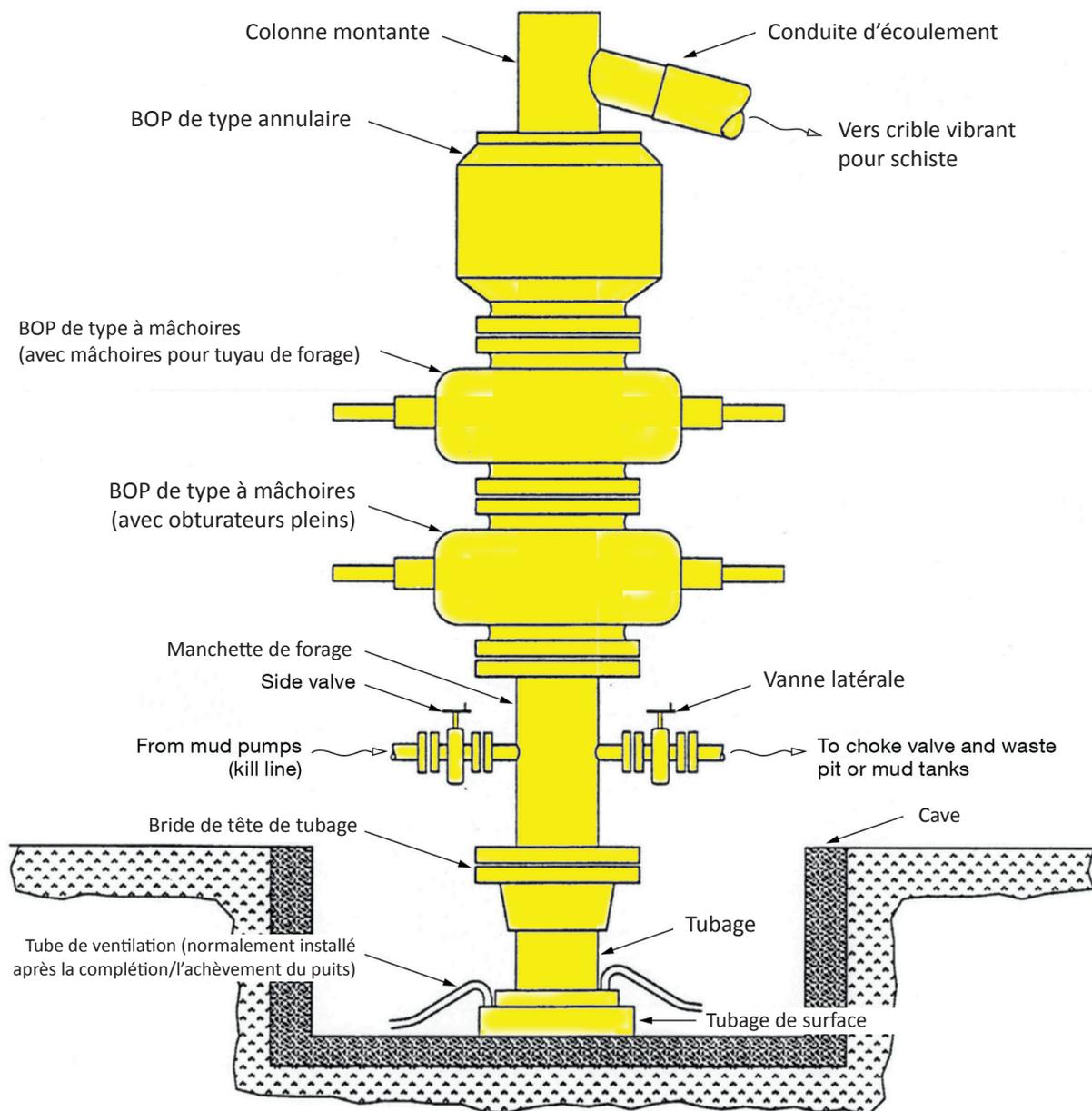
L'équipement de BOP installé sur un puits **sera** inspecté, entretenu, et testé en termes fonctionnels en conformité avec l'API STD 53. Les pressions d'essai ne **seront** pas inférieures aux conditions de service maximales prévues à la section 2 (à partir de la page 13).

4.2.15.3

Il **sera** possible de faire fonctionner le système de BOP à partir de deux emplacements indépendants au moins. L'un d'entre eux **sera** adjacent à la console du foreur et un autre **se trouvera** à une distance sûre de la base de la plateforme; un minimum de 10 à 20 mètres de la tête de puits/sous-structure et **sera** protégé de toute action éventuelle.

L'emplacement de l'accumulateur est l'une des positions possibles.

Figure 8
Tête de puits de forage typique utilisée
pour un forage avec de l'eau ou de la boue (non aérée)



4.2.15.4

Les matériaux élastomères utilisés dans les mâchoires d'obturateur de type vanne d'arrêt ou annulaire **devraient** être choisis pour résister aux températures élevées et la qualité de fluides géothermiques susceptibles d'être rencontrés. Les BOP de type rotatifs utilisés pendant le forage et le déclenchement dans le cadre d'opérations de forage avec des fluides aérés **utiliseront** des matériaux élastomères résistant aux températures élevées. La température nominale définie des joints **sera** documentée et les conditions de forage gérées de façon à maintenir les températures de la tête de puits en dessous de cette dernière.

4.2.15.5

Les unités de pompage sur les accumulateurs **seront** alimentées en énergie par un minimum de deux sources d'énergie, indépendamment de la profondeur de puits proposée, mais sinon selon l'API STD 53.

4.2.15.6

La capacité volumétrique des accumulateurs **sera** dimensionnée de façon à permettre l'ouverture et la fermeture de l'obturateur annulaire plus une fermeture individuelle par des mâchoires d'obturateur ou des obturateurs pleins, mais **sera** sinon dimensionnée selon l'API STD 53.

4.2.16 – Détection de gaz

Il y **aura** sur le site un système de détection de gaz approprié comprenant au moins deux capteurs ayant la capacité de détecter à la fois le H₂S et le CO₂. Celui-ci sera en permanence en fonctionnement lorsque la plateforme est en fonctionnement. Les détecteurs de gaz **seront** entretenus en conformité avec la documentation OEM du fabricant (d'origine), et activera les alarmes, tant sonores que visuelles.

Un plan de réduction des risques **sera** préparé et l'ensemble du personnel de la plateforme et d'assistance **sera** familiarisé avec sa mise en application.

Un équipement de prévention des risques gazeux **sera** prévu à des endroits appropriés et sera disponible à tout moment lorsque la plateforme est opérationnelle. Tout le personnel de plateforme et d'assistance **sera** formé et compétent dans l'utilisation de l'appareil respiratoire pour évacuation d'urgence (AREU) ou de tout équipement d'évacuation équivalent. Il y **aura** au moins un appareil respiratoire isolant (ARI) sur le site, et au moins deux membres de chaque équipe affectée à la plateforme seront formés et compétents dans ce domaine.



4.2.17 – Instrumentation de plateforme

Les exigences minimales posées à l'instrumentation de la plateforme seront:

- (a). l'indicateur de poids total;
- (b). le volume de réservoir et les indicateurs des gains et des pertes;
- (c). la jauge de pression de la colonne montante;
- (d). la jauge de pression de la tête de puits; et
- (e). les indicateurs pour les températures des fluides d'aspiration de pompe de plateforme et des fluides de retour.

Le reste de l'instrumentation **comprendra**:

- (f). les indicateurs de vitesse de pompe;
- (g). l'indicateur de couple de rotation;
- (h). l'indicateur de débit de fluide de forage (y compris le débit d'air le cas échéant) pour le débit en fond de puits, le débit de retour ou les deux;
- (i). les indicateurs de la hauteur de la tige carrée d'entraînement et les indicateurs de taux de pénétration;
- (j). la densité du fluide de forage ;
- (k). les enregistreurs qui enregistrent un ou tous ces paramètres;
- (l). l'indicateur de vitesse de rotation; et
- (m). l'indicateur de couple de blocage

L'instrumentation de la plateforme **sera** inspectée, entretenue et recalibrée en fonction des besoins au démarrage de chaque puits, et à des intervalles spécifiée dans les normes OEM pendant les opérations de forage.

4.2.18 – Espaces de stockage

Les espaces de stockage destinés aux substances dangereuses utilisées au cours de l'opération de forage **protégeront** ces dernières des effets nocifs sur l'environnement local et **veilleront** à ce que ces dernières ne mettent pas en danger le personnel de la plateforme.

Les réservoirs de stockage de carburant **seront** conçus et situés de façon à minimiser les risques potentiels et **répondront** aux règles et réglementations nationales et/ou régionales/locales pertinentes.

4.3. Outils

4.3.1. – Tuyau de forage et colliers de forage

Le tuyau de forage **sera** fabriqué et testé selon l'API Spec 5DP. Il **faudrait** sélectionner des nuances d'acier qui résistent aux fissures sous tension induites par le sulfure (tels que les aciers indiqués dans l'ANSI/NACE MR 0175/ISO 15156), tout en restant dans la capacité de résistance requise par les conditions de forage proposées.





Si le tuyau de forage est revêtu en interne pour contrôler la corrosion, alors il **faudrait** spécifier un revêtement haute température.

Les colliers de forage et raccords de tige maîtresse **devraient** être fabriqués et testés selon l'API Spec 7-1. La sélection de la connexion **devrait** se faire selon l'API RP 7G.

La colonne de forage et les tubages tubulaires **seront** stockés selon l'API RP 5C1. Les parcs à tiges seront conçus, construits et érigés de façon à ne pas pouvoir être déviés ou se tasser de façon significative à pleine charge.

4.3.2. – Aléseurs, stabilisateurs et ouvreurs de trou

Les aléseurs, stabilisateurs et ouvreurs de forages **disposeront** de la même connexion que les colliers de forage qui les porteront, afin de réduire à un minimum de croisements dans la colonne de forage.

Les outils de trépan proches **devraient** posséder une boîte de raccordement destinée à convenir au raccord de trépan standard tel que listé dans l'API Spec 7-2, et devraient être forés pour le clapet anti-retour correctement dimensionné.

Les composants des stabilisateurs et des aléseurs **devraient** être sélectionnés de façon à pouvoir résister à des conditions de forage hautement abrasives et devraient bénéficier d'un surfaçage dur supplémentaire afin de réduire l'usure excessive dans les formations extrêmement abrasives.

4.3.3 – Trépans de forage

Les trépans **devraient** être filetés selon l'API Spec 7-2. Ils seront sélectionnés en fonction des conditions de forage attendues.

NOTE

- (1). Les trépans utilisés pour le forage sont normalement des trépans tricônes. Lorsqu'on sait que des formations possèdent des propriétés consistantes, d'autres types de trépans tels que des trépans de conception caractérisée par un diamant polycristallin compact (PCD) et une matrice hybride peuvent fournir des performances nettement meilleures à celles des trépans tricônes.
- (2). Les formations sont souvent abrasives, ce qui exige de prévoir une protection supplémentaire du trépan contre l'usure du pan de chemise et la perte de jauge.
- (3). Les paliers à roulements fermés et les paliers lisses fermés confèrent une plus grande longévité au trépan ; la durée de vie du joint du palier est en revanche réduite à des températures élevées. On dispose de trépans possédant des joints conçus pour résister aux températures élevées.





- (4). Les températures élevées provoquent également une expansion des lubrifiants des paliers, et le lubrifiant peut être extrudé hors du joint lors d'une mise en place dans un forage si aucune mesure n'est prise pour prévenir cette expansion au niveau du design du trépan. Lorsque la circulation démarre, le refroidissement et la contraction du lubrifiant peut entraîner une aspiration des fluides de forage dans les paliers, en réduisant la durée de vie de ces derniers.

4.3.4. – Outils de manutention de tuyaux

Les outils de manutention **seront** inspectés et entretenus selon l'API RP 8B.

Les autres outils de manutention des tuyaux (par exemple pinces, raccords de levage de collier de forage) **seront** également inspectés et entretenus dans un état sûr et opérationnel.

4.3.5. – Forage dirigé et outils de mesure en fond de puits

Les instruments de fond de puits utilisés pour mesurer l'angle et la direction du forage ou pour collecter des données pendant le forage devraient être:

- a). dimensionnés pour fonctionner aux températures élevées qui conviennent; ou
- (b). protégés de périodes limitées d'exposition de températures élevées (par exemple par des puits de chaleur, des boucliers thermiques, ou les deux).

La sélection d'outils devant être utilisés pour dévier la direction du trou **tiendra compte** des températures attendues.

NOTE

Les moteurs à mouvement rectiligne pour les boues au fond du puits qui s'appuient sur un stator en élastomères pour leur fonctionnement n'opèrent pas toujours correctement à des températures suffisamment élevées pour provoquer une dilatation de l'élastomère. S'il est possible d'en disposer, les élastomères de stator haute température permettent de bénéficier d'une durée de service au fond du puits plus élevée.

4.3.6. – Outils de repêchage

Les outils de repêchage incorporant des matériaux élastomères (par exemple des garnitures en caoutchouc, des joints) **devraient** être équipés d'élastomères haute température chaque fois que cela est possible.

Les outils incorporant des réservoirs remplis d'huile (par exemple contenant des huiles hydrauliques ou de lubrification) **devraient** utiliser des huiles haute température et devraient prévoir des mesures permettant la libre expansion et contraction de l'huile sans qu'il soit nécessaire d'appliquer une pression inadmissible à des joints quelconques.





Lorsque des explosifs doivent être utilisés au fond du puits (par exemple tirs de colonnes, charges de sédiment, charges de perforation), les explosifs, les détonateurs, le cordon détonateur, le système de détonation et le câble **seront** tous sélectionnés pour les conditions de température et de pression susceptibles de survenir. Les explosifs et les articles associés **seront** stockés conformément aux exigences locales ou nationales et seront sécurisés contre toute pénétration par du personnel non autorisé.

NOTE

On a constaté que les bacs mécaniques ou hydromécaniques fournissent la meilleure performance lorsqu'ils fonctionnent à des températures élevées.

4.4. Matériaux consommables

4.4.1. – Tubage et accessoires

Les tubages **seront** conformes à l'API Spec 5CT ou l'API Spec 5L. Les centreurs **seront** complets avec des bagues d'arrêt.

Les accessoires de tubage (par exemple sabot, collier de forage flottant, collier de cimentation d'étage, suspente) **seront** filetés et de la même nuance d'acier que le tubage adjacent. S'ils ne sont pas de la même nuance, ils **seront** d'une nuance acceptable pour le critère de sélection des matériaux et les conditions de service prédites (tant minimales que maximales) détaillées dans la section 2 (à partir de la page 13). Dans les cas où l'accessoire n'est pas fileté avec le même filetage que le tubage, le raccord croisé **devrait** être aussi long que possible (jusqu'à la longueur d'un joint de tubage). Il **devrait** être dans un matériau qui satisfait au critère de sélection des matériaux et aux exigences de résistance pour les conditions de service prévues détaillées dans la section 2.

4.4.2. – Ciment et additifs

4.4.2.1

Les ciments et les mélanges de ciments utilisés **devront** être d'une qualité prédictible dans les conditions de service de mixage, pompage et prévues (y compris les températures basses et élevées). Ils **devraient** être sélectionnés pour résister à l'exposition à long terme aux fluides et températures géothermiques.

NOTE

- (1). Les ciments provenant de différents fabricants, tout en étant conformes aux spécifications API, ne se comportent pas toujours de la même manière lorsqu'ils sont utilisés dans des conditions géothermiques avec des mélanges et des additifs et à différentes températures.
- (2). Le ciment ou le mélange de ciments sélectionné devrait être capable de durer pendant la durée de vie de design du puits dans les conditions environnementales souterraines attendues (c'est-à-dire les conditions de pression, de température et de fluides).





4.4.2.2

Dans les cas où on doit utiliser une alimentation en eau de qualité inconnue pour la cimentation, des tests de laboratoire devront être réalisés afin de déterminer les caractéristiques d'écoulement, d'épaississement et de résistance des coulis de ciment proposés.

NOTE

- (1). Les eaux de surface dérivées des zones fortement boisées peuvent contenir des matériaux organiques suffisamment dissous pour retarder de façon significative la vitesse de prise du coulis de ciment.
- (2). Les fluides géothermiques ne conviennent pas toujours aux coulis de ciment.
- (3). Il est utile d'analyser l'eau par rapport à son pH, la présence éventuelle de nitrates, de chlorures, de sulfates et de silices dissous du fait que ces derniers affectent l'hydratation.

4.4.2.3

Les retardateurs utilisés pour n'importe quelle opération de cimentation **seront** sélectionnés après avoir pris en considération à la fois le maximum et le minimum des températures de circulations probables.

NOTE

Certains retardateurs conçus pour un usage à des températures élevées génèrent un coulis de ciment qui ne prend pas pendant très longtemps, à moins qu'une température minimale ne soit dépassée. Inversement, les retardateurs à basse température peuvent devenir inefficaces à des températures élevées en entraînant une prise éclair du coulis de ciment avant que celui-ci ne soit en place.

4.4.2.4

Tous les additifs **devraient** être opérationnels dans la plage des conditions de service possibles pour chaque opération de cimentation et chaque mélange utilisé. Leur effet sur l'écoulement du coulis, la prise et les propriétés de résistance **devraient** être certifiés par le fabricant ou testés en laboratoire avant d'être utilisés aux températures attendues.

NOTE

Les additifs de ciment communément utilisés comprennent:

- (a). les additifs à la silice. Ces derniers sont parfois recommandés pour limiter la baisse de la résistance et l'accroissement de la porosité qui apparaît dans les coulis de ciment nets ; ils sont néanmoins susceptibles d'entraîner une détérioration du ciment en présence de nappes phréatiques carbonées à des températures excessives (par exemple plus de 20% en poids de ciment);
- (b). les retardateurs;
- (c). les accélérateurs;
- (d). les réducteurs de friction;





- (e). les agents de contrôle de perte de fluide. L'exigence de cimenter la longueur totale de chaque tubage dans les réservoirs présentant des pressions inférieures aux pressions hydrostatiques froides génèrent de grandes pressions différentielles entre une colonne de ciment et des fluides de formation. Ceci peut déboucher sur un pontage annulaire avec des ciments à forte perte d'eau;
- (f). le mica. Celui-ci ne se décomposera pas à des températures élevées, contrairement à la plupart des matériaux organiques à perte de circulation; et
- (g). les agents de réduction de poids des coulis. Ces produits sont utilisés à produire des coulis de ciment basse densité pour réduire les pertes pendant la cimentation.

4.4.3. – Surveillance des volumes des fluides

Les matériaux de fluide de forage **seront** sélectionnés de façon à fournir les propriétés requises aux températures attendues pour l'intervalle de forage particulier.

NOTE

Pour réaliser le forage proche de la surface aux endroits où on s'attend à des températures assez basses, on n'a besoin d'aucun traitement spécial pour les fluides bentonitiques à base d'eau. Au fur et à mesure que le forage progresse et que les températures augmentent, les fluides de forage requièrent un traitement chimique afin de maintenir la viscosité, la résistance au gel et les propriétés de perte d'eau souhaitées.

On disposera de sulfate naturel de baryum ou d'un alourdissant alternatif sur le site de forage afin de produire des fluides alourdis comme l'exige le contrôle de la percussion.

Les matériaux fluides de forage **devraient** répondre aux exigences de l'API Spec 13A.

NOTE

Les propriétés des fluides de forage utilisant l'un quelconque de la grande variété de matériaux disponibles, exigent normalement des tests en laboratoire afin d'assurer une performance satisfaisante à des températures et pressions élevées avant tout usage en fond de puits (voir API RP 13I). On peut accepter les matériaux alternatifs localement disponibles.

4.4.4. – Composition et application de fluides de forage

Les fluides de forage **devraient** être à base d'eau, et peuvent comprendre certain des ou tous les fluides suivants:

- (a). argile bentonitique;
- (b). polymères; et
- (c). produits chimiques destinés à contrôler les propriétés d'écoulement et statiques.

De tels fluides de forage sont normalement utilisés jusqu'à la profondeur du tubage cimenté ou de la colonne perdue cimentée la plus profonde. On utilise ensuite typiquement de l'eau.





NOTE

Les fluides à base de bentonite ne sont pas recommandés pour une utilisation dans le cadre du forage dans la section de forage non tubé présentant des températures plus élevées située en dessous du tubage de production. S'il devait y avoir des pertes de fluides significatives vers la formation dans la section de production, la bentonite pourrait affecter la perméabilité du puits en cas de réchauffement de ce dernier.

4.4.5. – Matériaux d'aération

Les matériaux utilisés dans les fluides de forage aérés (par exemple mousses, antimousses, polymères, inhibiteurs de corrosion) **seront** sélectionnés pour résister aux températures élevées.

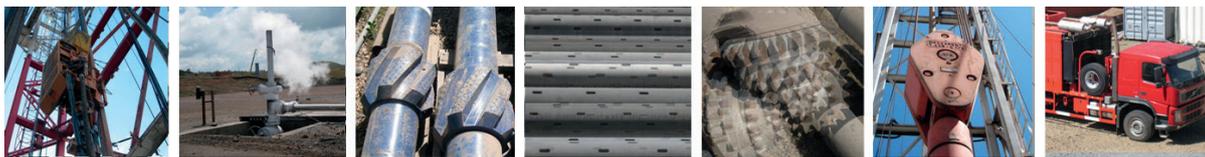
4.4.6 – Matériaux de perte de circulation

Les matériaux de perte de circulation (MPC) devant être pompés dans le puits **devraient** posséder une taille maximale n'ayant pas d'effet négatif sur la performance de la vanne de la pompe.

Les MPC utilisés dans la cimentation de tubage ne **devraient** pas se détériorer à des températures élevées.

Dans le cas où on recourt à des bouchons de ciment dans les zones scellées de perte de circulation pendant le forage, le coulis de ciment **sera** formulé de façon à produire un ciment doux après la prise, afin d'éviter de faire démarrer le puits dans un nouveau forage lors de la tentative de percer le ciment. Lorsqu'il est placé dans un forage chaud, le coulis de ciment **devrait** être retardé afin d'assurer la récupération en toute sécurité de la colonne de forage.





5. PRATIQUES DE FORAGE ET DE TESTS DE PUIITS

5.1. Dans la présente section

La section 5 traite de différentes activités impliquées dans le forage rotatif, l'achèvement, le test et la maintenance d'un puits. Les exigences de santé et de sécurité pendant les opérations de forage **seront** couvertes par les systèmes de sécurité du propriétaire du puits ou de l'entrepreneur en construction, ou les deux en conformité avec les réglementations relatives au travail et à la sécurité du pays où l'activité de forage a lieu.

NOTE

- (1). Le forage géothermique se différencie des forages conventionnels de puits de pétrole, de gaz et d'eau dans les principaux domaines suivants:
 - (a). la température. Les températures de réservoir élevées réduisent la performance du trépan de forage, affectent négativement les propriétés du coulis de cimentation et du fluide de forage, réduisent la performance des composants du BOP, accroissent les taux de corrosion et, dans certains réservoirs, génèrent un état dans lequel une perte de pression au fond du puits peut entraîner une évaporation brutale du liquide du réservoir, provoquant un reflux ou une explosion depuis les faibles profondeurs;
 - (b). la géologie. De nombreux réservoirs se trouvent dans des roches volcaniques ou sédimentaires interstratifiées ou les deux, et sont communément associées avec des failles locales et régionales. En conséquence de quoi les caractéristiques perméables sont communes, et ces dernières peuvent être impliquées dans des incidents à des niveaux de profondeur accompagnés de pertes de circulation majeurs. Les couches volcaniques peu profondes présentent de faibles densités volumiques et offrent une faible résistance aux explosions; et
 - (c). la géochimie. Les fluides géothermiques contiennent diverses concentrations de solides et de gaz dissous. Ces composants dissous peuvent générer des fluides acides ou corrosifs, et entraîner des précipitations solides pendant les opérations du puits. Les gaz dissous sont normalement dominés par le CO₂, mais contiennent des quantités significatives d'H₂S, deux gaz capables de représenter un risque élevé pour le personnel et provoquer des défaillances à la fois au niveau des outils de forage et les matériaux permanents du puits;
- (2). Ce code traite du forage rotatif. Les autres techniques de forage comprennent le forage par outil à câble, le forage par percussion (utilisant un marteau en font de puits) et le giclage. On les utilise normalement pour les forages à profondeur relativement faible de



roches dures ou les formations non cimentées et non consolidées, et ne sont par conséquent pas abordées en détail dans ce code.

- (3). Le carottage par câble n'est pas traité en détail dans ce code. Mais les pratiques de forage décrites pour le forage rotatif conventionnel peuvent généralement s'appliquer aux opérations de carottage par câble. Une opération de carottage par câble conventionnelle adaptée au forage géothermique exige de prévoir la récupération en toute sécurité du baril intérieur et l'utilisation d'une colonne de forage sans clapet anti-retour.

5.2. Compétence et supervision du personnel

Le personnel disposant du contrôle immédiat de toute opération de forage ou de reconditionnement **sera** formé et compétent dans la prévention des explosions et le contrôle de puits géothermiques, et une telle personne disposera du contrôle direct de la plateforme pendant que celle-ci est opérationnelle.

5.3. Fluides et produits hydrauliques de forage

5.3.1. – Fluides de forage et programmes hydrauliques

Les fluides de forage et les programmes hydrauliques préparés en conformité avec le 4.1.2 (voir page 61) **seront** mis en œuvre et modifiés pour convenir aux conditions rencontrées en fonction de la progression du forage.

NOTE

- (1). On demande aux fluides de forage de:
 - (a). retirer les déblais et le gaz de formation du puits pendant le forage;
 - (b). refroidir et lubrifier le trépan et la colonne de forage;
 - (c). appliquer la pression aux fluides de formation pour contrôler l'écoulement dans ou hors du puits; et
 - (d). refroidir la formation, notamment avant la cimentation.
- (2). Divers fluides de forage sont sélectionnés en fonction des pressions et les températures de réservoir et les techniques de forage planifiées. Les fluides de forage utilisés comprennent normalement l'eau, les boues bentonitiques ou polymères à base d'eau, les eaux ou les boues aérées, une mousse rigide, du brouillard ou de l'air.
- (3). Les boues de forage à base d'huile utilisées dans l'industrie du pétrole et du gaz ne sont normalement pas utilisées dans le forage géothermique.

5.3.2. – Surveillance des propriétés des fluides de forage

Les propriétés des fluides y compris la densité, la viscosité, la résistance au gel, la perte d'eau, et le contenu solide seront régulièrement mesurées et contrôlées.



NOTE

- (1). Les pressions de fluide statique dans les réservoirs géothermiques sont normalement inférieures à celles qui sont exercées par une colonne d'eau froide. Gardez les densités de fluide de forage à un minimum afin de réduire les pertes, compatibles aux exigences afin de contrôler le flux entrant de fluides de formation, et afin d'assurer un nettoyage de forage adéquat. Une gravité spécifique de la boue (GS) de 1,15 à 1,20 devrait être adéquate dans la plupart des réservoirs. Une GS supérieure à 1,9 pourrait cependant s'avérer nécessaire au contrôle de démarrage à court terme.
- (2). Pour les fluides de forage à base de bentonite, les températures élevées provoqueront normalement des hausses significatives de la viscosité, de la résistance au gel et des pertes de fluides, particulièrement lorsque la circulation s'arrête. Dans l'éventualité d'une hausse de la viscosité au fond du puits, les viscosités mesurées à la surface pourraient s'avérer plus basses que ce qui est habituel dans un puits froid. Les viscosités élevées augmenteront les pressions de pompage et les pressions de circulation au fond du trou, et réduiront l'efficacité de l'équipement d'enlèvement des solides forés à la surface. Les viscosités à l'entonnoir Marsh varient de façon typique de 40 secondes dans le refroidisseur, forage supérieur, à 35 – 38 secondes pour le forage plus profond plus chaud.
- (3). Les résistances au gel excessives peuvent provoquer des pressions élevées au fond du puits et des pertes de fluides de forage lorsque la circulation est redémarrée, et peuvent entraîner des coups de bélier ou des pressions de pistonage lors de la mise en place d'éléments tubulaires dans le forage ou de leur retrait du trou. Des résistances au gel de 4,8 Pa (10 lbf/100 sq ft) devraient être typiques pour le forage à des températures élevées. Des résistances au gel excessives peuvent se développer rapidement dans des fluides stationnaires à des températures élevées.
- (4). La perte d'eau du fluide vers la formation encourage la formation d'une épaisse couche de boue, appelé 'gâteau mural', prenant la forme d'un revêtement dans le trou. Le gâteau mural aide la pression hydrostatique du fluide de forage à exercer une pression stabilisatrice sur la formation. Mais une perte excessive d'eau peut constituer un gâteau mural épais indésirable dans le trou, entraînant un blocage de la colonne de forage ou du tubage dans le trou. Les températures élevées ont tendance à faire augmenter la perte d'eau et par conséquent l'épaisseur du gâteau mural. La perte d'eau devrait normalement être maintenue en dessous de 10 ml (cc)/30 minutes. Il est possible de déduire les propriétés de la boue à des températures plus élevées en mesurant la perte de fluide haute température en recourant à un équipement de test (API RP 13B-1) à la norme API HTHP (haute température/ haute pression).

5.3.3. – Volumes des fluides de surveillance

Le volume total du fluide de forage, le débit, la température et les contenus de tous les retours **seront** surveillés étroitement afin de pouvoir être averti précocement de tout flux de retour incontrôlé de fluides depuis le réservoir.





NOTE

- (1). Les phénomènes suivants pourraient constituer l'indice d'un écoulement potentiel de fluides de formation dans le puits:
 - (a). un gain ou une perte significative et inexplicable de volume total (par exemple pertes de surface ou aération);
 - (b). une perte totale de retours;
 - (c). une hausse rapide de la chaleur retournée à la surface; ou
 - (d). gaz de formation dans les retours,
- (2). Les fluides peuvent contenir n'importe quel mélange de gaz, de vapeur ou d'eau chaude, et sont susceptibles de provoquer une éruption de fluide hors du puits en l'absence de contrôle BOP approprié. Voir 5.5 à la page 86.

5.3.4. – Circulation des fluides de forage

Il **faudrait** faire circuler les fluides de forage à un débit suffisant pour pouvoir soulever les déblais depuis le fond du trou, et pour refroidir le trou.

5.3.5. – Fluides de forage de refroidissement

Lorsque les températures de retour sont brûlantes, les fluides de retour **seront** refroidis avant la recirculation afin de réduire la détérioration des propriétés du fluide et d'éviter toute ébullition à la surface ou dans le puits.

5.3.6. – Utilisation de l'eau comme unique fluide de forage

Il **faudrait** éviter d'utiliser de l'eau en tant que fluide unique de forage dans des sections autres que la section finale du forage non tubé.

Lorsque de l'eau doit être utilisée en tant que fluide de forage, il **faudrait** veiller à pomper régulièrement des « rincées » à haute viscosité afin d'aider au nettoyage du trou.

NOTE

- (1). L'utilisation de l'eau provoquera moins de dommages à la perméabilité de la formation que les boues de forage.
- (2). Comme l'eau présente une moindre viscosité que les boues de forage, la vitesse de glissement des déblais sera plus grande avec de l'eau, exigeant des vitesses annulaires supérieures afin d'atteindre un nettoyage adéquat du trou.
- (3). On utilise des vitesses annulaires d'au moins 40 m par minute lorsqu'on fore avec de l'eau.
- (4). Lorsqu'on fore avec de l'eau, que ce soit avec des retours à la surface ou non, il existe un risque accru d'accumulation de déblais à différents endroits dans l'anneau. Ceci est dû à une vitesse réduite (par exemple dans les zones où l'anneau est agrandi, telles que les zones adjacentes aux zones du forage agrandi, les zones de réduction du diamètre de la colonne de forage ou les zones d'accroissement de la taille du tubage). À des vitesses annulaires basses, les déblais enfonceront l'anneau en entraînant un blocage de la colonne de forage.





- (5). Les effets des déblais accumulés sont contrôlés en observant régulièrement la profondeur de remplissage mesurée avec la colonne de forage sans circulation ni rotation, et en observant toute résistance et traction excessive lors du levage ou de l'abaissement de la colonne de forage.
- (6). Des balayages de boue occasionnels peuvent s'avérer nécessaires pour maintenir le puits dans un état sûr et apte au forage. Pendant le forage de la section du puits destinée à la production, la réduction au minimum du volume et la fréquence des balayages de boue cohérente avec un forage sûr réduiront l'étanchéité potentielle de la perméabilité naturelle.
- (7). Lorsque le forage est réalisé avec de l'eau avec un retour partiel ou nul de fluide de forage, et si le débit d'alimentation en eau est limité, le forage ne doit être poursuivi que tant qu'il est possible de maintenir un débit de circulation adéquat permettant de mener à bien le nettoyage du puits. Si l'alimentation en eau est inadéquate, on peut recommander de cesser le forage et de retirer le sabot de tubage pendant que le stockage de l'eau est constitué.
- (8). Lorsque le forage est réalisé avec de l'eau mais sans retours à la surface ('forage aveugle'), un flux constant d'eau pompée en bas de l'anneau à l'extérieur de la colonne de forage aidera à chasser les déblais de l'anneau. Ce dernier aidera à la fois à lubrifier la colonne de forage supérieure et à refroidir les zones perméables moins profondes (qui produiront souvent des fluides de formation chauds dans le puits).

5.4. Maniement de la colonne de forage

5.4.1. – Spécifications de la colonne de forage

Les spécifications suivantes s'appliquent:

- (a). le design, la sélection et l'utilisation de composants de colonne de forage (par exemple tige carrée d'entraînement, tuyau de forage, colliers de forage, tiges de carottage, outils de fond de puits) **devraient** être conformes à l'API RP 7G ou à une autre norme reconnue.
- (b). les nouvelles connexions de la colonne de forage **devraient** être réalisées avec un nettoyage approfondi, une nouvelle lubrification, une lente mise en place et l'application d'un couple de serrage adapté au style de connexion comme cela est détaillé dans l'API RP 7G.
- (c). il **faudrait** recourir à des lubrifiants de filetage recommandés pour une utilisation à des températures élevées pour les connexions épaulées rotatives. Il **faudrait** éviter d'utiliser des composants de filetage de tubage sur les connexions rotatives épaulées, voir l'API RP 5A3.

5.4.2. – Surveillance de la réalisation et de la rupture de connexions

Il **faudrait** utiliser une jauge à couple de pince pour s'assurer que le couple de serrage appliqué aux connexions de colonne de forage est correct.





5.4.3. – Inspections de la colonne de forage

Les composants de colonne de forage **seront** inspectés à des intervalles réguliers quant à leur usure, leur corrosion, la présence de fissures ou de piqûres et tous autres dommages. Les aléseurs, stabilisateurs et ouvreurs de forage **seront** également contrôlés quant à la présence de fissures du corps, des lames et des bras en fonction des besoins. Les intervalles entre les inspections **devraient** être déterminés en fonction de l'historique de forage et de stockage précédent de ces composants.

5.4.4. – Restriction des vitesses de mise en place lors du déclenchement

Les vitesses de mise en place de la colonne de forage, tant pour l'introduction dans le puits que pour l'extraction hors du puits, **devraient** être limitées à une vitesse qui:

- (a). ne génère pas des coups de bélier suffisants pour entraîner des pertes de fluide vers la formation; et
- (b). ne génère pas des pressions de pistonage suffisantes pour entraîner des flux entrants de fluide de formation dans le puits de forage.

NOTE

Une réduction de la pression d'une eau à température élevée peut provoquer une ébullition et un flux de retour de fluides.

5.4.5. – Clapet anti-retour

Toutes les colonnes de forage entrant dans un puits **contiendront** un clapet anti-retour à l'extrémité inférieure de la colonne de forage.

5.4.6. – Refroidissement des outils en fond de puits pendant le déclenchement

En fonction des températures de formation attendues, il **faudra** faire circuler des fluides de refroidissement à travers la colonne à des intervalles prédéterminés pendant le déclenchement. Ceci est destiné à éviter des dommages aux composants sensibles à la température tels que les bacs, les moteurs de boue, l'équipement électronique et les trépons de forage.

5.5. Contrôle du puits

5.5.1. – Dans les cas où on a besoin de BOP

Une tête de puits de forage (incorporant des BOP) **sera** installée pour toutes les phases de forage suivant la cimentation de la première colonne de tubage, à l'exception:





- (a). des cas où les fluides de réservoir sont exclus du puits par un bouchon de ciment ou mécanique ou d'un packer à l'intérieur du tubage cimenté; et
- b). des cas où la preuve a été apportée que le puits peut être entretenu en toute sécurité dans un état tué sans décharge en pompant de l'eau dans le puits.

5.5.2. – Moyens d'attache de la tête de puits de forage

La tête de puits de forage **sera** attachée au tubage cimenté le plus profond qui s'étend jusqu'à la surface, sauf dans les cas où un tubage peu profond de grand diamètre satisfait aux exigences de design de la section 2 et où l'intégrité du ciment entre les tubages moins profonds et plus profonds est adéquate pour les conditions d'exploitation prévues.

5.5.3. – Prévision de BOP pour fermer le puits

La tête de puits de **prévoira** un dispositif de fermeture complète du puits, avec et sans tubulaires de forage dans le puits, ainsi que des mesures permettant l'écoulement du fluide provenant du puits (c'est-à-dire une ligne d'évacuation) et l'injection de fluides dans le puits (c'est-à-dire une ligne de tuage du puits). La ligne de tuage du puits et la ligne d'évacuation **seront** situées en dessous des points d'arrêt.

5.5.4. – Exigences minimales posées à la tête de puits de forage

Les exigences minimales de tête de puits de forage sont une vanne ou un BOP de type à mâchoires équipé de mâchoires de fermeture complète et d'un BOP de type annulaire avec ligne de tuage du puits et ligne d'évacuation attachés à la partie inférieure du BOP inférieur ou à une manchette de forage située entre le BOP et le tubage.

NOTE

Il est normal d'inclure comme capacité de secours un BOP de type à mâchoires pour tuyau de forage. On peut également incorporer une vanne de forage.

5.5.5. – Installation de la vanne maîtresse

Le calendrier d'installation de la vanne maîtresse **devrait** prendre en considération les facteurs suivants:

- (a). l'éventualité que des vannes soient endommagées par le passage d'outils et d'une accumulation de solides forés et de ciment. Une exposition à de telles conditions peut entraîner un dysfonctionnement de la vanne
- (b). la sécurité relative de l'installation de la vanne maîtresse à l'achèvement du puits, en tenant compte du temps requis et des risques inhérents au soulèvement et à l'enlèvement



du BOP et à son remplacement par la vanne maîtresse et le temps pendant lequel le puits de forage est exposé sans isolation primaire.

- (c). toutes mesures de protection potentielles disponibles pour protéger la vanne maîtresse permanente si celle-ci est traversée par le forage – par exemple utilisation d'un manchon ou d'une bride ayant un diamètre plus petit.

5.5.6. – Forage sous-équilibré

Dans les cas où il est proposé de forer avec une pression annulaire positive sur la tête de forage (par exemple dans les cas où le forage se fait avec des fluides aérés ou dans d'autres conditions sous-équilibrées), un Bloc Obturateur de Puits rotatif et un défecteur **devront** être prévus dans la tête du puits de forage.

5.5.7. – Tests et inspection des BOP

Les exigences posées par rapport à l'inspection et aux essais de l'équipement de la tête du puits sont:

- (a). les têtes de puits de forage **devront** avoir été testées sous pression après assemblage et avant le percement du ciment dans le tubage.
- (b). les BOP **seront** régulièrement inspectés, testés au plan fonctionnel et entretenus conformément à l'API STD 53 (voir le point 4.2.15.2 à la page 71).

5.5.8. – Évitement d'un flux de retour ou d'une décharge du puits

Il **faudrait** adopter des pratiques de forage qui évitent tout flux de retour ou décharge du puits. Ces dernières comprennent:

- (a). le remplissage du tuyau de forage avant d'attacher une tête de circulation ou une tige carrée d'entraînement et de rétablir la circulation;
- (b). une extraction du tuyau de forage à une vitesse n'entraînant pas le pistonnage du fluide du puits ou la réduction des pressions au fond du puits inférieures aux pressions du fluide de la formation statique;
- (c). le remplissage du puits avec du liquide lors de l'extraction de la colonne de forage du puits;
- (d). le refroidissement adéquat du fluide de forage avant toute circulation de ce dernier vers le bas de la colonne de forage;
- (e). le pompage à un débit adéquat pour refroidir le puits;
- (f). s'abstenir de pomper un fluide de forage contenant de l'air ou du gaz entraîné;
- (g). l'utilisation d'un fluide de forage ayant une densité adéquate pour générer des pressions au fond du puits de forage supérieures aux pressions du fluide de réservoir à la

même profondeur (c'est-à-dire forage dans une condition sur-équilibrée);

- (h). laisser le forage ou une partie de ce dernier rempli d'un fluide possédant une densité et une résistance au gel suffisante permettant d'éviter tout passage en phase gazeuse pendant une certaine durée (par exemple des forages pilotes pendant la période requise pour ouvrir la pleine longueur du forage pilote au diamètre souhaité);
- (i). la réduction du taux de pénétration permettant au gaz ou à la chaleur d'être évacué par circulation pendant un forage à travers des formations plus douces pouvant contenir du gaz ou des fluides haute température;
- (j). le pompage d'eau vers l'anneau en dehors de la colonne de forage pendant un forage sans retours de fluide; et
- (k). faire circuler le fluide de forage par étapes pendant la mise en place de la colonne de forage dans un puits chaud afin d'extraire la chaleur du puits.

5.5.9 – Maintien du contrôle du puits par le biais d'une surveillance continue des paramètres de forage

Les paramètres de forage pertinents **seront** surveillés en continu. Certaines indications que le puits peut démarrer ou a démarré pour le flux de retour comprennent:

- (a). les changements du volume total du fluide de forage;
- (b). des indices de la présence de gaz de formation dans les retours de fluide de forage;
- (c). l'accroissement de la température de retours de fluide de forage;
- (d). l'accroissement du débit des retours de fluide de forage;
- (e). un accroissement rapide du taux de pénétration ou une rupture de forage (dans les cas où le forage progresse rapidement avec peu de poids ou pas de poids du tout exigé sur le trépan);
- (f). une perte de circulation;
- (g). une perte apparente de poids de la colonne de forage pendant le forage qui est incohérente avec la vitesse d'alimentation de la colonne de forage dans le puits; et
- (h). une contamination du fluide de forage telle qu'indiquée par la réduction de la densité ou l'accroissement des solides dissous (par exemple du NaCl).

NOTE

- (1). Dans le cas des forages sans retours, une perte de circulation plus profonde peut être indiquée par une perte rapide de pression de pompage.
- (2). Un flux entrant de fluides chauds dans le puits provoquera une expansion de la colonne de forage entraînant un accroissement du poids sur le trépan.

5.5.10 – Procédures de contrôle du puits

Des procédures de contrôle de puits **seront** mises en œuvre au premier signe qu'un flux de retour peut être possible ou est en train de se produire.

NOTE

Le contrôle du puits pourrait comprendre les étapes suivantes:

- (a). s'il y a une colonne de forage au fond, soulever le fond afin d'éviter que celui-ci ne se colle;
- (b). contrôler si la ligne d'évacuation est ouverte ou fermée, en fonction de la préférence pour une fermeture douce ou dure, et fermer le BOP approprié (c'est-à-dire des mâchoires pleines s'il n'y a pas de colonne de forage dans le puits, des mâchoires de tuyau en présence d'un tuyau de forage opposé, ou un obturateur annulaire si aucun des cas précédents ne s'applique). Fermer la ligne d'évacuation, si cela n'a pas encore été fait, et mesurer le tuyau de forage et les pressions annulaires. Déterminer si on essaiera de tuer le puits, ce qui suppose que la cause est un choc thermique sans gaz ni pression, en suivant (3), (4), et (8), ou si le choc doit être évacué par circulation, suivant (e);
- (c). pomper du fluide de forage pour refroidir le puits;
- (d). si un choc thermique est supposé et que le flux de retour provient effectivement d'une zone gazeuse ou en surpression, les conditions peuvent se détériorer rapidement en entraînant une perte de contrôle du puits. La décision de supposer qu'il s'agit d'un choc thermique qui peut être contrôlé en recourant à de l'eau nécessite un passage en revue constant pendant le processus de tuage;
- (e). si la colonne de forage se trouve dans le puits, le pompage en bas de la colonne de forage via la tige carrée d'entraînement ou une tête de circulation est plus efficace que le pompage vers l'anneau;
- (f). contrôler la pression de la tête de puits en ouvrant ou en fermant graduellement la ligne d'évacuation en maintenant une pression suffisante pour empêcher les fluides retournant d'entrer en ébullition;
- (g). les fluides contenus dans un puits (y compris les fluides de forage) peuvent être chauffés à des températures nettement supérieures à 100°C. Si la pression de tels fluides chauds baisse, l'eau dans le fluide commencera à bouillir en se transformant en vapeur. La vapeur réduira la densité de la colonne de fluide dans le puits en provoquant une poursuite de la réduction des pressions au fond du puits et en entraînant une poursuite de l'ébullition de l'eau. Une telle ébullition peut se soutenir elle-même et s'accélérer jusqu'à s'étendre à l'essentiel ou à la totalité de la profondeur du puits. Ce phénomène est nettement distinct de celui de la montée et de l'expansion d'une bulle de gaz considérée comme la base d'un contrôle de choc dans les procédures d'opération de BOP dans les forages de pétrole et de gaz; et
- (h). s'il y a une possibilité quelconque que le flux de retour provienne d'une zone gazeuse ou d'une zone aqueuse en surpression, suivre les méthodes conventionnelles d'évacuation par circulation suite à un choc.



5.5.11 – Gestion des gaz dangereux

Si la présence de gaz dangereux est détectée dans les retours de fluide de forage, il **faudra** prendre toutes les actions de sécurité nécessaires afin de s'assurer que le personnel ne soit pas mis en danger du fait de ces gaz. Dans ces circonstances, le trépan **devrait** être tiré du fond, la rotation continuée, et le débit de liquide (mais pas le débit de l'air si on utilise des fluides aérés) augmenté. En cas de besoin, le BOP **devrait** être fermé et le puits circulé en retour vers les réservoirs de boue à travers la ligne d'évacuation.

NOTE

Suivant les actions initiales destinées à sauvegarder le personnel et le puits des effets de gaz dangereux, faites circuler le gaz hors du puits. Si cette mesure n'est pas couronnée de succès, contrôler le débit du flux entrant des gaz en changeant au besoin les paramètres de circulation. Dans les cas extrêmes, ceci pourrait exiger la poursuite du forage sans aération des fluides de forage, ou inciter à traiter les retours afin de réduire les concentrations de gaz ambiant à des niveaux acceptables.

5.6. Mise en place du tubage

5.6.1. – Manipulation et stockage de tubages

Le tubage **sera** manutentionné et stocké comme le recommande l'API RP 5C1.

NOTE

Comme les contraintes induites thermiquement sur le tubage approchent souvent et parfois dépassent les contraintes de rupture minimales spécifiées, l'intégrité de la colonne de tubage est conditionnée par un minimum ou l'absence de dommages physiques ou de soudure au tubage et aux connexions de ce dernier.

5.6.2. – Nettoyage et inspection des filetages de tubage

Sauf dans les cas de nettoyage et d'inspection des filetages de tubage, les protecteurs inférieurs ne **devraient** pas être retirés d'un joint de tubage jusqu'à ce que ce dernier ait été tiré dans le mât. Il **faudrait**, avant de mettre en place le tubage fileté, retirer les protecteurs de filetage et les raccords de manipulation avec serrage, nettoyer les filetages, inspecter visuellement, lubrifier à nouveau, et revisser les protecteurs inférieurs nettoyés (ou les colliers sur les protecteurs).

5.6.3. – Tubage de passage

Avant de mettre en place le tubage, ce dernier **devrait** être poussé sur les supports en recourant à un outil de traction dimensionné selon les prescriptions de l'API Spec 5CT. Tous les joints de tubage qui sont pliés, excentrés, ont des filets endommagés ou présentent tout autre dommage **seront** rejetés et remplacés par d'autres joints de tubage de même nuance et poids.





5.6.4. – Tubage endommagé

Lorsque le tubage est mis en place dans le puits, tous les joints de tubage qui sont pliés, excentrés, ont des filets endommagés ou présentent tout autre dommage **seront** rejetés et remplacés par d'autres joints de tubage de même nuance et poids.

5.6.5. – Compte-rendu des pointages de tubage

La longueur de tous les joints de tubage et accessoires inclus (par exemple par exemple sabot, collier de forage flottant, collier de cimentation d'étage, suspente) **sera** mesurée, enregistrée et réconciliée avec le pointage de tubage final entré dans le puits.

5.6.6. – Identifications des différences de tubage

Lorsque des tubages de différents poids, nuances ou connexions doivent être mis en place, les différents tubages **seront** identifiés de façon positive, clairement marqués, et posés sur les parcs à tige dans l'ordre de mise en place programmé.

5.6.7. – Préparation et équipement des tubages

Avant de mettre en place un tubage quelconque devant être cimenté dans le puits, tous les équipements et accessoires de manutention, matériaux de cimentation, accessoires de cimentation, dispositifs de mesure et matériaux **seront** sur place et pleinement opérationnels.

5.6.8. – Centreurs de colonne de tubage

Les centreurs de tubage **devraient** être mis en place par des bagues d'arrêt attachés mécaniquement au corps du tuyau. Les bagues d'arrêt ne **seront** pas attachées par soudage au tubage. Les centreurs de tubage ne **devraient** pas être placés par-dessus des raccords.

5.6.9. – Frein-filet

Les trois joints de fond du tubage (y compris les raccords en cas de manipulation avec serrage), sabots de tubage, équipement flottant, et tous les autres accessoires de tubage similaires situés dans la section inférieure de la colonne de tubage **devraient** être réalisés avec un lubrifiant époxy ou un lubrifiant frein filet similaire. Ceci afin d'éviter le dévissage de l'accessoire pendant le forage de sortie et les opérations de forage suivantes. Le lubrifiant frein filet **sera** formulé de façon à produire des performances satisfaisantes aux températures élevées attendues.

5.6.10 – Soudage du tubage

Dans les cas un soudage du ou sur le tubage est inévitable, il **faudra** recourir à une procédure appropriée aux matériaux et faire appel





à des soudeurs qualifiés dans cette procédure. En cas de présence éventuelle de H₂S, le soudage **devra** être conforme à l'ANSI/NACE MR 0175/ISO 15156.

5.6.11 – Préparation du puits de forage avant la mise en place du tubage

Avant de mettre en place le tubage, le forage devrait être exempt de rebords, angles saillants et gâteau mural de boue épais.

NOTE

- (1). Les rebords ou les angles saillants peuvent empêcher que le tubage ne soit mis en place à la profondeur désirée et engendrent des contraintes de flexion inacceptables dans le tubage.
- (2). L'action de mise en place du tubage peut entraîner des chutes de déblais ou de pièces de formation dans le puits. Un forage supplémentaire réalisé en dessous de la profondeur de sabot de tubage planifié, habituellement environ 3 m, peut empêcher que de tels matériaux remplisse le forage à une profondeur moins grande que prévu.
- (3). Un forage supplémentaire permet également l'expansion thermique du tubage.

5.6.12 – Conditionnement de fluide avant la mise en place du tubage

Avant d'extraire la colonne de forage en préparation de la mise en place du tubage dans le trou, une circulation **devra** être réalisée dans le forage jusqu'à ce que ce dernier soit libre de déblais, et le fluide de forage **devrait** être conditionné de manière à ce que le fluide présente une résistance minimale au gel et une perte d'eau minimale, et ne puisse se détériorer de façon significative pendant le temps requis pour être extrait du forage et mettre en place le tubage. Si un déclencheur s'avère nécessaire, faites-le immédiatement avant de mettre le tubage en place.

NOTE

La mise en place d'un tubage à l'intérieur de fluides de forage présentant des résistances au gel élevées ou de fortes pertes d'eau peut entraîner une perte de circulation, une adhérence du tubage sous pression différentielle, ou un enlèvement seulement partiel des fluides de forage pendant toute opération de cimentation consécutive.

5.6.13 – Procédures de mise en place de tubage

Le tubage **devrait**, d'une manière générale, être mis en place en conformité avec l'API RP 5C1.

5.6.14 – Gestion de couple pour les connexions propriétaires

Les connexions propriétaires **seront** réalisées avec un couple selon la procédure recommandée par le constructeur. Le couple **devrait** être ajusté en fonction du pouvoir lubrifiant relatif du lubrifiant de filetage utilisé sur le tubage (voir 5.6.15).





5.6.15 – Pâte d'étanchéité pour raccords filetés

La pâte d'étanchéité pour raccords filetés **devra** être conforme aux pâtes prescrites dans l'API RP 5A3 pour les tubages. Les lubrifiants spécifiés dans l'API 5 A3 pour les connexions rotatives épaulées ne conviennent pas nécessairement aux filetages de tubages.

NOTE

Un certain nombre de sociétés proposent des lubrifiants pour filetages de tubages. Différents lubrifiants peuvent présenter différents pouvoirs lubrifiants. Le pouvoir lubrifiant ou le facteur de friction de divers produits peut varier de 0,60 à 1,60 de celui du lubrifiant pour filets modifié API (API RP 5A3, annexe A). Sauf spécification contraire du fabricant du filetage de tubage, le couple de mise en place recommandé présuppose l'utilisation du lubrifiant 'modifié API'. Par conséquent, le couple de mise en place appliqué correspond au couple recommandé ajusté au pouvoir lubrifiant relatif du lubrifiant pour filetage utilisé.

5.6.16 – Réaliser les connexions du tubage

On **utilisera** une pince de soutien et une pince de serrage (ou pince de force) pour réaliser les connexions de tubage. L'utilisation de coins de retenue de tubage dans une table de rotation au lieu de la pince de soutien ne **devrait** pas être autorisée.

5.6.17 – Contrôle de la vitesse de mise en place du tubage

La vitesse de mise en place du tubage **devrait** être contrôlée afin d'éviter des coups de bélier élevés au fond du puits et de fortes charges d'accélération. Il **faudrait** autant que possible éviter que des coups de bélier ne dépassent les précédentes pressions de circulation au fond du trou.

NOTE

Il est de bonne pratique de limiter la charge de traction totale pouvant être appliquée pendant la mise en place du tubage (comme montré sur l'indicateur de poids). Si on n'applique aucune restriction (voir API RP 5C1), la charge totale peut approcher la capacité de charge de l'équipement de forage.

5.6.18 – Évitement de chargements de choc

La vitesse de mise en place du tubage **sera** réduite avant d'insérer les coins de retenue afin d'éviter tout dommage.

NOTE

Les arrêts soudains de la colonne, par exemple consécutifs à des abaissements trop rapides dans les coins de retenue, sont susceptibles de provoquer des chocs de charge sévères. De tels chargements sont évités en recourant à des procédures opératoires correctes.





5.6.19 – Maintien des propriétés du fluide pendant la mise en place du tubage

Avec de longues colonnes de tubage, la mise en place du tubage **devrait** être arrêtée à des intervalles présélectionnés, le tubage rempli de fluide de forage, une tête de circulation installée, et le fluide de forage circulé à travers le tubage afin de refroidir le puits. Pendant la période de circulation, le tubage **devrait** être soumis à un mouvement de rotation alternatif afin d'éviter une adhérence différentielle du tubage.

NOTE

Les buts de la circulation du tubage sont de:

- (a). remplacer un fluide annulaire capable de générer une résistance au gel élevée sous exposition à une température élevée; et
- (b). réduire la possibilité que des fluides annulaires atteignent des températures pouvant entraîner une ébullition éclair du fluide annulaire lorsque celui-ci est extrait du puits.

5.6.20 – Contrôle de la température du fluide après la mise en place du tubage

Lorsque tous les tubages ont été mis en place, la tête de circulation ou de cimentation **sera** installée et le fluide de forage circulé. Ceci est destiné à réduire au minimum les températures en fond de puits avant de démarrer l'opération de cimentation.

5.6.21 – Tubage réciproque

Le tubage **devrait** être maintenu en mouvement à tout moment (par réciprocité ou rotation), sauf:

- (a). s'il est nécessaire d'avoir un tubage stationnaire pour installer la tête de cimentation, des bouchons roulants ou un équipement requis pour faire fonctionner les outils en fond de puits;
- (b). si le tubage commence à se bloquer; ou
- (c). à la fin de la cimentation.

5.7. Cimentation du tubage

5.7.1. – Programme de cimentation

Le programme de cimentation **sera** conçu et réalisé de la manière la plus susceptible d'assurer que la longueur totale de l'anneau en dehors du tubage est entièrement remplie de ciment de bonne qualité.





NOTE

Si des volumes de coulis de ciment, même relativement faibles mais contenant un excès d'eau, ou bien de faibles volumes d'eau devaient rester piégés par du ciment sain dans l'anneau situé entre deux tubages, un chauffage et une expansion ultérieurs de l'eau peuvent entraîner un écrasement du tubage intérieur.

5.7.2. – Tolérances de volume du coulis

Les volumes de coulis totaux **comprendront** des tolérances pour:

- (a). l'évacuation de coulis contaminés;
- (b). un forage dépassant le calibre; et
- (c). les pertes vers la formation.

5.7.3. – Conditionnement du fluide avant la cimentation

Si le forage non tubé a été exposé à ou bien est rempli de boues, les coulis de ciment primaires **seront** précédés par des fluides. Les fluides **seront** conçus afin de maximiser l'enlèvement de boue et de réduire au minimum la contamination du ciment primaire.

NOTE

Ces fluides peuvent inclure, sans toutefois s'y limiter:

- (a). les pièces d'écartement d'eau;
- (b). les flux chimiques destinés à aider à étanchéifier les zones de pertes d'étanchéité ou à enlever les boues;
- (c). vles pièces d'écartement de boue denses; et
- (d). un coulis de ciment de balayage ayant une teneur en eau élevée.

5.7.4. – Installation d'une tuyauterie de fourniture de ciment

La tuyauterie d'alimentation en ciment **sera** installée de façon à ce que le pompage des fluides vers l'anneau puisse commencer immédiatement après que le ciment a été déplacé depuis l'intérieur du tubage (c'est-à-dire après que le bouchon roulant du sommet a atteint sa position finale). L'opération de cimentation **réduira** au minimum les périodes pendant lesquelles les coulis de ciment ne sont pas en mouvement.

5.7.5. – Surveillance de la qualité du ciment

Les mélanges utilisés pour la cimentation **seront** surveillés et mesurés pendant toute l'opération de cimentation afin d'assurer que les concentrations de solides et additifs soient maintenues aussi proches que possible des valeurs de design.

NOTE

Il est possible d'obtenir et de réaliser le contrôle de qualité en procédant à un mélange préalable précis et en surveillant la densité et la viscosité du fluide, et les quantités des matériaux humides et secs consommés à différentes étapes de l'opération de cimentation.





5.7.6. – Éviter que de l'eau ne soit emprisonnée entre les tubages

Du ciment primaire supplémentaire **sera** mélangé et pompé afin de déplacer le mélange à forte teneur en eau du puits si:

- (a). un volume de ciment primaire contenant un excès d'eau est pompé dans le puits; et
- (b). il y a une possibilité que le mélange à forte teneur en eau soit susceptible d'être déplacé vers un anneau de tubage à tubage.

Si on ne dispose pas de suffisamment de matériaux à cet effet, alors tout le ciment **sera** extrait du puits et l'opération de cimentation sera redémarrée. La nature des retours depuis l'anneau **sera** surveillée en permanence et corrélée aux volumes pompés dans le tubage. Ceci est destiné à pouvoir déterminer rapidement l'emplacement final de tout coulis défectueux.

5.7.7. – Incapacité à placer du ciment convenable entre les tubages

Si les retours de fluide indiquent qu'un matériau ne répondant pas aux normes est susceptible de se trouver dans l'anneau de tubage à tubage au moment où le coulis de ciment a été extrait du tubage, de l'eau **sera** insufflée dans l'anneau depuis le sommet de ce dernier au moins jusqu'au sabot du tubage extérieur. Ceci peut exiger des pressions suffisantes pour casser la formation en dessous du sabot de tubage extérieur.

Il **faudra** veiller à ne pas dépasser:

- (a). la pression d'écrasement du tubage intérieur;
- (b). la rupture interne du tubage extérieur; et
- (c). la classe de pression de toutes conduites ou vannes situées entre la pompe et la tête de puits.

5.7.8. – Comblement de la cimentation de l'anneau

L'anneau de tubage à tubage **sera** à nouveau cimenté depuis le sommet de l'anneau en recourant à au moins suffisamment de volume pour remplir l'anneau de tubage à tubage lorsque:

- (a). 5.7.7 s'applique; ou
- (b). la cimentation primaire n'atteint pas la surface, l'anneau tubage à tubage ayant ainsi été vidé.





Si l'anneau ne se remplit pas, des plus petits volumes ou des lots de coulis seront placés dans l'anneau. Laisser un intervalle de temps entre chaque lot afin de permettre au ciment précédent de commencer à prendre (ce qu'on appelle une 'cimentation hésitante').

5.7.9. – Éviter que de l'eau ne soit emprisonnée pendant le comblement

On ne **permettra** à aucun moment, après le commencement du comblement avec du coulis de ciment, à de l'eau de pénétrer dans l'anneau de tubage à tubage. Si un volume d'eau ou de coulis de ciment contenant trop d'eau devait pénétrer dans l'anneau, il **sera** extrait de l'anneau dans les plus brefs délais.

5.7.10 – Limitations de la pression appliquée à l'intérieur du tubage ou de l'anneau

Pendant toute opération de cimentation de tubage, la pression appliquée à la surface **sera** limitée afin d'éviter des dommages aux tubages ou à la tête de puits par rupture interne ou écrasement du tubage. Cette évaluation **sera** faite sur toute la longueur du tubage, et tiendra compte des propriétés du matériau, des pressions hydrostatiques à l'intérieur et à l'extérieur du tubage, et de toutes les pressions dynamiques introduites par l'écoulement de fluide.

5.7.11 – Essai de pression avant de poursuivre le forage

La tête de puits **sera** testée à la pression hydraulique dès après l'achèvement de la cimentation et la réalisation du prochain étage de la tête de puits de forage et avant de forer le ciment hors du tubage. Les pressions d'essai **reflèteront** les conditions d'exploitation maximales attendues pendant toutes les phases du forage et l'achèvement pertinent pour cette tête de puits (voir 4.2.13 à la page 69). Les pressions d'essai **seront** maintenues pendant un minimum de 5 minutes et toute fuite sera colmatée. Le tubage et les accessoires de tubage **seront** testés de façon similaire au-dessus de chaque accessoire (par exemple recouvrement, manchon de cimentation d'étage, collier flottant, sabot). Si l'essai de pression devait indiquer la présence d'une fuite sur le tubage, le point de fuite **devra** être cimentée sous pression jusqu'à ce qu'une étanchéité acceptable soit atteinte.

5.7.12 – Ciment inadéquat sur le sabot de tubage

Si les résultats de la surveillance de l'opération de cimentation devaient indiquer que le ciment qui entoure le sabot ne convient pas, le sabot **sera** cimenté sous pression immédiatement après que le ciment a été foré hors du tubage.





NOTE

L'évaluation de l'adéquation de la cimentation comprend une surveillance et un compte-rendu continu des retours et des matériaux consommés pendant le cours de chaque opération de cimentation de tubage. La corrélation de telles informations avec les volumes théoriques de de tubage et les anneaux remplis fournissent des informations sur la qualité de la cimentation de tubage final (par exemple le retour prématuré d'un fluide peut être l'indice que la boue n'a pas été correctement enlevée ou que le forage s'est effondré; les retours tardifs peut être provoqués par des pertes partielles ou par un forage dépassant le calibre). Cette corrélation est nécessaire pour optimiser les opérations de cimentation de remède et pour évaluer l'intégrité de la cimentation finale.

5.7.13 – Enlèvement du coulis de ciment de la cave

Tous les coulis de ciment (y compris les coulis contaminés) déchargés vers la cave ou le drain de cave **seront** enlevés avant que le ciment ne prenne.

5.8. Perte de circulation

5.8.1. – Réduire au minimum les pertes de circulation

Les pratiques suivantes **devraient** être évaluées et, le cas échéant, employées pour réduire la probabilité de pertes consécutives de circulation pendant le forage:

- (a). utiliser des fluides de forage qui génèrent des pressions en fond de puits marginalement supérieures aux pressions de fluide de réservoir;
- (b). contrôler les vitesses de déclenchement de la colonne de forage afin d'éviter les coups de bélier et les pressions de pistonage excessives; et
- (c). maintenir les propriétés du fluide de forage afin d'éviter toute production excessive de gâteau mural et pour assurer un bon nettoyage du puits.





5.8.2. – Pertes de durcissement

Pendant le forage profond du tubage cimenté le plus profond, il **faudrait** tenter de façon raisonnable d'étanchéfier toutes les zones de perte au fur et à mesure qu'elles sont rencontrées. Ceci afin de s'assurer de la meilleure cimentation possible des tubages.

NOTE

- (1). Les pertes partielles peuvent être étanchéifiées avec de la boue pendant le forage continu, et peuvent ne pas requérir de traitement spécifique allant au-delà de l'adjonction de LCM au fluide de forage.
- (2). si on est confronté à une perte majeure ou totale de circulation, le fait de forer quelques mètres ou dizaines de mètres en dessous de la zone de perte semble être la mesure la plus susceptible d'assurer que l'ensemble de la zone de perte sera couverte avant le traitement.
- (3). il est possible d'étanchéfier les zones de pertes en utilisant du LCM, du gel (des mélanges de bentonite épais), ou des bouchons de ciment. En remplacement, une étanchéité chimique peut également s'avérer efficace. On donne normalement du temps aux bouchons pour développer un gel ou se renforcer avant de leur appliquer de la pression (par exemple avant de remplir le puits).

5.9. Forage dirigé

5.9.1. – Dans la présente section

La section 5.9 traite du forage dans les cas où le puits est intentionnellement foré dévié de la verticale en utilisant des outils spéciaux vers un objectif préalablement sélectionné.

NOTE

Il peut s'avérer nécessaire de recourir aux techniques et à l'équipement suivant:

- (a). des méthodes de surveillance destinées à mesurer l'inclinaison en fond de puits et la direction du puits de façon à être en mesure de calculer la position du forage en trois dimensions. Les exemples de méthodes de surveillance comprennent les surveillances photographiques à prise unique ou à prises multiples, les signaux à impulsions de boue ou transmis électromagnétiquement pendant le forage, et les surveillances gyroscopiques;
- (b). des colliers de forage non-magnétiques, et si possible, des stabilisateurs non-magnétiques, si des instruments de surveillance de type magnétique doivent être utilisés;
- (c). un équipement destiné à diriger le forage dans la direction et l'inclinaison voulues et à corriger cette direction ou inclinaison au fur et à mesure que le forage progresse. Un tel équipement comprend des sifflets de déviation, des moteurs à boue à boîtier courbe à mouvement rectiligne ou de type à turbine, à parcours courbe au-dessus du mouvement rectiligne, ou des moteurs à boue de type à turbine et des outils rotatifs orientables; et
- (d). des stabilisateurs supplémentaires, accompagnés de colliers de forage rigide plus courts.





5.9.2. – Sélection de l'équipement

La sélection de l'équipement de forage pour le forage dirigé **devra** prendre en considération la capacité supplémentaire requise pour surmonter la résistance du puits incliné. À titre d'alternative, la profondeur finale du puits peut exiger d'être réduite afin d'éviter tout dépassement de la capacité de l'équipement de forage disponible.

5.9.3. – Point de départ

Le point de départ en dessous duquel le forage est développé de manière à former un forage dévié **devrait** se trouver au moins à 50 m en dessous du sabot de tubage précédent.

5.9.4. – Considérations relatives à la colonne de forage

Le design, la sélection et l'utilisation de la colonne de forage **devraient** prendre en compte les limitations de l'API RP 7G pour les déviations de puits. Ces limitations ne doivent pas être dépassées par la géométrie réelle du puits et l'environnement de forage.

5.9.5. – Évitement de tout dommage au tubage

Dans les cas où le point de départ est tubé plus tard, il **faudrait** veiller à ne pas endommager le tubage pendant les opérations de forage ultérieures. Ceci peut comprendre le fait d'éviter la rotation de joints d'outil rubanés dur sur des intervalles à l'intérieur du tubage lorsqu'il y a un changement dans l'angle du puits ou un angle saillant, et le pompage de liquide en bas de l'anneau en cas de forage sans retours de circulation. Des protecteurs en caoutchouc contre les hautes températures peuvent s'avérer nécessaires sur le tuyau de forage.

5.9.6. – Évaluation du dommage au tubage

À l'achèvement du puits, l'état du tubage sera surveillé quant à la présence d'un dommage quelconque dans les cas où:

- (a). Le point de départ et l'intervalle du forage où l'angle du puits est construit se trouvent à l'intérieur du tubage; et
- (b). la section du puits située en dessous de ce dernier soumet le tubage à une usure potentielle consécutive au forage suivant.

Tous les dommages de tubage indiqués **seront** évalués. S'ils sont susceptibles de réduire la sécurité ou l'intégrité du puits, alors ils **devront** donc être réparés.





5.9.7. – Surveillances de direction

On **procèdera** à des surveillances de direction sur toute la longueur du puits de forage afin de déterminer avec précision le tracé du puits.

NOTE

Tant pour les forages dirigés que pour les forages verticaux, il est important de connaître la position du puits avec une précision raisonnable. Ceci est destiné à assurer que le tracé du puits de forage suit bien la trajectoire planifiée et à connaître la position de ce dernier au cas où il faudrait forer un puits de secours.

5.9.8. – Proximité d'autres puits

Les programmes de forage de puits devant être forés sur un site à puits multiples **tiendront** compte de la proximité et de l'état des autres puits achevés. Il est possible qu'il s'avère nécessaire de fermer ou de tuer d'autres puits pendant le forage de sections critiques de nouveaux puits.

NOTE

Les profondeurs de sabot de tubage intermédiaires sont normalement sélectionnées de façon à résister aux éruptions provenant de la profondeur du tubage de production. Mais si les fluides provenant de la section de forage non tubé d'un puits adjacent terminé peuvent communiquer avec le forage pour un tubage de production dans le puits, alors le siège de tubage précédent peut être soumis à des pressions plus élevées provenant du puits achevé. Une éruption peut se produire en l'absence de précautions appropriées (par exemple tuage de puits adjacents ou modification des profondeurs de tubage pour le nouveau puits).

5.10. Repêchage

Les considérations suivantes s'appliqueront aux outils et tubulaires pendant les opérations de repêchage:

- (a). tous les tubulaires et outils qui sont introduits dans un puits seront mesurés, et toutes les longueurs et diamètres intérieurs et extérieurs enregistrés avant de les introduire dans le puits;
- (b). tous les outils et tubulaires de repêchage **devront** posséder un diamètre extérieur maximal ne dépassant pas le diamètre de dérive minimum du plus petit tubage à travers lequel on fera passer l'outil et les tubulaires;
- (c). aucun outil de forage ni tubulaires ne **seront** rentrés dans un puits s'ils ne présentent pas un diamètre extérieur ou un diamètre de col de repêchage capable d'offrir un jeu adéquat entre l'outil et le plus petit tubage ou puits. Ceci est destiné à permettre de repêcher l'outil ou le tubulaire en utilisant l'équipement de repêchage disponible;





- (d). la tolérance dans les calculs de profondeur pour l'expansion et la contraction thermique du poisson et de la colonne de repêchage;
- (e). les effets thermiques sur l'équipement de repêchage; et
- (f). les limites opérationnelles du trépan de forage telles qu'indiquées dans l'API RP 7G.

NOTE

- (1). Les blocs d'empreinte en plomb peuvent fondre lorsqu'ils sont exposés aux hautes températures géothermiques.
- (2). Les outils hydrauliques basés sur la viscosité de fluides dans les outils ont peu de chances de fonctionner de façon satisfaisante à des températures élevées si la viscosité du fluide baisse de façon significative sous l'effet de la chaleur.
- (3). Les outils qui sont basés sur le confinement du fluide ou des pressions différentielles élevées sur des joints flexibles ont peu de chances de fonctionner de façon satisfaisante si des températures élevées devaient entraîner une défaillance des joints.
- (4). les outils de repêchage nécessitant une lubrification ou un confinement du fluide de service dans l'outil exigent de prévoir l'expansion et la contraction du fluide au fur et à mesure que les outils sont chauffés et refroidis.
- (5). L'équipement et les matériaux électriques, électroniques et explosifs utilisés pour localiser et libérer les longueurs de colonnes de forages bloquées présentent des limitations de température opérationnelles qui doivent être prises en compte lors de la sélection de matériaux et d'équipement. Réduisez les températures au fond du puits autant que possible lors de la mise en place de tels matériaux et équipement dans le puits.

5.11. Achèvement du puits

5.11.1 – *Compte-rendu de la ligne de base pour la surveillance de l'état du tubage*

Le tubage cimenté intérieur **devra** faire l'objet d'une diagraphie une fois le puits achevé. Ceci a pour but de confirmer l'état du tubage au moment de l'achèvement et à fournir un compte-rendu de la ligne de base pour la surveillance ultérieure de l'état.

NOTE

Pour les puits de production et autres puits haute température, il est préférable d'effectuer cette diagraphie avant que le tubage ne soit complètement chauffé en mettant le puits en purge ou en décharge.

5.11.2 – *Mise en place de colonnes perdues perforées*

5.11.2.1

Avant d'entrer la colonne perdue perforée dans le fond du puits, il **faudrait** vérifier que ce dernier est bien libre de tous rebords ou de points sous gabarit. Le forage **devra** être élargi au besoin depuis le sabot de tubage précédent jusqu'au fond du trou.



5.11.2.2

Lorsque le puits a été foré jusqu'à la profondeur finale:

- (a). il faudrait s'efforcer au maximum de laver tous les déblais au fond du puits; et
- (b). il faudra vérifier la longueur totale de la colonne de forage dans le puits au moment où le trépan touche le fond du puits afin de confirmer la profondeur.

5.11.2.3

Il **faudrait** évaluer le potentiel de choc ou de flux de retour du puits pendant l'opération de mise en place de la colonne perforée avant de commencer cette dernière. Il **faudra** prévoir des moyens de conserver ou de reprendre le contrôle du puits dans les cas où il est possible que ce dernier passe sous pression pendant l'introduction de la colonne perforée.

NOTE

- (1). Avant de mettre en place la colonne perdue, remplir complètement les réservoirs d'eau de surface et de boues afin de fournir le maximum d'eau de tuage sur site dans le cas d'une défaillance de l'alimentation du site en eau.
- (2). S'il y avait y avoir le moindre doute de la capacité à empêcher toute présence d'un flux dans le puits pendant la mise en place d'une colonne perforée, contrôler l'état du puits en réalisant des surveillances pertinentes au fond de ce dernier afin de confirmer les conditions qui y règnent pendant qu'on y injecte de l'eau froide. Si des doutes demeurent, réalisez un test de réponse de puits. Celui-ci devrait déterminer combien de temps le puits devrait rester hors pression avec une réduction ou une perte d'eau vers le puits.
- (3). Si des joints de colonne perdue devaient être perforés sur toute la longueur de chaque joint, la fermeture de l'équipement BOP à travers le corps de la colonne perdue perforée ne suffira pas à fournir un contrôle de puits fiable dans le cas d'un choc de ce dernier.
- (4). Si des joints de colonne perdue devaient être perforés seulement sur la moitié inférieure de chaque joint, il est possible d'obtenir le contrôle du puits en abaissant la colonne perdue de façon à positionner une section de colonne perdue non perforée à travers le BOP et d'étanchéfier le sommet du joint de colonne perdue avec l'entraînement au sommet ou un couvercle adapté. Ceci permettra d'utiliser l'équipement de BOP pour contrôler le puits.
- (5). Conserver une section pleine de colonne perdue (avec l'extrémité scellée) sur le sol de la plateforme, configurée pour une installation rapide dans le cas d'une perte d'eau ou pour tous les cas où on aurait besoin de pouvoir fermer le puits pendant la mise en place de la colonne perdue.
- (6). Si on ne dispose pas d'un temps suffisant pour installer un joint de colonne perdue pleine, envisager et prévoir de jeter la colonne perdue au fond du puits.



5.11.2.4

Le temps requis pour répondre à une situation de flux de retour **sera** pris en compte et réduit au minimum lors de la mise en place d'une colonne perdue perforée.

5.11.2.5

Si une colonne perdue perforée doit être supportée sur le fond du puits (c'est-à-dire non suspendue), il **faudrait** mettre en place suffisamment de colonne perdue pour aller depuis la profondeur forée finale (y compris toute section carottée au fond du puits) jusqu'à un minimum de 16 m au-dessus du sabot du tubage cimenté précédent. La longueur de tubage minimale requise ne **devrait** permettre aucune expansion thermique et **devrait** permettre un raccourcissement par gauchissement hélicoïdal élastique.

NOTE

Le gauchissement hélicoïdal ne sera sans doute significatif que lorsque des longueurs extensives du puits dépasseront le calibre ou bien seront sous-alésés.

5.11.2.6

La colonne perdue perforée **sera** mise en place à l'aide d'un guide effilé à l'intérieur au sommet afin de faciliter l'entrée d'instruments à câble et d'outils de forage. Ce guide **devrait** avoir un diamètre extérieur proche du diamètre de la dérive du plus petit tubage à travers lequel le guide passera.

5.11.2.7

Si la colonne perdue perforée l'a été d'une manière susceptible de laisser des obstructions saillantes ou restant à l'intérieur de la colonne perdue, de tels matériaux **devraient** être extraits avant de mettre en place le tubage ou en grattant la colonne perdue après que celle-ci a été mise en place.

5.11.3 – Installation de la tête du puits permanente

5.11.3.1

Le retrait de la tête de puits de forage et l'installation de la tête de puits permanent **seront** réalisés lorsque le puits sera dans une situation de contrôle total. S'il devait y avoir une possibilité quelconque pour que, pendant le pompage de l'eau dans le puits, ce dernier puisse ne pas être suffisamment refroidi pour le temps total requis pour changer la tête de puits, le puits **sera** bouché. On **réalisera** cela à l'aide d'un packer récupérable ou d'un bouchon-pont pouvant être foré ou à l'aide d'un bouchon de ciment approprié testé pour la pression à l'intérieur du tubage intérieur cimenté.





5.11.3.2

L'ensemble des composants de tête de puits **seront** testés par rapport à la pression avant d'être installés sur le puits. Dans les cas où cela est possible, les composants préalablement assemblés **devraient** être également testés sous pression en tant qu'unité assemblée avant d'être installés.

NOTE

Le raccord de la bride de tête de tubage (et la connexion bride de tête de tubage-vanne maîtresse si la vanne maîtresse est installée à ce moment-là) sera testé lorsque le BOP est attaché au tubage d'ancrage avant de poursuivre le forage (voir 5.5.11 à la page 91).

5.11.4 – Protection de l'anneau contre la corrosion

5.11.4.1

Si les conditions le permettent, un système de protection **sera** installé, qui empêche que l'eau de surface ne pénètre dans les anneaux de tubage et qui permet que tout gaz migrant vers le haut des anneaux soit chassé par ventilation de la tête de puits d'une manière contrôlée (voir aussi 2.11.4.3 à la page 45).

NOTE

Le but du système de protection de l'anneau est de prévenir toute pénétration d'eau de pluie dans les anneaux tubage à tubage. Lorsqu'on permet à l'eau de pluie de s'accumuler dans l'anneau situé entre les tubages, les gaz géothermiques s'écoulant le long de l'anneau, même à des débits très bas, peuvent produire un liquide acide qui corrode les tubages et expose éventuellement le puits au risque d'une défaillance de la tête de puits.

5.11.4.2

La tête de puits et les tubages exposés **seront** sablés et peints en recourant à un système de peinture haute température afin d'obtenir une protection maximale contre la corrosion.

5.11.5 – Maintenir le drainage de la cave

Une fois le puits achevé et la plateforme retirée, les drains venant de la cave **seront** nettoyés et le site mis en conformité de manière à assurer qu'aucune eau ne puisse s'accumuler dans la cave (voir aussi 3.6.3 à la page 56).

5.11.6 – Surveillance de la hauteur de la tête du puits

Après l'achèvement du puits et avant de permettre au puits d'être mis en chauffe, l'élévation d'un point fixé sur la tête de puits (par exemple le sommet de la bride de tête de tubage) **sera** mesurée et enregistrée en faisant référence à un point de niveau permanent installé sur la cave (voir le point 3.5.2.4 à la page 55).





5.11.7 – Ouverture du puits à l'exploitation

La plateforme ne **sera** jamais retirée avant que le puits n'ait été achevé dans un état sûr.

5.11.8 – Sécurité des vannes de la tête de puits

Après l'achèvement des travaux, l'équipement de la tête de puits **sera** sécurisé contre toute manipulation par du personnel non autorisé.

NOTE

Ceci peut être obtenu à travers des mesures de sécurité appropriées ou une clôture, des chaînes et des cadenas.

5.11.9 – Plage d'opération spécifiée

La plage des conditions dans lesquelles le puits peut être exploité en toute sécurité **sera** spécifiée et documentée dès que le puits aura été achevé et avant que ce dernier ne soit mis en service. Cette plage de service spécifiée **sera** révisée tout au long de la durée de vie du puits afin d'assurer qu'elle reflète tous les changements survenus au niveau du réservoir ou de l'état du puits.

5.12. Essais de puits et diagraphies

Les conditions régnant au fond du puits **seront** évaluées en réalisant des diagraphies et des essais en fond de puits. Cette évaluation peut être faite pendant le forage, à l'achèvement du puits, et périodiquement pendant toute la durée de vie d'un puits.

5.12.1 – Types de diagraphies et d'essais de puits

Les diagraphies de puits et essais réalisés sur des puits géothermiques peuvent comprendre les éléments suivants:

- (a). permettre ou provoquer l'écoulement du puits;
- (b). les surveillances dispositif de rotation-température-pression pendant le pompage d'eau froide dans le puits à un ou plusieurs débits. Les résultats de ces mesures indiqueront les profondeurs des zones de perte ou de gain de fluide et les débits relatifs dans ou hors de ces zones. Les résultats peuvent également indiquer les profondeurs pour un forage surdimensionné ou effondré;
- (c). les mesures de pression prise à la profondeur de la perméabilité primaire pendant le pompage de l'eau dans le puits à des débits variables échelonnés. On peut analyser les changements de pression avec le temps du fait que le débit varie afin de connaître:





- (i). les informations concernant la perméabilité moyenne du réservoir;
- (ii) l'injectivité du puits;
- (iii) toute perméabilité anormale à proximité du forage (par exemple, la perméabilité localement réduite ou l'effet de peau' provoqué par les dommages dus à la boue);
- (d). intégrité de la formation des tests de 'fuite' destinés à évaluer l'intégrité de la formation au point de réglage du tubage;
- (e). les diagraphies géophysiques destinés à cartographier les changements hydrothermiques et l'emplacement de fractures supposées rencontrées dans le puits de forage;
- (f). l'échantillonnage de fluide à la surface ou au fond du puits;
- (g). l'échantillonnage de déblais retournés à la surface via les fluides de forage;
- (h). l'examen et les diagraphies géologiques des déblais collectés pendant le forage et le déblaiement de carottages de formation, avec l'évaluation géologique de leur lithologie, le rang et l'intensité de leur altération hydrothermique, leurs caractéristiques de fracture et les essais concernant les propriétés de la roche (par exemple la densité et la porosité);
- (i). les carottages de déblais récupérés pendant le forage;
- (j). la réalisation de diagraphies au fond du puits destinés à évaluer le placement de ciment derrière le tubage et l'adhésivité entre le ciment et le tubage;
- (k). les caméras au fond du puits;
- (l). les introductions de 'charges d'entraînement' dans le cadre desquelles des cylindres (dérives) de différents diamètres sont introduits dans un puits sur un câble afin de mesurer le jeu interne et d'identifier la présence de blocages;
- (m) les profils de vitesse de dispositif de rotation/fluide avec ou sans injection ou décharge de fluide;
- (n). serre-freins mécaniques;
- (o). les outils de diagraphie utilisant les propriétés acoustiques ou magnétiques du tubage afin d'évaluer l'état de ce dernier et d'identifier les zones de corrosion ou d'érosion, toute déformation dans le tubage ou toute défaillance de raccords;





- (p). les outils de diaggraphie utilisant les propriétés acoustiques des roches pour évaluer la formation productive;
- (q). la récupération des dépôts au fond du puits par grattage du tubage;
- (r). une vidéo du fond du puits; ou
- (s). des blocs d'impression en plomb destinés à évaluer des obstructions dans le puits de forage.

5.12.2 – Planification des diaggraphies de puits et des opérations d'essais

5.12.2.1

Les points suivants **seront** évalués avec la même rigueur d'ingénierie que les autres activités de forage:

- (a). les conditions régnant au fond du puits et l'état de la tête de puits attendue pendant les activités de diaggraphie et d'essais;
- (b). la durée planifiée de ces activités; et
- (c). tous les changements affectant les conditions au fond du puits susceptibles de se produire pendant ce temps.

NOTE

Lorsqu'ils sont utilisés dans des puits géothermiques entièrement chauffés, les câbles lisses sont soumis à des effritements ou à de la corrosion dans les fluides géothermiques salins. On utilise normalement des câbles lisses en acier inoxydable pour les diaggraphies dans un puits achevé. Mais un câble de mesure de puits en acier au carbone, poli ou étiré et galvanisé, conforme à l'API Spec 9A est normalement satisfaisant pour une utilisation à l'intérieur du tuyau de forage pendant les opérations de forage.

5.12.2.2

Les mesures de prudence suivantes **devraient** s'appliquer à l'occasion de diaggraphies ou d'essais de puits:

- (a). dans les cas où il est possible que le puits passe sous pression pendant l'introduction d'instruments au fond du puits, il **faudra** prévoir des moyens permettant de contrôler tout flux de retour. Si un lubrificateur ou un autre équipement filaire de contrôle de pression est monté sur un tubulaire bridé de façon à être situé en dessous des mâchoires du BOP, alors ni la bride ni le tubulaire n'**empêcheront** la fermeture complète du puits, que ce soit par une vanne de tête de puits ou par la fermeture complète des mâchoires de fermeture du BOP;
- b). comme l'ouverture d'un puits entraînera une réduction des pressions au fond du puits et des vitesses de fluide érosif, la





- décharge de toute section non tubée du forage est capable d'entraîner un effondrement du forage;
- (c). les mesures de pression réalisées dans un puits contenant de la boue ou ne fournissant que des retours partiels peuvent ne pas refléter les pressions de fluide de formation;
 - (d). les mesures de pression réalisées dans un puits avec un certain nombre de zones de perte ou avec une zone de perte servant de contrôle à quelques distances au-dessus du fond du puits reflètera probablement la pression de formation uniquement à la zone de perte servant au contrôle. La différence entre les pressions mesurées à l'intérieur du forage et celles qui existent dans les intervalles de perméabilité faible de la formation aux mêmes profondeurs peut être grande, notamment dans les réservoirs contenant des quantités de vapeur ou de gaz significatives;
 - (e). les mesures de pression réalisées au sein du tuyau de forage peuvent être de faible valeur s'il y a un CAR dans la colonne de forage. Les meilleurs résultats seront obtenus en recourant à un CAR de type à clapet battant, et en pompant un faible débit de fluide dans le tuyau de forage afin d'assurer que la vanne reste ouverte. De telles mesures reflèteront seulement la pression dans le puits au fond de la colonne de forage, et par conséquent les mesures de pression prises à un certain nombre de différentes profondeurs à l'intérieur de la colonne de forage ne sont pas garanties;
 - (f). le refroidissement du forage suite à des circulations de puits précédentes et à des pertes de fluide de circulation vers la formation peut affecter l'interprétation de mesures de température;
 - (g). les échantillons de fluide prélevés d'un puits pendant le forage peuvent être contaminés par du fluide de forage ou peuvent entièrement consister en fluide de forage;
 - (h). tous les outils **devraient** être repêchables;
 - (i). les effets thermiques sur les outils **devraient** être pris en compte lors de la sélection et de la mise en place de l'équipement;
 - (j). le cas échéant, et notamment dans le cas de diagraphies par câbles, les données peuvent être validées au moyen de diagraphies comparables vers le bas et le haut; et
 - (k). comparaison du calibrage de la profondeur aux documents de construction du puits y compris, le cas échéant, les marges prévues pour l'expansion et l'étirement du câble.



5.13. Relevés de forage

5.13.1 – Dans la présente section

La section 5.13 traite de l'acquisition et de la rétention de données et autres informations collectées pendant le forage. Ceci comprend les diagraphies de puits ou les tests de puits effectués à la fin du processus de forage. La documentation et les rapports requis sous chaque section du présent code seront conservés en permanence et stockés par le propriétaire du puits et des copies seront envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental approprié chargé d'accorder les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.

5.13.2 – But de la rétention des rapports de forage

Les comptes-rendus de forage peuvent être utilisés dans les buts suivants:

- (a). une entrée de ligne de base pour la surveillance ultérieure de l'état du puits (voir 6.3 à la page 115).
- (b). pour tout reconditionnement de puits, intervention ou abandon (voir 6.5 [page 121], 6.6 [page 127] et section 7 [page 129]);
- (c). en tant que données de décalage destinées à aider au design et à la planification de puits ultérieurs;
- (d). pour aider, lors de forages dirigés, à éviter des collisions par des forages de puits ultérieurs et afin d'assurer que les tracés de puits restent à l'intérieur des limites légales;
- (e). pour localiser les zones perméables, les conditions de température et de pression des formations susceptibles d'aider au design de reconditionnement ou d'abandon ultérieur de puits, ainsi qu'à des fins d'ingénierie de réservoir; et
- (f). afin de mieux comprendre les conditions de géologie et de réservoir.

5.13.3 – Contenu des rapports de forage

Le tableau 9 décrit les informations relatives au forage et à la construction qui devront être consignées pour chaque puits, et conservés en permanence par le propriétaire du puits, des copies devant être envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.

Tableau 9
Contenu des rapports de forage

Information	Description
Design de puits	Documentation complète de design de puits indiquée dans 2.13 (voir page 50)
Programme de forage	Les étapes et processus requis pour construire le puits en toute sécurité et en conformité avec le design du puits (voir 2.1.3 à la page 13)
Modifications du design	Les modifications quelconques apportées pendant la construction au design du puits ou au programme de forage
Les comptes-rendus quotidiens de l'activité de forage	Comptes-rendus quotidiens de l'activité de forage y compris des composants indiqués au 5.13.4 (voir page 111)
Meures de forage	Profondeur et diamètre de chaque taille de forage réalisé
Spécifications de tubage	La longueur, le diamètre, le poids nominal ou l'épaisseur de la paroi, la nuance d'acier et le type de raccord de chaque colonne de tubage introduite, y compris la longueur et l'emplacement du raccord de chaque joint de tubage et de tous les accessoires de tubage (par exemple sabot, collier flottant, cimentation d'étage, suspente et croisements)
Profondeurs de colonne de tubage	La profondeur de consigne finale de chaque colonne de tubage
Comptes-rendus de cimentation	Comptes-rendus détaillés de chaque cimentation de tubage, y compris les quantités de matériaux utilisés, la nature des retours vers la surface, et toutes les cimentations de reprise réalisées
Assemblage de la tête de puits	Détails de l'assemblage de la tête de puits permanente et de la cave
Données de surveillance du fond du puits	Données de surveillance de fond du puits détaillant la profondeur, l'inclinaison et l'azimut du tracé du puits
Poisson non récupéré	Emplacement et détails de tout poisson non récupéré du puits
Défaillances de composant	Toute défaillance connue ou suspectée dans les composants du puits
Emplacement de la tête du puits	L'emplacement surveillé de la tête du puits et la relation dimensionnelle entre les points de donnée de la cave, et ceux du forage et de la bride de tête de tubage permanente



Perte de circulation	Profondeurs jusqu'à et nature de zones quelconques de perte de circulation
Carottages et déblais	Les détails des échantillons de déblais et de carottages récupérés dans le puits y compris la description par le géologue des formations pénétrées. De tels carottages et déblais devraient être stockés, marqués et consignés de façon appropriée
Plage de fonctionnement	Plage de fonctionnement spécifiée

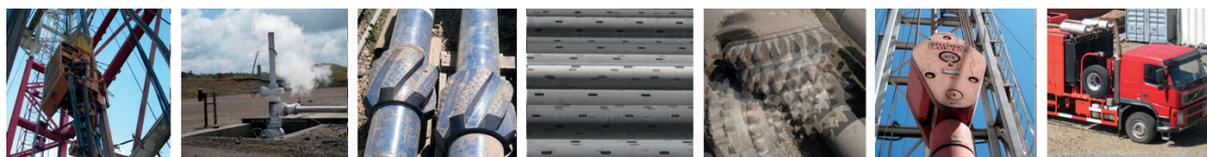
5.13.4. – Compte-rendu de l'activité quotidienne de forage

Le tableau 10 décrit le contenu du compte-rendu de l'activité de forage quotidienne qui **devra** être tenu pour chaque jour d'opérations de forage ou de reconditionnement, des copies devant être envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.



Tableau 10
Contenu du compte-rendu de l'activité de forage quotidienne

Information	Description
Outil et diamètres de colonne de forage	Longueur et diamètre intérieur et extérieur de tous les outils et de la colonne de forage introduite dans le puits de forage
Détails concernant le trépan de forage	Détails du diamètre du trépan de forage, fabrication, type, numéro de série, buses, durée de forage, profondeur forée, et état à la récupération
Profondeurs de forage	La profondeur forée pendant les intervalles de temps spécifiés sur toute la profondeur au cours de la période rapportée
Consommables	Les consommables de forage, y compris les quantités, les pressions de pompage ou débits, périodes d'utilisation, débit de perte, les températures de flux entrant et sortant, de fluide de forage
Propriétés de fluide de forage	Propriétés de fluide de forage (par exemple, densité, viscosité, perte d'eau, épaisseur de gâteau, et les résistances au gel)
Changements de condition de forage	Tous les changements matériels dans les conditions de forage y compris les ruptures de forage et obstructions ou zones étroites dans le puits, en notant les moments lorsque ces événements se produisent
Pressions	Pressions de la colonne montante et de la tête de puits
Paramètres de forage	Mesure en cours des paramètres de forage (par exemple, poids sur le trépan, rotations, colonne de forage et trépan dans le cas où ils sont différents du fait du recours à un couple de colonne de forage motorisé au fond du puits, débits de pompe, et toutes les données directionnelles et autres relevées par les capteurs au fond du puits pendant les opérations)



6. EXPLOITATION ET MAINTENANCE DU Puits

6.1. Dans la présente section

La section 6 traite des techniques et procédures devant être adoptées pendant la durée de vie du puits, suivant l'achèvement du puits. Ceci comprend les opérations appartenant à la surveillance, à l'inspection, et à la réparation du puits et les composants de la tête de puits, et la décharge du puits. Cela ne comprend pas l'abandon (voir la section 7 à partir de la page 129).

6.2. Maintien de l'intégrité du puits

Chaque puits qui n'a pas été abandonné **sera** exploité et entretenu de façon à atteindre les objectifs de ce code, et sera en conformité générale avec la Section 2.

Tout écart par rapport aux exigences de la Section 2 (démarrage à la page 13) **requerra** une évaluation d'ingénierie spécifique et un plan de gestion courante approprié.

Si un défaut potentiel est identifié, il **faudra** planifier et exécuter dès que possible les travaux de surveillance ou de reprise nécessaires pour maintenir l'état du puits, en fonction de la nature et du risque évalué résultant de ce défaut. La surveillance **continuera**, à une fréquence appropriée afin de permettre d'identifier en temps utile tout changement dans l'état du puits jusqu'à ce qu'il ait été remédié au défaut.

6.3. Surveillance du puits

6.3.1. – Plan de surveillance du puits

Un plan de surveillance du puits **sera** établi et mis à jour à la fois pour le puits de forage et les composants de surface de tous les puits, en prenant en compte:

- (a). des conditions souterraines;
- (b). la plage de fonctionnement du puits spécifiée en conformité avec le point 5.13.3 (voir la page 111);
- (c). l'historique du puits;
- (d). les changements observés dans d'autres puits dans le champ;

- (e). les affaissements du sol;
- (f). la configuration du puits; et
- (g). la disponibilité de l'équipement.

Le plan de surveillance du puits spécifiera la fréquence des inspections pour les composants de fond du puits et de surface.

6.3.2. – Plans de surveillance de puits multiples

Un Plan de Surveillance des Puits peut couvrir plusieurs puits et même réservoirs. Lorsque c'est le cas:

- (a). l'étendue du Plan de Surveillance des Puits **sera** définie, ainsi que tous les puits individuels ou groupes de puits qui sont spécifiquement exclus de ce plan; et des copies seront envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.
- (b). des processus **seront** mis en place afin de consigner tout écart par rapport au Plan de Surveillance des Puits pour des puits individuels ou des groupes de puits.

6.3.3. – Identifications de défauts et de détériorations

Le Plan de Surveillance des Puits **sera** conçu pour indiquer la présence de tous les défauts et détériorations suivants:

- (a). corrosions ou fuites externes proches de la surface du tubage d'ancrage;
- (b). fuites quelconques dues à la corrosion des composants de tête de puits;
- (c). tubage cassé ou perforé;
- (d). les raccords de tubage défailants (par exemple par extraction, télescopage compressif ou fracture);
- (e). les fuites vers l'intérieur ou vers l'extérieur du tubage;
- (f). les tubages déformés ou tordus;
- (g). les tubages écrasés;
- (h). les tubages corrodés;
- (i). le flux annulaire coulant hors des tubages; et
- (j). les dépôts ou entartrages chimiques.

NOTE

Les techniques et outils pouvant être utilisés pour indiquer, identifier, localiser ou quantifier les défauts ou détériorations survenus en dessous de la surface sont listés au point 5.12.1 (voir page 107).

6.3.4. – Observation des changements

Le Plan de Surveillance des Puits **veillera** à l'observation des types suivants de changements, qui peuvent tous être observés à la surface:

- (a). les changements survenus au niveau de la chimie des fluides déchargés, de l'enthalpie, des pressions ou des débits de puis de production;
- (b). les changements survenant au niveau des manifestations en surface de flux géothermiques, et notamment le développement de nouvelles zones chaudes sur des sites de puits ou à proximité de ces derniers;
- (c). toute indication de fluides pénétrant en surface dans un anneau de tubage cimenté et toute détérioration de ce ciment proche de la surface (tel que cela peut se produire sous l'effet d'un drainage de l'eau de surface dans une cave);
- (d). à titre d'alternative, toute variation du flux provenant de l'anneau de tubage; et
- (e). une perte de pression mesurée sur la vanne latérale lorsqu'on sait par ailleurs que le puits se trouve sous pression.

6.3.5. – Inspection et maintenance de la tête du puits

6.3.5.1

Outre le Plan de Surveillance des Puits, ou à titre d'alternative sous forme d'une partie de ce dernier, chaque tête de puits **fera** l'objet d'une inspection annuelle documentée, et au moins les informations suivantes **seront** consignées dans un compte-rendu par le propriétaire du puits, et des copies seront envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.

- (a). Pression sur la tête du puits;
- (b). état du puits (par exemple fermeture, purge, production, injection);
- (c). condition d'exploitation des vannes de tête de puits;
- (d). fuite à la vanne d'arrêt ou aux joints de tige de vanne;
- (e). état des systèmes de peinture de protection;
- (f). état du tubage d'ancrage;
- (g). état du site et drainage de la cave; et
- (h). les changements survenus dans la position verticale de la tête de puits mesurée par rapport aux autres tubages, à la cave et à la position de la tête de bride mesurée par rapport au niveau de la cave.



6.3.5.2

Toutes les surfaces en acier des corps de vanne, brides, tiges, écrous, manchettes, tubage et équipements similaires **seront** entretenues de manière à être substantiellement libres de toute corrosion.

6.3.5.3

Dans les cas où les systèmes de peinture de protection doivent être rénovés, toutes les zones peintes défectueuses **devront** être nettoyées jusqu'à l'acier nu avant d'appliquer des revêtements frais.

6.3.5.4

Dans le cas où une corrosion sévère du tubage d'ancrage est extérieurement apparente ou suspectée, les tubages à l'extérieur du tubage d'ancrage **seront** retirés jusqu'à une profondeur où le tubage sain est exposé, et le tubage sera inspecté.

6.3.5.5

Dans les cas où l'inspection identifie une corrosion externe du tubage d'ancrage dans une mesure telle que la classe de pression doit être considérée comme inadéquate pour le puits concerné, le tubage **sera** remplacé tel que cela est décrit au point 6.5.4 (voir page 126) Une telle modification **sera** consignée dans un compte-rendu tel que cela est requis par le Plan de Surveillance des Puits.

6.3.5.6

Dans les cas où l'inspection identifie une corrosion externe du tubage d'ancrage dans une mesure telle que la classe de pression pour le puits concerné est encore considérée comme adéquate, la corrosion **sera** éliminée et le tubage peint.

6.3.5.7

Le système de protection de l'anneau de tubage **devrait** être entretenu et être en mesure de ventiler de façon efficace les anneaux tout en empêchant toute eau de pluie de pénétrer dans les anneaux.

6.3.5.8

Les tubages extérieurs et le système de protection de l'anneau de tubage (5.11.4, voir page 106) **seront** rétablis après tout travail de reprise sur le tubage d'ancrage proche de la surface.

6.3.5.9

Tout équipement dont la défaillance pourrait affecter négativement l'intégrité du puits **devra** être exempt de fuite et dans un état de fonctionnement sain. Ceci inclut toutes les brides, entaillages, raccords, presse-étoupes, vannes et équipements similaires.





NOTE

- (1). La déposition de solides dissous peut empêcher ou prévenir tout fonctionnement correct de certains équipements, notamment les soupapes de surpression.
- (2). Les fuites au travers de sièges de vanne, de tiges de vanne et de joints circulaires de brides peuvent être stoppées en faisant fonctionner la vanne, en injectant ou en remplaçant le produit étanchéifiant ou la garniture, ou en serrant de façon uniforme les tiges ou boulons de bride comme il convient. Si une telle action n'est pas couronnée de succès, alors des mesures ultérieures décrites au 6.6 (voir page 120) s'imposeront.
- (3). Pour les puits qui ne sont pas en service, il est de bonne pratique d'installer une bride pleine pour protéger la face exposée de la vanne maîtresse et aider à éliminer les dépôts liés à de petites fuites au niveau des joints de siège de la vanne d'arrêt. Utilisez, avec les brides pleines, une petite vanne de purge afin d'étouffer toute augmentation de pression.

6.3.6. – Évaluation des risques

Une évaluation des risques **sera** réalisée pour chaque puits en se basant sur les résultats de la surveillance et des inspections des puits. Cette évaluation **sera** documentée mise à jour périodiquement avec le Plan de Surveillances des Puits et des copies seront envoyées au ministère, à l'agence ou à l'office gouvernemental compétent chargé de délivrer les permis de forage géothermique ou de mettre à jour les données géologiques.

6.3.7. – Travaux de rectification

Tous les travaux de reprise identifiés par le programme d'inspection **seront** réalisés dès que possible. Dans les cas où il y a un risque qu'une poursuite de la détérioration finisse par menacer la sécurité du personnel, des mesures immédiates **devront** être prises pour éliminer ce risque ou pour réduire ce dernier à un niveau de nocivité aussi bas que possible.

NOTE

Dans certains cas, il peut être possible de sécuriser temporairement un puits en réduisant la pression interne. Il est possible d'y parvenir en purgeant la pression de gaz élevée ou en maintenant le puits en production pour réduire la pression de la tête de puits jusqu'à ce que des travaux de reprise appropriés aient été réalisés.

6.4. Puits en exploitation

6.4.1. – Vanne maîtresse

6.4.1.1

La vanne maîtresse **restera** opérationnelle et capable d'être fermée à tout moment.





6.4.1.2

Sauf dans un cas d'urgence, on n'**utilisera** ni la vanne maîtresse ni les vannes latérales en tant que vannes de contrôle. En particulier la vanne maîtresse ne **sera** pas utilisée pour fermer un puits en décharge. Si les vannes de contrôle primaire ne sont pas complètement étanches, il **faudrait** fermer toutes les autres vannes de contrôle susceptibles de réduire le débit dans la mesure du possible avant de fermer la vanne primaire.

6.4.2. – Réduire le changement de température rapide au minimum

Il **faudrait** éviter autant que possible les changements de température rapides des tubages de puits, des gaines en ciment et de la tête de puits. Un chauffage et un refroidissement contrôlés (et si possible une limitation du nombre de cycles thermiques) peut limiter les effets des changements de température sur le tubage et la tête de puits. Dans le cas des puits de production, il est possible d'y parvenir en mettant ou en maintenant le puits sous purge, en augmentant tout débit de purge existant, ou en injectant des fluides chauds dans le puits.

NOTE

Lorsque les sections supérieures d'un puits sont chauffées lentement, le potentiel de défaillance des composants du puits induit par une ouverture rapide devrait être réduit au minimum. Ceci est par exemple dû aux faits suivants:

- (a). le chauffage lent de toute l'eau piégée entre les tubages peut permettre l'écoulement de l'eau connaissant une expansion à travers tout micro-anneau entre le ciment et les tubages, en empêchant ainsi toute montée en pression à un niveau susceptible d'écraser les tubages intérieurs;
- (b). comme les tubages sont chauffés, le mouvement vers le haut du tubage est restreint par le développement d'une force entre les tubages et la formation. Cette force est développée par des contraintes adhésives entre le tubage et le ciment, les contraintes de compression entre les raccords de tubage et le ciment, et les contraintes de cisaillement à l'intérieur du ciment (et à l'intérieur du tubage). Un chauffage lent du puits permet de bénéficier d'un chauffage plus uniforme et de tous les tubages et gaines en ciment, en fournissant ainsi une distribution plus uniforme des contraintes entre le tubage intérieur et la formation. Inversement, un chauffage rapide du puits développera des contraintes élevées proches du tubage interne, dépassant éventuellement la résistance du ciment sur certains intervalles de profondeur. Une défaillance localisée du ciment peut permettre un mouvement indésirable de la tête de puits et la concentration de contraintes induites thermiquement sur des points de faiblesse dans le tubage. Ceci peut entraîner une défaillance du tubage.





6.4.3. – Purge d'un puits

La purge d'un puits **devrait** être réalisée depuis une vanne latérale en amont de la vanne maîtresse plutôt qu'en aval de la vanne maîtresse.

La tuyauterie de la ligne de purge **sera** conçue et installée de manière à permettre le mouvement vertical de la tête de puits ainsi que la dilatation et la contraction thermiques, et **sera** ancrée de façon adéquate de manière à prévenir tout mouvement incontrôlé dans le cas d'une défaillance due à la corrosion, à l'érosion ou à d'autres causes (notamment sur des courbures et des coudes).

Les lignes de purge **devraient** être terminées à une certaine distance de la tête de puits afin d'éviter la corrosion de la tête de puits par des fluides déchargés et d'éviter l'accumulation de gaz dangereux à l'intérieur de la cave ou d'autres zones situées à des emplacements bas.

6.4.3.1

Tout flux provenant du puits **verra** son débit contrôlé par une vanne, une plaque à orifice, ou tout dispositif approprié autre que les vannes comprenant une partie de l'assemblage de la tête de puits permanente. Cette exigence s'applique à la fois aux petits débits issus de la purge du puits et aux débits de décharge plus grands provenant de la production du puits.

Les lignes de purge **seront** conçues et installées de manière à éviter de générer un risque sanitaire, environnemental ou sonore.

NOTE

Les mesures de réduction nécessaires pour éviter des risques environnementaux pourraient inclure le traitement chimique en amont de la décharge, l'installation d'appareillages absorbant le son au point de décharge, ou le routage de la décharge dans un volume d'eau (par exemple dans le puisard sur le site de puits).

6.4.4. – Tubage pendu vers le bas

Dans les cas où une colonne de tubage suspendue est installée à travers la vanne maîtresse et où ceci pourrait empêcher la fermeture de la vanne maîtresse, il **faudra** veiller à prévoir un moyen de retirer rapidement le tubage afin de permettre de fermer la vanne ou fournir une isolation supplémentaire (voir 2.11.6.7 à la page 49).

6.5. Reconditionnements

6.5.1. – Objet des reconditionnements

Cette section traite d'opérations effectuées sur un puits achevé en utilisant une plateforme de forage ou un équipement similaire (tel qu'une unité à tube de production concentrique) afin d'atteindre un des résultats suivants:





- (a). réparation ou remplacement d'un composant de tête de puits (par exemple la vanne maîtresse);
- (b). réparation ou remplacement d'un tubage endommagé;
- (c). Enlèvement de dépôts du puits;
- (d). installation ou enlèvement d'une colonne perdue non-cimentée du puits; et
- (e). tous autres travaux à l'intérieur du puits destinés à modifier les conditions existantes dans ce dernier (par exemple perforation du tubage, isolation de zones perméables, approfondissement d'un puits, ou déviation latérale d'un puits).

Cette section exclut les opérations pouvant être exécutées en laissant la vanne maîtresse fonctionnelle pendant tous les travaux, comme cela est typiquement le cas pour les travaux de câble (par exemple brochage).

6.5.1.1

Les opérations de reconditionnement rempliront toutes les exigences de la Section 5 (à partir de la page 81), et en particulier les exigences de surveillance du CO₂ et de H₂S susceptibles d'être dégagés par le puits (voir 5.5.11 à la page 91).

6.5.1.2

Avant tout reconditionnement, il **faudra** définir un programme détaillant l'information pertinente sur le puits, et les opérations devant être entreprises. Le programme **inclura** des méthodes appropriées de contrôle de puits pour toute la durée des opérations de reconditionnement.

6.5.1.3

Lorsque du gaz est purgé du puits, la méthode utilisée pour cette purge **sera** gérée de façon à éviter de créer un risque quelconque pour le personnel ou l'environnement local.

6.5.1.4

La plupart des reconditionnements exigeront que le puits soit contrôlé d'une manière qui l'empêche de se décharger. Lorsque le type de reconditionnement le permet, il **faudrait** veiller à boucher le puits de forage en recourant à un packer récupérable situé à l'intérieur de la tête de puits ou le tubage, plutôt que de le tuer en utilisant de l'eau froide.





6.5.1.5

Il **faudra** tenir un compte-rendu permanent de toutes les activités de reconditionnement incorporant les détails de construction pertinent spécifiés dans les Sections 1.8 (voir page 12) et 5.13.3 (voir la page 111).

6.5.2. – Tuage

6.5.2.1

Lorsqu'on tue un puits avec de l'eau froide, il **faudrait** déployer tous les efforts possibles pour éviter d'endommager le tubage du puits en refroidissant graduellement le puits de forage d'une manière contrôlée.

6.5.2.2

Les débits initiaux **devraient** être contrôlés à un niveau bas pendant un certain temps, puis augmentés progressivement jusqu'à ce que le puits soit hors pression. Une séquence de tuage typique consiste à commencer le pompage à pas plus de 25 litres par minute pendant la première heure de tuage, en augmentant par incréments de 25 litres par minute jusqu'à ce que le puits soit hors pression. Lorsqu'on utilise de grandes pompes pour le tuage, les débits faibles exigeront la recirculation de la sortie de retour jusqu'à l'aspiration de la pompe.

6.5.2.3

Une conséquence du tuage d'un puits 'actif' consiste en la production de gaz non-condensable, qui s'accumulera dans la partie supérieure du puits de forage. Pendant le tuage du puits et les opérations de reconditionnement, il sera souvent nécessaire de ventiler les gaz non-condensables afin de contrôler la pression de la tête de puits.

NOTE

On peut recourir à des souffleries portatives pour disperser les concentrations de gaz élevées à proximité de la tête de puits ou dans la cave.

6.5.2.4

Dans la plupart des cas, le 'tuage par le sommet' est le moyen le plus pratique de mettre un puits hors pression. Il **faudrait** agir avec toute la prudence qui s'impose du fait que le tuage par le sommet peut entraîner un déplacement de l'interface froide entre les fluides de puits et les fluides injectés vers le bas du puits de forage, entraînant un refroidissement rapide et localisé du tubage.





NOTE

Lorsque le tubage est sous contrainte, endommagé, corrodé, ou présente des sections de cimentation ne correspondant pas à la norme, un refroidissement rapide du tubage peut entraîner des défaillances consécutives à des tractions. Dans ce cas, l'approche préférée consiste à pousser des tubes dans le puits jusqu'au sabot du tubage de production. Le puits peut être ensuite tué au départ en pompant de l'eau froide à travers les tubes, puis en passant ensuite au tuage par le sommet avant d'enlever les tubes. Ceci entraîne un refroidissement plus graduel de fluides chauds dans l'anneau en dehors des tubes tout en évitant un refroidissement rapide et localisé du tubage.

6.5.2.5

Toute pression de gaz qui se développe dans la tête de puits **devrait** être lentement réduite en purgeant le gaz hors du puits tant avant que pendant l'opération de tuage en conformité avec 6.5.2.3 (voir la page 123).

6.5.3. – Enlèvement et remplacement de la tête du puits

6.5.3.1

Il est possible de remplacer des composants de tête de puits (par exemple des vannes maîtresses, des vannes latérales, des bagues d'étanchéité, des manchettes et des tubages proches de la surface) en utilisant un packer récupérable placé à l'intérieur du tubage sain (ou dans une tête de puits conçue de façon appropriée) afin d'empêcher la décharge du puits pendant le reconditionnement.

6.5.3.2

La procédure générale pour installer un packer récupérable consiste à:

- (a). pousser le packer dans le puits jusqu'à la profondeur de réglage;
- (b). placer le packer; et
- (c). dans les cas où le design de l'outil le permet, réaliser une traction vers le haut afin d'assurer que le packer est correctement ancré dans le tubage ou la tête de puits.

La pression au-dessus du packer **devrait** être purgée et l'efficacité des joints de packer confirmée avant de relâcher mécaniquement le tuyau de forage du packer ou d'enlever un composant de tête de puits quelconque.

NOTE

Si le puits a été en production pendant une période de temps quelconque, les zones peu profondes autour du puits auront été chauffées. Dans ce cas, toute eau laissée au-dessus d'un packer placé juste en dessous de la tête de puits pourrait se réchauffer avec le temps et produire un geyser hors du puits, en présentant un risque potentiel lorsque l'équipement de la tête de puits est retiré.





6.5.3.3

Dans les cas où on n'utilise pas de packer récupérable ou autre isolation, le puits **sera** graduellement tué conformément au 6.5.2 (voir page 123) et sera conservé dans un état totalement tué pendant au moins deux fois le temps de maintenance estimé requis. On pourra alors procéder au remplacement des composants après s'être assuré que le puits restera tué.

6.5.3.4

Lorsqu'un puits a été tué et que les composants de la tête de puits ont été retirés, le puits **sera** conservé dans un état totalement tué jusqu'à ce qu'il soit sûr. Il y **aura** une alimentation en eau adéquate et sûre vers le site afin d'assurer que le puits peut être conservé dans un état entièrement tué pour la période maximale pendant laquelle le puits sera probablement non sécurisé. Des moyens de stockage et de d'alimentation de secours supplémentaires seront installés sur le site au besoin.

6.5.3.5.

Si la maintenance de la tête du puits comprend le remplacement du tubage incluant le soudage, tous les soudages **seront** conformes aux procédures de soudage en référence dans le point 2.11.5 (voir page 47).

6.5.3.6

Si le puits a été tué dans le but de remplacer une section de tubage avec soudage, le puits **sera** conservé dans un état complètement tué de façon à empêcher que de l'eau froide n'entre en contact avec le tubage qui est soudé.

6.5.3.7

Il **faudra** veiller à éviter d'endommager les sections du tubage adjacentes pendant la découpe et l'enlèvement de toute section de tubage.

6.5.3.8

Si la maintenance de la tête du puits entraîne un endommagement du système de protection de l'anneau (voir 5.11.4 à la page 106), ce dernier sera remis en état à la fin des travaux.

6.5.3.9

Si la maintenance de la tête du puits entraîne un changement de l'élévation de la bride de tête de tubage, alors la nouvelle élévation de la tête de la bride **sera** mesurée et fera l'objet d'un compte-rendu à la fin des travaux.





6.5.4. – Travaux sur le puits de forage

6.5.4.1

Une tête de puits de forage, comprenant des BOP, **sera** installée dans tout puits capable de se décharger pendant n'importe quelle phase de travaux au fond du puits de forage.

6.5.4.2

Si l'installation d'un nouveau tubage (colonne de réparation) à travers une section de tubage endommagé ou défaillant a été prévu, le nouveau tubage **devra** être complètement cimenté sur toute la longueur. La colonne de réparation et le puits refaits **seront** en conformité avec la section 2. Il **faudra**, avant de mettre en place la colonne de réparation, effectuer un test de pression afin de déterminer si la section de tubage endommagée acceptera de l'eau. Si une fuite significative a été trouvée, les points de perte **seront** localisés, les tubages éventuellement endommagés alignés, et les points de perte cimentés sous pression avant la mise en place du nouveau tubage. Le puits de forage en dessous de la colonne de réparation **devrait** être isolé de toute cimentation sous pression, installation de tubage et opérations de cimentation.

NOTE

Il est possible d'y parvenir en plaçant un bouchon pouvant être foré ou un packer à l'intérieur du tubage plus grand en dessous du sabot du nouveau tubage, ou en utilisant un packer de tubage externe en dessous d'une cimentation d'étage dans la nouvelle colonne de tubage.

6.5.4.3

Pendant le forage d'un dépôt dans un puits perméable, les retours de fluide et les pressions de pompe **devraient** être surveillées en permanence.

NOTE

Lorsqu'on fore un dépôt depuis l'intérieur du tubage, les blocs de dépôt forés tombés en dessous du trépan peuvent ponter et bloquer le reste du puits. Si cet événement survient, cela bloquera le flux des fluides de refroidissement vers les zones productives, ce qui peut entraîner un flux de retour du puits après une brève période de temps. Si un tel blocage devait être traversé au cours de la poursuite du forage en permettant au fluide de forage de s'écouler vers le bas, les déblais situés au-dessus du trépan peuvent provoquer un grippage de la colonne de forage.



6.6. Puits suspendus

6.6.1. Design de bouchons en ciment pour puits suspendus

Les points suivants s'appliquent lorsqu'un puits est suspendu:

- (a). un bouchon ou des bouchons de ciment **seront** placés afin de fournir pas moins de 100 m de ciment sain continu à l'intérieur du tubage de production;
- (b). le bouchon de ciment **devrait** être placé sur bouchon-pont ou un packer situé sur ou près du sabot de tubage de production et pas à moins de 10 m au-dessus du sommet de toute colonne perdue;
- (b). le bouchon de ciment **devrait** également être placé de façon à réduire au minimum la dilution du coulis de ciment par des fluides dans le puits;
- (d). les matériaux de ciment **devraient** être sélectionnés de manière à résister aux fluides et températures ambiants, et à développer une résistance à la compression limitée afin d'éviter d'endommager le tubage lorsque le ciment est ensuite percé;
- (e). le tubage au-dessus du ciment sain **devrait** être rempli jusqu'à la surface avec une bentonite faible et un remplisseur de type ciment; et
- (f). le bouchon en ciment **sera** testé par rapport à la pression à une pression d'essai et pendant une durée suffisantes afin de confirmer que le bouchon de ciment est sain et procure une intégrité suffisante pendant la durée de la suspension du puits.

NOTE

En fonction de l'objet de la suspension, le bouchon de ciment peut être placé plus haut dans le tubage afin de permettre une perforation ou d'atteindre d'autres objectifs.

6.6.2. – Enlèvement de la tête du puits

Dans les cas où un puits est suspendu en conformité avec le point 6.6.1, il est possible d'enlever la tête de puits, sans toutefois y inclure la bride de tête de tubage.

6.6.3. – Protection de la bride de tête de tubage exposée

Pour un puits suspendu dans lequel la tête de puits a été retirée, la bride de tête de tubage et les tubages proches de la surface **seront** protégés contre la corrosion ou les endommagements.

6.6.4. – Inspection et maintenance

Le puits **sera** inspecté conformément à la section 6.3.5 (voir page 117) et maintenu dans un état sûr pendant la période de suspension.



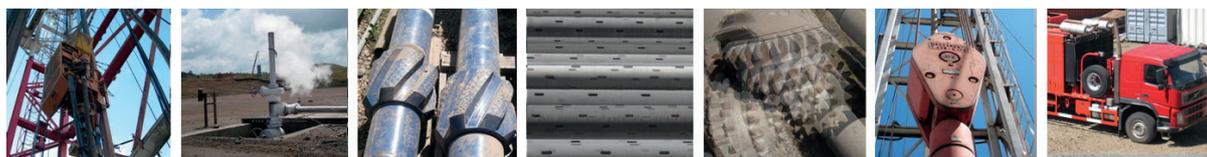
6.7. Maintenance du site de forage

Le site du puits **sera** entretenu en conformité avec la section 3 (à partir de la page 51) pendant les opérations de puits jusqu'à l'abandon inclus.

6.8. Livres d'exploitation et de maintenance de puits

Les comptes-rendus des Plans de Surveillance des Puits, évaluations de risque, inspections de puits, surveillance de l'état et de maintenance requis **devront** être archivés en permanence par le propriétaire du puits. Les relevés d'opérations de reconditionnement et autres maintenances de la tête de forage **devront** être conformes aux exigences de la section 5.13 (voir page 111) et aux dispositions de la section 1.8 (voir page 12).





7. ABANDON DU PUITTS

7.1. Dans la présente section

Cette section couvre les considérations à prendre en compte et les prescriptions à suivre lors de l'abandon de puits.

7.2. Raison et prescriptions pour l'abandon

Un puits peut être abandonné pour une ou plusieurs des raisons suivantes:

- (a). gestion de la ressource, incluant la réduction de débit de puisage et l'écoulement entre différentes sections d'un réservoir.
- (b). le puits a atteint sa limite de vie utile;
- (c). les composants du puits ont rompu ou ont détérioré d'une manière qui rend le puits potentiellement dangereux ou irréparable d'un point de vue économique; ou
- (d). le puits ne doit pas être utilisé pendant une période prolongée (particulièrement si le puits est situé dans un environnement agressif exigeant des réparations ou une maintenance fréquente).

L'abandon d'un puits requiert son étanchement d'une manière sûre et permanente qui empêche la possibilité de tout écoulement interne au puits depuis le réservoir jusqu'à des formations peu profondes ou en surface. Aucune structure permanente ne **sera** placée par-dessus des puits géothermiques abandonnés. Aucune mesure ne **sera** prise pour une réinstallation future.

7.3. Évaluation (de la condition) du puits avant abandon

L'état des composants du puits qui peut soit affecter l'opération d'abandon, soit l'efficacité à long terme de l'abandon **sera** évaluée à partir des rapports existants. Les investigations **devront** fournir une compréhension suffisante de la condition du puits avant de planifier et d'exécuter l'opération d'abandon. Des informations **seront** collectées pour:

- (a) les températures statiques en fond de puits;
- (b) les niveaux d'eau et pressions statiques;
- (c) tout anneau entre tubages qui n'est pas étanché; et
- (d) tout changement de flux thermique sur ou à proximité du site de forage, qui peut être associé à une détérioration de composants de puits sous la surface du sol.

7.4. Opérations d'abandon

7.4.1. Tête de puits de forage

On **utilisera** une tête de puits de forage comprenant un BOP pendant les opérations d'abandon.

7.4.2. Tuage du puits

Le puits sera tué conformément à la section 6.5.2 (voir page 123).

7.4.3. Prévention d'écoulement interzonal

Lorsque l'objectif d'abandon consiste à prévenir des écoulements interzonaux sous le tubage de production, le puits **sera** comblé depuis la profondeur totale jusqu'au sabot de tubage de production. Ceci **devrait** être réalisé avec des matériaux granulaires résistant à la chaleur (par exemple du gravier fin) qui sont calibrés pour assurer une faible porosité et qui sont mis en place de manière à ne pas causer de pontage du forage pendant l'opération.

7.4.4. Design de bouchons en ciment pour abandon

Dans le cas d'un abandon permanent les bouchons de ciment qui sont continus sur toute la longueur du tubage **devront combler** le tubage de production. Le fond du bouchon de ciment **sera** positionné aussi près que possible du sabot du tubage de production. La cimentation **sera** planifiée afin de minimiser la dilution du coulis de ciment avec des fluides présents dans le puits. Les matériaux de cimentation **seront** sélectionnés afin d'assurer une détérioration minimale du ciment au cours du temps.

Les bouchons de ciment **seront** positionnés par étapes depuis le sabot de tubage en remontant. Il **faudrait** permettre à chaque étage de se tasser avec de placer les bouchons de ciment suivants. Le puits **devrait** être surveillé afin de détecter des pertes ou des écoulements de gaz entre les tronçons et des tests en pression devraient être effectués lorsque possible pratiquement afin de déterminer l'intégrité des bouchons de ciment et des tubages.

Lorsque les conditions le **permettront**, il faudra considérer la possibilité de positionner le ciment autour du sabot du tubage cimenté le plus profond.

7.4.5. Prévention d'écoulement annulaire vers la surface

Lorsqu'un anneau situé à l'extérieur de la colonne de tubages cimentée la plus intérieure est suspectée d'être étanché de manière inappropriée et pourrait permettre un écoulement interzonal ou vers la surface, alors toute tentative raisonnable **sera** faite pour étancher l'anneau par cimentation sous pression.



Si l'anneau ne peut pas être cimenté sous pression depuis la surface il faudra considérer le forage et la cimentation sous pression ou bien le retrait des joints supérieurs de tubage avant de remplir le puits avec du ciment.

7.4.6. Retrait de la cave et du tubage

La cave et le tubage **devront** être retirés jusqu'à une profondeur sous terre suffisante pour ne pas affecter l'utilisation future du sol.

NOTE

Les structures permanentes ne devraient pas être placées au-dessus de puits géothermiques abandonnés.

7.5. Relevés d'abandon de puits

Suite à un abandon permanent, le propriétaire du puits **devra** contrôler et stocker de façon permanente l'élévation et la position en plan de la partie supérieure du tubage restant.

7.5.1

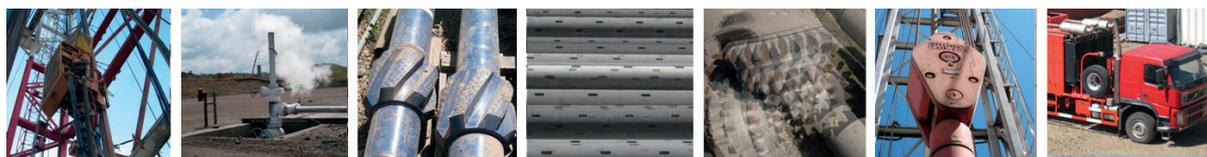
Les relevés d'opérations d'abandon **devront** être conformes aux exigences de la section 5.13 (voir page 111) et aux dispositions de la section 1.8 (voir page 12).





Cette page a été volontairement laissée vierge.





ANNEXE A – Cimentation de consolidation

(à titre informatif)

A1

Cette annexe procure des conseils pour la cimentation de consolidation dès lors que cela s'avère nécessaire pour améliorer les conditions à faible profondeur sur le site de forage.

NOTE

- (1) La cimentation de consolidation peut permettre:
 - (a) d'accroître la capacité de tenue à la charge des formations peu profondes;
 - (b) de réduire la fréquence et la sévérité des pertes de fluides pendant le forage de la section initiale du puits; et
 - (c) de consolider les formations situées immédiatement sous l'équipement de forage pour permettre aux fluides géothermiques remontant à l'extérieur des tubages en cas d'éruption d'être éloignés de l'équipement de forage au travers des matériaux plus faibles (non consolidés).
- (2). Certains types de sols peuvent être endommagés par une cimentation de consolidation affaiblissement les strates. De tels sols ne devraient normalement pas être cimentés.

A2

La cimentation de consolidation consiste en un nombre de forages étroits forés et cimentés par étapes en suivant une trame. Les profondeurs finales des forages sont définies de telle sorte que le volume consolidé soit proche de celui d'un cône inversé dont la base circulaire est centrée sur le puits et qui englobe la zone occupée par l'équipement de forage principal. Voir en Figure A – 1 l'implantation typique d'une cimentation de consolidation.

NOTE

Ceci peut être réalisé en réalisant des forages de diamètre 100 mm selon un canevas régulier centré sur l'axe du puits considéré. Les forages les plus proches du puits iraient jusqu'à 30 m de profondeur, les plus éloignés à 10 m, et ceux entre les deux auraient des profondeurs comprises entre 10 et 30m. Chaque étape de cimentation ne dépasserait pas 5m en longueur et les pressions appliquées devront être limitées pour éviter de fracturer la formation ou de causer un soulèvement (par exemple 10kPa par mètre de profondeur jusqu'à la partie supérieure du tronçon en cours de cimentation).



A3

Les forages principaux (primaires) devraient être réalisés et cimentés par tronçons de 5 m. Les forages intermédiaires (secondaires) devraient suivre.

NOTE

Le forage et la cimentation de forages secondaires fournissent une indication de la réduction de perméabilité obtenue grâce aux forages primaires. Si aucune réduction n'est obtenue, alors des forages de remplissage supplémentaires seront probablement nécessaires à l'intérieur de sections de la trame complète.

Figure A-1
Schéma typique d'une cimentation de consolidation

