



BUREAU VERITAS
16, chemin du Jubin
BP 26
69571 DARDILLY Cedex

Service Risques Industriels
Tél. : 04 72 29 32 67 Fax : 04 72 29 32 59

Comité Français du Butane et du Propane



**Etude des risques de corrosion
des réservoirs de GPL sous talus**

Groupe de Travail

Révision	Date	Emetteur	Vérificateur	Approbateur
0	18/03/2011	P.M. THIVEL BUREAU VERITAS	X. TOUFFUT BUREAU VERITAS	B. LAUGIER BUREAU VERITAS

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIF	6
2. GENERALITES SUR LES CONSTRUCTIONS SOUS TALUS DES ADHERENTS DU CFBP.....	8
2.1 RESERVOIR SUR LIT DE SABLE.....	8
2.2 RESERVOIR SUR BERCEAU.....	9
2.3 RESERVOIR EN SARCOPHAGE	9
2.4 SPHERE SUR COQUETIER	10
2.5 SPHERE SUR PIEDS.....	11
3. TYPE DE CORROSION REDOUTEE.....	12
3.1 RAPPEL DES CAUSES DE CORROSION	12
3.2 TYPES DE CORROSION POSSIBLE.....	13
4. PROTECTION PASSIVE PAR REVETEMENT EXTERNE	14
4.1 GENERALITES	14
4.2 ETAPES D'APPLICATION ET CONTROLE A LA POSE	15
4.2.1 Préparation de surface.....	15
4.2.2 Application du revêtement.....	16
4.2.3 Contrôle de l'épaisseur	16
4.2.4 Contrôle diélectrique.....	16
4.3 MODE DE DEGRADATION POSSIBLE	17
4.4 AXES D'AMELIORATION LIES AU REVETEMENT EXTERNE.....	17
5. PROTECTION CATHODIQUE	18
5.1 PRINCIPE DE LA PROTECTION CATHODIQUE.....	18
5.1.1 Anodes sacrificielles.....	19
5.1.2 Courant imposé	20
5.2 MONTAGE RECOMMANDE	21
5.2.1 Isolation du réservoir	21
5.2.2 Protection foudre.....	22
5.2.3 Protection des travailleurs	22
5.3 SUIVI DE LA PROTECTION CATHODIQUE	22
5.3.1 Prérequis	22
5.3.2 Contrôle.....	23
5.3.3 Certification	23
5.3.4 Cas de protection par anode sacrificielle	24
5.4 AXES D'AMELIORATION LIES A LA PROTECTION CATHODIQUE	24
6. SUIVI DE L'ETAT D'UN RESERVOIR SOUS TALUS	25
6.1 ASPECT REGLEMENTAIRE.....	25
6.1.1 DMTP 26-290.....	25
6.1.2 DMTP 33-105.....	25
6.2 RETOUR D'EXPERIENCE DU CFBP ET DE BUREAU VERITAS.....	26
6.3 AXES D'AMELIORATION LIES AU SUIVI DES SOUS TALUS	27
7. OPERATION DE DETALUTAGE	28
7.1 GENERALITES ET PRECAUTIONS POUR UNE OPERATION DE DETALUTAGE.....	28
7.2 DETALUTAGE PARTIEL.....	28
7.2.1 Fenêtre de détalutage.....	28
7.2.2 Détalutage jusqu'au plan diamétral.....	29
7.3 DETALUTAGE TOTAL	29
7.3.1 Réservoir sous talus : lit de sable ou berceau	29
7.3.2 Sphère : pied ou coquetier béton.....	30
7.4 CAS PARTICULIER DU TEXSOL	30
7.5 INTERET POTENTIEL D'UNE OPERATION DE DETALUTAGE	30

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

7.5.1	<i>Contrôle de l'état du revêtement</i>	30
7.5.2	<i>Contrôle d'épaisseur de la paroi métallique par l'extérieur</i>	31
7.6	CONTRAINTES OPERATIONNELLES D'UN DETALUTAGE	31
8.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS ISSUES DES GROUPES DE TRAVAIL CFBP	32

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

GLOSSAIRE

AFIAP	Association Française des Ingénieurs en Appareils à Pression
ACQPA	Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion
ATEX	ATmosphère EXplosive
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
CEFRACOR	CEntre FRAnçais de l'antiCORrosion
CFBP	Comité Français du Butane et du Propane
CFPC	Conseil Français de Protection Cathodique
OHGPI	Office d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle
FIPEC	Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs
AFTPV	Association française des techniciens des peintures, vernis, encres d'imprimerie, colles et adhésifs
US	UltraSons

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

REFERENCES

Les informations et données sont issues des adhérents ainsi que des ouvrages suivants :

Cours sur la corrosion du CEFACOR

Corrosion Guideline – Bureau Veritas Industrie

1. CONTEXTE ET OBJECTIF

Pour **exclure** physiquement la possibilité de **phénomène de BLEVE** (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) des réservoirs fixes de GPL, la Profession avec les incitations de l'Administration, a mis en place des **réservoirs de GPL** (sphères et réservoirs cylindriques) avec une **protection thermique et mécanique obtenue par mise sous talus**.

Dans la suite de l'étude, le terme « **réservoir** » englobera les deux types d'équipements que sont les **réservoirs cylindriques et les sphères**.

Dès 1989, l'**arrêté ministériel du 9 novembre 1989** introduit la mise sous talus des réservoirs de stockage de Gaz Inflammables Liquéfiés et **interdit les réservoirs aériens de plus de 500 m³**. (Cet arrêté est abrogé par l'arrêté du 2 janvier 2008). La **circulaire du 5 juin 2003** précise qu'un **réservoir sous-talus**, ou équivalent au sens de l'article 2 point 2.3.2 de l'arrêté ministériel du 9 novembre 1989 modifié, **constitue la référence en la matière**. (Cette circulaire a été abrogée par celle du 23 juillet 2007).

Les parois extérieures de ces équipements ne sont donc plus accessibles physiquement aux services Inspection. Les premiers réservoirs ainsi protégés ont plus d'une vingtaine d'années et se pose aujourd'hui la question de **l'évolution de l'état de ces parois extérieures, en particulier vis-à-vis du phénomène de corrosion**.

La **circulaire du 23 juillet 2007** relative à **l'évaluation des risques** et des distances d'effets autour des dépôts de liquides inflammables et des **dépôts de gaz inflammables liquéfiés** identifie clairement certains inconvénients de la mise sous talus :

(Extrait Seconde Partie §2.1.2)

*« Il faut cependant noter qu'un **tel aménagement [mise sous talus]**, s'il est au regard des connaissances du moment la meilleure technique pour protéger les réservoirs des effets repris aux points 2.1.1 [BLEVE suite à effets thermiques] et 2.1.2 [BLEVE suite à des effets de pression externe ou des projections] ci-dessus, **diminue la possibilité de suivi de la tôle tout en augmentant sa sensibilité à certains facteurs tel que la corrosion**. Sur ce thème, je porte à votre attention que lorsqu'une protection cathodique est mise en place, sa conception et son maintien en service ainsi que la formation du personnel devant en assurer le suivi, doivent être réalisés selon des normes reconnues. Les éléments pertinents décrits dans la fiche n° 8, " traitement spécifique de certains événements initiateurs ", annexée à la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28 décembre 2006 sont applicables. **Le plan de suivi mentionné dans cette fiche faisant alors apparaître une durée de vie de l'enceinte, période au-delà de laquelle le maintien en service pour une nouvelle durée déterminée est soumis à un nouvel examen au moins aussi poussé que celui effectué lors de la mise en service doit apparaître.***

Le Comité Français du Butane et du Propane (CFBP) a souhaité réaliser une étude sur les risques de corrosion des réservoirs sous talus en s'appuyant sur le retour d'expérience des adhérents ainsi que de la société Bureau Veritas.

De plus, suite à des accidents et incidents survenus récemment en France sur d'autres types d'installations, liés à la problématique du vieillissement des installations industrielles, le ministère du développement durable a lancé depuis fin 2008 un **plan de modernisation des installations industrielles**. Un des axes du plan d'action est une obligation réglementaire de suivre spécifiquement les « **équipements à risque** » à travers un **document de référence et en particulier un point zéro**.

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	---	-----------

Dans ce contexte, les objectifs de ces groupes de travail étaient de :

- **analyser les protections passives et actives actuellement mises en place pour lutter contre la corrosion d'un réservoir sous talus,**
- **identifier des axes d'amélioration afin de garantir un meilleur niveau de sécurité des installations,**
- **étudier les intérêts éventuels et les contraintes liées à un détalutage partiel ou total.**

Les 4 axes de développement identifiés ont été :

- **la protection cathodique,**
- **la protection passive par revêtement externe,**
- **le suivi par les contrôles périodiques internes,**
- **les techniques de détalutage et leurs conséquences.**

Les groupes de travail se sont appuyés sur l'expertise des sociétés suivantes :

- **Géodynamique & Structure** représenté par Alain PECKER, expert structure,
- **PCSE Consulting** représenté par Alain HUE, expert revêtement,
- **CJP Expertise** représenté par Louis VILLION, expert protection cathodique,
- **Bureau VERITAS** représenté par Christophe REDARES, expert contrôle non destructif.

Ponctuellement, il a été demandé l'avis de sociétés spécialisées :

- **ECER (Etudes Contrôles Expertises de Revêtements)** représenté par Jean-Marc BOZOM,
- **APAVE** représenté par Serge ABAUZIT,
- **IPSI** représenté par M. HALLOPEAU
- **CETIM** représenté par Alain BONNEFOY,
- **EIFFAGE TP** représenté par Damien LERETEUX,

2. GENERALITES SUR LES CONSTRUCTIONS SOUS TALUS DES ADHERENTS DU CFBP

Les constructions détaillées ci-dessous sont représentatives des installations opérées par les adhérents du CFBP. Elles sont constituées par :

- des réservoirs cylindriques sur lit de sable,
- des réservoirs cylindriques sur berceau,
- des réservoirs cylindriques en sarcophage (lit de sable ou berceau),
- des sphères sur coquetier,
- des sphères sur pieds.

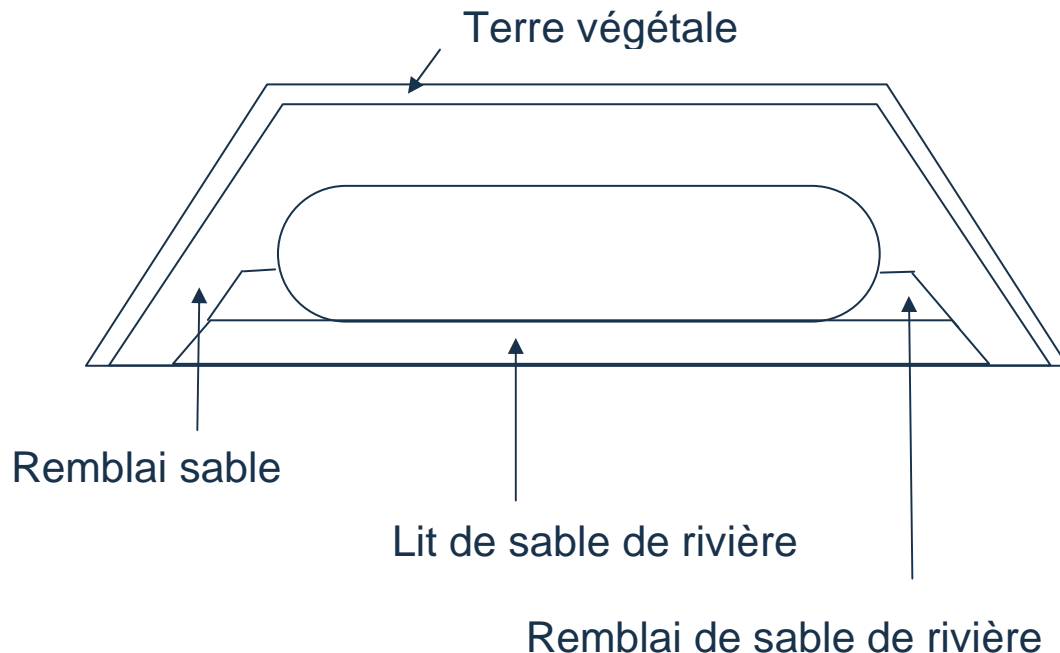
Aucune sphère sur lit de sable n'est recensée chez les adhérents du CFBP.

2.1 Réservoir sur lit de sable

Le réservoir repose sur un lit de sable compacté. Il est recouvert par un talus en matériau compacté par couches successives et offrant un recouvrement du réservoir d'une épaisseur minimale de 1 m, conformément aux prescriptions réglementaires.

Le remblai possède les propriétés suivantes :

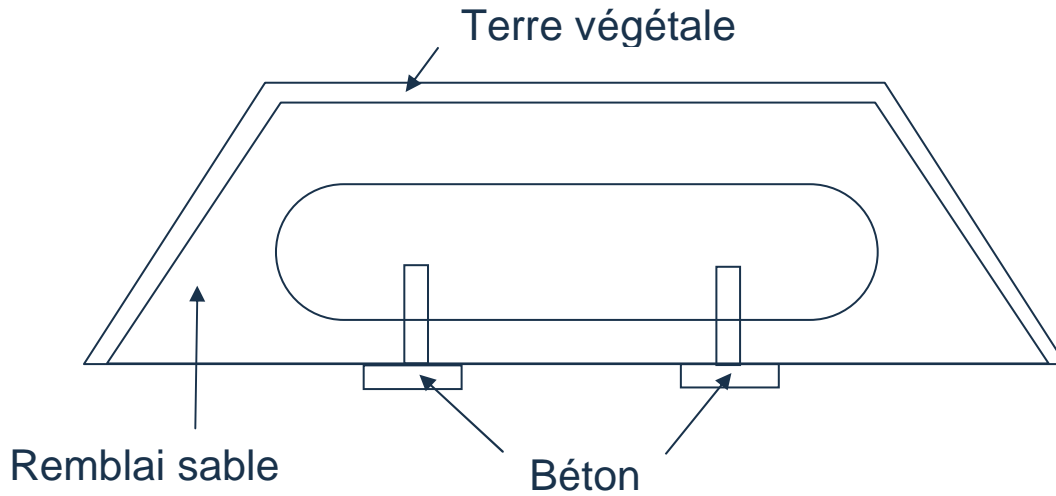
- non abrasif sur le réservoir (sable roulé sur la zone de contact),
- insensible à l'eau et inerte afin d'éviter tout phénomène d'érosion ou de ravinement du talus,
- végétalisé ou non (intégration dans le paysage).



2.2 Réservoir sur berceau

Les assises du réservoir reposent sur deux appuis isostatiques.

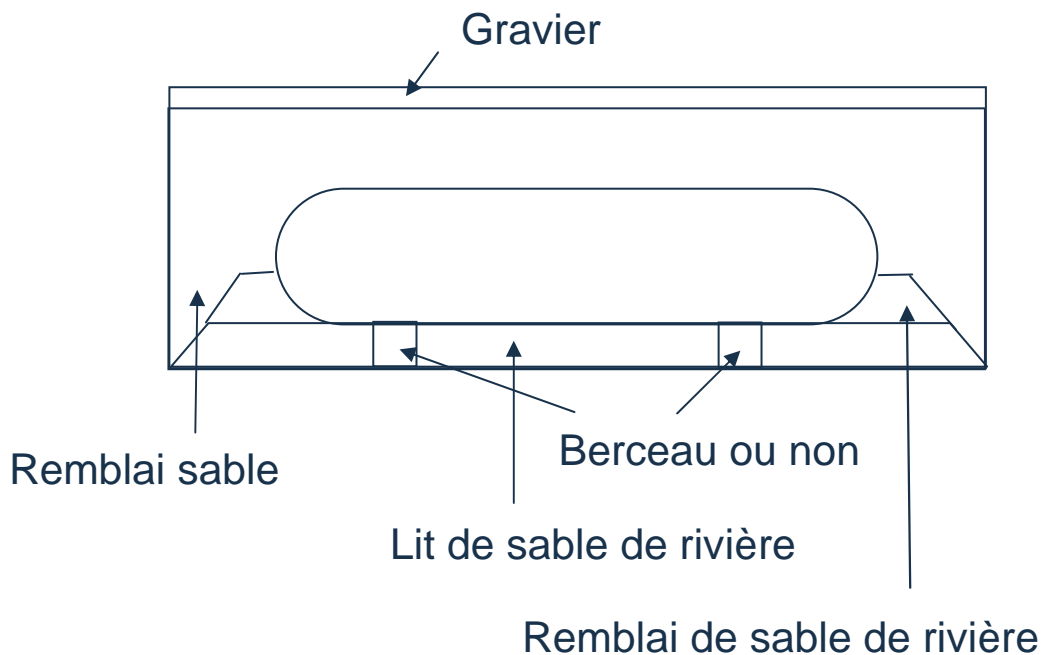
Un joint est placé entre le berceau et le réservoir afin de ne pas blesser le revêtement du réservoir.



2.3 Réservoir en sarcophage

L'enceinte (ou le sarcophage) est constituée d'une semelle en béton sur lequel prennent appui quatre murs permettant de créer un parallélépipède ouvert sur sa face supérieure. Un tunnel appelé « tunnel de soutirage » permet d'accéder au piquage de la conduite de soutirage sur l'enveloppe et de protéger la conduite et ses organes d'isolement contre les agressions externes.

Soit des berceaux soit un lit de sable, dressé sur le fond de l'enceinte, supportent la génératrice inférieure du réservoir. Un drainage spécifique assure l'évacuation des eaux en dehors de l'enceinte. L'enceinte est remplie d'un matériau dense et inerte compacté avec des moyens lourds, d'une épaisseur minimal de 1 m.

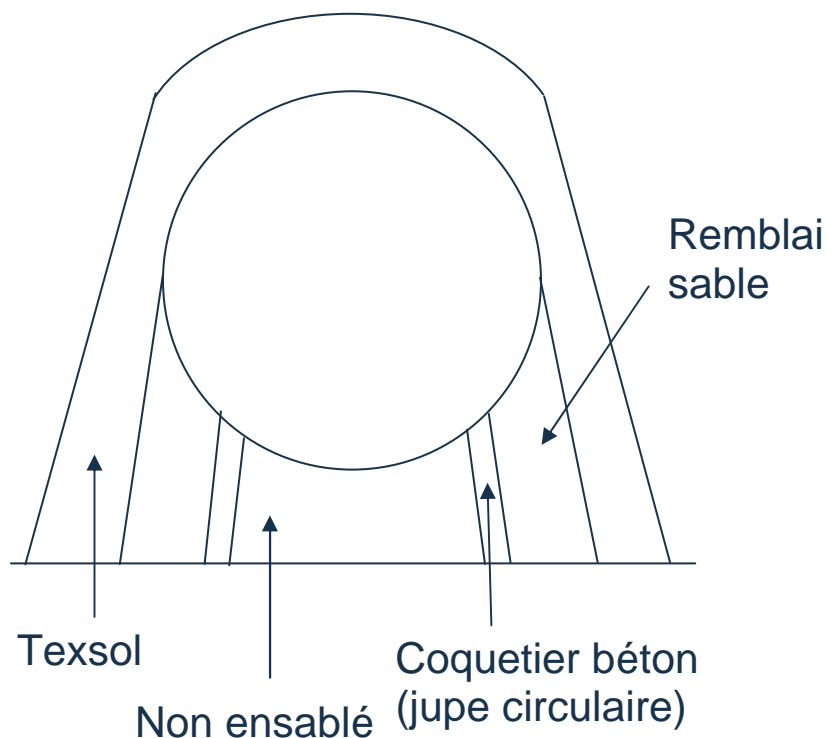


2.4 Sphère sur coquetier

Dans le cas d'une sphère, la technique de couverture utilisée est de type « Texsol ». Cette couche est constituée d'un mélange de sable et de fils polyester. L'épaisseur de cette couche est de 0,6 m et est reconnue équivalente à une mise sous talus de terre d'épaisseur 1 m. L'angle de talutage est d'environ 75°; il permet de diminuer l'emprise au sol de manière importante. La réduction du volume de matériau à employer diminue sensiblement le poids de l'ouvrage.

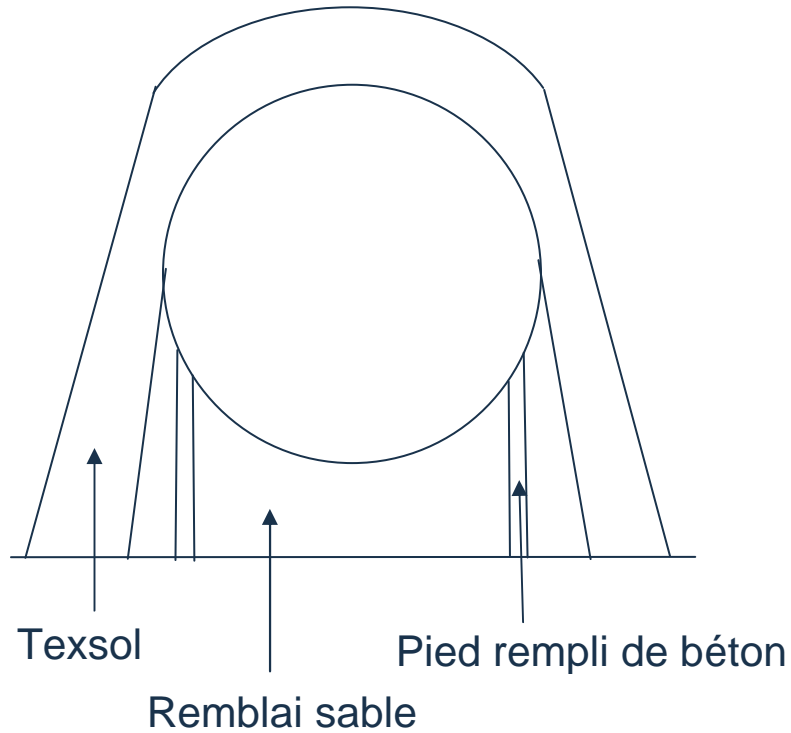
Afin de maintenir l'épaisseur du talus face à l'exposition permanente aux intempéries et à l'érosion, le talus est recouvert soit de végétations type gazon soit d'un filet résistant aux UV (polyester par exemple).

Un joint est placé entre le coquetier et la sphère afin de ne pas blesser le revêtement externe.



2.5 Sphère sur pieds

Dans le cas d'une mise sous talus d'une sphère existante, les pieds supports sont conservés. Ces derniers sont renforcés par la mise en place de demi-coquilles soudées. Les pieds sont ensuite remplis de béton si nécessaire.



3. TYPE DE CORROSION REDOUTEE

Ce chapitre correspond à une description des **corrosions externes** envisageables sur les parties enterrées

La corrosion est l'attaque destructive d'un métal par réaction chimique ou électrochimique avec son environnement. Les propriétés mécaniques des matériaux sont altérées.

En préambule, il est cependant rappelé que la **corrosion interne n'est pas un risque identifié** compte tenu du **caractère non corrosif du produit stocké** (propane ou butane commercial). Cet aspect non corrosif est accepté depuis longtemps par l'Administration :

- AM du 15 mars 2000, Art.13 : « Les **équipements sous pression maintenus sous atmosphère de butane et propane commercial** ou d'autres gaz mentionnés par une décision du ministre chargé de l'industrie, prise après avis de la Commission centrale des appareils à pression, **sont dispensés de vérification intérieure**. Dans le cas où le maintien sous une telle atmosphère est interrompu, ils doivent faire l'objet d'une visite intérieure préalablement à leur remise en service, si la précédente vérification intérieure a été faite depuis plus de quarante mois. »
- BSEI 06-080 : « La dispense de vérification intérieure accordée aux équipements contenant du **butane ou du propane de qualité commerciale**, inscrite dans la réglementation depuis 1967, a été maintenue. Cet aménagement trouve sa justification dans le fait que les caractéristiques des produits en cause sont fixées par voie réglementaire et qu'une longue expérience a montré non seulement leur **innocuité mais aussi leur effet protecteur vis-à-vis des métaux** avec lesquels ils sont en contact. »

3.1 Rappel des causes de corrosion

Les réservoirs sous talus étant en acier au carbone non alliés, la paroi est sujette à une corrosion naturelle par le milieu environnant, pour autant qu'il puisse y avoir réaction électrochimique entre le milieu et la paroi.

Les trois conditions nécessaires simultanément sont :

- **un milieu électro-conducteur,**
L'eau du sol ou de ruissellement est le principal véhicule de l'échange ionique, mais il peut y avoir en supplément – et aggravant le système – une salinité, une acidité ou une alcalinité provenant du sol lui-même ou d'une atmosphère industrielle environnante ou de l'épandage d'engrais ou autres pollutions alentour.
- **une mise à nu de la paroi,** (sera détaillée au §4.3)
La destruction du revêtement externe, localement au moins, du fait soit :
 - o de sa vétusté le rendant poreux ou cassant, avec des fissures traversantes,
 - o de son inadaptation au terrain ; un terrain abrasif requiert de préférence un revêtement « souple »,
 - o de son attaque mécanique par le milieu :
 - des roches venues au contact soit à l'installation, soit dans la durée du fait de l'écoulement plastique du terrain proche,
 - des racines,
 - o de son attaque mécanique par des supports non soudés à la paroi.
- **une défaillance ou inefficacité de la protection cathodique.**

3.2 Types de corrosion possible

Les types de corrosion possible identifiés sur les installations de réservoir sous talus sont :

- **Corrosion uniforme ou généralisée**

Ce mécanisme de corrosion provoque la perte de métal par formation d'oxydes ou de sels à la surface de la paroi. C'est la forme de corrosion la plus commune caractérisée par une réaction chimique ou électrochimique qui se produit uniformément sur toute la surface considérée.

Cette corrosion, limitée à une petite zone d'attaque du revêtement, est alors appelée improprement corrosion « par piqûre » – ce terme devrait plutôt être réservé à l'attaque particulière des métaux alliés, comme les inox, qui induit de vraies piqûres de dimension initiale très faible quelques μm du fait d'une hétérogénéité locale dans le métal.

La corrosion généralisée entraîne une perte d'épaisseur, détectable par exemple par contrôle aux ultrasons (US) à partir de l'intérieur du réservoir, à condition bien sûr d'adopter un maillage de contrôle suffisamment fin.

- **Corrosion par crevasse**

Ce type de corrosion est généralement associé à la présence de petits volumes de solution stagnante dans les interstices existants dès la construction, ou apparus accidentellement, comme les interstices entre supports et paroi, entre roches et paroi. Cette corrosion est particulièrement à craindre parce que la protection cathodique est inefficace à fond de crevasse.

Cette corrosion peut amener à de fortes pertes d'épaisseur localement, difficiles à détecter par contrôles US de l'intérieur du réservoir.

- En milieu alcalin, fissures de **corrosion sous contrainte** dans les soudures des bacs non recuits (non détensionnés)

- **Fragilisation par l'hydrogène** (« Cathodic disbonding »)

Cette corrosion est liée à une protection cathodique trop intense (potentiel du réservoir trop bas). Ce mauvais fonctionnement de la protection cathodique provoque la formation d'hydrogène dans le métal. La présence d'hydrogène dans un réseau métallique peut entraîner d'importantes détériorations du métal et une chute catastrophique de ses propriétés mécaniques. (L'atome d'hydrogène est le seul à pouvoir diffuser à travers les métaux).

(Cas d'endommagements connus sur canalisations de transport en France ou au Canada : voir http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/petrole/textes/se_fissu.htm)

Il est rappelé que l'exploitation des réservoirs de GPL par les adhérents du CFBP n'implique pas de contrainte thermique (variation faible de la température, remplissage avec produit à température ambiante) ni de cycle de remplissage – vidange important.

4. PROTECTION PASSIVE PAR REVETEMENT EXTERNE

Le groupe de travail a étudié le contexte normatif actuel, les caractéristiques des revêtements, l'application et a identifié les points à améliorer en fonction du retour d'expérience et des pratiques actuelles des adhérents au CFBP.

4.1 Généralités

Le revêtement externe constitue une barrière étanche entre la paroi à protéger et son milieu environnant.

Le cadre normatif met en jeu deux thèmes, d'une part le cadre spécifique aux réservoirs sous talus ou enterrés et d'autre part, le cadre des revêtements de peinture.

Les deux principales normes concernant la protection passive par revêtement sont :

- **NF EN 86 900** – Réservoirs de stockage en acier / Revêtement anticorrosion,
- **NF EN 86 901** – Contrôle de la continuité du revêtement peinture sous tension de 6 000 V.

L'ensemble du corps ICS 82 AFNOR répond à la protection contre la corrosion par peinture.

Ces normes (AFNOR, EN, ISO) traitent notamment des thèmes suivants (non exhaustif) :

- définition de la famille des peintures,
- classification des corrosivités d'ambiances,
- caractéristiques et performances, propriétés des peintures.

Il existe également des règles professionnelles notamment celles de l'Office d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle (OHGPI) ou issues des organismes professionnels tels que FIPEC-AFTPV.

Ces documents font référence aux normes et se présentent sous une forme didactique précisant les points essentiels, une démarche qualitative au niveau du matériel, de la préparation de surface, des produits, des contrôles internes et externes...

On distingue trois types de peintures, qui se distinguent par leurs caractéristiques de séchage :

- évaporation,
- oxydation,
- polymérisation.

Les familles chimiques de la peinture sont classifiées dans les normes citée ci-avant (Glycérophthaliques, Acrylique, Vinyliques, époxyde, Polyuréthane, Polyester, Phénolique...).

La peinture est un produit élaboré, mais non fini et composé de :

- **base liquide** (résine de base),
- **pigment** (couleur, protection anticorrosion),
- **charge** (apportant du corps : noir de carbone, dioxyde titane, sulfate de baryte),
- **solvant ou non.**

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

Les **propriétés d'anticorrosion** d'une peinture / revêtement sont de deux natures :

- **inhibitrice** (pigment spécifique),
- **barrière** (charge spécifique, l'étanchéité est fonction du carré de l'épaisseur du système)).

Il existe des systèmes, d'une ou plusieurs couches :

- 1^{ère} couche pour la protection anticorrosion,
- 2^{ème} couche pour la résistance (choc, poinçonnement...),
- 3^{ème} couche de finition résistante à l'environnement extérieur.

Certaines peintures possèdent des caractéristiques telles, qu'une ou deux couches du même produit suffisent à apporter les propriétés recherchées, résistance mécanique, aux fluides divers, etc., c'est le cas des revêtements sans solvant, époxy ou polyester.

4.2 Etapes d'application et contrôle à la pose

L'application des revêtements est délicate. L'application en atelier est donc la plus sûre car les conditions (température, humidité, poussières) sont mieux maîtrisées. Il est donc recommandé de faire l'application en atelier si les dimensions du réservoir le permettent.

Le cahier des charges doit être détaillé. Lors et après toute l'opération d'application du revêtement, la conformité à ce cahier des charges doit être vérifiée. Il est recommandé de recourir aux entreprises et opérateurs qualifiés suivant ACQPA (Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion).

Les différentes étapes pour l'application du revêtement sont :

- **préparation de surface (décapage),**
- **application du revêtement,**
- **contrôle d'épaisseur,**
- **contrôle diélectrique.**

4.2.1 Préparation de surface

La surface doit être décapée pour que l'acier soit mis à nu. Compte tenu de l'environnement auquel sont soumis les réservoirs enterrés, la nature même des peintures et revêtements de la protection anticorrosion, le métal doit être mis à blanc par décapage par projection d'abrasif.

Cette étape permet d'enlever :

- la calamine (formée lors du laminage à chaud des tôles (haute température)),
- les divers oxydes de fer, Fe₂O₃ Hématite ou hydroxyde ferrique Fe₂OH₃ parmi les plus courants.

Le **degré de soin** est un paramètre important à connaître. La norme ISO 8501 définit les clichés de soin de décapage. En effet, si le décapage n'a pas été suffisant, il restera de la calamine. En cas de choc sur le revêtement (barrière contre la corrosion), il existe un risque de corrosion de l'acier.

Ce risque résulte de la **différence de potentiel entre l'acier anodique et ses oxydes qui sont de potentiel positif**. En milieu humide, il se crée alors une pile de corrosion et selon la loi de faraday sur la dissolution anodique des métaux, l'acier se corrodera.

La **rugosité** est également un paramètre déterminant pour une **bonne adhérence de la peinture**.

4.2.2 Application du revêtement

En général, la pose du revêtement est effectuée en 2 couches.
Les conditions d'application des revêtements sont déterminantes pour la tenue dans le temps.

Les paramètres à suivre sont notamment :

- la température ambiante,
- la température du support,
- l'hygrométrie relative,
- le point de rosée.

Le délai de recouvrement doit être indiqué surtout dans le cas de peinture de type polymérisation chimique, époxy, polyester.

Si les conditions ne sont plus réunies pendant l'application, il convient de stopper l'application et de reprendre ultérieurement. Toute reprise de peinture doit être tracée.

4.2.3 Contrôle de l'épaisseur

Après l'application de la peinture, un contrôle de l'épaisseur est effectué à raison d'un point par m² au minimum.

L'épaisseur doit notamment respecter les deux conditions ci-dessous :

- aucun point avec une épaisseur inférieure à 80% de l'Epaisseur Minimale Contractuelle requise (EMC),
- moins de 20 % des points entre 80 et 100% de l'épaisseur requise.

Si ces deux conditions ne sont pas réunies, une couche supplémentaire doit être faite selon une procédure définie au préalable.

4.2.4 Contrôle diélectrique

Ce contrôle permet de détecter les microfissures invisibles à l'œil nu. La tension retenue de V : micron est une tension d'amorçage.

Il convient de se reporter au tableau de la CIRCULAIRE G de l'OHGPI qui précise les tensions à appliquer en regard des épaisseurs moyenne du revêtement.

Epaisseur (µm)	Tension (V)
300/399	2000
400/599	2500
600/999	3000
1000/1399	4500
1400/1999	6000
2000/2499	8000
2500/2999	10000
sup à 3000	12000

L'identification du réservoir doit être tracée, de même que les zones vérifiées et la situation des porosités trouvées.

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

Ces fissures peuvent apparaître lors de la manutention du réservoir, défaut d'application, solution de continuité.

4.3 Mode de dégradation possible

Les **garanties contractuelles** habituelles sur la tenue du revêtement sont de **l'ordre de 10 ans**.

Si toutes les conditions sont respectées lors de l'application (respect du degré de soin ISO 8501-1, respect d'une rugosité adaptée ISO 8503, qualité du dépoussiérage du subjectile ISO 8502-3, respect de l'épaisseur du revêtement ISO18940...) et que le type de tout venant, sable, terre, présente un pH compatible avec le revêtement, les **durées de vie sont de l'ordre de 20 ans**. Si le revêtement est dégradé, la **protection cathodique prendra le relais**.

Les modes de dégradation identifiés en groupe de travail :

- **phénomène d'usure par abrasion** suite aux mouvements du réservoir,
- **modification de l'environnement** (changement de pH,...),
- **dysfonctionnement de la protection cathodique**,
- **incompatibilité entre revêtement et protection cathodique** (cathodic disbonding, cloquage et décollement en cas de potentiel de protection trop électronégatif < - 1 200/- 1 300 mV)

Les parties les plus sensibles sont les zones à proximité de la génératrice inférieure et les piquages.

Le suivi de l'état du revêtement peut être effectué par le suivi du courant débité par la protection cathodique à niveau de potentiel de protection constant.

En effet la rupture ou la défectuosité du revêtement peinture peut entraîner l'amorce d'une corrosion si l'on ne prend pas le soin d'augmenter en conséquence de courant de protection cathodique. La demande en énergie ou consommation des anodes sont directement liées à la surface de métal « mise à nu » en contact avec le milieu électrolytique corrosif, pour un niveau de potentiel de protection donné.

Le suivi de l'état du revêtement peut être effectué par le suivi du courant débité par la protection cathodique.

En effet la rupture ou la défectuosité du revêtement peinture peut entraîner l'amorce d'une corrosion, ce qui aura pour effet d'accroître plus ou moins rapidement la demande en énergie ou une consommation importante des anodes.

4.4 Axes d'amélioration liés au revêtement externe

Les pistes d'amélioration proposées au sein de ce groupe de travail sont :

- **la constitution d'un dossier complet sur le revêtement externe avec vérification des points critiques**,
- **le contrôle complet du réservoir par scanner US avec une périodicité de 20 ans**.

Ce dernier axe d'amélioration est développé dans le cadre du groupe de travail « Suivi des RST » (voir §6.3).

5. PROTECTION CATHODIQUE

Le groupe de travail a étudié le contexte normatif actuel, le principe de protection cathodique, ses caractéristiques de montage, son contrôle périodique et a identifié les points à améliorer en fonction du retour d'expérience et des pratiques actuelles des adhérents au CFBP.

5.1 Principe de la protection cathodique

La protection cathodique consiste à abaisser le potentiel d'une structure métallique à protéger, par imposition d'un courant extérieur à partir d'anodes sacrificielles ou une source auxiliaire de courant continu reliée à des anodes de diffusion du courant électrique dans le sol.

Les normes principales concernant la protection cathodique sont :

- **EN 12 954** - Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées. Principes généraux et application pour les canalisations,
- **EN 13 636** – Protection cathodique des réservoirs métalliques enterrés et tuyauteries associées,
- **EN 13 509** - Techniques de mesures applicables en protection cathodique,
- **EN 15 257** - Protection cathodique - Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique

La protection cathodique permet de réduire la vitesse de corrosion (valeur admise < 10 µm / an d'après norme EN12954).

→ par exemple, 1 mm de surépaisseur aurait une durée de vie minimum de 100 ans.

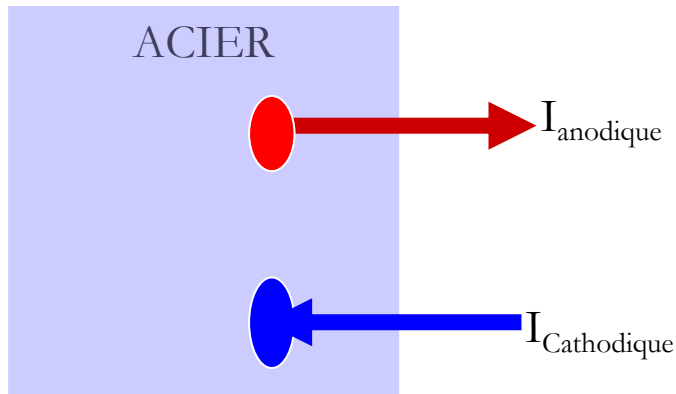
Le revêtement externe et la protection cathodique sont complémentaires. En effet, la protection cathodique est dimensionnée pour protéger le réservoir contre la corrosion en tenant compte d'une certaine action du revêtement externe. Cependant, le dimensionnement de la protection cathodique permet d'assurer son rôle même en cas d'altération du revêtement. La protection est en effet assurée jusqu'à X % de métal nu.

La protection cathodique est de 2 types :

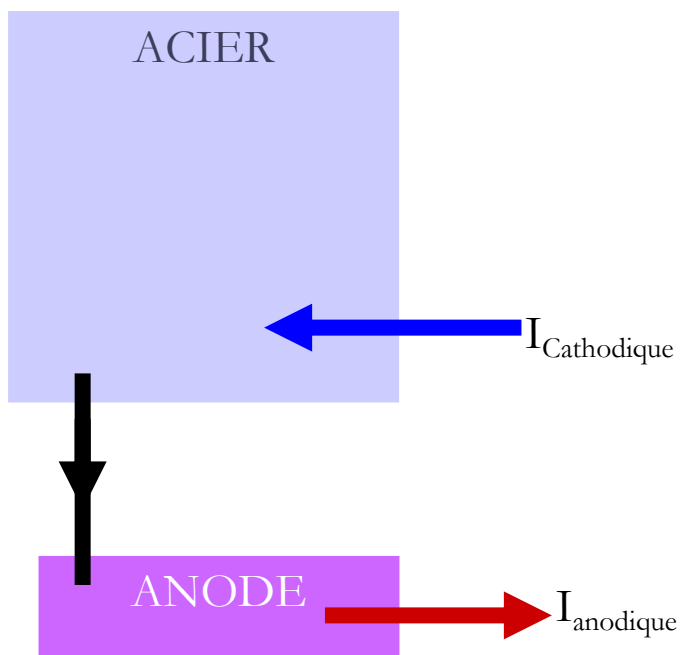
- **anodes sacrificielles** (ruban magnésium...),
- **courant imposé** (câble anodeflex...).

5.1.1 Anodes sacrificielles

En l'absence de protection cathodique, les zones du métal sont aléatoirement cathodique et anodique. Le phénomène de corrosion à lieu au point de sortie de courant (anodique).



La mise en place d'anodes sacrificielles plus électronégatives que l'acier permet de séparer les zones cathodique et anodique et surtout de déplacer la zone anodique sur des anodes sacrificielles afin de protéger la paroi du réservoir en acier.



Les anodes utilisées pour les réservoirs sous talus sont du type :

- Zinc : pur, consommation de 11,2 kg/A.an avec un rendement de 90%,
- Magnésium : allié, consommation de 7,2 kg/A.an avec un rendement de 50%.

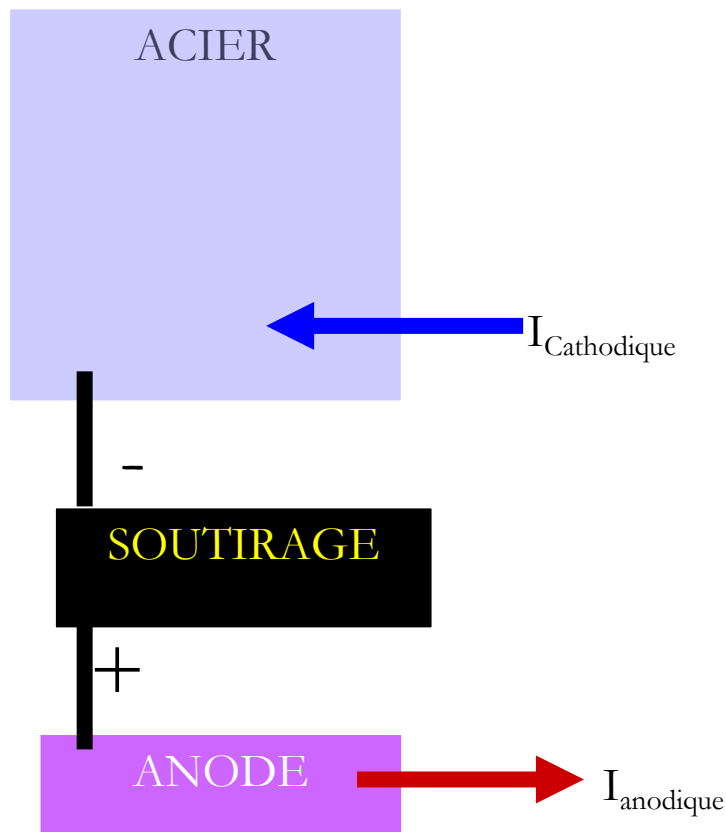
En général, la pose d'un minimum de 4 anodes est nécessaire. L'utilisation de ruban magnésium permet une répartition plus homogène du courant électrique de la protection cathodique. Il est admis que les anodes magnésium ont une durée de vie d'une dizaine d'années, celles-ci peuvent se bloquer électrochimiquement au-delà de cette durée d'utilisation.

5.1.2 Courant imposé

Le courant imposé permet la fourniture du courant électrique nécessaire par un système énergisé (source d'alimentation à courant continu).

La consommation de courant est de l'ordre de $0,1 \text{ mA/m}^2$ de surface extérieure pour un revêtement époxy avec peu de défauts.

Par exemple, un réservoir de diamètre 3 m et de longueur 30 m représente une surface extérieure d'environ 310 m^2 donc la consommation de courant estimée sera proche de 31 mA.



Les anodes utilisées pour les réservoirs sous talus sont du type :

- Ferro silicium chrome, consommation de $0,5\text{kg/A.an}$,
- TiMMO, consommation de quelques mgr/A.an ,
- Câble anode : câble en matériau adapté (type oxydes de métaux mixte,, gainé dans un fourreau en tissu rempli d'un mélange conducteur et absorbant l'humidité pour « réguler » la conductibilité. Ce câble ceinture le réservoir dans le plan axial horizontal).

5.2 Montage recommandé

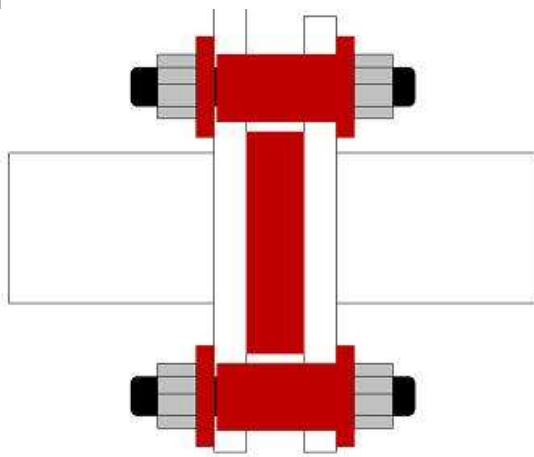
5.2.1 Isolation du réservoir

Le réservoir doit être **complètement isolé** du reste des installations du site.

Les points les plus critiques sont :

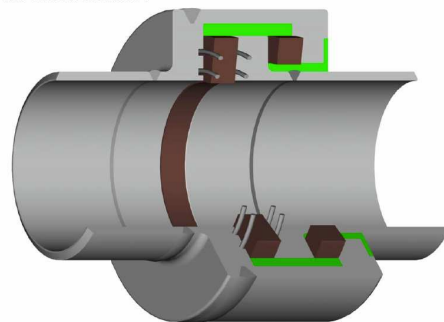
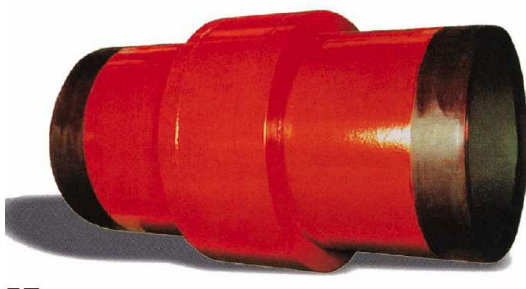
- les instruments de mesure et de commandes,
- les supports de canalisations,
- les joints isolants (système de montage à brides ou joints monobloc).

Le vieillissement de l'isolation est à surveiller.



Exemple de joint isolant avec montage à brides

Eclaté d'une version standard :



Exemple de joint isolant de type monobloc

En cas de mauvaise isolation, le courant de protection risque de ne pas se répartir de manière homogène et se disperser sur d'autres parties des installations que celles à protéger.

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

5.2.2 Protection foudre

La protection foudre est compatible avec la protection cathodique.

Les joints isolants doivent être équipés d'éclateurs ATEX (type DEHN). Ce système permet de laisser passer le courant en cas d'impact de la foudre (> 750V) et donc de protéger le joint d'un claquage.

5.2.3 Protection des travailleurs

Récemment le CEFRACOR (CEntre FRAnçais de l'antiCORrosion) a émis des recommandations pour la compatibilité entre mises à terre et protection cathodique (PCRA 004, janvier 2010 Rev. 1).

- ▶ Sous réserve des impératifs techniques qui peuvent résulter de la mise en place de dispositifs de protection cathodique, les installations fixes de transfert de liquides inflammables ainsi que les charpentes et enveloppes métalliques seront reliées électriquement entre elles ainsi qu'à une prise de terre unique. La continuité des liaisons présente une résistance inférieure à 1 ohm et la résistance de la prise de terre est inférieure à 10 ohms.
- ▶ Les équipements métalliques (réservoirs, cuves, canalisations) sont mis à la terre conformément aux réglementations applicables, compte tenu notamment de la nature explosive/inflammable des produits.
- ▶ Afin de garantir la protection des travailleurs, **les joints isolants devront être équipés d'une cellule de polarisation (isolantes pour le courant de protection cathodique et conductrices pour les courants alternatifs industriels dangereux).** Ces cellules seront de type électronique. La tension d'amorçage est de quelques volts.

5.3 Suivi de la protection cathodique

5.3.1 Prérequis

Le potentiel de chaque point du réservoir doit être :

- **inférieur à une valeur seuil pour garantir une protection satisfaisante du réservoir,**
- **supérieur à une valeur seuil pour éviter un dégagement trop intense d'hydrogène et risquer un décollement ou un cloquage du revêtement.**

La valeur du seuil de protection dépend de la résistivité de son environnement (ρ)

Le potentiel de la structure à protéger doit être inférieur à une valeur donnée (NF 12-954)

- **-850 mV/[Cu/CuSO₄], si $\rho < 100 \text{ W.m}$,**
- **-750 mV/[Cu/CuSO₄] si $100 < \rho < 1000 \text{ W.m}$,**
- **-650 mV/[Cu/CuSO₄] si $1000 \text{ W.m} < \rho$.**

→ Une mesure de la résistivité (ρ) du remblai devra donc être effectuée à la construction.

Il est préconisé dans le cas d'un courant imposé, un poste de soutirage avec régulation de courant de protection soit installé au lieu d'une régulation du potentiel de protection qui n'est lui accessible qu'à la coupure de ce courant. Le point de consigne du courant de protection sera piloté (ou réglé) en fonction des variations du potentiel de protection mesuré régulièrement, à courant coupé (dite mesures « ON-OFF).

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

5.3.2 Contrôle

Les mesures de potentiel doivent être du type :

- **mesure directe,**
- **enregistrement,**
- **mesures on/off.**

Le relevé des « états » du fonctionnement de l'alimentation du système de protection cathodique (présence tension, relevé des indicateurs U_{sortie} et I_{sortie} doit être régulier (hebdomadaire ou mensuel).

La **vérification de l'efficacité de la protection cathodique** doit être effectuée par du **personnel certifié au minimum tous les 12 mois** (voir DMTP au §6.1).

Il est préconisé un contrôle poussé 2 fois par an :

- **en période sèche,**
- **en période humide.**

Les recommandations concernant le contenu du rapport de contrôle sont :

- description de l'ouvrage,
- références des points de mesures,
- **nom de l'opérateur : certifié N1,**
- **nom du rédacteur et/ou approbateur : certifié N2**
- constats de vérifications des appareils de mesures.

Un contrôle complémentaire paraît utile : le suivi des résistances d'isolement du réservoir et de terre des anodes.

Le suivi de la résistance du réservoir permettra de suivre l'état du revêtement. Un suivi tous les 2 ou 3 ans semble satisfaisant, sauf en cas de détection d'anomalie.

Si l'exploitant du réservoir a choisi de mettre un coupon témoin, ce dernier doit être relié au réservoir afin d'être dans les mêmes conditions que le réservoir.

Une variation brusque entre deux contrôles (hors variation saisonnière liée à l'humidité du talus) est souvent due à un défaut d'isolation dû à une dégradation d'un joint isolant, en particulier après des travaux.

5.3.3 Certification

La certification AFNOR-Compétence en protection cathodique est gérée par le Conseil Français de Protection Cathodique, CFPC. Elle s'appuie sur les normes en vigueur : NF, ISO, EU,...

Trois niveaux de certifications sont définis :

- Niveau 1 : mesures courantes en protection cathodique,
- Niveau 2 : étude, conception et réalisation d'installations de protection cathodique,
- Niveau 3 : expertise dans le domaine de la protection cathodique.

Ces niveaux sont relatifs à quatre domaines d'applications :

- Secteur Terre (protection cathodique des structures enterrées),
- Secteur Mer (protection cathodique des structures immergées),
- Secteur Surfaces internes de capacités (protection interne des capacités),
- Secteur béton armé (protection cathodique des armatures).

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	---	-----------

5.3.4 Cas de protection par anode sacrificielle

Les contrôles sont de même nature dans le cas d'anodes sacrificielles.

La pollution par les chlorures (sels) peut provoquer une polarisation des anodes et un dysfonctionnement de la protection cathodique.

5.4 Axes d'amélioration liés à la protection cathodique

Les pistes d'amélioration proposées au sein de ce groupe de travail sont :

- **le contrôle de la qualité et du suivi de la protection cathodique à travers les rapports doivent rendre compte des évolutions constatées, contrôles après contrôles (graphiques de suivi dans le temps des valeurs mesurées),**
- **le suivi des résistances du réservoir et des anodes tous les 2 à 3 ans (périodicité à déterminer) avec graphique de suivi dans le temps des valeurs mesurées.**
- **l'établissement d'une cartographie des potentiels de surface à courant coupé ou des mesures de gradient de potentiels de surface peuvent permettre de localiser les défauts de revêtement (méthode délicate à mettre œuvre du fait de la géométrie). Cette cartographie permettra d'orienter et de cibler les opérations de « détalutage » ou de contrôles d'épaisseur**

6. SUIVI DE L'ETAT D'UN RESERVOIR SOUS TALUS

Le groupe de travail a étudié la réglementation actuelle et identifié les points à améliorer en fonction du retour d'expérience et des pratiques actuelles des adhérents au CFBP.

6.1 Aspect réglementaire

La réglementation actuelle pour les contrôles des réservoirs sous talus de capacité allant de **120 m³ à 3500 m³** s'appuie sur deux textes principaux :

- **DMTP 26-290 du 30 juillet 1993 relative à l'application de la réglementation des appareils à pression de gaz aux réservoirs sous talus destinés au stockage de gaz inflammables liquéfiés,**
- **DMTP 33-105 du 12 août 2004 relative à la reconnaissance d'un cahier technique professionnel pour le contrôle en service des réservoirs sous talus destinés au stockage de gaz inflammables liquéfiés** pour les équipements construits postérieurement à la date de cette DM-T/P.

Nota : les réservoirs enterrés dits « petit vrac » sont réglementés par la DMTP n°29456.

6.1.1 DMTP 26-290

Le paragraphe E est consacré aux visites et à la surveillance en exploitation du réservoir sous talus. Lors des visites intérieures, une **réépreuve est pratiquée en préalable** à la visite.

Il est mis en œuvre :

- des **contrôles ultrasons** sur un **minimum de 10% des joints soudés** et sur les **points singuliers** les plus susceptibles d'être le siège d'apparition de défauts (soudures de gros piquages, trous d'hommes, nœuds de soudure...),
- la réalisation par **ultrasons** d'une **cartographie des épaisseurs** du réservoir (maille **maximum 1 m x 1 m**),
- un contrôle **magnétoscopique** avec un **minimum de 10% sur les soudures d'attache des raidisseurs et de piquages.**

Le **positionnement du réservoir** et la **protection cathodique** doivent être **vérifiés** par du personnel qualifié au **minimum tous les 12 mois.**

Concernant le positionnement du réservoir, ce suivi pendant les inspections et requalifications périodiques doit permettre de déterminer la déformation des éléments caractéristiques et de comparer les tassements différentiels effectifs avec les valeurs maximales admises lors des calculs de stabilité initiaux. **Lors de la requalification, le contrôle sera effectué avant et pendant l'épreuve.**

6.1.2 DMTP 33-105

Sous réserve de conditions particulières notamment le respect du **cahier technique de l'AFIAP « Dispositions spécifiques applicables aux réservoirs sous talus destinés au stockage de gaz inflammables liquéfiés »**, les équipements sous pression sont **dispensés de vérification extérieure** lors des inspections périodiques et des inspections de requalification périodique.

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

Les contrôles effectués lors de la requalification périodique sont **au minimum** la réalisation **(suivant cahier technique AFIAP §6 –Dispositions spécifiques de surveillance en service-)** :

- de **contrôles ultrasons** sur un **minimum de 10% des joints soudés bout à bout** de l'enveloppe et sur les **points singuliers** les plus susceptibles d'être le siège d'apparition de défauts (soudures de gros piquages, trous d'hommes, nœuds de soudure...) et les zones comportant des défauts admissibles ainsi que les zones ayant fait l'objet de réparation notable.
- d'une **cartographie des épaisseurs** du réservoir par **ultrasons** suivant un **maillage maximum de 1 m x 1 m** et tenant compte des **zones sensibles suivantes** :
 - o pour les **réservoirs posés sur lit de sable**, de la zone de supportage correspondant à **120° de la paroi inférieure**, **des fonds** et **suivant un maillage réduit à 50 mm x 50 mm autour des tubulures** sur une surface inscrite égale à 2 fois le rayon de chaque tubulure,
 - o pour les **réservoirs sur berceaux ou pieds**, des **mêmes zones que ci-dessus** ainsi que de toutes les surfaces autour du **supportage**, **sur une bande de 200 mm à l'extérieur de la soudure des supports sur la virole**, **suivant un maillage réduit à 50 mm x 50 mm**,
 - o pour les **autres méthodes de supportage**, la **zone correspondant au maillage réduit de 50 mm x 50 mm** devra être définie par l'exploitant sur les conseils du fabricant de l'équipement sous pression.
- un contrôle **magnétoscopique** avec un **minimum de 10% sur les soudures d'attache des raidisseurs et de piquages**.

Le **positionnement du réservoir** et la **protection cathodique** doivent être **vérifiés** par du personnel qualifié au **minimum tous les 12 mois**.

Concernant le positionnement du réservoir, ce suivi pendant les inspections et requalifications périodiques doit permettre de déterminer la déformation des éléments caractéristiques et de comparer les tassements différentiels effectifs avec les valeurs maximales admises lors des calculs de stabilité initiaux. **Lors de la requalification, le contrôle sera effectué avant et pendant l'épreuve.**

6.2 Retour d'expérience du CFBP et de Bureau Veritas

Aucune corrosion significative n'a été **détectée** par les adhérents présents à ce groupe de travail et le bureau de contrôle expert de ce groupe de travail.

Il est rappelé que les contrôles par US (recherche de défauts) et magnétoscopique ne sont pas destinés à détecter des corrosions de la face externe, mais à détecter, ou suivre l'évolution, des défauts dans les soudures et dans la ZAT.

Actuellement, seul le suivi des épaisseurs peut permettre d'identifier une éventuelle corrosion.

Toutefois, un maillage de **1 m x 1 m**, tel que définit dans la **DMTP 26-290**, **peut être aisément remis en cause quant à son efficacité pour la recherche de corrosion localisée.**

Un resserrement de ce maillage dans les zones sensibles (tel que par ex. défini par DMTP 33105) est un moyen d'améliorer l'efficacité de ce suivi.

Il est souligné également l'importance de prévoir un repérage précis des points de maillage afin d'obtenir des mesures comparables dans le temps. Sans un repérage précis, les différences d'épaisseurs enregistrées peuvent alors être dues à une non-homogénéité de la tôle (ajouté à la précision des appareils).

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

Le contrôle de la canalisation de soutirage en point bas est possible si elle est accessible par l'extérieur (tunnel visitable par exemple).

Le **suivi d'un coupon témoin ne paraît pas représentatif** du suivi de la corrosion sur la capacité concernée. En effet, les contraintes sont différentes (zone sensible notamment) car ne subissant pas les effets de pression.

6.3 Axes d'amélioration liés au suivi des sous talus

Les pistes d'amélioration proposées au sein de ce GT sont :

- **analyser l'intérêt des solutions CND alternatives suivantes**
 - o **resserrement des maillages de suivi des épaisseurs :**
 - **application des maillages resserrés énoncés dans la DMTP 33-105 à tous les réservoirs (donc ceux soumis uniquement à la DMTP 26-290),**
 - **maillage de 0,5 m x 0,5 m sur la zone de supportage correspondant à 120° de la paroi inférieure et des fonds,**
 - o **contrôle complet par US du réservoir avec une périodicité à définir (20 ans) en appliquant soit :**
 - **des mesures d'épaisseur (scanner simple),**
 - **la méthode TOFD,**
 - **la méthode Phase Array.**
 - o **Contrôle complet par autre technique (MFL ,..)**

Le contrôle depuis l'intérieur, tel qu'il est réalisé par sondage US, ne donne pas une vision globale de l'état extérieur de la paroi du réservoir. D'autres méthodes existent et ont déjà été mises en œuvre pour un examen surfacique complet. Ce sont des méthodes électromagnétiques (courant de Foucault basse fréquence) qui ont déjà des applications sur les contrôles de fond de bac de stockage d'hydrocarbures. Ces méthodes permettent de détecter des pertes de volume de métal et, par calibrage sur des tôles témoins, de déterminer la proportion de perte d'épaisseur. L'utilisation de chariots magnétiques permet d'atteindre la majorité de la paroi. Le contrôle est complété par l'utilisation de sondes manuelles sur les zones comme les âmes des raidisseurs ou les fonds.

7. OPERATION DE DETALUTAGE

Le groupe de travail a étudié chaque cas selon :

- le type de stockage : réservoir ou sphère,
- le type de support : lit de sable ou berceaux (réservoir), coquetier ou pied (sphère),
- le type de talus : terre/sable (classique ou sarcophage) ou TEXSOL.

7.1 Généralités et précautions pour une opération de détalutage

Une **mise en sécurité des installations** (vidange, dégazage) est nécessaire avant toute intervention. Les **éléments connectés à la capacité sous talus** et notamment par le haut **devront être déposés** pour permettre le détalutage sans risque d'accrochage de ces éléments.

Le détalutage devrait être effectué de **manière symétrique pour ne pas induire de tassements différentiels, liés à la décompression, au déconfinement et éventuellement au soutirage du matériau du lit de sable, et de poussées dissymétriques sur le réservoir**. Les terres devraient être retirées par plans horizontaux successifs.

La quantification par des évaluations simples l'effet du détalutage et de tassements différentiels sur les contraintes dans le réservoir a été étudié par la société Géodynamique & Structure dans le rapport 0810N1A, joint en annexe.

Les **terres retirées devront être stockées à une distance suffisante** de la capacité sous talus pour ne pas induire de tassement du sol. Cette contrainte sera forte pour un site ne possédant pas une aire de stockage adaptée suffisamment éloigné des stockages sous talus.

La décompression élastique du sol pendant le déchargement du sable sera réversible au moment du rechargement du réservoir. L'amplitude de ces mouvements sera limitée du fait de l'écrouissage du sol.

Si une grue est nécessaire (difficultés d'approvisionnement à prendre en compte), il faut positionner la grue de manière à ne pas induire de tassement du sol sous le réservoir (difficultés liées à la place disponible sur le site). Les points d'accroche du réservoir doivent être vérifiés avant utilisation. Par exemple, pour un réservoir de 600 m³ sur lit de sable, l'utilisation de 2 grues de 200 t semble nécessaire pour effectuer un détalutage total.

L'extraction du sable sera faite avec très grande précaution pour ne pas détériorer le revêtement externe de la capacité assurant la protection passive contre la corrosion.

7.2 Détalutage partiel

7.2.1 Fenêtre de détalutage

Hypothèse : La dimension de la fenêtre de détalutage considérée est d'environ 2 m x 2 m.

Si la fenêtre de détalutage est située sur le haut de la capacité, aucun impact significatif sur le talus n'est identifié par le groupe de travail.

Si la fenêtre de détalutage est située sur la **partie basse de la capacité**, un tunnel pourra être creusé. Par contre la **remise en sable** de ce tunnel après intervention semble **très délicate**. En effet, pour le bon fonctionnement de la protection cathodique, le réservoir à protéger doit avoir un très bon contact avec le sable. **Ce contact risque d'être détérioré par le glissement du sable, aucune vérification**

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

ultérieure ne peut plus être effectuée. Les caractéristiques du réservoir ne pourront pas être conservées.

7.2.2 Détalutage jusqu'au plan diamétral

La dépose des éléments sur le haut de la capacité est à priori nécessaire au préalable. Sous réserve d'un détalutage de manière symétrique, le détalutage est possible sans provoquer de tassement différentiel.

Aucun problème mécanique n'est identifié pour un détalutage partiel au dessus du plan diamétral.

Pendant le détalutage, l'impact de la **dilatation thermique** de la capacité sur la partie découverte soumise au **rayonnement solaire** est négligeable, la remise en sable pouvant s'étendre sur plusieurs semaines.

Après remise en service du talus, il y a lieu de faire les mêmes contrôles de torsion que lors de la première mise en service

Dans le cas de réservoirs jumelés il y a lieu de traiter l'ensemble

7.3 Détalutage total

Les volumes de sable/terre mis en jeu sont supérieurs à 5 000 m³ pour un réservoir de GPL d'une capacité de 600 m³.

Le détalutage devra permettre un contrôle de toute la surface de la capacité y compris la génératrice inférieure.

7.3.1 Réservoir sous talus : lit de sable ou berceau

Pour avoir accès à la totalité de la surface, la solution reconnue la plus sûre par le groupe de travail consiste en :

- l'enlèvement des terres de haut en bas avec précaution,
- perçage de tunnels sous la capacité afin de faire passer des sangles,
- transport par grue(s) de la capacité jusqu'à une aire d'entreposage afin d'y subir des contrôles,
- réfection de l'assise du lit de sable (nécessaire car risque de décompression du lit de sable),
- transport par grue(s) de la capacité de stockage vers le lit de sable,
- reconstitution du talus.

La découpe du piquage de soutirage est nécessaire. Le risque de détérioration / destruction des anodes de la protection cathodique présentes dans le lit de sable est à redouter.

Pour le cas du sarcophage béton rempli de sable, les difficultés d'accès sur le côté ou le fond sont à prendre en compte. La destruction d'une partie de l'enceinte est certainement à prévoir

Les techniques envisageables reviennent à déconstruire totalement l'installation et la reconstruire à l'identique après contrôle de la capacité.

Dans le cas **d'un réservoir assemblé sur place**, l'utilisation de grue risquerait d'endommager durablement le réservoir. Le **détalutage total n'est donc pas envisageable**. La reconstruction totale à l'identique semble être l'unique solution.

7.3.2 Sphère : pied ou coquetier béton

Le détalutage total des sphères (pied ou coquetier béton) ne semble pas comporter de contrainte mécanique importante. En effet, ce sont les pieds ou le coquetier qui reprennent principalement la charge.

L'opération de remise du sable est du même type que lors de la constitution du talus initial. Il faudra notamment veiller à un bon contact entre le sable et le réservoir pour permettre une bonne protection cathodique.

7.4 Cas particulier du Texsol

Après des recherches auprès de la société EIFFAGE TP (fournisseur du produit Texsol), il apparaît :

- le détalutage partiel (au plan diamétral horizontal) peut être réalisé sans contrainte mécanique pour la sphère ; la remise en place du talus TEXSOL peut s'opérer à partir du plan de découpe,
- un carottage (DN 100 ou 200) est également envisageable sans préjudice pour la tenue du talus, (notamment pour inspecter les pieds de sphères), la longueur du carottage sera liée à la taille d'un bras d'ouvrier chargé de remettre en place le TEXSOL (fibre + sable) à l'intérieur.

La société n'a néanmoins pas de retour d'expérience sur le détalutage (hors démantèlement d'installation).

7.5 Intérêt potentiel d'une opération de détalutage

Dans l'hypothèse d'une opération de détalutage, certains contrôles pourront être mis en œuvre :

- **un contrôle de l'état du revêtement,**
- **un contrôle d'épaisseur de la paroi métallique par l'extérieur.**

Le détalutage ne présente aucun intérêt pour la protection cathodique. Au contraire, le détalutage risque d'endommager le système de protection cathodique.

7.5.1 Contrôle de l'état du revêtement

Dans le cadre d'un détalutage d'un réservoir sous talus, une des contraintes majeure est de ne pas dégrader mécaniquement la protection passive dudit ouvrage lors de cette opération bien que le système résiste en principe aux contraintes suivantes :

- pression d'épreuve,
- variation de température ;
- opérations de manutention en atelier de chaudronnerie, de transport sur site d'exploitation et de mise en œuvre sous talus après réparation éventuelle.

Sans un travail soigné au niveau du détalutage, cette protection anticorrosion peut donc être perdue si aucune reprise n'est exécutée. Ces dégradations pourraient être classifiées de la manière suivante :

- dégradation superficielle lorsque les dommages dont l'épaisseur résiduelle est supérieure ou égale au tiers de l'épaisseur initiale,
- dégradation profonde lorsque les dommages dont l'épaisseur résiduelle est supérieure ou égale à la moitié de l'épaisseur initiale),

entraînant ainsi des procédures de réparation plus ou moins contraignantes.

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

L'opération de détalutage peut s'avérer encore plus ardue si une croûte ou « gangue » (sable avec humidité conjuguée) se forme à la surface du feuil anticorrosion augmentant ainsi le risque de dégradation pour le système filmogène.

L'intérêt d'une opération de détalutage pour une protection passive est de pouvoir **inspecter, de manière fiable, le système peinture** et de visualiser ou de mettre aisément en évidence d'éventuels défauts en procédant à quelques investigations (test de porosités, contrôle de l'épaisseur suivant ISO 2808, contrôle visuel suivant ISO 4628). Tant que les surfaces sont masquées, les éventuels défauts situés au niveau des parties couvertes ne peuvent être repérés.

Ces zones prioritaires à inspecter pourraient être :

- un fond bombé et une virole ou ½ virole sur la totalité de la hauteur,
- la génératrice inférieure du réservoir et plus particulièrement au niveau des zones suivantes :
 - o limite de la plaque de renfort virole au droit des berceaux (point de flexion entraînant potentiellement des amorces de corrosion),
 - o génératrice inférieure entre les supports (point de tassement, compression du sol lors de la mise en charge et flexion de la « poutre » réservoir).

Le revêtement ainsi inspecté ne doit comporter aucun cloquage, écaillage, craquelage, décollement pour garantir une protection anticorrosion passive pérenne.

Si le revêtement inspecté comporte des désordres, deux alternatives sont envisageables :

- dégradation localisée du revêtement passif,
- dégradation quasi généralisée du revêtement (envisageable pour des revêtements anciens).

Dans le premier cas, des reprises sont envisageables pour remettre en conformité la protection anticorrosion en s'assurant au préalable de la compatibilité des anciens fonds avec le système de reprise envisagé.

Dans le deuxième cas de figure, la protection anticorrosion passive serait perdue. La protection anticorrosion passive réalisée en atelier peut être transposée in-situ. Par contre, le délai de réalisation de cette opération serait plus longue que dans un atelier et l'impact financier serait conséquent.

7.5.2 Contrôle d'épaisseur de la paroi métallique par l'extérieur

Un **contrôle d'épaisseur** pourra être mis en œuvre par **l'extérieur**. Néanmoins, compte tenu du revêtement externe, il est plus judicieux de faire le contrôle du côté le plus sain donc de l'intérieur (corrosion externe uniquement). Dans le cas où le contrôle par l'intérieur permet de couvrir toutes les zones de la capacité, le contrôle par l'extérieur **n'apporte pas de précisions supplémentaires et serait de qualité moindre.**

7.6 Contraintes opérationnelles d'un détalutage

Afin d'effectuer les opérations de mise en sécurité du réservoir, de détalutage, de contrôle du réservoir et de remise du talus, le temps d'immobilisation du réservoir serait au minimum de 6 mois.

De plus, l'estimation du coût d'une telle opération serait de l'ordre de grandeur d'une construction neuve. D'autre part, les risques d'éventuel endommagement lors des opérations de détalutage peuvent conduire au remplacement pur et simple.

8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS ISSUES DES GROUPE DE TRAVAIL CFBP

Les réservoirs sous talus, réservoirs cylindriques et sphère, sont protégés de la corrosion par trois barrières de prévention que constituent :

- **la protection passive par revêtement externe,**
- **la protection cathodique,**
- **le contrôle des épaisseurs des parois.**

La robustesse de ces barrières a été étudiée lors des groupes de travail au sein du CFBP. Grâce au retour d'expérience des experts et des adhérents du CFBP, des pistes d'amélioration ont été identifiées afin de les renforcer.

Ces pistes d'amélioration proposées au sein des différents groupes de travail sont les suivantes :

- **la constitution d'un dossier complet sur le revêtement externe avec vérification des points critiques,**
- **le contrôle de la qualité et du suivi de la protection cathodique à travers les rapports doivent rendre compte des évolutions constatées, contrôles après contrôles (graphiques de suivi dans le temps des valeurs mesurées),**
- **le suivi des résistances du réservoir et des anodes tous les 2 à 3 ans (périodicité à déterminer) avec graphique de suivi dans le temps des valeurs mesurées.**
- **l'établissement d'une cartographie des potentiels de surface à courant coupé ou des mesures de gradient de potentiels de surface peuvent permettre de localiser les défauts de revêtement (méthode délicate à mettre œuvre du fait de la géométrie). Cette cartographie permettra d'orienter et de cibler les opérations de « détalutage » ou de contrôles d'épaisseur**
- **analyser l'intérêt des solutions CND alternatives suivantes**
 - o **resserrement des maillages de suivi des épaisseurs :**
 - **application des maillages resserrés énoncés dans la DMTP 33-105 à tous les réservoirs (donc ceux soumis uniquement à la DMTP 26-290),**
 - **maillage de 0,5 m x 0,5 m sur la zone de supportage correspondant à 120° de la paroi inférieure et des fonds,**
 - o **contrôle complet par US du réservoir avec une périodicité à définir (20 ans) en appliquant soit :**
 - **des mesures d'épaisseur (scanner simple),**
 - **la méthode TOFD,**
 - **la méthode Phase Array.**
 - o **Contrôle complet par autre technique (MFL ,...)**

CFBP	Etude des risques de corrosion des réservoirs de GPL sous talus – Groupe de Travail	Mars 2011
------	--	-----------

ANNEXES