



Groupe d'Étude de Sécurité
des Industries Pétrolières et Chimiques

**GUIDE DE LECTURE DE LA REGLEMENTATION SUR LE
STOCKAGE ET LE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT DE
LIQUIDES INFLAMMABLES**

PARTIE STOCKAGE (1432 A)

**ARRETE 1432 A DU 3 OCTOBRE 2010
MODIFIE PAR L'ARRETE DU 10 FEVRIER 2011**

**RAPPORT 2011/01
FICHE 2011/01 – 6
TENUE DYNAMIQUE DES RETENTIONS**

SOMMAIRE

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | CE QUI EST EXIGE PAR L'ARRETE | 3 |
| 2 | GENERALITES SUR LES RUPTURES CATASTROPHIQUES | 4 |
| 2.1 | Modes de rupture..... | 4 |
| 2.2 | Types de fondation | 6 |
| 3 | LA PREVENTION DES RUPTURES CATASTROPHIQUES..... | 8 |
| 3.1 | Analyse par mode de rupture | 8 |
| 3.2 | Compléments..... | 11 |
| 4 | LE CALCUL DE LA TENUE DYNAMIQUE..... | 13 |
| 4.1 | Approche forfaitaire..... | 13 |
| 4.2 | Approche par calcul | 13 |
| 4.3 | Calcul de la tenue de la paroi..... | 16 |

1 CE QUI EST EXIGÉ PAR L'ARRÊTÉ

TEXTE DE L'ARRÊTÉ (ARTICLE 22;2)

22-2-3. *L'exploitant prend les dispositions nécessaires pour éviter toute rupture de réservoir susceptible de conduire à une pression dynamique (provenant d'une vague issue de la rupture du réservoir), supérieure à la pression statique définie au point 22-2-1.*

22-2-4. *Les parois des rétentions construites ou reconstruites postérieurement à la date de publication du présent arrêté augmentée de six mois sont conçues et entretenues pour résister à une pression dynamique (provenant d'une vague issue de la rupture d'un réservoir) :*

- *égale à deux fois la pression statique définie au point 22-2-1, ou,*
- *déterminée par le calcul sur les bases d'un scénario de rupture catastrophique pertinent compte tenu de la conception du bac et de la nature de ses assises.*

Ces dispositions ne sont pas applicables aux rétentions associées aux réservoirs :

- *à axe horizontal, ou,*
- *sphériques, ou,*
- *soumis à la réglementation des équipements sous pression et soumis aux visites périodiques fixées au titre de cette réglementation, ou,*
- *d'une capacité équivalente inférieure à 100 mètres cubes, ou,*
- *à double paroi.*

COMMENTAIRE

La tenue à la pression dynamique n'est pas demandée pour l'existant, mais il y a une obligation en matière de prévention des ruptures catastrophiques.

Cette prévention est effectuée par l'inspection du bac et de ses assises, **notamment en appliquant les mesures préconisées à l'article 29 de l'arrêté et le guide reconnu associé** (Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux).

Le texte de l'arrêté est très clair sur ce point, il s'agit de prévention de la rupture ("éviter la rupture") et non pas de protection. Il n'y a aucune demande visant la tenue dynamique des rétentions ou la limitation de la surverse s'appliquant à l'existant.

Pour les rétentions nouvelles (ou reconstruites) il est demandée une tenue dynamique :

- soit forfaitaire (2 x la pression statique d'une cuvette pleine de liquide inflammable)
- soit calculée en fonction d'un scénario de rupture catastrophique pertinent compte tenu de la conception du réservoir et de la nature de ses assises.

Le préalable est d'identifier les modes de rupture catastrophiques. Ces modes sont intimement liés à la nature des assises du réservoir.

2 GENERALITES SUR LES RUPTURES CATASTROPHIQUES

2.1 Modes de rupture

L'analyse de l'accidentologie a conduit à retenir 6 modes de rupture catastrophique de réservoir.

MODE 1 : EFFACEMENT COMPLET DU RESERVOIR.

L'effacement complet du réservoir s'effectue lorsque la jonction robe / fond se rompt sur toute la périphérie, sous l'effet d'une **augmentation de la pression interne** et que la partie supérieure constituée de la robe et du toit est soulevée, voire éjectée vers le haut tel un projectile. Le produit se retrouve sans contenant et s'écoule donc sur 360°.

La rupture affecte soit la soudure robe-fond, soit les tôles immédiatement au voisinage de la soudure robe-fond.

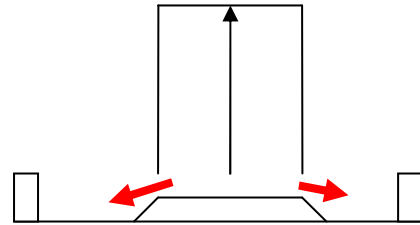


Figure 1 : effacement complet

MODE 2 : RUPTURE DE LA LIAISON ROBE-FOND

La jonction entre la robe et le fond est un lieu de concentration des effets de la corrosion et des contraintes de déformations. Il peut y avoir rupture de la soudure par corrosion (interne / externe) ou fissuration dans certaines conditions. Il peut également y avoir défaillance des tôles immédiatement au voisinage de la jonction robe-fond. La longueur et la largeur de l'ouverture conditionnent le débit de fuite du produit et la puissance mise en œuvre.

Si l'assise du réservoir est solide (radier béton, anneau support béton), l'ouverture sera de faible épaisseur car rien ne soulève le réservoir et la fuite sera laminée (débit dispersé sur une grande ouverture angulaire. Il y aura une fuite importante mais pas de nature à générer un effet de vague significatif.

L'ouverture complète de la soudure robe fond avec déplacement éventuel du réservoir n'est pas rencontrée par l'accidentologie sauf s'il y a eu surpression interne. Cela doit être donc considéré comme un effacement complet du réservoir, même si le réservoir ne s'est pas soulevé totalement.

Par contre dans le cas où la rupture robe fond est causée par un affaissement de l'assise et en tenant compte des causes précitées, il peut y avoir effet de vague.

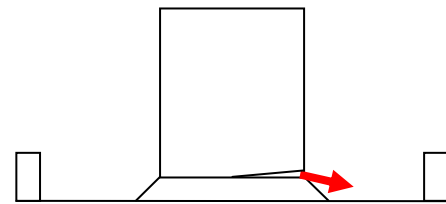


Figure 2 : rupture de la liaison robe-fond

MODE 3 : RUPTURE PAR LE FOND (A PROXIMITE DE LA ROBE)

Une fuite en fond de réservoir loin de la robe, n'est pas de nature à causer une rupture catastrophique de façon systématique. En effet, les tôles de fond ont une fonction de membrane d'étanchéité et pas de tenue mécanique. Seule une zone de quelques dizaines de cm (typiquement 30 cm) à partir de la robe appelée **zone critique**¹ est soumise à des contraintes. La contrainte est liée au fait que ces tôles empêchent la dilatation de la robe sous l'effet de la pression hydrostatique. S'il y a une bordure annulaire¹, la zone critique est limitée à la bordure annulaire.

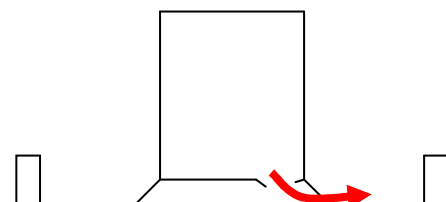


Figure 3 : rupture par le fond

¹ Voir en annexe, la définition des termes.

Lorsqu'une fuite survient sur le fond du réservoir, le plus souvent, **seules des problématiques de pollution sont constatées**. Ce point peut être traité par diverses solutions (radier béton, liner d'étanchéité, double fond) et n'entre pas dans le cadre de cette note.

Certains accidents récents ont mis en exergue la problématique de liquéfaction des assises. Si la fuite est située dans une limite de 2 à 3 mètres de la robe **et** lorsque les assises sont constituées de matériaux perdant leurs qualités mécaniques si elles sont imbibées de produit, les forces (issues de la colonne de produit du réservoir) s'exerçant sur l'assise ne sont plus contrebalancées par la contre réaction du sol. Ce déséquilibre des forces peut générer un effondrement de la périphérie de l'assise, l'ensemble du contenu du réservoir pouvant alors s'écouler rapidement par le fond. Eventuellement, la disparition de l'assise peut entraîner en cascade une rupture de la liaison robe-fond (mode 2) sur une grande épaisseur. **L'impact sur la paroi de la rétention est alors bien plus grand.**

Un cas a été enregistré alors que des matériaux de mauvaise qualité étaient contenus dans un anneau support béton. La force du flot a toutefois été fortement atténuée par le fait que l'écoulement se fait vers le sol (passage sous l'anneau).

La rupture par le fond est un phénomène rare, l'expérience ayant montré que de nombreuses fuites, même sur des assises anciennes n'ont pas donné lieu à ce phénomène de liquéfaction.

MODE 4 : OUVERTURE "ZIP"

L'ouverture "ZIP" est un déchirement principalement vertical de la robe sur toute la hauteur.

La propagation d'une fissure ou d'une déchirure dans la robe sous contraintes, entre autres hydrostatiques, crée une ligne d'ouverture complète. Le produit peut donc s'écouler au travers d'une forte section. Par contre réaction, la robe est soumise à un effort opposé à l'écoulement et selon les observations, aurait tendance à faire reculer l'ouvrage déformé. L'ouverture zip peut avoir plusieurs causes :

- rupture fragile de la robe dans certaines conditions très particulières
- défaillances de soudures (lors de la construction ou après réparation sur la robe), notamment sur la première virole, ou dans la zone critique du fond, donc augmentation des contraintes
- grosse déformation des assises allant jusqu'à la déchirure de la robe
- saignée dans la robe liée à un frottement d'une partie métallique du toit/écran flottant (1 cas recensé dans l'accidentologie)

Il n'y a pas de cas d'ouverture zip liée à une corrosion interne. De nombreuses ouvertures zip sont survenues lors de l'épreuve hydraulique initiale ou lors du premier remplissage s'il n'y avait pas eu d'épreuve hydraulique.

MODE 5 : BRECHE SUR LA ROBE.

Une brèche est une déchirure dans la robe qui peut être située à une hauteur variable. Il s'agit principalement de problèmes de corrosion, notamment de corrosion sous calorifuge ou de défauts de soudure lors de travaux.

Le scénario majorant d'une brèche pouvant générer un " Effet de vague", sans atteindre l'ouverture ZIP, peut être assimilé *a minima* à une brèche équivalente au diamètre du plus gros piquage et au maximum à l'équivalent d'une porte².

La brèche doit être en partie basse de la robe pour générer un effet de vague.

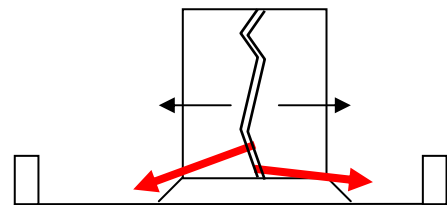


Figure 4 : rupture ZIP

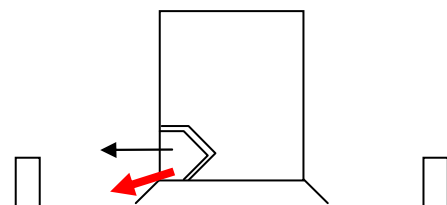


Figure 5 : brèche de robe

² Nota : une porte peut être une ouverture découpée dans la robe afin de permettre l'utilisation d'équipements conséquents dans le réservoir, lors d'opération de maintenance. Dimensions typiques 3 x 3 m.

MODE 6 : RUPTURE D'UNE GROSSE TUYAUTERIE.

Un mode de rupture est parfois cité : le mode "Rupture du plus gros piquage ou de la plus grosse tuyauterie".

Ce mode de rupture n'est pas présent dans l'accidentologie "Effet de vague". Il a été introduit historiquement à la demande de l'administration.

L'analyse de risque montre que ce mode de rupture n'aurait de sens qu'en zone de forte sismicité, bien qu'aucun accident ne vienne l'étayer. De même, aucun cas de choc avec des équipements mobiles externes (grue, camion, ...), ayant provoqué une rupture de piquage, n'est répertorié dans l'accidentologie. **Ceci tient au fait que les piquages ont une épaisseur renforcée** et constituent donc le plus souvent le point le plus solide du stockage.

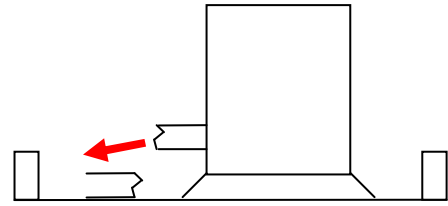


Figure 6 : rupture d'une grosse tuyauterie

Si des ruptures de piquages se sont produites, elles sont de faible diamètre donc sans aucun caractère catastrophique.

Ce mode de rupture a, par contre, l'avantage d'être facilement modélisable.

2.2 Types de fondation

FONDATION SANS ANNEAU SUPPORT

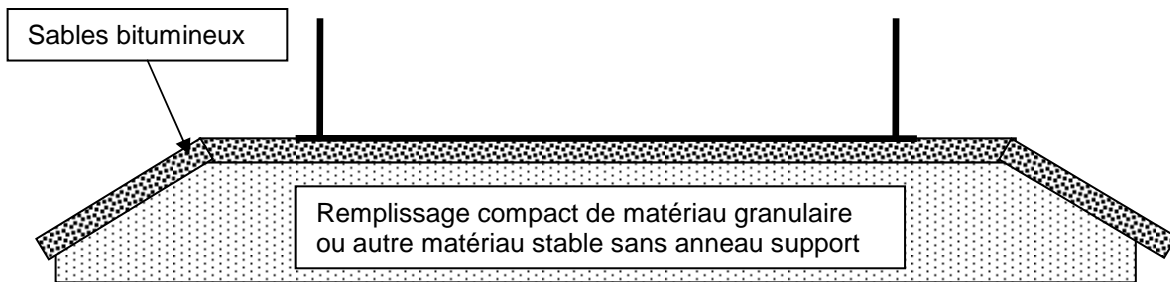


Figure 7 : fondation sans anneau support

Fondation typique d'un réservoir pétrolier. Elle est réalisée en matériaux remblayés (terre), et tassés

Le réservoir n'est pas en contact direct avec les matériaux compactés, mais repose sur un lit de mélange sable - bitume destiné à l'isoler de l'humidité.

FONDATION AVEC ANNEAU SUPPORT EN MATERIAUX COMPACTES

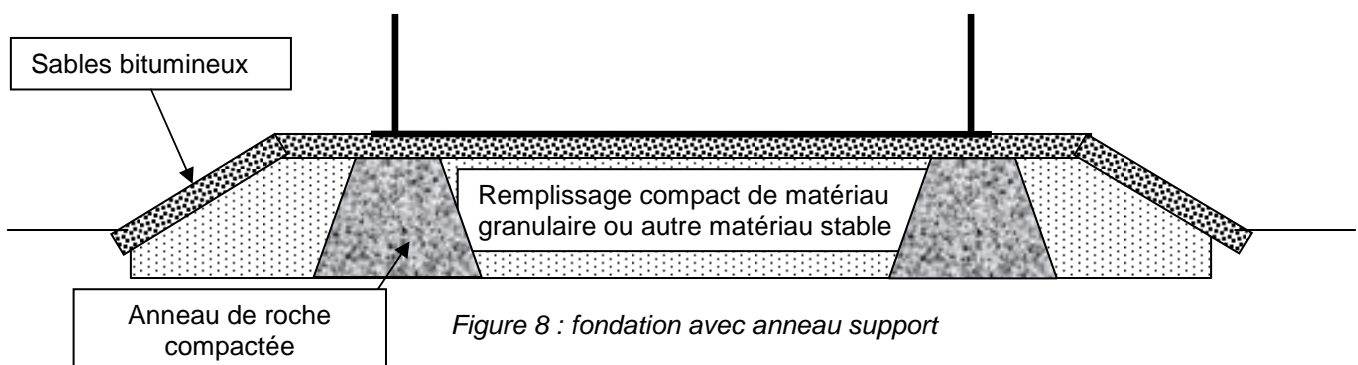


Figure 8 : fondation avec anneau support

Fondation typique d'un réservoir pétrolier avec un anneau de roches compactées sous la robe. Le réservoir n'est pas en contact direct avec les matériaux compactés, mais repose sur un lit de mélange sable - bitume destiné à l'isoler de l'humidité.

FONDATION AVEC ANNEAU SUPPORT BETON

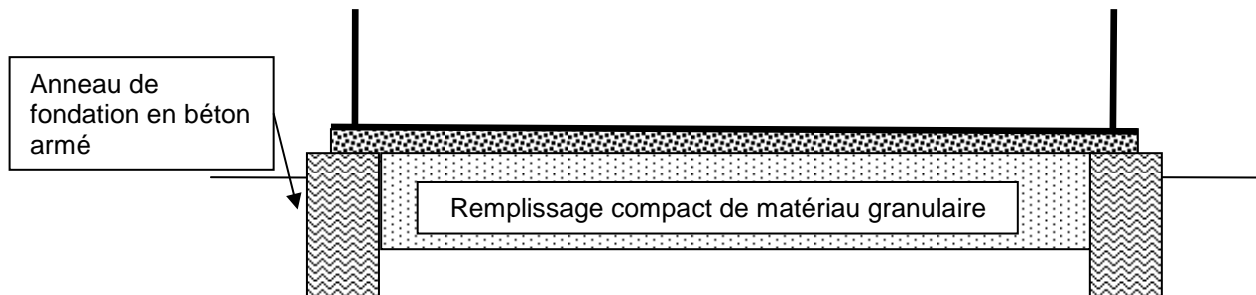


Figure 9 : fondation avec anneau support béton

Fondation typique d'un réservoir pétrolier. Le rôle de l'anneau béton est de retenir le matériau de remplissage (notamment s'il est trop meuble) et de répartir les efforts liés au poids de la robe

FONDATION AVEC ANNEAU DE RENFORT

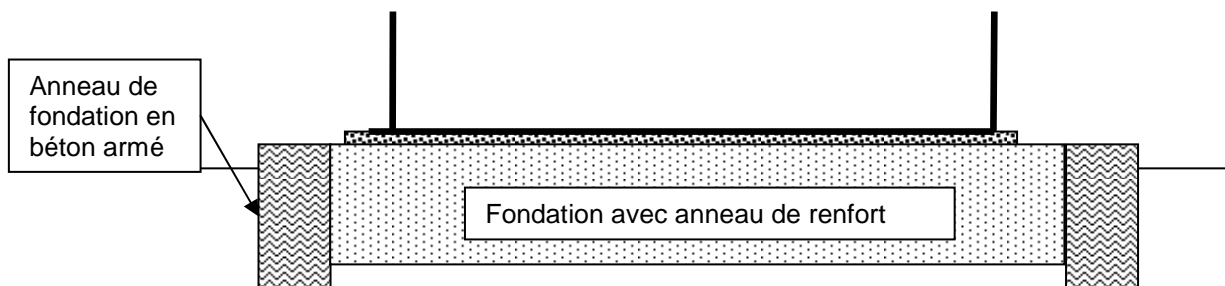


Figure 10 : anneau de renfort

Le rôle de l'anneau est uniquement de retenir le matériau de remplissage si le matériau compacté est trop meuble (configuration *a priori* rarement rencontrée)

FONDATION SUR RADIER

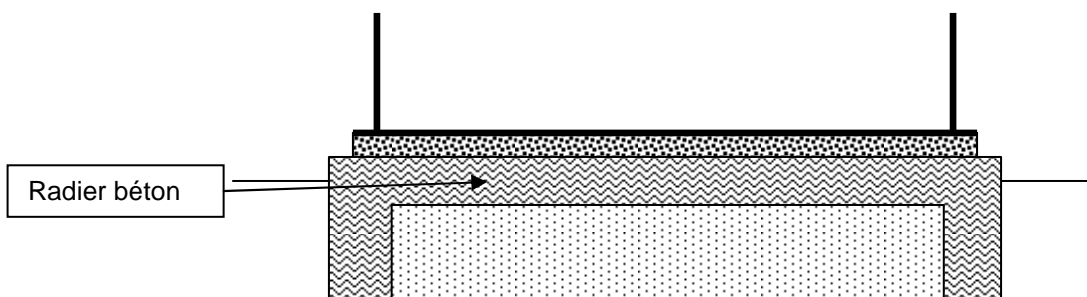


Figure 11 : radier béton

Fondation sur radier béton typiquement utilisée pour des réservoirs de faibles diamètres. Le radier béton peut éventuellement être supporté par des pieux si le sol est de mauvaise portance.

3 LA PRÉVENTION DES RUPTURES CATASTROPHIQUES

3.1 Analyse par mode de rupture

Le tableau de la page suivante résume ces mesures de prévention, mode de rupture par mode de rupture.

Deux types de mesures de prévention sont pris en compte :

- des mesures liées à la construction aptes à rendre physiquement peu vraisemblable un mode de rupture particulier. Ces mesures constructives font référence à la nature des assises du réservoir.
- des mesures à base de maintenance et d'inspection qui réduisent significativement la probabilité de survenance de l'événement

On suppose bien évidemment que le réservoir est construit et réparé selon un code adapté.

Ne sont pas mentionnées dans les tableaux les pratiques d'exploitation de base telles que purge du réservoir (si le produit le justifie), vidange de l'eau de pluie de la cuvette, ronde de surveillance etc..., qui, si elles ne sont pas en place, peuvent aggraver la dégradation du réservoir.

On suppose également que l'on applique le programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de d'arrêté ministériel 1432 et par le guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux édité dans le cadre du plan de modernisation des installations industrielles.

| Mode de rupture considéré | Causes | Mesures de prévention de nature constructive rendant l'événement comme "physiquement peu vraisemblable") | Mesures de prévention à base de maintenance et inspection (-> réduisent significativement la probabilité) |
|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Effacement total | Toutes causes de surpression interne | Réservoir frangible (répondant à un code de frangibilité) | Sans objet pour ce mode par contre dans le cadre de l'étude de dangers il y a des mesures alternatives à la frangibilité |
| Ouverture ZIP | Rupture fragile | Une seule mesure parmi les suivantes suffit : - Respect de l'API 650 (neuvième édition ou postérieure) - Réalisation d'un test hydraulique initial - Epaisseur de la robe < 12.7 mm (0,5") - Contraintes mécaniques sur la robe < 48 MPa (7 kpsi) - Réservoir fonctionnant en température (cf. API 653) - Acier inoxydable | Sans objet concernant la rupture fragile |
| | Défaut soudure | Epreuve hydraulique initiale | Epreuve hydraulique suite réparation majeure ³ Inspection des soudures |
| | Erosion, entaille de la robe | Toit fixe | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A notamment : - inspection visuelle interne - divers contrôles géométriques au niveau du joint d'écran (rim gap, rotundité) |
| | Tassements | Radier béton ou anneau support béton | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A et notamment vérification de l'absence de tassements |

³ L'API 653 et d'une manière générale les codes de réparation définissent ce qu'est une réparation majeure.

| Mode de rupture considéré | Causes | Mesures de prévention de nature constructive considérées comme "physiquement peu vraisemblable") | Mesures de prévention à base de maintenance et inspection (-> réduisent significativement la probabilité) |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rupture liaison robe-fond | Corrosion de la soudure robe-fond (face interne ou externe) Fatigue – corrosion Fissuration chimique | Radier béton ou anneau support béton ou Matériau non sensible à la corrosion ⁴ ou Liner d'étanchéité entre fond de réservoir et assise | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A et notamment : inspection soudure robe-fond |
| | Affaissement de l'assise | Radier béton ou anneau support béton | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A et notamment : vérification de l'absence de tassements |
| Rupture par le fond | Corrosion / fatigue corrosion | Radier béton, dans une moindre mesure anneau support béton ⁵ ou Matériau non sensible à la corrosion ou Liner d'étanchéité entre fond de réservoir et assise | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A et notamment : contrôle des épaisseurs et des soudures des tôles du fond à proximité de la robe (quelques mètres) |
| Brèche de robe | Défaut soudure | Epreuve hydraulique initiale | Epreuve hydraulique suite réparation majeure ⁶ |
| | Corrosion | Matériau non sensible à la corrosion | Programme d'inspection interne et externe tel que prévu à l'article 29 de l'arrêté ministériel 1432 A et notamment : contrôle des épaisseurs externes de la virole |
| Rupture tuyauterie | Tous modes | Néant | Programme d'inspection |

⁴ L'inox par exemple, ou métaux revêtus, dans la mesure où le matériau est adapté au produit.

⁵ Un passage sous l'anneau support béton reste possible, mais la force du jet est brisée (pas réellement de "vague")

⁶ L'API 653 et d'une manière générale les codes de réparation définissent ce qu'est une réparation majeure.

3.2 Compléments

PREVENTION DE L'EFFACEMENT TOTAL

Si le réservoir est frangible, l'effacement total peut être considéré comme impossible et n'a donc pas à être pris en compte pour la tenue des parois de la rétention. A noter que le caractère "frangible" augmente plus le réservoir est rempli.

Pour un bac non frangible, on peut éventuellement tenir compte de la hauteur de liquide. Le scénario ne doit donc être modélisé que pour les niveaux de remplissage en deçà desquels le réservoir n'est pas frangible

Si le réservoir n'est pas frangible, les causes de montée en pression doivent être traitées une par une, afin de déterminer des mesures alternatives à la frangibilité. On peut globalement identifier 5 causes de montée en pression :

| Causes de surpression | Mesures de prévention suffisantes pour ne pas prendre en compte le phénomène dans la tenue des parois de la rétention. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pressurisation | Frangibilité ou Events correctement dimensionnés à la pressurisation |
| Explosion interne | Frangibilité ou Fonctionnement largement au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité ou Inertage ou Combinaison d'autres mesures à étudier dans le cadre de l'étude de dangers (notamment écran flottant) |
| Surremplissage | Frangibilité ou Events correctement dimensionnés au surremplissage⁷ ou Combinaison d'autres mesures à étudier dans le cadre de l'étude de dangers (prévention du surremplissage) |
| Instabilité produit, polymérisation (si produit concerné) | Frangibilité ou Events dont le dimensionnement est à justifier par l'exploitant ou Combinaison d'autres mesures à étudier dans le cadre de l'étude de dangers |
| Risques liés aux produits réchauffés (moussage d'un pied d'eau, ébullition, perçage serpentin) | Frangibilité ou Events dont le dimensionnement est à justifier par l'exploitant ou Combinaison d'autres mesures à étudier dans le cadre de l'étude de dangers |

→ **L'avis des industriels est que, ces mesures alternatives sont suffisantes pour exclure ce mode si elles sont prises.**

Il est possible que, pour des raisons techniques ou économiques, on ne puisse réunir les mesures de prévention jugées suffisantes (notamment dans le cadre de réservoir non frangibles). Il faudra alors prendre en compte l'effacement total dans l'étude de la tenue des parois de la rétention.

⁷ Nota : n'est pas un problème si les événements sont dimensionnés à la pressurisation, ou pour un écran flottant

PREVENTION DE LA RUPTURE TUYAUTERIE

L'accidentologie montre que cela n'arrive jamais (sauf faibles diamètres). La prévention est exclusivement basée sur des mesures à base d'inspection.

L'IMPORTANCE DE LA NATURE DES ASSISES

Un radier⁸ en béton ou un anneau support en béton armé permettent de s'affranchir des problèmes de déformation du fond sous la robe. De ce fait le risque d'"effet de vague" correspondant aux modes "rupture robe – fond" devient sans objet.

De même un radier béton évite toute liquéfaction du sol sous le réservoir. Si un anneau support béton n'a pas tout à fait la même efficacité (un passage sous l'anneau restant une hypothèse envisageable), cela atténue suffisamment le jet pour limiter l'effet dynamique sur la paroi de la rétention.

Ainsi le mode "rupture par le fond" peut ne pas être pris en compte.

Le radier béton est bien entendu réservé à des réservoirs de faible volume, de quelques dizaines de m³ à plus rarement quelques milliers de m³ mais l'anneau support béton se rencontre sur de grands réservoirs.

GEOMETRIES PARTICULIERES

Il est rappelé que la prescription ne s'applique pas aux :

- réservoirs à axe horizontal (hauteur trop faible pour générer un risque)
- réservoirs sphériques (peu sujets à risque de rupture compte tenu de leur résistance)
- réservoirs soumis à la réglementation des équipements sous pression et soumis aux visites périodiques fixées au titre de cette réglementation (on considère que le suivi au titre des appareils à pression est suffisant pour garantir un niveau de risque faible)
- réservoirs d'une capacité équivalente inférieure à 100 mètres cubes, (l'absence de risque pour les faibles capacités ne justifie pas la tenue dynamique)
- réservoirs à double paroi (la géométrie spécifique évite le risque de rupture catastrophique de l'ensemble)

⁸ Voir en annexe des informations sur les types d'assises.

4 LE CALCUL DE LA TENUE DYNAMIQUE

4.1 Approche forfaitaire

L'arrêté prévoit une approche forfaitaire consistant à calculer la paroi de la rétention à deux fois la pression statique.

Dans la pratique, cela revient à calculer la rétention avec un fluide d'une densité double de celle de produit contenu.

C'est l'approche conseillée car c'est de loin la plus simple

4.2 Approche par calcul

L'approche par calcul implique :

- que l'on choisisse les modes de ruptures pertinents notamment en fonction de la nature des assises.
- que l'on fasse des hypothèses de brèche pertinentes

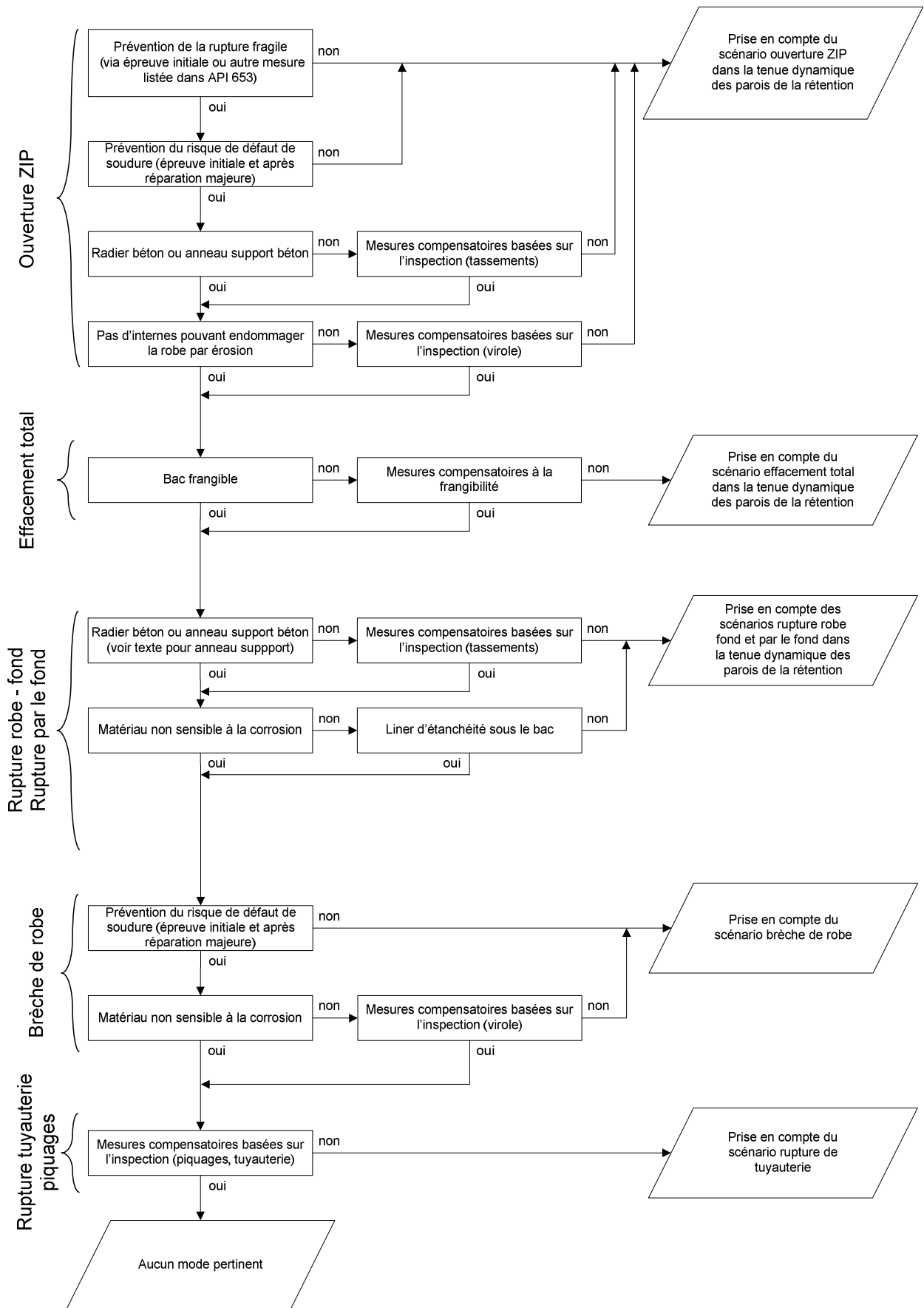
Le calcul se fait ensuite grâce à des simulations 3 D

Le logigramme de la page suivante aide à choisir les modes de rupture pertinents.

DEUX (TROIS) MODES SONT EN FAIT A RETENIR EVENTUELLEMENT :

- l'effacement total, si le réservoir n'est pas frangible ou si les mesures compensatoires ne sont pas prises
- la rupture robe – fond ou la brèche de robe car selon la nature des assises, la prévention ne repose que sur l'inspection interne, l'expérience ayant montré que ces modes de ruptures peuvent néanmoins survenir.
- Brèche de robe ?

Il est possible qu'aucun mode de rupture ne soit pertinent.



HYPOTHESES DE BRECHE

Effacement total : les codes de frangibilité classiques sont basés sur un réservoir vide (remplissage 5 %). Des codes plus évolués (API 937) ou des simulations aux éléments finis permettent de prendre en compte le niveau de remplissage. Or le poids de liquide rend rapidement un réservoir frangible. L'effet de vague par effacement total n'est donc plus à prendre en compte au-delà du niveau pour lequel le réservoir devient frangible.

Les travaux d'Atherton⁹ permettent d'établir une corrélation entre distance et mur. A noter qu'Atherton exprime ses résultats selon d'autres ratios : rapports des distances au centre du réservoir, rapport des hauteurs de réservoir et hauteur de mur, et que le tableau utilise les données d'Atherton mais exprime les résultats selon des paramètres plus parlants.

On peut aussi effectuer une simulation 3D, le cas étant simple à étudier.

Rupture robe fond : la détermination de la pression dynamique fait l'objet d'un calcul spécifique sur la base d'une brèche située à la liaison robe fond s'étendant sur un secteur de 90° et d'une hauteur équivalente à 5 % de la hauteur de robe (maxi 1 m). Il est difficile de se caler sur l'accident d'Ambès, l'ouverture de ce réservoir étant très hétérogène, mais l'ordre de grandeur semble bon (ouverture sur 0.75 m pour un réservoir de 15 m de haut).

Rupture par le fond : la détermination de la pression dynamique fait l'objet d'un calcul spécifique sur la base d'une brèche située sur le fond s'étendant sur un secteur de 60° et d'une largeur de 15 cm. Ces valeurs sont légèrement majorantes par rapport à l'accident de Kallo. Dans la pratique, la brèche est inférieure à la brèche liée à la rupture robe fond. Comme les deux modes ont des mesures de prévention similaires, si la rupture par le fond peut se produire, la rupture robe fond peut se produire aussi. On peut donc négliger le calcul de la rupture par le fond d'autant plus qu'il est très difficile de modéliser le changement de direction du fluide sous le réservoir

Brèche de robe : la détermination de la pression dynamique fait l'objet d'un calcul spécifique sur la base d'une brèche située sur la robe d'une section rectangulaire (ou circulaire) d'une section équivalente à 1 /500ème de la surface de la robe avec un maximum de 9 m². Fixer 1/500 de la surface de robe conduit à la taille d'un trou d'homme Ø 500 pour un réservoir de 100 m³ jusqu'à une porte de 3 x 3m¹⁰ pour un grand réservoir

⁹ Rapport HSE UK 333 - An experimental investigation of bund wall overtopping and dynamic pressures on the bund wall following catastrophic failure of a storage vessel

¹⁰ Type de porte souvent ouverte dans la robe pour les travaux sur les gros réservoirs

4.3 Calcul de la tenue de la paroi

Le calcul est fait en équivalent statique. On prend un fluide de densité dont la pression hydrostatique correspond à la pression dynamique étudiée.

CAS DES MURS

Un mur de rétention est généralement constitué d'un profil en béton armé en forme de L dont une partie est enterré.

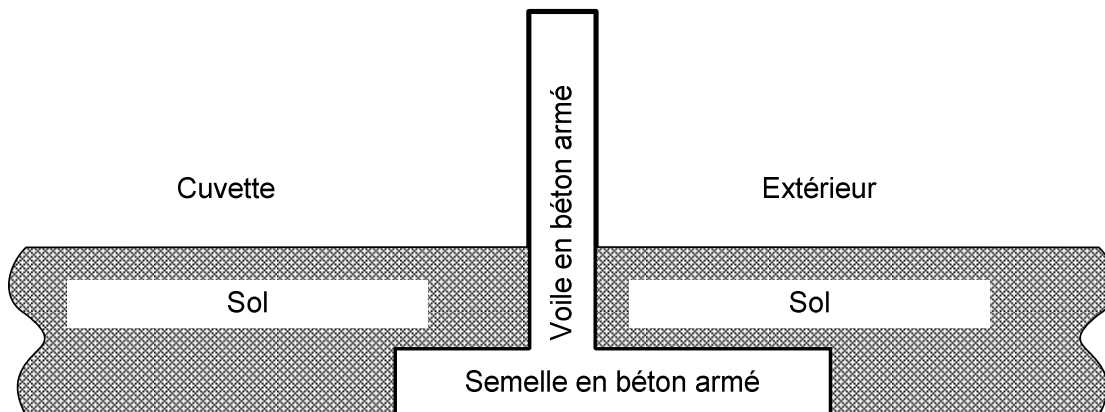


figure 12 : coupe typique d'un mur de cuvette

L'application d'une pression dynamique sur le mur conduit à différents types d'efforts sur le mur :

- une contrainte de cisaillement / flexion liée à la tenue même du béton armé (notamment le ferrailage)
- une contrainte de glissement, liée à l'ancrage du profil dans le sol et à son poids
- un moment de renversement lié à la géométrie du profil et à sa profondeur d'enfouissement

Le glissement ne pose généralement pas de problème, les facteurs dimensionnants pouvant être le cisaillement ou le moment de renversement.

Ce calcul est effectué par des bureaux d'études spécialisés.

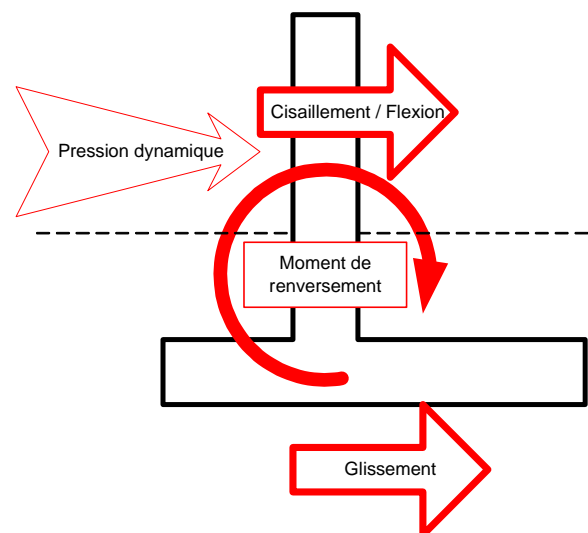


figure 13 : efforts exercés par la pression dynamique

CAS DES MERLONS

Le calcul est effectué par des bureaux d'études spécialisés. Il s'agit d'un calcul classique de digue ne posant pas de problèmes particuliers. La résistance à la pression (notamment lorsqu'on la rapporte à la pression hydrostatique du fluide contenu) est principalement fonction de l'angle de talutage et de la largeur du merlon.