



Groupe d'Étude de Sécurité
des Industries Pétrolières et Chimiques

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

PARTIE STOCKAGE (1432 A)

**ARRETE1432 A DU 3 OCTOBRE 2010
MODIFIE PAR L'ARRETE DU 10 FEVRIER 2011**

**RAPPORT 2011/01
FICHE 2011/01 – 8
EMISSIONS DE COV**

SOMMAIRE

1	EMISSIONS DES COV DES STOCKAGES.....	3
2	METHODE DE L'ANNEXE 2 - METHODE DE L'AM 86 MODERNISEE	4
2.1	Limitation d'emploi	4
2.2	Evaluation des émissions totales :	5
2.3	Réservoir à toit fixe :	6
2.4	Réservoir à toit flottant :	7
2.5	Réservoir à écran flottant interne :	10
3	METHODE DE L'ANNEXE 3 – RESERVOIRS A TOIT FIXES	11
3.1	Domaine d'application de la méthode :	11
3.2	Evaluation des émissions totales par an :	11
3.3	Evaluation des émissions annuelles par respiration :	12
3.4	Evaluation des émissions annuelles générées par les mouvements de produit :	18
4	METHODE DE L'ANNEXE 4 – RESERVOIRS A TOIT OU ECRAN FLOTTANT	19
4.1	Domaine d'application de la méthode :	19
4.2	Evaluation des émissions totales par an :	20
4.3	Emissions par perméabilité	20
4.4	Emissions par mouvement.....	27
5	METHODES EPA / AP42	28
6	AUTRES METHODES.....	28
7	COMPARAISONS / CRITERES DE CHOIX / GESTION DES CAS PARTICULIERS ..	29
8	COMPARAISONS AVEC LES ANCIENNES FORMULES DE L'AM DU 4/09/86	31
8.1	Rappel des hypothèses des formules de l'AM du 4/09/86	31
8.2	Comparaisons.....	32

1 EMISSIONS DES COV DES STOCKAGES

L'arrêté propose plusieurs méthodes pour calculer les émissions des COV des stockages :

Les méthodes utilisées peuvent être :

- celle de l'annexe 2 : qui est une version modernisée de celle de l'arrêté du 4/09/86 (couvre tous types de stockages)
- celle de l'annexe 3 : qui est la méthode EPA¹ AP42, traduite en français et en unités SI pour les réservoirs à toit fixe
- celle de l'annexe 4 : qui est la méthode EPA AP42, traduite en français et en unités SI pour les réservoirs à toit ou à écran flottant
- les méthodes EPA : AP 42 *Compilation of air pollutant emission factors. Vol.1: Stationary point and area sources. Chapter 7: Liquid storage tanks*. L'utilisation directe de ces méthodes offre plus de liberté dans le choix des coefficients. De plus on peut utiliser un logiciel téléchargeable librement "TANKS" qui facilite les calculs (mais en unités US)
- très similaires aux méthodes EPA, on peut aussi citer les méthodes API
 - API Publications 2517 & 2519 *Manual of petroleum measurement standard. Chapter 19 : Evaporative loss measurement, Section 2 : Evaporative loss from floating-roof tanks*
 - API Publication 2518 *Manual of petroleum measurement standard. Chapter 19 : Evaporative loss measurement, Section 1 : Evaporative loss from fixed-roof tanks*

Nota : ces annexes fort techniques n'ont pas leur place dans un arrêté ministériel et auraient dû être intégrées à un guide.

Le logiciel TANKS 4.09d ainsi que la méthode AP-42 sont disponibles sur le site de l'EPA à l'adresse suivante : <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/>

Les méthodes API sont disponibles sur le site de l'API (payant), mais étant pratiquement la copie des méthodes EPA (gratuites), il n'y a guère d'intérêt à en disposer.

En cas d'utilisation des méthodes EPA (complètes), une tierce expertise peut être demandée.

Les méthodes EPA sont complexes à employer (même traduites en unités SI). Elles sont donc à réserver à des utilisateurs avertis. Ce sont toutefois les meilleures méthodes disponibles.

L'annexe 2 : est d'un usage plus simple et ne déroutera pas les personnes habituées aux formules de l'arrêté du 4/09/86 relatif à la réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage.

Nota : les formules de l'arrêté du 4/09/86, ne sont plus valables, et contrairement à cet arrêté, il est tenu compte dans les calculs du vrai volume circulant et non plus d'un forfait de 10 x le volume du réservoir.

Pour les émissions liées au chargement voir le guide GESIP 2011/02 et ses fiches annexes.

¹ Environmental Protection Agency (Agence US pour la protection de l'environnement)

2 METHODE DE L'ANNEXE 2 - METHODE DE L'AM 86 MODERNISEE

Nota important : les formules de l'arrêté du 4/09/86, ne sont plus valables et ne doivent plus être utilisées

Les corrélations présentées dans l'AM du 4/09/86 (AM 86 dans la suite du document) étaient des anciennes formules API fortement simplifiées. Elles n'étaient pas adaptées aux produits à faible volatilité, ni aux produits chimiques autres que les hydrocarbures. Par contre elles étaient simples d'emploi.

Afin de conserver cette simplicité d'emploi et de ne pas dérouter les utilisateurs il a été développé de nouvelles formules très ressemblantes à celles de l'AM86 mais améliorées :

- a) Prise en compte du volume circulant réel et non plus un forfait de 10 rotations par an
- b) Calcul direct des coefficients K en fonction de la tension de vapeur du produit (théoriquement à température du stockage mais il est plus simple de la figer à 20°C). On ne reprend donc plus le système des 4 classes de l'AM 86 original.

2.1 Limitation d'emploi

Les limitations d'emploi sont évoquées dans le texte de l'arrêté

TEXTE DE L'ARRETE

La méthode présentée dans cette annexe est applicable à l'ensemble des réservoirs à toit fixe et des réservoirs à écran ou à toit flottant, à l'exception :

- *des réservoirs calorifugés ;*
- *des réservoirs maintenus à température constante ;*
- *des réservoirs équipés de soupapes afin de limiter les émissions par respiration ;*
- *des réservoirs dont le taux de rotation annuel de produit est supérieur à 36 ;*
- *des réservoirs dont la hauteur moyenne de liquide est inférieure à 40% de la hauteur de la partie cylindrique du réservoir ;*
- *des réservoirs contenant des liquides dont la pression de vapeur saturante à 20°C est inférieure à 1,5 kilopascal ;*
- *des réservoirs à toit flottant externe muni de deux barres de guidage ou plus ;*
- *des réservoirs à toit flottant interne dont le nombre de jambes de toit et de colonnes de toit est 30% supérieur à la valeur conseillée par la méthode EPA.*

Concernant l'ensemble des cas évoqués ci-dessus, l'exploitant utilise la méthode d'évaluation des émissions donnée en annexe 3 ou 4 suivant la configuration du réservoir concerné.

COMMENTAIRES

Réservoirs calorifugés : la méthode de l'annexe 2 est majorante pour les réservoirs à toit fixe, elle peut donc être employée mais donnera un résultat excessif. Pas d'influence sur les autres types de réservoirs.

Réservoirs maintenus à température constante : la méthode de l'annexe 2 est majorante pour les réservoirs à toit fixe, elle peut donc être employée mais donnera un résultat excessif. Un résultat correct est obtenu si l'on néglige le terme respiration. Pas d'influence sur les autres types de réservoirs.

Réservoirs munis de soupapes : la méthode de l'annexe 2 est majorante pour les réservoirs à toit fixe, elle peut donc être employée mas donnera un résultat excessif. Pour les réservoirs fonctionnant à faible pression (P tarage soupape < 50 mb ou amplitude pression dépression < 70 mb)², l'influence des soupapes est négligeable sauf pour des faibles rotations (< 15). Les autres types de réservoirs ne sont normalement pas munis de soupapes.

Réservoirs dont le taux de rotation est supérieur à 36 : la méthode de l'annexe 2 est majorante pour les réservoirs à toit fixe, elle peut donc être employée mais donnera un résultat excessif. Pas d'influence sur les autres types de réservoirs.

² Voir A8.2

Réservoirs dont la hauteur moyenne de liquide est inférieure à 40% de la hauteur de la partie cylindrique du réservoir : la méthode de l'annexe 2 est minorante pour les réservoirs à toit fixe, mais l'influence est faible. Pas d'influence sur les autres types de réservoirs.

Réservoirs contenant des liquides dont la pression de vapeur saturante à 20°C est inférieure à 1,5 kilopascal : la méthode est en fait applicable (en fait peu de produits sont concernés car il faut simultanément un $T_v > 15$ mb et un point éclair $< 55^\circ\text{C}$).

Réservoirs à toit flottant externe muni de deux barres de guidage ou plus : la méthode de l'annexe 2 est minorante mais cette configuration est peu probable.

Réservoirs à toit flottant interne dont le nombre de jambes de toit et de colonnes de toit est 30% supérieur à la valeur conseillée par la méthode EPA : méthode de l'annexe 2 est minorante mais cette configuration est peu probable.

L'arrêté n'en parle pas mais l'annexe donnera également des résultats excessifs en cas de réservoir maintenu à température constante ou niveau constant.

2.2 Evaluation des émissions totales :

TEXTE DE L'ARRETE

Les émissions totales annuelles d'un réservoir sont calculées avec la formule suivante :

$$E_T = E_R + E_M$$

E_T : émissions totales en tonnes par an.

E_R : émissions par respiration en tonnes par an.

E_M : émissions générées par les mouvements de produit en tonnes par an.

COMMENTAIRE

Pour un réservoir à toit fixe,

- les émissions par "respiration" correspondent à la dilatation (et à la rétractation) jour/nuit de la phase gazeuse du réservoir à cause des variations de température
- les émissions par "mouvement" correspondent à l'expulsion de la phase gazeuse lors du remplissage du réservoir

Un réservoir à toit fixe maintenu à niveau constant a des émissions par mouvement nulles.

Un réservoir à toit fixe maintenu à température constante, n'a pas pour autant des émissions nulles, mais elles seront réduites si le réservoir est calorifugé (voir la gestion des cas particuliers au chapitre 7).

Pour un réservoir à toit flottant ou écran flottant

- les émissions par "respiration" (renommée "évaporation directe") correspondent aux pertes à travers le toit ou l'écran flottant. Ces pertes sont liées au joint périphérique, aux accessoires, aux colonnes et barres de guidage traversant le toit, etc.
- les émissions par "mouvement" correspondent au mouillage des parois lors des variations de niveau

2.3 Réservoir à toit fixe :

TEXTE DE L'ARRETE

Emission par respiration (t/an) : $E11 = K1 \times D^{1,73} \times H^{0,51} \times C$

$K1 = 7.10^{-7} \times Pv \times M_{Mol}$ avec :

Pv : pression de vapeur saturante du liquide inflammable en mbar (prise à 20°C par défaut).

M_{Mol} : masse molaire de la phase gazeuse émise en grammes par mole.

D : diamètre du réservoir en mètres.

H : hauteur du réservoir en mètres.

C : coefficient de couleur, conformément au tableau ci-dessous :

Couleur externe du réservoir	C
Aluminium brillant	1,1
Aluminium moyen	1,2
Aluminium mat	1,4
Aluminium métal poli	0,8
Blanc brillant	0,8
Blanc mat (référence)	1,0
Brun clair	1,4
Crème	1,1
Crème usé	1,2
Gris clair	1,4
Gris moyen	1,5
Gris moyen usé	1,6
Gris foncé	1,7
Noir	1,8
Rouge primaire	1,7
Vert sombre	1,7

Emission générée par les mouvements (t/an) : $E12 = K2 \times Q$

$K2 = 4,11.10^{-8} \times Pv \times M_{Mol}$ avec :

Pv : pression de vapeur saturante du liquide inflammable en mbar (prise à 20°C par défaut).

M_{Mol} : masse molaire de la phase gazeuse émise en grammes par mole.

Q : volume de produit transféré annuellement en mètres cubes et générant une variation de niveau dans le réservoir.

Emission du réservoir à toit fixe (t/an) : $E1 = E11 + E12$

COMMENTAIRES

Pression de vapeur saturante : elle est prise à 20°C par défaut. Cela correspond en gros à une température ambiante de 16°C en moyenne (midi de la France), sachant que le liquide est toujours un peu plus chaud que l'ambiante à cause du rayonnement solaire. Pour une température moyenne de 9°C, les résultats sont majorés de 30 % environ.

Mais si le réservoir est conduit à température constante (notamment s'il est réchauffé), il faut prendre la pression de vapeur à température du stockage.

Masse molaire : elle se trouve généralement sur la fiche de données sécurité du produit ou dans des bases de données. Il peut toutefois être difficile de trouver la valeur pour des coupes pétrolières.

La masse molaire de la phase gazeuse, peut être différente de celle du liquide dans le cadre d'une coupe pétrolière ou d'un mélange car les fractions plus volatiles sont surreprésentées dans la phase gazeuse par rapport à la phase liquide. A défaut on peut prendre les valeurs typiques ci-dessous pour les produits commerciaux les plus courants.

Produit	Masse molaire vapeur	Tension vapeur à 20°C
essence hiver	64	50 kPa
essence été	76	25 kPa
essence moyenne annuelle	70	40 kPa
naphtha pétrochimique	80	20 kPa
jet fuel, ou white spirit	130	0.3 kPa

Couleur : l'inox peut être assimilé à de l'aluminium moyen. Les autres couleurs foncées (bleu,...) sont affectées du coefficient 1.7. Si le toit à une couleur différente de la robe, on peut faire une moyenne des deux coefficients

Volume de produit transféré annuellement et générant une variation de niveau dans le réservoir : par défaut c'est le volume transféré vrai notamment si le réservoir fonctionne en mode vidange / remplissage. Cela donne un résultat majorant. Une approche plus fine consiste à ne compter que les transferts qui créent une variation de niveau (que l'on peut calculer si l'on dispose des valeurs du niveau historisées – de préférence sur support informatique). Un réservoir maintenu à niveau constant (donc variation de niveau nulle), entraîne des émissions par mouvement nulles.

Rayonnement solaire et écart de température jour/nuit : les valeurs sont calibrées pour un rayonnement solaire en France métropolitaine et pour un écart de température jour nuit de 13°C. En zone tropicale l'irradiation solaire est double et le résultat peut être sous estimé pour les réservoirs à toit fixe. Il est donc conseillé d'utiliser une méthode plus précise telle que celle de l'annexe 3.

2.4 Réservoir à toit flottant :

TEXTE DE L'ARRETE

Emission par évaporation directe (t/an) : $E21 = K3 \times (J1 + J2 \times V^n) \times D$

$K3 = 1,1 \cdot 10^{-6} \times Pv \times M_{Mol}$ (sauf pour le pétrole brut : $K3 = 0,007$) avec :

Pv : pression de vapeur saturante du liquide inflammable en mbar (prise à 20°C par défaut).

M_{Mol} : masse molaire de la phase gazeuse émise en grammes par mole.

D : diamètre du réservoir en mètres.

V : vitesse moyenne annuelle du vent sur le site considéré en kilomètres par heure.

$J1$ et $J2$: coefficients du joint de toit flottant.

n : coefficient de vent lié à la nature du joint.

Ces deux derniers coefficients sont choisis conformément au tableau ci-dessous, pour les types de joints schématisés à la figure 1.

Type de joint de toit flottant		J1	J2	n
Code figure 1	Traduction en anglais (correspondance API / EPA)			
PM	Mechanical shoe	3,22	0,10	1,91
PM / PS	Mechanical shoe, shoe mounted secondary seal	1,24	0,10	1,55
PM / JS	Mechanical shoe, rim mounted secondary seal	0,77	0,15	1,19
JL	Liquid mounted primary seal	1,24	0,15	1,37

Type de joint de toit flottant		J1	J2	n
<i>JL / EP</i>	Liquid mounted primary seal, weather shield	0,82	0,15	1,23
<i>JL / JS</i>	Liquid mounted primary seal ,rim mounted secondary seal,	0,63	0,10	1,20
<i>JG</i>	Vapor mounted primary seal	3,65	0,03	2,87
<i>JG / EP</i>	Vapor mounted primary seal, weather shield	2,04	0,01	3,02
<i>JG / JS</i>	Vapor mounted primary seal ,rim mounted secondary seal	1,36	0,001	3,65

Pour les joints phase gaz, on ne fait pas la différence entre une bavette racleuse et un joint gaz rempli de mousse ou de liquide (EPA/API ne fait pas non plus la différence).

L'écran de protection se distingue du joint secondaire par le fait que l'écran de protection est généralement constitué d'écaillés se recouvrant l'une l'autre alors que le joint secondaire est totalement étanche et muni d'une lèvre racleuse élastomère.

Emission générée par les mouvements (t/an) : $E22 = K4 \times Q \times M/D$

$K4 = 5.10^{-3}$ sauf pour le pétrole brut où $K4 = 2,5.10^{-2}$

Q : volume de produit transféré annuellement en mètres cubes et générant une variation de niveau dans le réservoir.

M : coefficient de mouillage fonction de l'état des parois, conformément aux valeurs suivantes :

$M = 0,0015$ pour les parois neuves ou légèrement oxydées,

$M = 0,0075$ pour les parois très oxydées,

$M = 0,15$ pour les parois rugueuses.

D : diamètre du réservoir en mètres.

Emission du réservoir à toit flottant (t/an) : $E1 = E21 + E22$

COMMENTAIRES

Pour la pression de vapeur et la masse molaire voir ci-dessus.

Vitesse du vent : il s'agit de la vitesse moyenne annuelle à 10 m de hauteur que l'on obtient généralement auprès de METEOFRACTANCE la valeur typique est entre 2 et 5 m/s en France métropolitaine soit donc entre 7 et 18 km/h (attention à l'unité qui est en km/h dans ces formules). L'AM86 prenait un forfait de 11.7 km/h.

Pétrole brut : le pétrole brut compte tenu de sa viscosité a un comportement particulier. Les valeurs prises correspondent à un brut léger (TV REID = 500 mb). Dans le cas de bruts plus lourds il est conseillé d'utiliser les formules EPA pour tenir compte de la tension de vapeur réelle.

Type de joint : on a repris les dessins de l'AM86 (voir figure 1 : type de joints pris en compte)

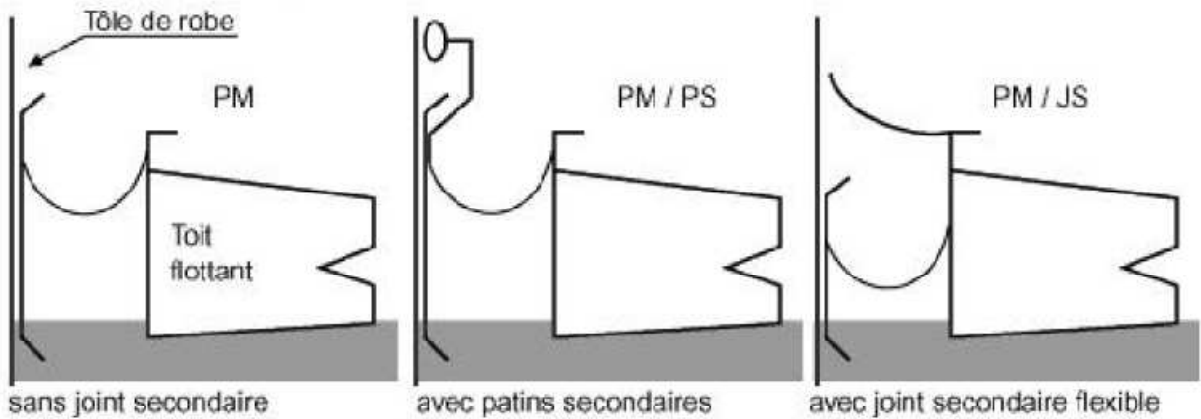
Parois : On juge l'état des parois intérieures de la robe, au niveau de la phase liquide.

La caractérisation "très oxydées" correspond à un état dégradé (nombreux cratères de corrosion).

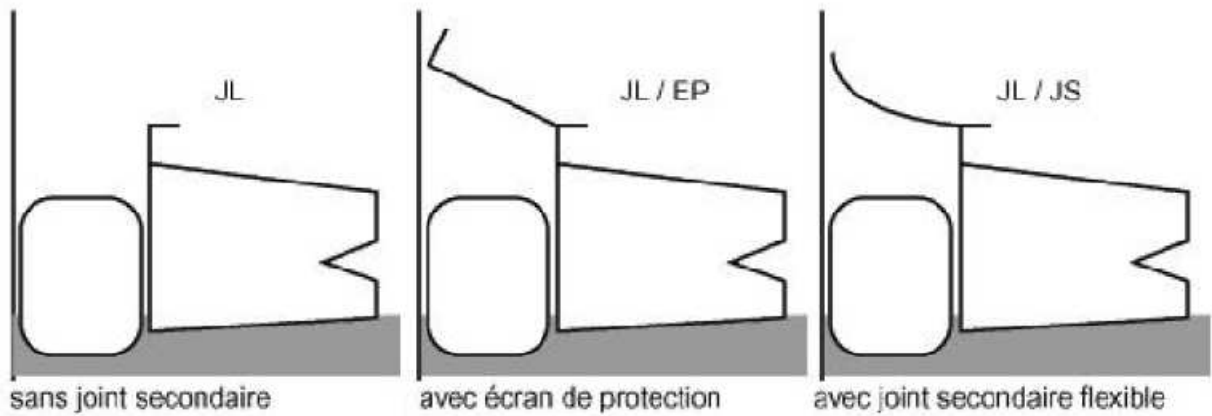
La caractérisation "rugueuses" correspond à un réservoir à la robe revêtue intérieurement d'ébonite ou autre revêtement rugueux. Un revêtement type peinture époxy donne au contraire des parois lisses et non oxydées.

Par défaut on prend la caractérisation "légèrement oxydées"

1 — PATINS MECANIQUES PRIMAIRES :



2 — JOINT SOUPLE EN PHASE LIQUIDE :



3 — JOINT SOUPLE EN PHASE GAZEUSE :

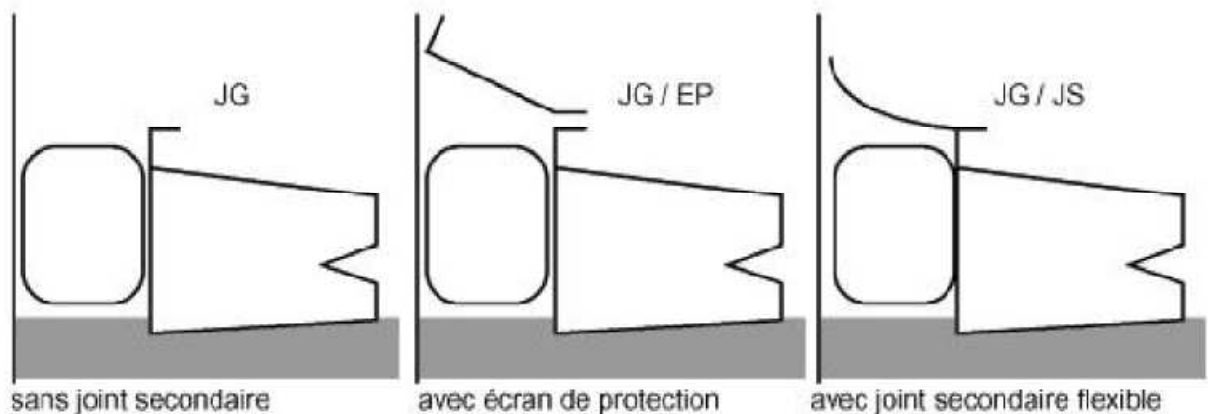


figure 1 : type de joints pris en compte

2.5 Réservoir à écran flottant interne :

TEXTE DE L'ARRETE

Emission par évaporation directe (t/an) : $E31 = K5 \times [(S + P).D^2 + (F + A).D + B]$

$K5 = 1,8 \cdot 10^{-7} \times Pv \times M_{Mol}$ (sauf pour le pétrole brut : $K5 = 0,0013$) avec :

Pv : pression de vapeur saturante du liquide inflammable en mbar (prise à 20°C par défaut).

M_{Mol} : masse molaire de la phase gazeuse¹ émise en grammes par mole.

D : diamètre du réservoir en mètres.

F : coefficient de joint de l'écran flottant, conformément aux valeurs suivantes, pour les types de joint schématisés au point 6) du B de la présente annexe :

Type de joint de toit flottant	F
Sans joint secondaire (PM)	14,9
Avec écran ou patin secondaire (PM/PS)	4,0
Avec joint secondaire flexible (PM/JS)	1,5
Sans joint secondaire (JL)	4,1
Avec écran ou patin secondaire (JL/EP)	1,8
Avec joint secondaire flexible (JL/JS)	0,8
Sans joint secondaire (JG)	17,1
Avec écran ou patin secondaire (JG/EP)	8,5
Avec joint secondaire flexible (JG/JS)	5,6

S et P : respectivement, coefficient de structure de l'écran interne et coefficient de perméation de l'écran interne. Ces coefficients sont choisis conformément au tableau ci-dessous :

Ecran	Poteaux	S	P
Soudé / collé	Avec	0,45	0
Autre	Avec	0,45	0,56
Soudé	Sans	0,12	0
Soudé / collé	Sans	0,12	0,56

A et B : coefficients de configuration du réservoir, respectivement égaux à 1,3 et 220.

Emission générée par les mouvements (t/an) : $E32 = K6 \times Q \times M/D$

$K6 = 7,5 \cdot 10^{-3}$ sauf pour le pétrole brut où $K6 = 3,75 \cdot 10^{-2}$

Q : volume de produit transféré annuellement en mètres cubes et générant une variation de niveau dans le réservoir.

M : coefficient de mouillage fonction de l'état des parois, conformément aux valeurs suivantes :

$M = 0,0015$ pour les parois neuves ou légèrement oxydées,

$M = 0,0075$ pour les parois très oxydées,

$M = 0,15$ pour les parois rugueuses.

D : diamètre du réservoir en mètres.

Emission du réservoir à écran flottant interne (t/an) : $E1 = E21 + E22$

COMMENTAIRES

Type de joint : voir la figure 1 et le chapitre 2.4, pour plus de commentaires.

Type d'écran : les écrans autres correspondent à des écrans boulonnés pour lesquels il y aura des émissions aux jointures des différentes parties d'écran. Ces émissions ne se produisent pas pour les écrans soudés ou collés ou monobloc ou tout autre système qui rend l'écran étanche à la perméation.

Toit flottant couvert : les réservoirs à toit flottant qui ont été ultérieurement recouverts d'un dôme de protection (par exemple dôme géodésique aluminium) peuvent se calculer comme des réservoirs à toit flottant mais avec un vent nul.

Les autres paramètres ont déjà été commentés (voir le sous chapitre toit flottant).

3 METHODE DE L'ANNEXE 3 – RESERVOIRS A TOIT FIXES

Il s'agit de la méthode EPA AP42 (sans aucune simplification), pour les réservoirs à toit fixe, traduite en français et mise en unités SI (travail effectué par l'INERIS : Estimation des émissions de COV par modélisation dans l'industrie chimique (INERIS N°DR C 09 103316 - 03785A - 13/03/2009)³

3.1 Domaine d'application de la méthode :

TEXTE DE L'ARRETE

La méthode présentée dans cette annexe n'est applicable qu'aux réservoirs à toit fixe dont la pression interne est proche de la pression atmosphérique. Elle a également plus spécifiquement vocation à être appliquée pour les réservoirs à toit fixe dont la configuration ne permet pas l'application de la méthode simplifiée donnée en annexe 2 du présent arrêté.

COMMENTAIRE

Pour les limitations de l'annexe 2 voir ci-dessus. Les limitations citées par l'arrêté ne sont pas toutes pertinentes, les formules de l'annexe 2 pouvant être adaptées.

L'annexe 3 propose une évaluation précise mais au prix de calculs compliqués, de notions quelque peu scientifiques et nécessitant un grand nombre de paramètres.

3.2 Evaluation des émissions totales par an :

TEXTE DE L'ARRETE

Les émissions totales annuelles d'un réservoir sont calculées avec la formule suivante :

$$E_T = E_R + E_M$$

E_T : émissions totales en tonnes par an

E_R : émissions par respiration en tonnes par an

E_M : émissions générées par les mouvements de produit en tonnes par an

COMMENTAIRES

Voir commentaires déjà faits pour l'annexe 2

³ Attention toutefois à l'équation 3.1.8U page 60 dans ce document qui semble erronée (erreur de conversion d'unité)

Attention : les formules donnent les émissions en kg/an et non pas en t/an comme indiqué dans l'introduction

3.3 Evaluation des émissions annuelles par respiration :

TEXTE DE L'ARRETE

$$E_R = 365 \cdot V_v \cdot D_v \cdot K_E \cdot K_S$$

E_R : émissions par respiration en kilogrammes par an

V_v : volume d'espace libre au-dessus du liquide en mètres cubes (cf. partie 1 de cette annexe pour mémoire)

D_v : densité de la vapeur de solvant de l'air du volume libre en kilogrammes par mètres cubes (cf. partie 2 de cette annexe)

K_E : coefficient d'expansion de la phase vapeur (cf. partie 3 de cette annexe)

K_S : facteur de saturation de la phase vapeur (cf. partie 4 de cette annexe)

COMMENTAIRES

Attention à l'unité : résultat en kg/an

Attention à l'unité de D_v : il faut l'exprimer en kg/m³ (par exemple 0.57 kg/m³ pour de l'hexane à 15°C) alors que le 2) calcule D_v en g/m³.

On parle de solvant (car le texte est issu d'un précédent travail de l'INERIS), mais il faut lire **liquide inflammable**.

TEXTE DE L'ARRETE

1) Détermination de V_v (pour mémoire) :

$$V_v = \pi \cdot R_c^2 \cdot h_v$$

V_v : volume d'espace libre au-dessus du liquide en mètres cubes

R_c : rayon du réservoir en mètres

h_v : hauteur équivalente de la phase vapeur en mètres (hauteur d'un cylindre dont le rayon est égal à celui de l'espace rempli de vapeurs y compris le volume du cône ou du dôme surmontant la partie cylindrique du réservoir)

$$h_v = h_c - h_L + h_E$$

h_c : hauteur de la partie cylindrique du réservoir en mètres

h_L : hauteur moyenne du liquide en mètres

h_E : hauteur équivalente du toit du réservoir en mètres

Pour un toit conique, la hauteur h_E est déterminée grâce aux équations suivantes :

$$h_E = \frac{1}{3} \cdot h_{T0}$$

$$\text{Avec : } h_{T0} = P_{T0} \cdot R_C$$

h_{T0} : hauteur de la partie conique du réservoir en mètres

R_C : rayon de la partie cylindrique du réservoir en mètres

P_{T0} : pente de la partie conique du toit (rapport de distances sans unité). Si cette pente est inconnue, la valeur par défaut est 0,0625

Pour un toit en forme de dôme, la hauteur h_E est calculée selon l'équation suivante :

$$h_E = h_{T0} \cdot \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(\frac{H_{T0}}{R_C} \right)^2 \right]$$

$$\text{Avec : } h_{T0} = R_D - \sqrt{(R_D^2 - R_C^2)}$$

h_{T0} : hauteur du dôme en mètres

R_C : rayon du réservoir en mètres

R_D : rayon du dôme en mètres

COMMENTAIRES

Attention, on utilise le rayon, pas le diamètre.

La valeur par défaut de la pente du toit (0.0625) correspond à un toit conique assez plat (pente 1/16) caractéristique d'un bac de grand diamètre (API 650)..

Pour les toit hémisphérique, $R_0 = R_c / \sin \theta$. θ étant l'angle moyen du toit (pente = $\tan \theta$).

Pour une pente de 0.0625, $R_0 = 16 R_c$

Le volume du cône ou du toit hémisphérique est en fait négligeable par rapport au volume de la virole (quelques % pour une pente faible).

Si l'on calcul les émissions d'un bac de référence, pour un bac à toit flottant externe, rien n'indique quel type de toit choisir. On prendra un toit conique à pente 0.0625.

TEXTE DE L'ARRETE

2) Détermination de D_v :

En supposant que la vapeur se comporte comme un gaz parfait :

$$D_v = \frac{M_v \cdot P_{VA}}{R \cdot T_{LS}}$$

D_v : densité de la vapeur de solvant de l'air du volume libre en grammes par mètres cubes

M_v : masse molaire de la vapeur en grammes par mole

P_{VA} : pression de vapeur saturante à la surface du liquide à la température journalière moyenne en pascals

$R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol.K})$

T_{LS} : température journalière moyenne à la surface du liquide en kelvins

La masse molaire moyenne M_v est celle de la substance contenue dans le réservoir (corps pur) ou déterminée à partir de la composition de la phase liquide s'il s'agit d'un mélange. Dans ce dernier cas, M_v est calculée avec la formule suivante :

$$M_v = \sum y_i \cdot M_i$$

$$\text{Avec : } y_i = \frac{p_i}{P_{VA}}$$

M_i : masse molaire du composé i en grammes par mole

y_i : fraction molaire du composé i dans la phase vapeur

p_i : pression de vapeur partielle du composant i ou pression de vapeur saturante du composant i multipliée par la fraction molaire dans le liquide, en kilopascals.

P_{VA} : pression de vapeur saturante totale du liquide stocké en kilopascals, somme des pressions de vapeur saturantes de tous les constituants $P_{VA} = \sum p_i$

COMMENTAIRES

On parle de solvant (car le texte est issu d'un précédent travail de l'INERIS), mais il faut lire liquide inflammable.

La masse molaire calculée est celle de la phase vapeur (pas de différence pour une substance pure, c'est la même que celle du liquide)

Attention à l'unité de D_v est en g/m^3

T en Kelvins = T en °C + 273.15

Le calcul de la masse molaire de la phase vapeur par la formule n'est possible que si l'on connaît bien la composition de la phase liquide ce qui n'est pas possible pour les coupes pétrolières. On pourra prendre par défaut :

Produit	Masse molaire vapeur	Tension vapeur à 20°C
Essence hiver	64	50 kPa
Essence été	76	25 kPa
Essence moyenne annuelle	70	40 kPa
Naphta pétrochimique	80	20 kPa
Jet fuel, ou white spirit	130	0.3 kPa

Même si on ne l'utilise pas pour les calculs, le logiciel TANKS fourni par l'EPA, offre une bonne banque de propriétés de produits pétroliers.

Attention au fait que le naphta pétrochimique peut avoir des compositions très variables.

TEXTE DE L'ARRETE

La pression de vapeur saturante à la surface du liquide à la température journalière moyenne du liquide peut être calculée au moyen de la loi d'Antoine :

$$\log(P_i) = (A_i - \frac{B_i}{T_{LS} + C_i})$$

P_i : pression de vapeur saturante à la surface du liquide à la température journalière moyenne (les constantes d'Antoine retenues sont en adéquation avec l'unité de pression choisie)

T_{LS} : température journalière moyenne à la surface du liquide en degrés Celsius

A_i, B_i, C_i : constantes d'Antoine du composé i . B_i et C_i sont exprimés en degrés Celsius

COMMENTAIRES

La pression de vapeur peut tout aussi bien être lue sur une courbe ou relevée sur une table de valeurs, ou obtenue via une banque de données informatisées.

L'équation d'Antoine dont il existe d'ailleurs de nombreuses versions n'est qu'une façon d'approcher les valeurs recherchées (et ne saurait être d'utilisation "réglementaire")

TEXTE DE L'ARRETE

La température moyenne T_{LS} est calculée grâce à l'équation suivante :

$$T_{LS} = 0,44 \cdot T_{AM} + 0,56 \cdot T_{LM} + 0,00387 \cdot \alpha \cdot I$$

T_{LS} : température journalière moyenne à la surface du liquide en kelvins

T_{AM} : température ambiante moyenne en kelvins

T_{LM} : température du liquide en kelvins

α : absorbance solaire du revêtement du réservoir, conformément aux valeurs suivantes :

Couleur externe du réservoir	α (suivant l'état du réservoir)	
	Bon état	Mauvais état
Aluminium brillant	0,39	0,49
Aluminium mat	0,60	0,68
Aluminium métal poli	0,10	0,15
Blanc	0,17	0,34
Brun	0,43	0,55
Crème	0,35	0,49
Gris clair	0,54	0,63
Gris moyen	0,68	0,74
Marron	0,58	0,67
Noir	0,97	0,97
Rouge primaire	0,89	0,91
Rouille	0,43	0,55
Vert sombre	0,89	0,91

I : facteur d'insolation journalière en joules par centimètre carré par jour

Nota : cette équation n'est pas utilisable pour les réservoirs calorifugés. Dans ce cas, la température journalière moyenne à la surface du liquide est déterminée par des mesures de température à la surface du liquide.

COMMENTAIRES

L'inox est assimilable à de l'aluminium mat.

Toutes les couleurs ne figurent pas dans le tableau. Un bleu très clair est assimilable à un gris clair, un bleu sombre est assimilable à un vert sombre (faire preuve de bon sens). Si la robe a une couleur différente du toit, on peut faire une moyenne

Le facteur I d'insolation solaire vaut typiquement de 3 à 5 kWh/m²/jour⁴ en France métropolitaine soit 1100 à 1800 J/cm²/jour. On peut prendre 5 kWh/m²/jour soit 1800 J/cm²/jour pour les DOM Tom (Antilles, Guyane,.. – rayonnement plus fort mais plus de nuages que la Cote d'Azur)

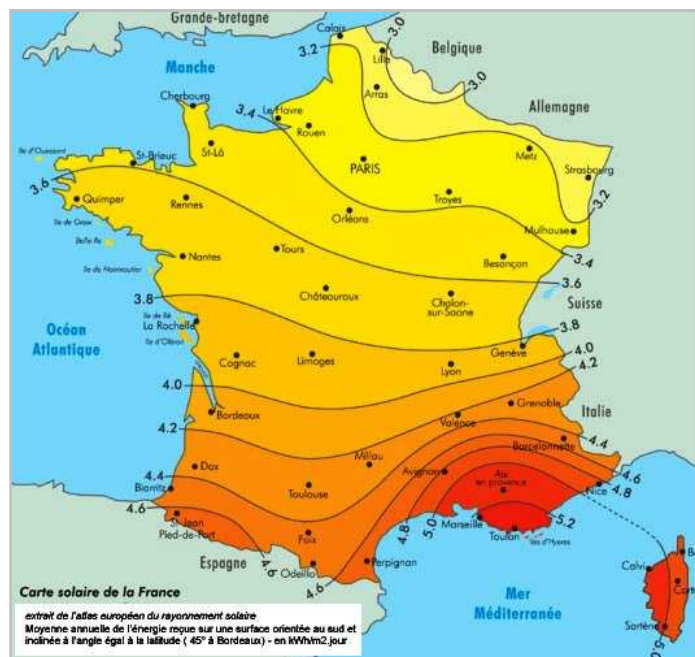


Figure 2 : carte de l'ensoleillement

⁴ Voir par exemple l'atlas européen du rayonnement solaire

TEXTE DE L'ARRETE

La température moyenne ambiante journalière T_{AM} peut être calculée par l'équation suivante :

$$T_{AM} = \frac{(T_{Amax} + T_{Amin})}{2}$$

T_{AM} : température ambiante moyenne journalière en kelvins

T_{Amax} : température ambiante maximum journalière en kelvins

T_{Amin} : température ambiante minimum journalière en kelvins

La température de la masse du liquide T_{LM} est calculée par la formule suivante :

$$T_{LM} = T_{AM} + 3,33.\alpha - 0,55$$

T_{AM} : température ambiante moyenne journalière en kelvins

T_{LM} : température du liquide dans sa masse en kelvins

α : absorbance solaire du revêtement du réservoir

COMMENTAIRES

Les températures demandées se trouvent classiquement dans les statistiques météo. La moyenne pour la France métropolitaine est de 12.5°C (285.6K) avec des valeurs allant de 9 à 16 °C (hors montagne).

Si un réservoir est maintenu à température constante, la température dans la masse du liquide T_{LM} doit être forcée à cette température constante.

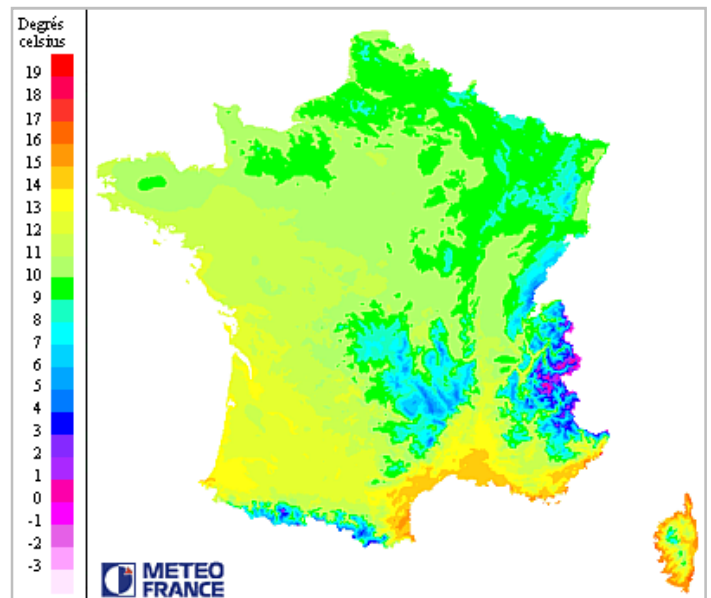


Figure 3 : carte des températures moyennes annuelles

TEXTE DE L'ARRETE**3) Détermination de K_E :**

$$K_E = \frac{\Delta T_V}{T_{LS}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_S}{P_A - P_{VA}}$$

K_E : coefficient d'expansion de la phase vapeur (≥ 0)

T_{LS} : température journalière moyenne à la surface du liquide en kelvins

P_A : pression atmosphérique en pascals

P_{VA} : pression de vapeur saturante à la surface du liquide à la température journalière moyenne en pascals

$$\Delta T_V = 0,72.\Delta T_A + 0,0137.\alpha.l$$

ΔT_V : amplitude thermique journalière de la vapeur en kelvins

ΔT_A : amplitude thermique journalière ambiante en kelvins

α : absorbance solaire du revêtement du réservoir (cf. tableau au point 2)

l : facteur d'insolation journalière en joules par centimètre carré par jour

ΔT_A est estimé de la façon suivante :

$$\Delta T_A = T_{A \max} - T_{A \min}$$

T_A : amplitude thermique journalière ambiante en kelvins

T_{AMAX} : température ambiante journalière maximale en kelvins

T_{AMIN} : température ambiante journalière minimale en kelvins

$$\Delta P_V = P_{v \max} - P_{v \min}$$

ΔP_V : amplitude journalière de pression en kilopascals

$P_{v \max}$: pression de vapeur saturante à la température maximale de la surface du liquide en pascals (déterminé avec l'équation d'Antoine à T_{LSmax})

$P_{v \min}$: pression de vapeur saturante à la température minimale de la surface du liquide en pascals (déterminé avec l'équation d'Antoine à T_{LSmin})

P_S est calculée par la formule :

$$\Delta P_S = P_{S \max} + P_{S \min}$$

ΔP_S : amplitude de tarage de la soupape de mise à l'atmosphère en pascals

P_{Smax} : valeur absolue de la pression de tarage de la soupape (émission) en pascals

P_{Smin} : valeur absolue de la pression de tarage de la soupape (admission) en pascals

Nota :

Si les valeurs des pressions de tarage ne sont pas disponibles, la valeur par défaut de 200 pascals est retenue pour P_{Smin} et P_{Smax}

Si les pressions de tarage de la soupape de mise à l'atmosphère sont supérieures à 7 000 pascals, les pertes par respiration sont négligées

Si la valeur obtenue pour K_E est négative, le réglage de la soupape est considéré comme suffisamment élevé pour empêcher les pertes par respiration. Dans ce cas, K_E est égal à 0.

COMMENTAIRES

L'écart jour / nuit (ΔT_A) est typiquement de 10°C

La pression atmosphérique (P_a) vaut typiquement 1013 mb = 101 300 Pa

Pour une soupape pression/ dépression tarée à +25 / - 5 mb, ΔP_s vaut 30 mb = 3000 Pa (c'est l'amplitude entre pression et dépression). La valeur proposée de 200 Pa (= 2 mb) est trop faible.

L'ordre de grandeur de 7000 Pa (70 mb) pour l'amplitude en deçà de laquelle l'effet des soupapes peut être négligé est correct.

Attention aux unités pour ΔP_V dans la formule de calcul de k_e il faudra que toutes les pressions aient la même unité (mettre tout en Pa ou en kPa voire en mb mais ne pas mélanger les unités)

TEXTE DE L'ARRETE

4) Détermination de K_S :

$$K_S = \frac{1}{1 + 0,0252 \cdot P_{VA} \cdot h_v}$$

K_S : facteur de saturation de la phase vapeur

P_{VA} : pression de vapeur saturante à la surface du liquide à la température journalière moyenne en kilopascals

h_v : hauteur équivalente de la phase vapeur en mètres

COMMENTAIRES

Rien à signaler

3.4 Evaluation des émissions annuelles générées par les mouvements de produit :

TEXTE DE L'ARRETE

$$E_M = \frac{M_v \cdot P_{VA} \cdot Q}{8,31 \cdot T_{AM}} \cdot K_N \cdot K_P$$

E_M : pertes annuelles en fonctionnement en kilogrammes par an

T_{AM} : température moyenne annuelle en kelvins

M_v : masse molaire moyenne de la vapeur en kilogrammes par mole

P_{VA} : pression de vapeur saturante à la température moyenne journalière de la surface du liquide en pascals

Q : volume de produit transféré annuellement en mètres cubes et générant une variation de niveau dans le réservoir

K_N : facteur de saturation :

$K_N = 1$ pour un nombre de rotation annuel inférieur ou égal à 36

$K_N = (180+N)/6 \cdot N$ pour un nombre de rotation annuel supérieur à 36

N est le nombre de rotations annuelles

K_P : facteur lié au produit stocké :

$K_P = 0,75$ pour le pétrole brut

$K_P = 1$ pour les autres liquides inflammables

COMMENTAIRES

Le facteur de saturation K_N traduit le fait que quand le réservoir se vide et se remplit fréquemment, le ciel gazeux n'a pas le temps de se saturer en vapeurs de liquides inflammables. Un remplissage vidange par jour divise les émissions par 4.

Le facteur de saturation K_P différent pour le brut traduit le fait qu'à cause de sa viscosité on sature plus difficilement le ciel gazeux car la couche supérieure ne se renouvelle pas. Ce comportement est en fait celui de tout liquide visqueux (peinture, adhésif solvanté)

4 METHODE DE L'ANNEXE 4 – RESERVOIRS A TOIT OU ECRAN FLOTTANT

4.1 Domaine d'application de la méthode :

TEXTE DE L'ARRETE

La méthode présentée dans cette annexe a vocation à être appliquée pour les réservoirs à toit flottant dont la configuration ne permet pas l'application de la méthode simplifiée donnée en annexe 2 du présent arrêté et :

- contenant des liquides non bouillants et de pression de vapeur saturante comprise entre 0,7 et 101,3 kilopascals (ou inférieure à la pression atmosphérique sur le site),
- pour une vitesse moyenne de vent inférieure ou égale à 6,7 mètres par seconde dans le cas des réservoirs à toit flottant externe (la vitesse du vent n'influe pas sur les autres types de réservoirs à toit flottant),
- de diamètre supérieur à 6 mètres.

Elle ne s'applique pas dans les cas où :

- les liquides sont bouillants ou instables,
- pour les produits pétroliers, la pression de vapeur saturante n'est pas connue,
- les réservoirs disposent de joints détériorés ou devenus significativement perméables au liquide stocké,
- les réservoirs à toit flottant interne ne respirent pas librement à l'atmosphère (munis de soupapes, inertés ou autres configurations équivalentes).

COMMENTAIRES

Pression de vapeur : aucune des formules quelle que soit l'annexe ne fonctionne avec des liquides bouillants. Le seuil inférieur de Tv de 0.7 kPa (= 7 mb) n'est par contre pas justifié. Il est évident que cette donnée doit être connue

Vitesse du vent : il y a en effet une limite mais normalement peu de lieux sont concernés. En tout état de cause, il n'y a pas d'autre formule de disponible.

Diamètre : il est peu probable que l'on trouve des réservoirs à toit flottant d'un diamètre < 6 m

Stabilité du liquide : n'a strictement aucune influence sur les émissions atmosphériques (ajout erroné)

Etat du joint : il est également évident que la méthode ne s'applique plus si le joint est détérioré manquant...ou si le toit a coulé !

Réservoirs à écran flottant spéciaux : si un réservoir à écran flottant est néanmoins muni de soupapes la méthode ne peut pas s'appliquer. L'injection d'azote ne modifie pas les calculs mais comme elle est le plus souvent couplée avec des soupapes le problème sera le même. Si les pressions / dépressions sont réduites (-5 / +25 mb) les résultats obtenus devraient quand même être acceptables.

4.2 Evaluation des émissions totales par an :

TEXTE DE L'ARRETE

Les émissions totales annuelles d'un réservoir sont calculées avec la formule suivante :

$$E_T = E_P + E_M$$

E_T : émissions totales en tonnes par an

E_P : émissions par perméabilité en tonnes par an

E_M : émissions générées par les mouvements de produit en tonnes par an

COMMENTAIRE

Attention aux unités. Les formules donnent un résultat en kg/an comme indiqué par la suite et non pas un résultat en tonnes par an comme indiqué dans cette introduction.

4.3 Emissions par perméabilité

TEXTE DE L'ARRETE

Ces émissions s'expriment de la façon suivante :

$$E_P = [(F_R) + (F_F) + (F_D)] \cdot P \cdot M_V \cdot K_C$$

E_P : émissions annuelles par perméabilité en kilogrammes par an

F_R : facteur de perte au joint périphérique en kilogrammes-mole par an

F_F : facteur total de perte aux joints des accessoires en kilogrammes-mole par an

F_D : facteur total de perte par perméabilité de l'écran (uniquement pour les toits flottants internes équipés d'écrans boulonnés) en kilogrammes-mole par an

P^* : fonction de pression de vapeur saturante

M_V : masse molaire moyenne de la vapeur en grammes par mole

K_C : facteur lié au produit stocké, $K_C = 0,4$ pour le pétrole brut, $K_C = 1$ pour les autres liquides inflammables

COMMENTAIRES

On considère 3 types d'émission pour l'écran ou le toit :

- Les pertes au joint
- Les pertes via les accessoires du toit ou de l'écran
- Les pertes via la perméation de l'écran

Dans la formule, il manque l'étoile à P (lire P*)

TEXTE DE L'ARRETE

Détermination de F_R

$$F_R = (K_{RA} + K_{RB} \cdot V^n) \cdot D$$

F_R : facteur de perte au joint périphérique en kilogrammes-mole par an

K_{RA} : coefficient de perte au joint périphérique à vitesse de vent nulle en kilogrammes-mole par mètre-an (cf. tableau n°1 ci-dessous)

K_{RB} : coefficient de perte au joint périphérique dépendant de la vitesse du vent en $\text{kg-mole}/(\text{m/s})^n\text{-m-an}$ (cf. tableau n°1 ci-dessous)

V : vitesse moyenne du vent au niveau du site en mètres par seconde

n : exposant de la vitesse du vent lié au type de joint périphérique (cf. tableau n°1 ci-dessous)

D : diamètre du réservoir en mètres

Note :

- si la vitesse du vent au niveau du site n'est pas disponible, la vitesse du vent de la station météorologique la plus proche est utilisée,
- pour les réservoirs à toit flottant interne et à toit flottant externe équipés d'un dôme, la vitesse du vent est considérée comme nulle ($F_R = K_{RA} \cdot D$).

COMMENTAIRES

Les tableaux ne figurent pas dans l'arrêté, ils seront donnés dans une circulaire. Ils sont donnés ci-après.

Le vent considéré est une vitesse moyenne annuelle à 10 m de hauteur.

Tableau n°1 : coefficients K_{RA} , K_{RB} et exposants n pour les réservoirs à toit flottant

Accessoires	K_{RA} (kg-mole/m-an)	K_{RB} (kg-mole/(m/s) ⁿ -m-an)	n
Patin mécanique primaire			
Sans joint secondaire (PM)	8,63	2,42	2,1
Avec écran ou patin secondaire (PM/PS)	2,38	1,62	1,6
Avec joint secondaire flexible (PM/JS)	0,89	1,33	1,0
Joint souple phase liquide			
Sans joint secondaire (JL)	2,38	1,49	1,5
Avec écran ou patin secondaire (JL/EP)	1,04	1,17	1,2
Avec joint secondaire flexible (JL/JS)	0,45	1,14	0,3
Joint souple phase gazeuse			
Sans joint secondaire (JG)	9,97	3,33	3,0
Avec écran ou patin secondaire (JG/EP)	4,91	1,67	3,0
Avec joint secondaire flexible (JG/JS)	3,27	0,14	4,3

Ces coefficients ne doivent être utilisés que pour des vitesses de vent inférieures à 6,7 mètres par seconde.

TEXTE DE L'ARRETE

Détermination de F_F

$$F_F = [(N_{F1} \cdot K_{F1}) + (N_{F2} \cdot K_{F2}) + \dots + (N_{Fn} \cdot K_{Fn})]$$

F_F : facteur total de perte aux joints des accessoires en kilogrammes-mole par an

N_{Fi} : nombre d'accessoires d'un type donné ($i = 0, 1, 2, \dots, n$)

K_{Fi} : coefficient de perte aux accessoires pour un type d'accessoire donné en kilogrammes-mole par an

n : nombre total des différents types d'accessoires

Pour un type donné d'accessoires, K_{Fi} est déterminé au moyen de l'équation suivante :

$$K_{Fi} = K_{FAi} + K_{FBi} \cdot (K_V \cdot V)^{m_i}$$

K_{Fi} : coefficient de perte aux accessoires pour un type d'accessoire donné en kilogrammes-mole par an

K_{FAi} : coefficient de perte aux accessoires pour un type d'accessoire donné à vitesse de vent nulle en kilogrammes-mole par an (cf. tableau n°2 ci-dessous)

K_{FBi} : coefficient de perte aux accessoires pour un type d'accessoires donné dépendant de la vitesse de vent en $\text{kg-mole}/(\text{m/s})^m$ - an (cf. tableau n°2 ci-dessous)

K_V : facteur correctif de la vitesse du vent

V : vitesse moyenne du vent au niveau du site en mètres par seconde

m_i : exposant de la vitesse du vent lié à un type d'accessoire donné (cf. tableau n°2 ci-dessous)

Note :

- pour les réservoirs à toit flottant externe, K_V est égal à 0,7,
- pour les réservoirs à toit flottant interne et à toit flottant externe équipés d'un dôme, la vitesse du vent est considérée comme nulle ($K_{Fi} = K_{FAi}$),
- lorsque le nombre d'accessoires n'est pas connu, un nombre est proposé pour chaque type d'accessoires dans le tableau n°2 ci-dessous.

COMMENTAIRES

Pour les joints, l'EPA / API permet d'utiliser des coefficients plus favorables pour certaines qualités de joint "tight fitting" (particulièrement ajustés)

Les tableaux ne sont pas donnés dans l'arrêté. Ils sont fournis ci-dessous :

Tableau n°2 : coefficients K_{FA} , K_{FB} et exposants m pour les réservoirs à toit flottant

Accessoires	K_{FA} (kg-mole/an)	K_{FB} (kg-mole/(m/s) ^m -an)	m	Nombre conseillé
Sonde				1
Sonde	6,4	5,9	1,1	
Casse vide				cf. tableau 4
Sans joint	3,5	0,11	4,0	
Avec joint	2,8	1,16	0,94	type conseillé
Drain de secours				cf. tableau 4
Drain toit flottant	0,82	0,15	1,1	
Drain écran flottant	0,5	0	0	
Event				1
Sans joint	0,31	1,8	1	
Avec joint	0,32	0,1	1	type conseillé
Barre de guidage				0 (écran interne) ou 1 (toit flottant)
Sans joint	14,1	210	1,4	
Avec joint	6,4	3,1	0,78	
Avec puits de jauge sans joint	19,5	378	1,4	
Avec puits de jauge avec joint	18,6	67,2	1,4	type conseillé
Jambes de ponton				cf. tableau 5
Sans joint	0,91	0,35	0,91	type conseillé
Avec joint	0,59	0,06	0,65	
Jambes centrale (ou de double pont)				cf. tableau 5
Sans joint	0,37	0,27	0,14	type conseillé
Avec joint	0,24	0,06	0,13	
Jambes d'écran flottant				cf. tableau 6
Jambes d'écran flottant	3,6	0	0	

Accessoires	K_{FA} (kg-mole/an)	K_{FB} (kg-mole/(m/s)m-an)	m	Nombre conseillé
Puits d'échelle				0 (toit flottant) ou 1 (écran interne)
Sans joint	44,5	0	0	
Avec joint	25,4	0	0	type conseillé
Colonnes de toit				cf. tableau 7 0 (toit flottant et dôme)
Sans joint	23,1	0	0	type conseillé
Avec joint	15,0	0	0	

D'une manière générale, les accessoires sont "avec joint", sauf pour les jambes et les colonnes de toit.

Il y a d'autres types d'accessoires (trou d'homme, puits de jauge..) mais les émissions peuvent, le plus souvent, être négligées.

Tableau n°4 : nombre de casses vides et de drains c onseillés

Diamètre du réservoir (m)	Nombre de casses vides			Nombre de drains	
	Toit flottant Simple pont	Toit flottant Double pont	Ecran flottant	Toit flottant	Ecran flottant
15	1	1	1	1	0 pour les écrans soudés D \geq 12 pour les écrans boulonnés ?
30	1	1	1	1	
46	2	2	1	2	
61	3	2	1	3	
76	4	3	1	5	
91	5	3	1	7	
107	6	4	1	nd	
122	7	4	1	nd	

nd : non déterminé

Note : les données de ce tableau ne doivent pas être utilisées si les valeurs vraies sont connues.

Tableau n°5 : nombre de jambes de ponton et de jamb es centrales conseillées pour les réservoirs à toit flottant externe

Diamètre du réservoir (m)	Simple pont		Double pont
	Nombre de jambes de ponton	Nombre de jambes centrales	Nombre de jambes
9	4	2	6
12	4	4	7
15	6	6	8
18	9	7	10
21	13	9	13
24	15	10	16
27	16	12	20
30	17	16	25
34	18	20	29
37	19	24	34
40	20	28	40

Diamètre du réservoir (m)	Simple pont		Double pont Nombre de jambes
	Nombre de jambes de ponton	Nombre de jambes centrales	
43	21	33	46
46	23	38	52
49	26	42	58
52	27	49	66
55	28	56	74
58	29	62	82
61	30	69	90
64	31	77	98
67	32	83	107
70	33	92	115
73	34	101	127
76	35	109	138
79	36	118	149
82	36	128	162
85	37	138	173
88	38	148	186
91	38	156	200
94	39	168	213
98	39	179	226

Note : les données de ce tableau ne doivent pas être utilisées si les valeurs vraies sont connues.

Tableau n°6 : nombre de jambes conseillées pour les réservoirs à toit flottant interne

Accessoire	Nombre (avec D, diamètre du réservoir en mètres)
Jambe	$5 + \frac{D}{3} + \frac{D^2}{56}$

Tableau n°7 : nombre de colonnes de toit pour les réservoirs à toit flottant interne

Diamètre du réservoir (m)	Nombre de colonnes de toit
$D \leq 26$	1
$26 < D \leq 30$	6
$30 < D \leq 37$	7
$37 < D \leq 41$	8
$41 < D \leq 46$	9
$46 < D \leq 52$	16
$52 < D \leq 58$	19
$58 < D \leq 67$	22
$67 < D \leq 72$	31
$72 < D \leq 82$	37
$82 < D \leq 84$	43
$84 < D \leq 88$	49
$88 < D \leq 101$	61

Note : les données de ce tableau ne doivent pas être utilisées si les valeurs vraies sont connues.

TEXTE DE L'ARRETE

Détermination de F_D

$$F_D = K_D \cdot S_D \cdot D^2$$

F_D : facteur total de perte par perméabilité des raccords d'écran en kilogrammes-mole par an

K_D : coefficient de perte par perméabilité des raccords d'écran par unité de longueur de raccord en kilogrammes-mole par mètre-an, $K_D = 0,5$

S_D : facteur de longueur des raccords d'écran en mètres par mètre carré avec :

$$S_D = \frac{L_{\text{raccord}}}{A_{\text{écran}}}$$

L_{joint} : longueur totale des raccords d'écran en mètres

$A_{\text{écran}}$: surface de l'écran en mètres carrés

Note :

- la perte par perméabilité des raccords d'écran des réservoirs à toit flottant externe et des réservoirs à toit flottant interne équipés d'un écran soudé ou collé est nulle,
- lorsque la longueur totale des raccords d'écran n'est pas connue, une valeur de S_D par défaut de $0,65 \text{ m/m}^2$ est retenue.

COMMENTAIRES

Rien à signaler

TEXTE DE L'ARRETE*Détermination de P**

$$P^* = \frac{\left(\frac{P_{VA}}{P_A} \right)}{\left\{ 1 + \left[1 - \left(\frac{P_{VA}}{P_A} \right) \right]^{0.5} \right\}^2}$$

*P** : fonction de pression de vapeur saturante

P_{VA} : pression de vapeur saturante à la température moyenne journalière de la surface du liquide en kilopascals

P_A : pression atmosphérique moyenne sur le site en kilopascals

Pour calculer *P_{VA}*, la température journalière moyenne à la surface du liquide est déterminée de la même manière que pour les réservoirs à toit fixe.

COMMENTAIRE

Pour les réservoirs à toit flottant ou écran flottant, la température est en fait calculée par :

$$T_{LM} = T_{AM} + 3,33 \cdot \alpha - 0,55$$

T_{AM} : température ambiante moyenne journalière en kelvins

T_{LM} : température du liquide dans sa masse en kelvins

α : absorbance solaire du revêtement du réservoir

Ce bloc de texte figure au chapitre "toit fixe" (voir à cet endroit les commentaires sur les paramètres).

4.4 Emissions par mouvement

TEXTE DE L'ARRETE

Les émissions par mouvement s'estiment par la formule :

$$E_M = \left[\frac{4.Q.C.D_L}{D} \right] \left[1 + \frac{(N_C.F_C)}{D} \right]$$

E_M : émissions par mouvement en kilogrammes par an

Q : volume de produit transféré annuellement et générant une variation de niveau dans le réservoir en mètres cubes

C : coefficient de mouillabilité en mètres cubes par mètre carré (cf. tableau n°3 ci-dessous)

D_L : densité moyenne du liquide en kilogrammes par mètre cube

D : diamètre du réservoir en mètres

N_C : nombre de colonnes de toit présentes dans le réservoir (cf. tableau n°7 ci-dessous)

F_C : diamètre des colonnes de toit en mètres

COMMENTAIRES

Les tableaux seront fournis par circulaire.

Tableau n°3 : coefficients de mouillabilité C des revêtements intérieurs des réservoirs

Liquides inflammables stockés	Etat du revêtement		
	Neuf ou légèrement oxydé	Très oxydé	Rugueux
Essence et autres produits monocomposants	$2,57.10^{-6}$	$1,28.10^{-5}$	$2,57.10^{-4}$
Pétrole brut	$1,03.10^{-5}$	$5,13.10^{-5}$	$1,03.10^{-3}$

La mouillabilité est plus grande pour un produit visqueux tel que le pétrole brut.

La première série de coefficients doit être employée pour tous produits non visqueux (mono composants ou pas).

Parois : On juge l'état des parois intérieures de la robe, au niveau de la phase liquide.

La caractérisation "très oxydées" correspond à un état dégradé (nombreux cratères de corrosion).

La caractérisation "rugueuses" correspond à un réservoir à la robe revêtue intérieurement d'ébonite ou autre revêtement rugueux. Un revêtement type peinture époxy donne au contraire des parois lisses et non oxydées.

Par défaut on prend la caractérisation "légèrement oxydées"

5 MÉTHODES EPA / AP42

Ces méthodes sont décrites dans le document : AP 42 *Compilation of air pollutant emission factors. Vol.1: Stationary point and area sources. Chapter 7: Liquid storage tanks*. Elles sont librement téléchargeables sur le site de l'EPA. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

L'utilisation directe des ces méthodes offre plus de liberté dans le choix des coefficients et de la nature des accessoires au prix d'une complexité qui peut être difficile à gérer.

De plus on peut utiliser un logiciel qui facilite les calculs (mais en unités US) librement téléchargeable (Logiciel "TANKS") : <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/>.

Le logiciel tanks offre bien plus de degrés de liberté au prix d'une plus grande complexité et d'une recherche d'un plus grand nombre de données (données météo mensuelles que l'on peut corrélérer avec différents produits stockés au cours de l'année par exemple).

En cas d'utilisation des méthodes EPA (complètes), une tierce expertise peut être demandée.

6 AUTRES MÉTHODES

Très similaires aux méthodes EPA, on peut aussi citer les méthodes API

- API Publications 2517 & 2519 *Manual of petroleum measurement standard. Chapter 19 : Evaporative loss measurement, Section 2 : Evaporative loss from floating-roof tanks*
- API Publication 2518 *Manual of petroleum measurement standard. Chapter 19 : Evaporative loss measurement, Section 1 : Evaporative loss from fixed-roof tanks*

Les méthodes API sont disponibles sur le site de l'API (payant), mais étant pratiquement la copie des méthodes EPA (gratuites), il n'y a guère d'intérêt à en disposer

7 COMPARAISONS / CRITERES DE CHOIX / GESTION DES CAS PARTICULIERS

Réservoir à toit fixe			
Type de réservoir	Annexe 2 (méthodes type AM 86)	Annexe 3 ou 4 (méthodes EPA simplifiées en unité SI)	Méthodes EPA complètes
Réservoir calorifugé	Considérer une tôle alu brillant (le plus bas coefficient de couleur)	Considérer une tôle alu brillant (le plus bas coefficient de couleur)	Considérer une tôle alu brillant (le plus bas coefficient de couleur)
Produit réchauffé ou refroidi	Calculer la pression de vapeur à température réelle produit. Emission surestimée pour un produit réchauffé	Forcer la température de masse du liquide calculée à la valeur réelle. Emission surestimée pour un produit réchauffé	Forcer la température de masse du liquide calculée à la valeur réelle. Emission surestimée pour un produit réchauffé
Réservoir muni de soupapes (> 70 mb)	Ne pas utiliser	Utilisable	Utilisable
Réservoirs dont le taux de rotation est supérieur à 36	Résultat obtenu majorant	Utilisable	Utilisable
Réservoir exploité à niveau constant	Négliger le terme mouvement	Négliger le terme mouvement	Négliger le terme mouvement
Réservoir conduit à niveau bas (<40 % en moyenne)	Résultat obtenu légèrement minorant mais influence négligeable	Utilisable	Utilisable
Produit très volatil (type pentane)	Utilisable	Utilisable	Utilisable
Produit peu volatil (Pv < 1.5 kPa)	Utilisable	Utilisable	Utilisable
Réservoir à axe horizontal	Travailler en diamètre équivalent et hauteur équivalente	Travailler en diamètre équivalent et hauteur équivalente	Travailler en diamètre équivalent et hauteur équivalente
Réservoir sphérique	Travailler en hauteur équivalente	Travailler en hauteur équivalente	Travailler en hauteur équivalente

Pour les réservoirs à axe horizontal, le diamètre équivalent s'obtient par : $D_{eq} = \sqrt{\frac{4LD}{\pi}}$ où L et D sont respectivement la longueur (entre ligne de tangence) et le diamètre du réservoir horizontal. La hauteur équivalente s'obtient par $H_{eq} = \pi D / 4$
 Pour les sphères $H_{eq} = 4/6 D$

Réservoir à toit flottant ou écran flottant			
Type de réservoir	Annexe 2 (méthodes type AM 86)	Annexe 3 ou 4 (méthodes EPA simplifiées en unité SI)	Méthode EPA complètes
Réservoir calorifugé	Considérer un réservoir sans calorifuge	Considérer un réservoir sans calorifuge	Considérer un réservoir sans calorifuge
Produit réchauffé ou refroidi	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit
Réservoir muni de soupapes (> 70 mb)	Non prévu par la méthode pour toit ou écran flottant influence probablement négligeable	Non prévu par la méthode pour toit ou écran flottant influence probablement négligeable	Non prévu par la méthode pour toit ou écran flottant influence probablement négligeable
Réservoirs dont le taux de rotation est supérieur à 36	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)
Réservoir exploité à niveau constant	Terme mouvement négligeable	Terme mouvement négligeable	Terme mouvement négligeable
Réservoir conduit à niveau bas (<40 % en moyenne)	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)	Utilisable (paramètre sans influence pour les toits ou écrans flottants)
Produit très volatil (type pentane)	Résultat légèrement minorant	Utilisable	Utilisable
Produit réchauffé ou refroidi	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit	Calculer la pression de vapeur à la température réelle du produit
Produit peu volatil (Pv < 1.5 kPa)	Utilisable	Utilisable	Utilisable
Toit flottant muni de deux barres de guidage	Résultat minorant	Utilisable (sous réserve d'utiliser le bon nombre d'accessoires)	Utilisable (sous réserve d'utiliser le bon nombre d'accessoires)
Nombre de béquilles non standard	Influence faible, utilisable en fait	Utilisable	Utilisable

8 COMPARAISONS AVEC LES ANCIENNES FORMULES DE L'AM DU 4/09/86

8.1 Rappel des hypothèses des formules de l'AM du 4/09/86

L'AM 86 présentait des corrélations très simplifiées. Il s'appliquait pour des produits ayant une TVR supérieure à 30 mb.

PRODUITS

Prise en compte de 4 catégories de produit :

- Naphta léger : TVR > 750 mb
- Essence : 500 mb > TVR > 750 mb
- Naphta : TVR < 500 mb
- Pétrole brut quelle que soit la Tv

Assimiler tous les produits ayant une TVR comprise entre 30 et 500 mb à des produits de TVR = 500 mb, est très pénalisant pour les produits à faible tension de vapeur. Un même coefficient couvre des produits ayant un rapport de tension de vapeur (Tv) de 16.

Les formules de l'AM 86 ne prenaient pas en compte la masse molaire du produit. Cette simplification est acceptable pour des hydrocarbures pour lesquels, la volatilité décroît avec la masse molaire. Elle ne l'est plus pour les produits chimiques pour lesquels il peut y avoir un fort découplage entre tension de vapeur et masse molaire.⁵

VOLUME CIRCULANT

L'AM 86 fixait forfaitairement le volume circulant dans le réservoir à 10 fois le volume du réservoir. Il ne prenait pas en compte le vrai volume circulant. Or le volume circulant (et donc le nombre de remplissage vidange) est un point essentiel pour chiffrer les émissions par mouvement.

CONDITIONS METEO

L'AM 86 fixait une valeur unique pour le vent et ne prenait pas en compte la température ambiante.

SPECIFICITE RESERVOIR A TOIT FIXE

L'AM 86 ne prenait pas en compte les soupapes du réservoir qui peuvent limiter les effets de la respiration jour / nuit du réservoir.

SPECIFICITES RESERVOIR A TOIT OU ECRAN FLOTTANT

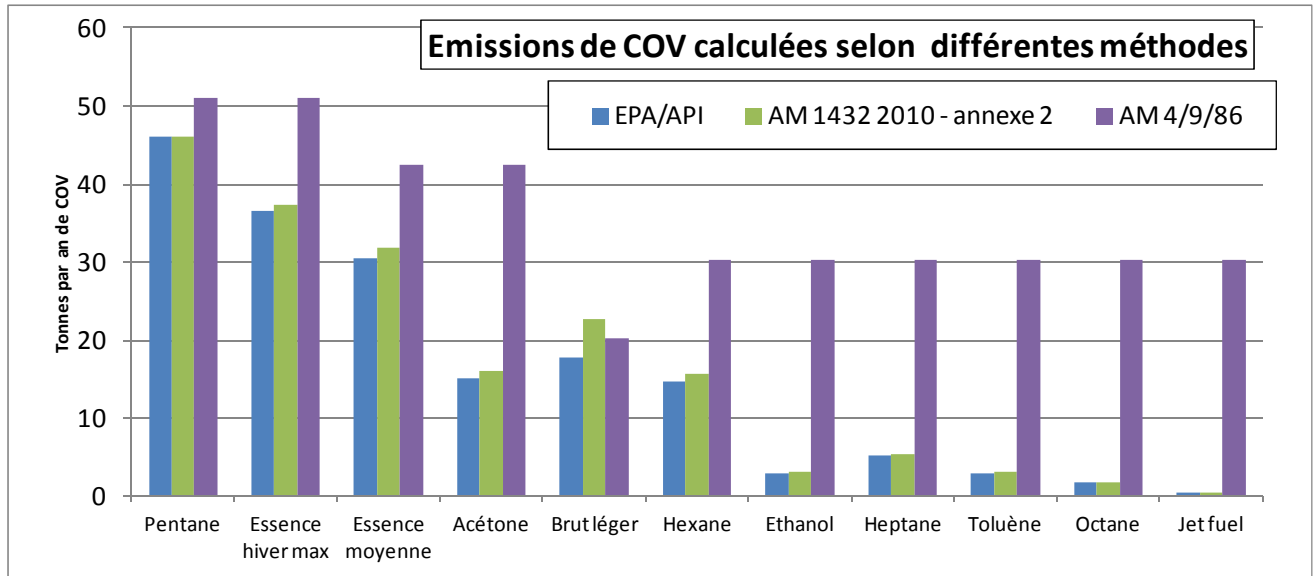
L'AM 86 prenait bien en compte les types de joint, le type d'écran, l'état des parois, mais ne prenait pas en compte toute la gamme d'accessoires qui peut équiper un toit ou écran flottant : jambes support, barre de guidage, puits de jauge, événements casse vide...

⁵ L'éthanol est un bon exemple. Avec une masse molaire de 46 il se rapproche d'un hydrocarbure en C3 (propane) alors que sa volatilité est celle d'un hydrocarbure en C7

8.2 Comparaisons

CAS D'UN RESERVOIR A TOIT FIXE

Hypothèses : volume 1500 m³ couleur blanc (référence) - situé en région lyonnaise⁶ – 15 rotation par an



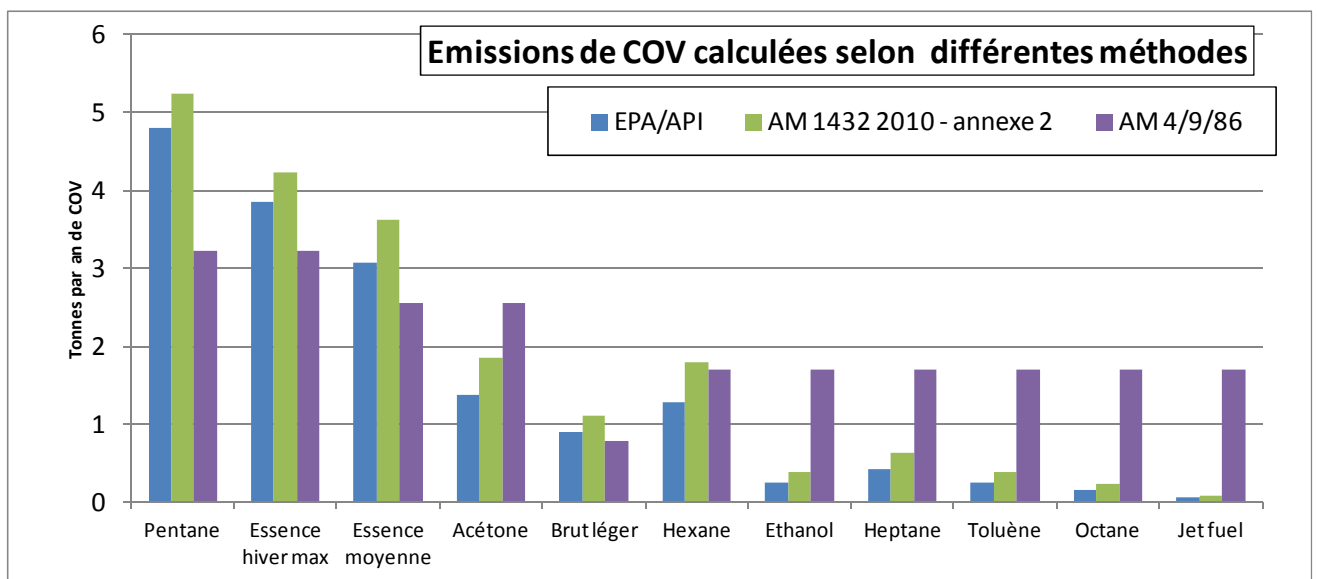
L'exercice est fait pour divers produits types, le pentane étant le plus volatil et le jet fuel le moins volatil (mais néanmoins soumis à l'obligation de quantification des émissions).

On voit bien que l'AM du 4/09/86 ne distingue en fait que 4 types de produits. Les valeurs deviennent aberrantes pour des produits moins volatils que l'essence !

Pour le brut, certains coefficients propres à la méthode EPA n'ont pas été pris en compte non plus.

CAS D'UN RESERVOIR A ECRAN FLOTTANT

Hypothèses : volume 5000 m³ couleur gris clair - situé en région lyonnaise – 15 rotation par an - écran flottant boulonné (sans poteaux), joint souple phase liquide, sans joint secondaire



Nota : la réglementation n'impose pas un toit flottant pour des produits moins volatils tels que l'octane

⁶ >Température moyenne 12.5 °C. Ecart de température jour nuit, 13°C, ensoleillement 3.9 kWh/m²/jour

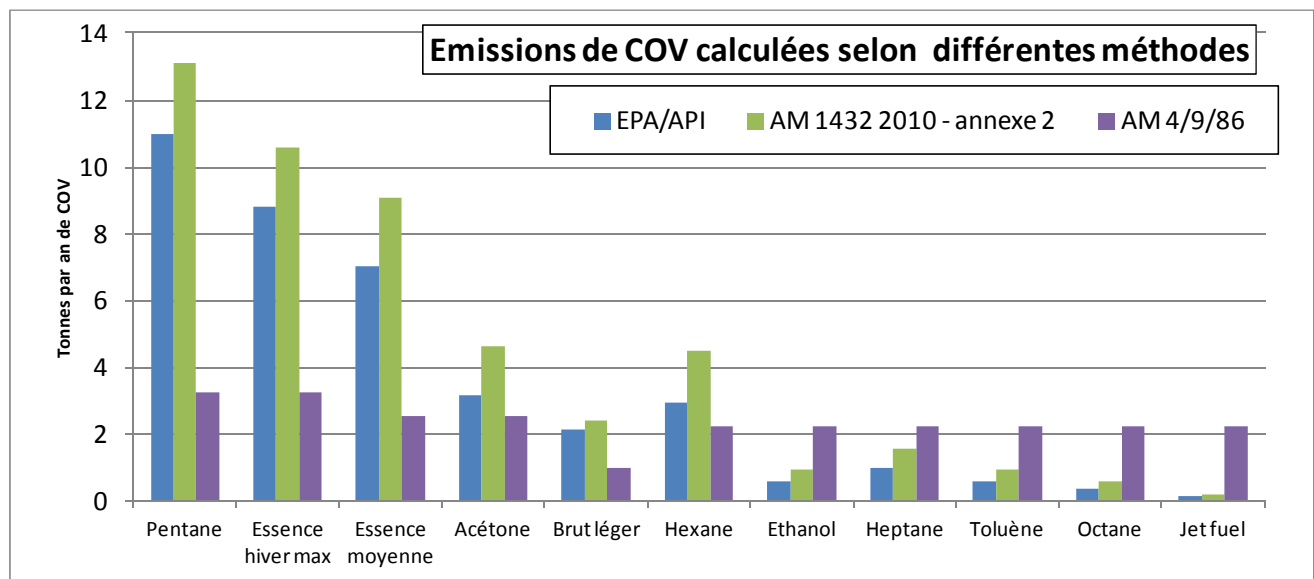
ou le jet fuel. La même série de produits a été gardée pour faire la comparaison avec un réservoir à toit fixe.

Pour les produits les plus volatils, les nouvelles méthodes induisent des chiffres supérieurs car l'AM 86 sous estimait les pertes via la perméation du toit ou les accessoires.

Le léger décalage entre AM 1432 annexe 2 et méthode EPA (annexe 3) est lié au fait que l'annexe 2 considère la tension de vapeur à 20°C alors que pour des conditions météo moyennes, la température du liquide est plutôt de 16°C.

CAS D'UN RESERVOIR A TOIT FLOTTANT

Hypothèses : volume 40 000 m³ couleur gris clair - situé en région lyonnaise – 15 rotations par an, joint souple phase liquide avec écran secondaire.



Nota : la réglementation n'impose pas un toit flottant pour des produits moins volatils tels que l'octane ou le jet fuel. La même série de produits a été gardée pour faire la comparaison avec un réservoir à toit fixe.

Pour les produits les plus volatils, les nouvelles méthodes induisent des chiffres très supérieurs car l'AM 86 sous estimait les pertes via les accessoires du toit et limitait la vitesse du vent à 11.7 km/h.

L'écart entre annexe 2 et EPA/API (annexe 3) a déjà été expliqué au paragraphe toit fixe.

CONCLUSIONS

Les nouvelles méthodes imposées dont on ne remet pas en cause la supériorité par rapport aux hypothèses très simplifiées de l'AM du 4/09/86 peuvent induire de très fortes variations dans les émissions calculées. Il faudra donc l'expliquer localement et éventuellement revoir certains arrêtés préfectoraux qui fixent des plafonds d'émissions en tonnes et non pas des objectifs de réduction.

Il faudra rappeler que les méthodes de l'AM 86 étaient imposées réglementairement et que les nouvelles le sont tout autant.