

15/83

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
HOUARI BOUMEDIENNE

DEPARTEMENT DE GENIE - MECANIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

»O«  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EVALUATION DE L'UTILISATION  
DES BUTANE-PROPANE  
DANS LES FOYERS RURAUX

Proposé et suivi par :  
M. AIT - ALI  
Maître de conférences

Etudié par :  
M. BOUKARI



## DEDICACES

- A mes chers parents
- A tous les membres de ma famille
- A la mémoire de mon oncle BOUKARI Mohand Laïd
- A mon oncle YAHMI Akli.
- A tous mes amis

je dedie ce modeste travail.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Akli', written in a cursive style and underlined with two horizontal strokes.

AIT Ali

## REMERCIEMENTS

Je saisis cette occasion pour remercier vivement  
Monsieur AIT Ali, Maître de conférences à l'E.N.P.A,  
pour ses judicieux conseils et son suivi lors de  
mon travail.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants qui  
ont contribué à ma formation d'ingénieur.

Mes remerciements seront aussi adressés à toutes les  
personnes qui m'ont apporté leur concours.



## Résumé.

Une évaluation technico-économique a été réalisée sur l'utilisation des Butane-Propane dans les foyers ruraux en remplacement du Butane, dont la production ne satisfait pas entièrement la demande en périodes de froid. Cette substitution éventuelle permettrait d'augmenter l'offre de Butane destiné aux consommations citadines de 44 à 55% pour un mélange Bupro de composition (50-50) et (25-75) respectivement. Les quantités de Butane excédentaires pourraient être commercialisées plus facilement que les excédents de Propane. C'est ainsi que les projections faites sur la base de données de la Direction G.P.L - E.R.D.P permettent d'envisager des exportations de l'ordre de 700.000 à 850.000 tonnes en 1984, si la substitution est réalisée.

L'utilisation de Bupro au lieu du propane seul, permettrait de réaliser des économies sur les poids des réservoirs contenant les besoins annuels d'une famille type de huit personnes, de l'ordre de 35 et 12% respectivement pour un mélange Bupro (50-50) et (25-75).

Par ailleurs, l'utilisation des Bupro ne semble pas poser de problèmes particuliers du point de vue combustion.

# TABLE DES MATIERES

## CHAPITRE I INTRODUCTION

### Les Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL)

- Historique .....	1
- Généralités .....	3
- Caractéristiques du marché G.P.L.....	14
- Objectif de l'étude .....	18

## CHAPITRE II METHODES D'ANALYSE

- Estimation de la consommation de Butane pour l'année 1984..	20
- Methodes de calcul et principaux résultats thermodynamiques concernant les mélanges .....	25

## CHAPITRE III METHODE DE CALCUL DES RESERVOIRS

- Type de stockage .....	35
- Règles de calcul .....	36
- Methode de calcul .....	37

## CHAPITRE IV TYPE D'INSTALLATION

- Règlement concernant le stockage à usage domestique.....	42
- Cas d'un poste de réservoirs fixes au dessus du niveau du sol...	42
- Cas d'un poste de réservoirs fixes enterrés.....	46
- Cas d'une borne d'emplissage déportée .....	48

## CHAPITRE V APPENDICES

- Appendice A : Calcul des épaisseurs des réservoirs.....	50
- Appendice B : Calcul du volume de la tôle formant le réservoir...	68
- Appendice C : Extrait des consignes de sécurité relatives à l'utilisation du gaz dans les locaux à usage d'habitation ..	69
- Conclusion et recommandation .....	73
- Bibliographie .....	74



## TABLE DES TABLEAUX

- Tableau donnant la composition en poids des Butane et propane commercial ..... 8
- Tableau donnant l'évolution de la production et de la consommation des Butane et Propane ..... 15
- Tableau donnant la répartition de la population Algérienne (urbaine et rurale) pour l'année 1984 ..... 21
- Tableau donnant la consommation moyenne de Butane par wilayate pour l'année 1984 ..... 22
- Tableau donnant la consommation moyenne de Butane par wilayate pour l'année 1984 en utilisant un mélange Butane - Propane (50-50) ..... 23
- Tableau donnant la consommation moyenne de Butane par wilayate pour l'année 1984 en utilisant un mélange Butane - Propane (25-75) ..... 24
- Tableau donnant les principaux résultats thermodynamiques concernant le mélange Bupro (50-50) ..... 29
- Tableau donnant les principaux résultats thermodynamiques concernant le mélange Bupro (25-75) ..... 33
- Tableau donnant les dimensions et le poids à vide du réservoir type 1750 kg ..... 40
- Tableau donnant les dimensions et le poids à vide du réservoir type 500 kg ..... 41

# CHAPITRE I INTRODUCTION

## I. Les gaz de pétrole liquéfiés (G.P.L)

La production des G.P.L s'est développée avec l'accroissement de la capacité de raffinage (Alger, Hassi-Messaoud, Arzew, Skikda) et celle de la production de GNL, aussi bien à Hassi R'mel qu'aux usines de liquéfaction de Skikda et Arzew.

La demande de G.P.L, principalement le butane, a pris des proportions telles que la production et/ou la capacité d'enfûtage étaient parfois insuffisantes pour la satisfaire pendant certaines périodes de grand froid. C'est ainsi qu'on a eu recours à des importations ponctuelles de butane alors que le propane était exporté en grandes quantités.

La distribution généralisée de gaz naturel aux grands centres urbains demande de gros moyens de réalisation. Elle a été entreprise vigoureusement, mais n'est pas encore achevée. Nos campagnes consomment encore du butane en grandes quantités.

### 1. Historique.

La première application gazière à l'échelle industrielle est déjà fort ancienne. C'est en 1935 que fut construit et mis en exploitation à Longuyon (France), le premier réseau de distribution de propane par canalisations. Quelques années plus tard, on commença à remplacer le gaz de houille, d'un prix de revient trop élevé dans les petites usines, par un mélange d'air et de propane. A la veille de la seconde guerre mondiale, il existait une dizaine de réseaux de distribution de propane

et deux d'air propane.

Depuis cette date, parallèlement au développement de l'industrie du raffinage et de la production de gaz naturel, les applications gazières se sont considérablement étendues.

En Algérie, la production de G.P.L (gaz de pétrole liquéfiés) date de la fin des années cinquante, juste après le début d'exploitation des gisements de pétrole et de gaz au Sahara et la construction de la raffinerie d'Alger.

La production du gaz naturel à Hassi-Rmel et son transport vers le nord du pays a commencé sur une faible échelle pour alimenter l'usine de liquéfaction d'Arzew (CAMEL) et les grandes villes au début des années soixante.



## 2-a Généralités

Les gaz de pétrole liquéfiés sont des hydrocarbures gazeux à la température ambiante. Ils ont la propriété de passer à l'état liquide dès qu'ils sont soumis à une pression relativement faible. (voir diagramme  $P, h$ ) fig I-1 et I-2.

Ces hydrocarbures liquéfiés sont :

- Le propane  $C_3H_8$
- Le butane  $C_4H_{10}$

Ils appartiennent à la famille des alcanes dont la formule générale est  $C_nH_{2n+2}$ .

## b. Origine

Les G.P.L, gaz de pétrole liquéfiés sont extraits soit du pétrole brut au cours des opérations de raffinage, soit du Gaz Naturel.

A titre indicatif, 100 tonnes de pétrole brut fournissent environ trois tonnes de G.P.L par le biais de raffinage.

Ils proviennent en Algérie des sources suivantes :

### i) Raffinage :

Alger, Arzew, Skikda, Hassi-Messaoud, à la suite du processus de distillation et de cracking du pétrole brut.

Le procédé cracking est le suivant :

En « pyrogénant » le pétrole brut, comme la houille, c'est à dire en le chauffant à l'abri de l'air, il ne brûle pas, mais se décompose.



**THERMODYNAMIC  
PROPERTIES OF  
BUTANE**

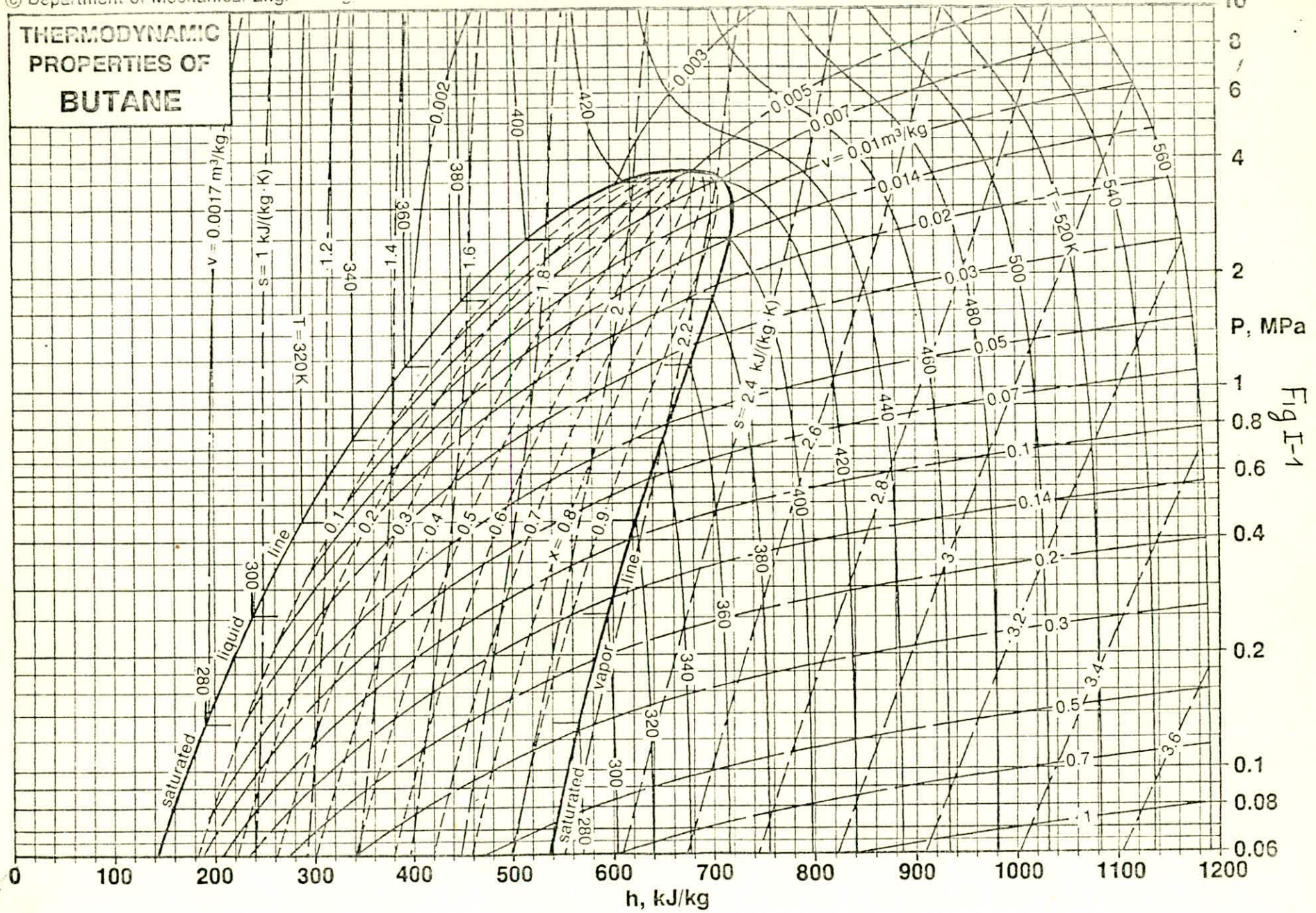


Fig I-1



**THERMODYNAMIC  
PROPERTIES OF  
PROPANE**

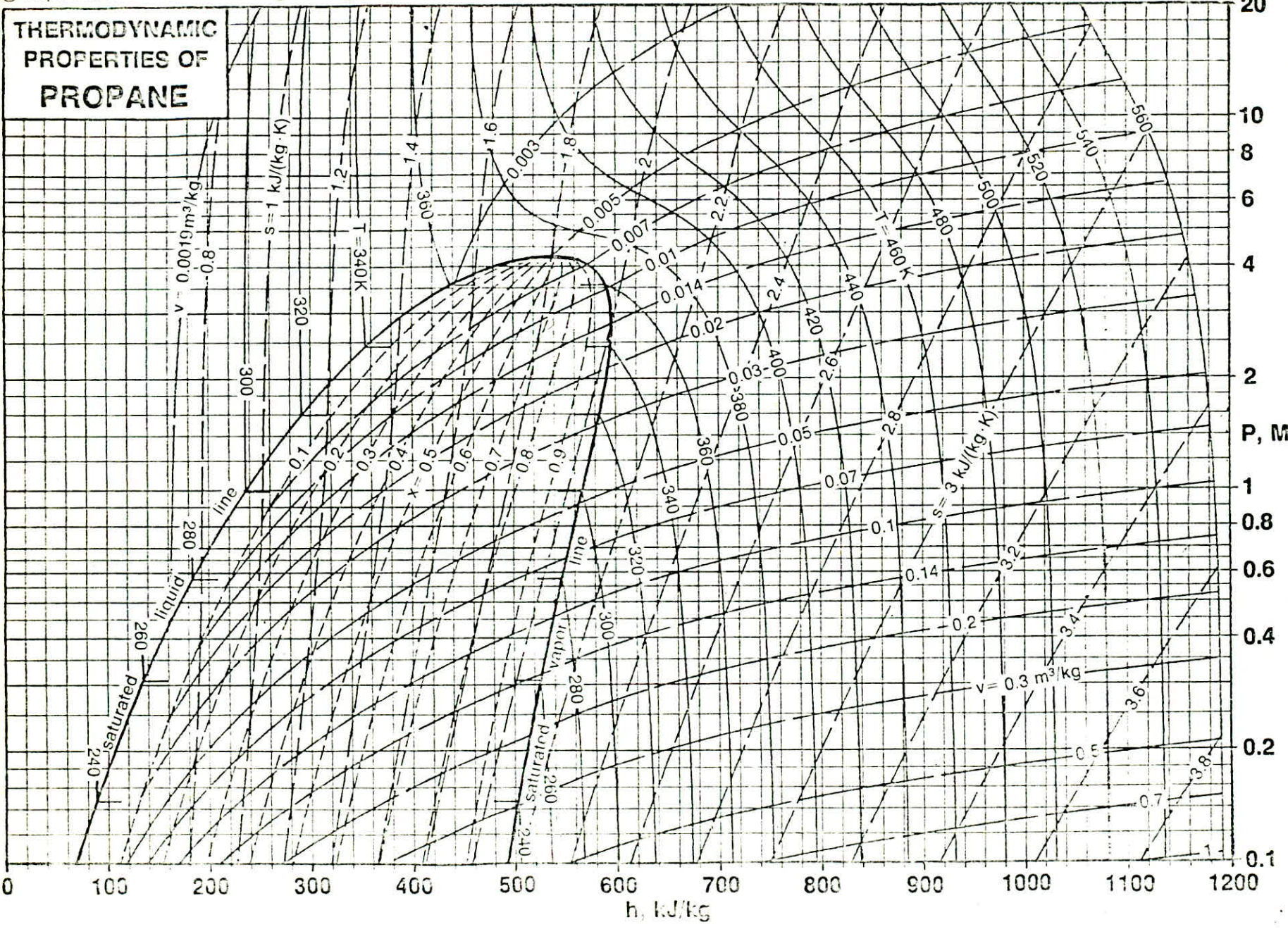


Fig I-2



Cette pyrogénéation a reçu le nom de « cracking » ou « craquage », car la chaleur fait « craquer » les chaînes d'atomes longues formant les molécules compliquées des hydrocarbures. Ces atomes se regroupent pour former d'autres chaînes plus courtes. Elle permet ainsi d'obtenir plus de produits légers comme l'essence à partir de bruts même lourds. Le cracking a été découvert par hasard en 1861, grâce à la négligence d'un ouvrier qui avait laissé surchauffer une chaudière de distillation, mais c'est seulement depuis 1913 que l'industrie utilise ce procédé.

En craquant, non pas du pétrole seulement, mais tous les produits de distillation, fuel, huile, essence, en faisant varier le degré de chauffe et la pression, on obtient toute une gamme de produits et en particulier des gaz combustibles.

ii) Des unités de traitement du gaz naturel au champ de production pour lui extraire les fractions humides dont la gasoline en premier, puis les G.P.L., avant de le transporter dans les gazoducs vers le nord.

iii) Liquéfaction du gaz naturel pour produire du GNL: les fractions butane et propane se liquéfient les premières et sont extraits des colonnes de rectification. Le reste du bilan matière contient essentiellement du méthane et de l'éthane. Une composition type de G.N.L produit en Algérie est donnée ci-dessous.

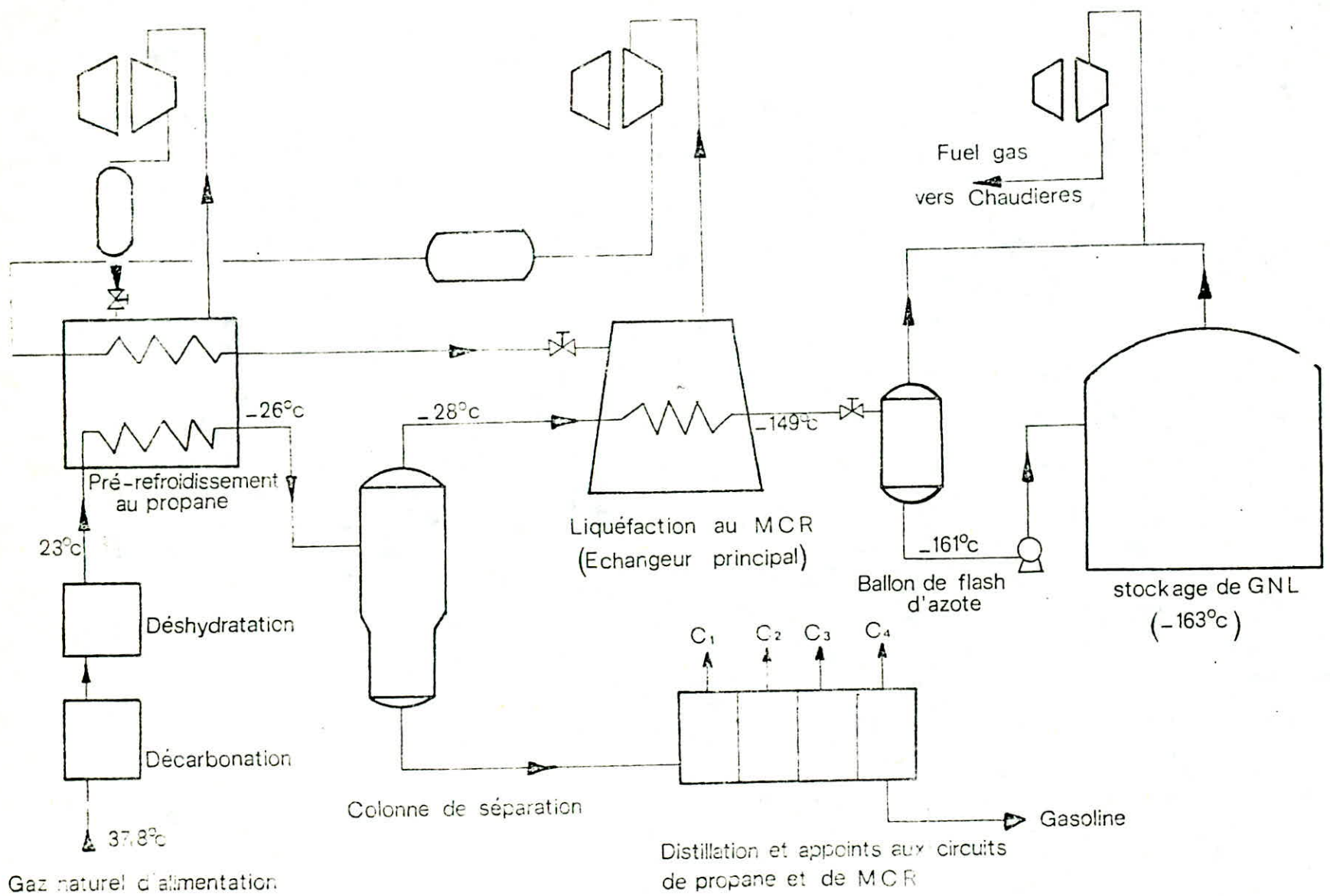
Hélium	0,210	Iso-Butane	0,500
Azote	6,010	Butane	0,300
Méthane	83,950	Iso-Pentane	0,080
Ethane	5,560	Pentane	0,110
Propane	3,150	Hexane	0,130
			<hr/>
			100,000

(extrait d'une brochure Sonatrach - Arzew)

Compresseur de Propane

Compresseur de MCR

Compresseur de Fuel Gas



Gaz naturel d'alimentation

Distillation et appoints aux circuits de propane et de MCR

Gasoline

stockage de GNL (-163°C)

Ballon de flash d'azote

Liquéfaction au MCR (Echangeur principal)

Colonne de séparation

Fuel gas vers Chaudières

-26°C

-28°C

-149°C

-161°C

23°C

37.8°C

C<sub>1</sub>

C<sub>2</sub>

C<sub>3</sub>

C<sub>4</sub>

Déshydratation

Décarbonation

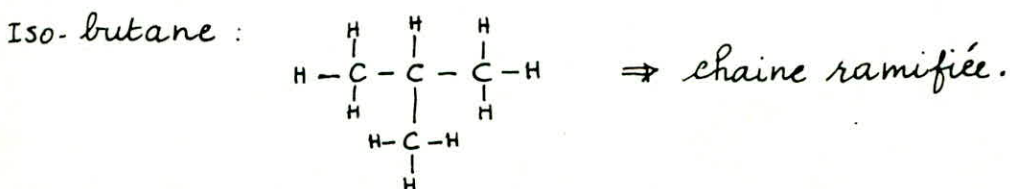
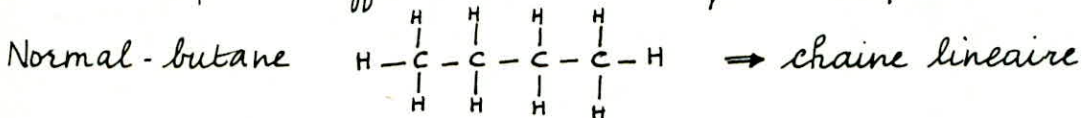
Pré-refroidissement au propane

### c- Caractéristiques

Les gaz de pétrole liquéfiés, essentiellement le propane commercial et le butane commercial ne sont pas des produits chimiquement purs, c'est à dire ne contenant qu'un seul hydrocarbure. Une composition type serait la suivante :

Butane commercial	Poids (%)	Propane commercial	Poids (%)
Ethane $C_2H_6$	Traces	Méthane $CH_4$	Traces
Propane $C_3H_8$	28,00	Ethane $C_2H_6$	3,20
Normal butane $NC_4H_{10}$	48,80	Propane $C_3H_8$	96,30
Iso-butane $IC_4H_{10}$	22,50	Normal-butane $NC_4H_{10}$	0,30
Heptane $C_5H_{12}$	0,70	Iso-butane $IC_4H_{10}$	0,20
	100,00		100,00

Les hydrocarbures ayant plus de trois atomes de carbone ont tendance à former deux ou plusieurs isomères, corps de même composition avec les molécules disposées différemment. On a par exemple :





#### d- Tension de vapeur

Les gaz de pétrole liquéfiés sont distribués dans des récipients sous pression à l'intérieur desquels ils se présentent à l'état liquide, en équilibre avec une phase gazeuse.

A chaque température du liquide correspond une pression d'équilibre dite « Tension de vapeur ». Par exemple les diagrammes fig I-1 et I-2 nous donnent:

Température en(°C)	Pression de vap. effect. en (bar)	
	Butane	Propane
25	2,40	9,35
35	3,26	12,00
50	4,98	17,10

Ainsi les pressions régnant dans les récipients sont :

- Suffisamment élevées aux températures ambiantes normales pour permettre une distribution facile dans les canalisations.
- Suffisamment faibles pour permettre l'utilisation de récipients relativement légers dont la tare est voisine de la charge. Par exemple les bouteilles de butane commercialisées ont une charge de 13 kg et un poids total approximatif de 24 kg.

#### e - Température normale d'ébullition.

La température normale d'ébullition est de l'ordre de 0°C pour le butane et de -42°C pour le propane alors qu'elle est de 100°C pour l'eau.



Pour ces températures ou pour toutes les valeurs inférieures, la pression reynant dans le récipient est égale ou inférieure à la pression atmosphérique et par conséquent, l'ouverture du robinet peut donner lieu à une entrée d'air dans le récipient, ce qui pourrait entraîner la formation d'un mélange comburant pour la phase gazeuse.

f. Masse volumique - densité.

Produits	Masse volumique		Densité	
	Liquide kg/dm <sup>3</sup>	Gaz kg/m <sup>3</sup>	Liquide	Gaz
Butane	0,580	2,590	0,580	2,040
Propane	0,510	2,020	0,510	1,560
Eau	1,000	—	1,000	—
Air	—	1,293	—	1,293

Les gaz de pétrole liquéfiés sont, en phase gazeuse, plus lourds que l'air. Cette propriété entraîne la nécessité de prévoir, dans les habitations, des orifices de ventilation haute et basse et d'éviter toute installation dans des caves ou locaux en contre-bas dans lesquels la ventilation naturelle ne pourrait s'effectuer. Il y'a également lieu de prendre des précautions contre les infiltrations dans les égouts, puits, etc.

g. Dilatation

Il y'a lieu de tenir compte du coefficient de dilatation très élevé de ces gaz lorsqu'ils sont à l'état liquide. Aussi les récipients destinés à les emmagasiner

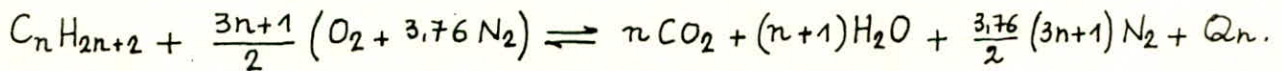
ne doivent - ils jamais être remplis complètement, sinon la moindre dilatation consécutive à une élévation de température pourrait en provoquer la rupture, à moins que des organes de sûreté n'évacuent l'excès de volume.

h. Pouvoir calorifique.

C'est la quantité de chaleur dégagée, dans les conditions normales, par la combustion de  $1\text{m}^3$  du combustible s'il est gazeux, ou de  $1\text{kg}$  s'il est solide.

On distingue un pouvoir calorifique supérieur PCS pour lequel l'eau de la combustion est liquide, et un pouvoir calorifique inférieur PCI pour lequel cette eau est une vapeur.

La combustion de ces hydrocarbures s'écrit :



La combustion d'une mole de ces hydrocarbures dégage une quantité de chaleur  $Q_n$  égale à :

$Q_n = 527,6$  kcal pour le propane

$Q_n = 684,7$  kcal pour le butane.

Le pouvoir calorifique supérieur PCS du butane ainsi que celui du propane seront donc de :

PCS	Butane (kcal)	propane (kcal)
1 kg	11 805	11 991
1 m <sup>3</sup>	30 567	23 553

Les gaz de pétrole liquéfiés sont caractérisés par un pouvoir calorifique élevé par rapport aux autres combustibles.

#### i- Limite d'inflammabilité

Les limites d'inflammabilité d'un mélange air-gaz sont les compositions extrêmes au deçà et delà desquelles aucune inflammation n'est possible.

limites d'inflammabilité dans l'air :

	Butane	Propane
Limite inférieure	1,5%	2,0%
Limite supérieure	8,5%	9,5%

Ces marges nettement restreintes aussi bien pour le butane et le propane que pour les autres combustibles gazeux contribuent à leur utilisation relativement sécuritaire.

#### j- Toxicité

Les G.P.L constitués d'hydrocarbures ne sont pas toxiques, ils sont exempts d'oxyde de carbone, élément toxique.

#### k- Odorisation.

Inodores à l'état naturel, ils doivent présenter d'après des spécifications officielles, une "odeur caractéristique". C'est la raison pour laquelle le butane commercial (comme le gaz naturel) et le propane commercial sont odorisés d'une façon caractéristique de façon à les rendre décelable à l'odorat.



## 2. Action physico-chimique.

- . Les gaz de pétrole liquéfiés n'attaquent pas les métaux usuels.
  - . Leur faible viscosité leur confère une propension toute particulière pour s'infiltrer par les orifices les plus étroits tels les pores de certains métaux. La viscosité du butane est encore plus faible que celle du propane.
  - . A l'état gazeux, ils se dissolvent facilement dans un très grand nombre de substances : graisses, huiles, vernis, caoutchouc naturel, etc, dont ils modifient fâcheusement les propriétés. A l'état liquide, ils dissolvent ces mêmes substances.
- Aussi les matières choisies pour la confection des joints, raccords, lubrifiants, canalisations souples, devront-elles être sélectionnées avec le plus grand soin de manière à ne pas être affectées par leur contact avec les hydrocarbures.

## II-1 Caractéristique du marché G.P.L

Une enquête de marché réalisée en mars 1980 par la direction G.P.L, révèle que malgré le taux de pénétration du gaz naturel 13%, 95% des ménages algériens utilisent le gaz butane comme unique source d'énergie ou comme appoint.

Près de 50% des ménages ayant le gaz naturel utilisent aussi le gaz butane pour le chauffage.

- Très forte saisonnalité des ventes variant du simple (juillet) au double (décembre).
- Forte demande surtout en période de pointe à cause de l'utilisation du chauffage.
- Offre (capacité de production) nettement insuffisante en période de pointe.
- Tension sur le marché qui engendre des tendances au sur-stockage par les utilisateurs.
- Déséquilibre du rapport offre/demande en butane (offre < demande).
- Déséquilibre du rapport offre/demande en propane (offre > demande).
- Déséquilibre du rapport ventes butane / ventes propane.  
(96% des ventes G.P.L sont du butane).

## 2- Evolution de la production et de la consommation butane

Tableau 1.1

En milliers de tonnes.

ANNEES	PRODUCTION	T.P (%)	CONSOMMATION	T.C (%)	CONSOMMATION (%) PRODUCTION
1975	284		344	+ 21	82
1976	329	+16	420	+22	78
1977	295	-10	453	+08	65
1978	366	+24	536	+18	68
1979	438	+20	629	+17	70
1980	545	+24	721	+15	75
1981	648	+19	742	+03	87

Le tableau 1.1 montre un déficit annuel de production variant de 25 à 35% qui est comblé par un recours aux importations particulièrement durant la période de grands froids.

## 3- Evolution de la production et de la consommation propane

Tableau 1.2

En milliers de tonnes

ANNEES	PRODUCTION	CONSOMMATION	SURPLUS
1976	309	23	286
1977	246	21	225
1978	322	26	296
1979	363	27	336
1980	398	28	370
1981	700	28,5	6,71,5



Ce tableau montre que le propane est sous utilisé.

En effet, la part du propane dans la consommation GPL est insignifiante eu égard à la production de celui-ci comme le montre le tableau ci-dessous:

Tableau 1.3

En milliers de tonnes

ANNEES	CONSOMMATION BUTANE	CONSOMMATION PROPANE	$\frac{\text{CONSOMM. PROPANE}}{\text{CONSOMM. BUTANE}} (\%)$
1975	344	16	5
1976	420	23	5
1977	453	21	5
1978	536	26	6
1979	629	27	4
1980	721	28	4
1981	742	28,5	4

Le tableau 1.4 nous donne pour l'année 1981 les productions et les demandes de butane et de propane ainsi que les écarts entre elles-ci.

Tableau 1.4

En milliers de tonnes.

PRODUITS	PRODUCTION	DEMANDE	ECART
BUTANE	648	1.061	-413
PROPANE	700**	28*	+672

\* Réalisation ventes.

\*\* Prévisions.

Paradoxe : On importe du butane et on exporte du propane alors qu'on pourrait convertir une partie de la demande de butane, en propane moyennant une petite installation réglementaire pour usage rural.

Afin de réduire la tension sur le marché butane, il est nécessaire d'orienter la demande vers l'utilisation généralisée du propane dans les foyers ruraux.

Il faudra pour cela :

- Favoriser la distribution publique du propane dans le secteur domestique des zones rurales dépourvues de gaz naturel, avec éventuellement une révision des prix des butane et propane en vue de créer une incitation tarifaire qui pousserait les consommateurs vers ce changement de produit et amortirait le prix d'une installation réglementaire.

### III Objectif de cette étude.

Cette étude a pour objet d'évaluer l'utilisation éventuelle d'un mélange butane - propane pour répondre aux besoins des milieux ruraux, sous l'aspect économique et technique, de façon à résorber les pénuries ponctuelles de butane qui apparaissent parfois en hiver pendant les périodes de grand froid.

La partie statistique et prospective consistera à faire la part des demandes de butane par la population urbaine et la population rurale, qui elle est susceptible de se reconvertir au propane ou à un mélange butane - propane. Les estimations seront données par wilayates, pour lesquelles les projections de population seront données pour l'année 1984. Trois alternatives seront évaluées:

- Consommation butane
- Consommation Bupro 50-50
- Consommation Bupro 75-25.

Les consommations totales obtenues seront confrontées aux prévisions de production afin de faire ressortir les excès de production de butane ou les pénuries, selon les alternatives.

L'évaluation technique consistera à faire le point sur les implications d'utilisation des mélanges Bupro sur les poids des réservoirs selon trois valeurs de températures ambiantes 50, 35 et 25°C.

Ces valeurs représentent des moyennes hypothétiques caractérisant



le sud, les hauts plateaux et le littoral du pays respectivement.

Des équations et des hypothèses simplificatrices seront utilisées pour décrire le comportement thermodynamique des mélanges Bupro à partir des propriétés des constituants purs.

Le chapitre II donnera les méthodes de calcul et les principaux résultats thermodynamiques concernant les mélanges Bupro.

Le chapitre III résumera les règles légales de calcul des réservoirs et donnera les principaux résultats pour les trois valeurs de températures ambiantes.

Le chapitre IV résumera les règles d'installation des réservoirs de stockage de Bupro à usage domestique et les schémas d'une installation type.

Le chapitre V constituera la discussion des résultats obtenus, les principales conclusions et recommandations faites sur cette étude.

# CHAPITRE II METHODES D'ANALYSE

Ce chapitre comprend deux points essentiels:

Le premier point consiste à estimer la consommation de butane pour l'année 1984.

Le deuxième point nous donne les méthodes de calcul et les principaux résultats thermodynamiques concernant les mélanges.

## I. Estimation de la consommation de butane.

Le tableau 2.1 de la page suivante nous donne la répartition de la population algérienne (urbaine et rurale) pour l'année 1984.

Comme les populations rurales sont susceptibles de se reconverter au propane ou à un mélange butane - propane, trois cas ont été considérés:

- . La population rurale consomme du butane.
- . La population rurale consomme un mélange bupro (50-50)
- . La population rurale consomme un mélange bupro (75-25)

Les tableaux 2.2, 2.3 et 2.4 des pages suivantes nous donnent respectivement dans chaque cas les estimations de consommation de butane par wilayates et par conséquent les consommations totales.

soit: 1 189 681 955 KG dans le premier cas.  
871 206 628 KG dans le deuxième cas.  
711 968 964 KG dans le troisième cas.

En comparant chacune de ces consommations avec la quantité prévue de butane à produire, il en ressort les excès regroupés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2.0

PRODUCTION EN (KG)	CONSUMMATION EN (KG)	EXCES EN (KG)	EXCES PRODUCTION (%)
1 565 000 000	1 189 681 955	375 318 045	23,98
	871 206 628	693 793 372	44,33
	711 968 964	853 031 036	54,50



Tableau 2.1: REPARTITION DE LA POPULATION ALGERIENNE EN 1984.  
(Urbaine - Rurale).

WILAYATE	Population urbaine	Population rurale	Population totale.
ADRAR	39 125	135 019	174 144
EL-ASNAM	298 824	776 887	1.075 711
LAGHOUAT	279 418	152 774	432 192
O.E. BOUAGHI	180 185	323 768	503 953
BATNA	292 166	450 469	742 653
BEJAIA	208 698	481 925	690 623
BISKRA	268 272	420 954	689 226
BECHAR	109 077	75 504	184 581
BLIDA	552 996	564 232	1 117 228
BOUIRA	98 397	364 409	462 806
TAMANRASSET	236 41	25 030	48 671
TEBESSA	189 078	281 355	470 433
TLEMCEM	302 806	398 735	701 541
TIARET	277 157	525 812	802 969
TIZI-OUZOU	254 720	830 017	1 084 737
ALGER	2 248 626	276 335	2 524 961
DJELFA	213 881	269 398	483 279
JIJEL	122 725	491 824	614 549
SETIF	409 034	819 880	1 228 914
SAIDA	200 901	268 265	469 166
SKIKDA	211 424	384 566	595 990
SIDI-BEL-ABBES	310 182	323 319	633 501
ANNABA	388 606	246 503	635 109
GUELMA	246 846	431 504	677 350
CONSTANTINE	570 507	266 743	837 250
MEDEA	159 914	420 524	580 438
MOSTAGANEM	264 004	625 240	889 244
M'SILA	174 431	369 072	543 503
MASCARA	193 230	322 064	515 294
OUARGLA	170 827	104 052	274 879
DRAN	785 551	149 559	935 110
ALGERIE	10.049 660	11 580 921	21 630 581



Tableau 2.2 CONSOMMATION MOYENNE DE BUTANE (en KG)  
POUR L'ANNEE 1984 .

WILAYATE	CONSUM- PAR HABITANT	CONSOMMATION URBAINE	CONSOMMATION RURALE	CONSOMMATION TOTALE
ADRAR	55	2.151 875	7 426 045	9.577 920
EL-ASNAM	48	14 343 552	37 290 576	51 634 128
LAGHOUAT	57	15 926 826	8 708 118	24 634 944
O.E.BOUAGHI	64	11 531 840	20 721 152	32 252 992
BATNA	48	14 023 968	21 622 512	35 646 480
BEJAIA	61	12 730 578	29 397 425	42 128 003
BISKRA	48	12 877 056	20 205 792	33 082 848
BECHAR	55	5 992 235	4 152 720	16 151 190
BLIDA	48	26 543 808	27 083 136	53 626 944
BOUIRA	79	7 773 363	28 788 311	36 561 674
TAMANRASSET	57	1 347 537	1 426 710	2 774 247
TEBESSA	64	12 100 992	1 601 920	13 702 912
TLEMCEEN	51	15 443 106	19 936 750	35 379 856
TIARET	48	13 303 536	25 238 976	38 542 512
TIZI-OUZOU	79	20 122 880	65 571 343	85 694 223
ALGER	48	107 934 048	13 264 080	121 198 128
DJELFA	85	18 179 885	22 898 830	41 078 715
JIJEL	61	7 486 225	30 001 264	37 487 489
SETIF	49	20 042 666	40 174 120	60 216 786
SAIDA	62	12 455 862	16 632 430	29 088 292
SKIKDA	50	10 571 200	19 228 300	29 799 500
SIDI-BEL-ABBES	51	15 819 282	16 489 269	32 308 551
ANNABA	50	19 430 300	12 325 150	31 755 450
GUELMA	50	12 292 300	21 575 200	33 867 500
CONSTANTINE	50	28 525 350	13 337 150	41 862 500
MEDEA	85	13 592 690	35 744 540	49 337 230
MOSTAGANEM	48	12 672 192	30 011 520	42 683 712
M'SILA	49	8 547 119	18 084 528	26 631 647
MASCARA	62	11 980 260	19 967 968	31 948 228
OUARGLA	57	9 737 139	5 930 964	15 668 103
ORAN	48	37 706 448	7 178 832	44 885 280
MOYENNE NATIONALE	55	552 731 300	636 950 655	1.189 681 955



Tableau 2.3 : CONSOMMATION MOYENNE DE BUTANE (en KG) POUR L'ANNEE 1984 (en utilisant un mélange bupro 50-50)

WILAYATE	CONSOMMATION URBAINE	CONSOMMATION RURALE	CONSOMMATION TOTALE
ADRAR	2 151 875	3 413 023	5 864 898
EL-ASNAM	14 343 552	18 645 288	32 988 840
LAGHOUAT	15 926 826	4 354 059	20 280 885
O.E.BOUAGHI	11 531 840	10 360 576	21 892 416
BATNA	14 023 968	10 811 256	24 835 224
BEJAIA	12 730 578	14 698 713	27 429 291
BISKRA	12 877 056	10 102 896	22 979 952
BECHAR	5 999 235	2 076 360	8 075 595
BLIDA	26 543 808	13 541 568	40 085 376
BOUIRA	7 773 363	14 394 156	22 167 519
TAMANRASSET	1 347 537	713 355	2 060 892
TEBESSA	12 100 992	800 960	12 901 952
TLEMCEM	15 443 106	9 968 375	25 411 481
TIARET	13 303 536	12 619 488	25 923 024
TIZI-OUZOU	20 122 880	32 785 672	52 908 552
ALGER	107 934 048	6 632 040	114 566 088
DJELFA	18 179 885	11 449 415	29 629 300
JIJEL	7 486 225	15 000 632	22 486 857
SETIF	20 042 666	20 087 060	40 129 726
SAIDA	12 455 862	8 316 215	20 772 077
SKIKDA	10 571 200	9 614 150	20 185 350
SIDI-BEL-ABBES	15 819 282	8 244 635	24 063 917
ANNABA	19 430 300	6 162 575	18 592 875
GUELMA	12 292 300	10 787 600	23 079 900
CONSTANTINE	28 525 350	6 668 575	35 193 925
MEDEA	13 592 690	17 872 270	31 464 960
MOSTAGANEM	12 672 192	15 005 760	27 677 952
M'SILA	8 547 119	9 042 264	17 589 383
MASCARA	11 980 260	9 983 984	21 964 244
OUARGLA	9 737 139	2 965 482	12 702 621
ORAN	37 706 448	3 589 416	41 295 864
MOYENNE NATIONALE	552 731 300	318 475 328	871 206 628



Tableau 2.4: CONSOMMATION MOYENNE DE BUTANE (en KG) POUR  
L'ANNEE 1984 (en utilisant un mélange bupro 75-25)

WILAYATE	CONSOMMATION URBAINE	CONSOMMATION RURALE	CONSOMMATION TOTALE
ADRAR	2 151 875	1 856 512	4 008 387
EL-ASNAM	14 343 552	9 322 644	23 666 196
LAGHOUAT	15 926 826	2 177 030	18 103 856
O.E. BOUAGHI	11 531 840	5 180 228	16 712 128
BATNA	14 023 968	5 405 628	19 429 596
BEJAIA	12 730 578	7 349 357	20 079 935
BISKRA	12 877 056	5 051 448	17 928 504
BECHAR	5 999 235	1 038 180	7 037 415
BLIDA	26 543 808	6 770 784	33 314 592
BOUIRA	7 773 363	7 197 078	14 970 441
TAMANRASSET	1 347 537	356 678	1 704 215
TEBESSA	12 100 992	400 480	12 501 472
TLEMCEM	15 443 106	4 984 188	20 427 294
TIARET	13 303 536	6 309 744	19 613 280
TIZI-OUZOU	20 122 880	16 392 836	36 515 716
ALGER	107 934 048	3 316 020	111 250 068
DJELFA	18 179 885	5 724 708	23 904 593
JIJEL	7 486 225	7 500 316	14 986 541
SETIF	20 042 666	10 043 530	30 086 196
SAIDA	12 455 862	4 158 108	16 613 970
SKIKDA	10 571 200	4 807 075	15 378 275
SIDI-BEL-ABBES	15 819 282	4 122 318	19 941 600
ANNABA	19 430 300	3 081 288	22 511 588
GUELMA	12 292 300	5 393 800	17 686 100
CONSTANTINE	28 525 350	3 334 288	31 859 638
MEDEA	13 592 690	8 936 135	22 528 825
MOSTAGANEM	12 672 192	7 502 880	20 175 072
M'SILA	8 547 119	4 521 132	13 068 251
MASCARA	11 980 260	4 991 992	16 972 252
OUARGLA	9 737 139	1 482 741	11 219 880
ORAN	37 706 448	1 794 708	39 501 156
MOYENNE NATIONALE	552 731 300	159 237 664	711 968 964



## II Methodes de calcul et principaux résultats thermodynamiques concernant les mélanges.

### 1. Mélange Butane-Propane (50-50)

#### 1.1 Pression du mélange.

On fait un mélange de 50 grammes de butane et de 50 grammes de propane.

Le nombre de mole de butane est :

$$n_1 = \frac{50}{M_b} = \frac{50}{58} = 0,862 \text{ mole} \quad (M_b = 58 \text{ g représente la masse molaire du butane})$$

Le nombre de mole de propane est :

$$n_2 = \frac{50}{M_p} = \frac{50}{44} = 1,136 \text{ mole} \quad (M_p = 44 \text{ g représente la masse molaire du propane}).$$

Le nombre de mole de mélange sera égal à :

$$n = n_1 + n_2 = 0,862 + 1,136 = 1,998 \text{ mole} .$$

La fraction molaire de butane est :

$$x_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{0,862}{1,998} = 0,432$$

La fraction molaire de propane est :

$$x_2 = \frac{n_2}{n} = \frac{1,136}{1,998} = 0,568$$

Si  $P_1^0$  et  $P_2^0$  désignent respectivement les pressions de vapeur du butane pur et du propane pur à une température donnée, leur tension de vapeur dans le mélange sera donnée par :

$$\begin{cases} P_1 = P_1^0 \cdot x_1 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_2 = P_2^0 \cdot x_2 & (2) \end{cases}$$

et la tension de vapeur du mélange par :

$$P = P_1 + P_2 = P_1^0 \cdot x_1 + P_2^0 \cdot x_2$$

soit :  $P = P_1^0 + (P_2^0 - P_1^0) \cdot x_2$  (3) (D'après les lois de Raoult relatives aux solutions idéales)

Les pressions  $P_1^0$  et  $P_2^0$  des composants purs en fonction de la température sont données par l'équation suivante dérivée à partir de l'équation de Clausius - Clapeyron.

$$P_i^0 = \text{Exp}\left[I_i \left(1 - \frac{T_{bi}}{T}\right)\right] \quad [4] \quad (\text{Voir bibliographie})$$

Dans laquelle :

-  $I_i$  représente la constante caractéristique du composant  $i$

$$\text{soit: } \begin{cases} I_1 = 10,103 \text{ pour le butane.} \\ I_2 = 9,958 \text{ pour le propane.} \end{cases}$$

-  $T_{bi}$  représente la température normale d'ébullition du composant  $i$ .

$$\text{soit: } \begin{cases} T_{b1} = 272,66 \text{ }^\circ\text{K pour le butane.} \\ T_{b2} = 230,55 \text{ }^\circ\text{K pour le propane.} \end{cases}$$

Les pressions des composants purs ainsi que celle du mélange en fonction de la température sont regroupées dans le tableau 2.5 suivant :

Tableau 2.5

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$P_1^0$ (bar)	1,01	1,22	1,46	1,73	2,04	2,40	2,81	3,26	3,77	4,34	4,98
$P_2^0$ (bar)	4,61	5,36	6,22	7,16	8,20	9,35	10,60	12,00	13,60	15,20	17,10
P (bar)	3,05	3,57	4,16	4,81	5,54	6,35	7,24	8,22	9,35	10,51	11,86

## 1.2 Equilibre vapeur-liquide

Pour chaque pression  $P$  du mélange, le liquide se trouve en équilibre avec sa phase gazeuse. Chaque état d'équilibre est caractérisé par une constante  $K_i$  appelée constante d'équilibre définie par le rapport  $\frac{y_i}{x_i}$ .

Celle-ci est donnée par l'équation suivante:

$$K_i = P^{-1} \exp\left[I_i \left(1 - \frac{T_{bi}}{T}\right)\right] \quad [4']$$

### 1.3 Composition du liquide

La composition du liquide en fonction de la température est donnée par les équations suivantes :

$$\begin{cases} x_1 = \frac{1-k_2}{k_1-k_2} & [5] \\ x_2 = \frac{1-k_1}{k_2-k_1} & [6] \end{cases}$$

### 1.4 Composition de la vapeur :

Comme les deux constituants n'ont pas à l'état pur mêmes tensions de vapeur, la composition de la vapeur n'est pas la même que celle du mélange liquide avec lequel elle est en équilibre. La composition de celle-ci en fonction de la température est donnée par l'équation suivante :

$$y_i = k_i \cdot x_i \quad [7]$$

$$\text{soit : } \begin{cases} y_1 = k_1 \cdot x_1 \\ y_2 = k_2 \cdot x_2 \end{cases}$$

### 1.5 Température du point de rosée :

La température du point de rosée du mélange est obtenue en résolvant l'équation suivante par la méthode de Newton-Raphson.

$$\begin{cases} f_r = x_1 \exp\left[-I_1\left(1 - \frac{T_{b1}}{t}\right)\right] + (1-x_1) \exp\left[-I_2\left(1 - \frac{T_{b2}}{t}\right)\right] - \frac{1}{P} & [8] \\ f'_r = \frac{\partial f_r}{\partial t} = -t^{-2} \left\{ I_1 T_{b1} \cdot x_1 \exp\left[-I_1\left(1 - \frac{T_{b1}}{t}\right)\right] + I_2 T_{b2} (1-x_1) \exp\left[-I_2\left(1 - \frac{T_{b2}}{t}\right)\right] \right\} \\ t_{r_{n+1}} = t_{r_n} - \frac{f_r}{f'_r} \end{cases}$$



## 1.6 Température du point de bulle.

La température du point de bulle du mélange est obtenue similairement en résolvant l'équation suivante par la méthode de Newton - Raphson.

$$\left\{ \begin{array}{l} f_b = x_1 \exp\left[I_1\left(1 - \frac{T_{b1}}{T}\right)\right] + (1-x_1) \exp\left[I_2\left(1 - \frac{T_{b2}}{T}\right)\right] - P \quad [9] \\ f'_b = \frac{\partial f_b}{\partial T} = k^{-2} \left\{ I_1 T_{b1} \cdot x_1 \exp\left[I_1\left(1 - \frac{T_{b1}}{T}\right)\right] + I_2 T_{b2} (1-x_1) \exp\left[I_2\left(1 - \frac{T_{b2}}{T}\right)\right] \right\} \\ t_{bn+1} = t_{bn} - \frac{f_b}{f'_b} \end{array} \right.$$

Le tableau 2.6 de la page suivante nous donne en fonction de la température :

- Les valeurs des constantes d'équilibre ( $k_1$  et  $k_2$ ),
- La composition du liquide ( $x_1$  et  $x_2$ ),
- La composition de la vapeur ( $y_1$  et  $y_2$ ),
- La température du point de rosée ( $t_r$ ),
- La température du point de bulle ( $t_b$ ).

Tableau 2.6

T (°C)	K <sub>1</sub>	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	t <sub>r</sub> (°C)	t <sub>b</sub> (°C)
0	0,352	0,448	0,148	1,542	0,552	0,852		
5	0,340	0,446	0,152	1,532	0,554	0,848		
10	0,347	0,444	0,154	1,522	0,556	0,846		
15	0,356	0,444	0,158	1,515	0,556	0,842		
20	0,364	0,443	0,161	1,507	0,557	0,839		
25	0,372	0,442	0,164	1,499	0,558	0,836	40,3	24,5
30	0,379	0,442	0,167	1,493	0,558	0,833		
35	0,387	0,442	0,171	1,487	0,558	0,829	50,3	34,5
40	0,393	0,438	0,172	1,473	0,562	0,828		
45	0,402	0,441	0,177	1,471	0,559	0,823		
50	0,407	0,435	0,177	1,457	0,565	0,823	65,5	50,0

D'après ce tableau on voit que la vapeur est beaucoup plus riche en propane (constituant le plus volatil) qu'en butane. Par conséquent pendant l'utilisation, on commencera d'abord par soutirer du propane puis du butane.

### 1.7 Densité :

La densité du mélange gazeux est obtenue en multipliant la densité de chaque constituant par son pourcentage dans le mélange et en faisant la somme des produits obtenus.

soit :

Composants	Pourcentage	Densité	Produit
Butane	0,50	2,04	1,02
Propane	0,50	1,56	0,78
			<hr/>
			1,80

La densité du mélange gazeux est donc égale à :  $d = 1,80$

Ce mélange butane-propane est, en phase gazeuse plus lourd que l'air. Les remarques déjà faites pour le butane et le propane ainsi que les précautions à prendre sont donc valables pour ce mélange.

### 1.8 Limite d'inflammabilité

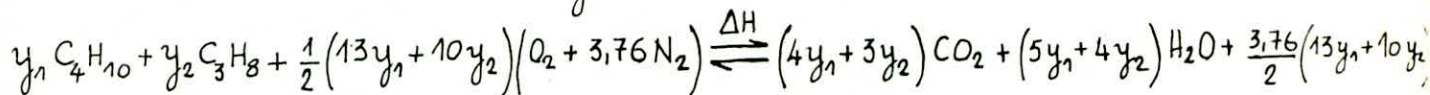
Les limites d'inflammabilité dans l'air de ce mélange sont :

Limite inférieure LI = 1,8%

Limite supérieure LS = 11,1%

### 1.9 Pouvoir calorifique

La combustion de ce mélange s'écrit :



L'enthalpie de la réaction  $\Delta H$  (dans les conditions standards 298 °K) est égale à la différence entre la somme des enthalpies de formation des corps du deuxième membre et celle des corps du premier membre.

$$\Delta H = \left( \sum \Delta H_f \text{ des corps du 2}^{ème} \text{ membre} \right) - \left( \sum \Delta H_f \text{ des corps du 1}^{er} \text{ membre} \right).$$



Soit :

$$\Delta H = [(4y_1 + 3y_2)\Delta H_{f_{CO_2}} + (5y_1 + 4y_2)\Delta H_{f_{H_2O}}] - [y_1 \cdot \Delta H_{f_{C_4H_{10}}} + y_2 \cdot \Delta H_{f_{C_3H_8}}]$$

Sachant que :

$$\Delta H_{f_{CO_2}} = -94,0 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta H_{f_{H_2O(l)}} = -68,3 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta H_{f_{C_4H_{10}}} = -32,8 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta H_{f_{C_3H_8}} = -27,6 \text{ kcal/mole}$$

$$\begin{cases} y_1 = 0,164 \\ y_2 = 0,836 \end{cases} \quad (\text{à } 25^\circ\text{C pour ce mélange butpro (50-50)})$$

il vient que :

$$\Delta H = [(4 \times 0,164 + 3 \times 0,836)(-94) + (5 \times 0,164 + 4 \times 0,836)(-68,3)] - [0,164(-32,8) + 0,836(-27,6)]$$
$$\Delta H = -553,36 \text{ kcal/mole} \quad (\text{réaction exothermique})$$

Le pouvoir calorifique supérieur PCS de ce mélange sera de :

$$\text{- Pour } 1\text{m}^3 \text{ PCS} = \frac{553,36 \times 1000}{22,4} = 24703 \text{ kcal.}$$

$$\text{- Pour } 1\text{kg} \text{ PCS} = \frac{553,36 \times 1000}{0,164 \times 58 + 0,836 \times 44} = 11952 \text{ kcal.}$$

Si l'eau obtenue est une vapeur, l'énergie cédée au milieu extérieur est plus faible car le système a utilisé une partie de cette énergie pour la transformation endothermique eau liquide - eau vapeur.

Si l'énergie nécessaire à la transformation eau liquide - eau vapeur est de 10,5 kcal/mole, l'enthalpie de la réaction  $\Delta H'$  deviendrai :

$$\Delta H' = -553,36 - (-10,5) = -542,86 \text{ kcal/mole.}$$

Le pouvoir calorifique inférieur PCI de ce mélange sera de :

$$\text{Pour } 1\text{m}^3 \text{ PCI} = \frac{542,86 \times 1000}{22,4} = 24235 \text{ kcal.}$$

$$\text{Pour 1 kg PCI} = \frac{542,86 \times 1000}{0,164 \times 58 + 0,836 \times 44} = 11726 \text{ kcal.}$$

Remarque :

D'après la réaction on voit que la combustion du propane produit moins de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et moins d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) que celle du butane. Si la combustion est incomplète, on aurait moins d'oxyde de carbone en brûlant du propane qu'en brûlant du butane.

Si les produits de la combustion sont dissociés, la combustion du propane produirait moins d'oxydes d'azote que celle du butane.

## 2. Mélange Butane - Propane (25-75)

### 2.1 Pression du mélange :

On fait un mélange de 25 grammes de butane et de 75 grammes de propane.

Le nombre de mole de butane est :

$$n_1 = \frac{25}{58} = 0,431 \text{ mole}$$

Le nombre de mole de propane est :

$$n_2 = \frac{75}{44} = 1,704 \text{ mole}$$

Le nombre de mélange est :

$$n = n_1 + n_2 = 0,431 + 1,704 = 2,135 \text{ moles}$$

La fraction molaire de butane est :

$$x_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{0,431}{2,135} = 0,202$$

La fraction molaire de propane est :

$$x_2 = \frac{n_2}{n} = \frac{1,704}{2,135} = 0,798$$



Le tableau 2.7 suivant nous donne en fonction de la température :

- La pression du mélange ( $P$ ),
- Les valeurs des constantes d'équilibre ( $K_1$  et  $K_2$ ),
- La composition du liquide ( $x_1$  et  $x_2$ ),
- La composition de la vapeur ( $y_1$  et  $y_2$ ),
- La température du point de rosée ( $t_r$ ),
- La température du point de bulle ( $t_b$ ).

Tableau 2.7

T(°C)	P(bar)	$K_1$	$x_1$	$y_1$	$K_2$	$x_2$	$y_2$	$t_r$ (°C)	$t_b$ (°C)
0	3,88	0,261	0,223	0,058	1,212	0,777	0,942		
5	4,53	0,268	0,221	0,059	1,207	0,779	0,941		
10	5,26	0,274	0,219	0,060	1,204	0,781	0,940		
15	6,06	0,283	0,221	0,063	1,203	0,779	0,937		
20	6,95	0,290	0,220	0,064	1,201	0,780	0,936		
25	7,95	0,297	0,219	0,065	1,197	0,781	0,935	43,3	24,5
30	9,03	0,304	0,220	0,067	1,197	0,780	0,933		
35	10,23	0,311	0,220	0,068	1,195	0,780	0,932	46,3	34,3
40	11,62	0,316	0,213	0,067	1,185	0,787	0,933		
45	13,00	0,325	0,218	0,070	1,189	0,782	0,930		
50	14,65	0,329	0,211	0,069	1,180	0,789	0,931	61,2	49,7

## 2.2 Densité

En procédant de la même façon que pour le mélange (50-50), on trouve pour ce mélange gazeux (25-75) une densité égale à :

$$d = 1,68$$

## 2.3 Limite d'inflammabilité :

Les limites d'inflammabilité dans l'air de ce mélange sont :

Limite inférieure : LI = 1,8%.

Limite supérieure : LS = 11,1%.

## 2.4 Pouvoir calorifique :

Le même procédé que pour le mélange (50-50) nous donne pour ce mélange (75-25) un pouvoir calorifique supérieur PCS égal à :

pour  $1\text{ m}^3$  PCS = 24000 kcal

pour 1kg PCS = 11975 kcal

et un pouvoir calorifique inférieur P.C.I égal à :

pour  $1\text{ m}^3$  PCI = 23540 kcal

pour 1kg PCI = 11741 kcal.



# CHAPITRE III METHODE DE CALCUL DES RESERVOIRS

## I.1. Type de stockage.

Dans une installation, le réservoir de stockage du gaz constitue l'élément principal.

Divers types de réservoirs peuvent être utilisés suivant l'importance de la quantité à stocker.

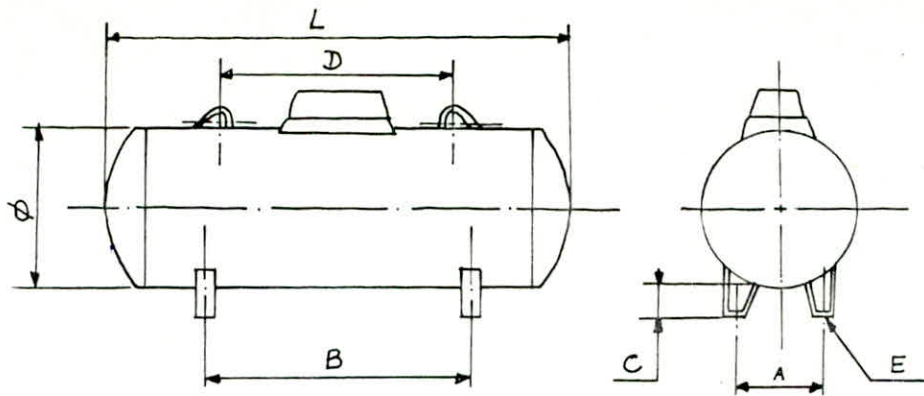
Dans cette étude, deux types de réservoirs ont été retenus:

- Un réservoir type 1750 kg qui pourra desservir un groupe de quatre familles de huit personnes chacune et consommant une moyenne annuelle de 1600 kg soit 50 kg par personne.
- Un réservoir type 500 kg qui pourra desservir une famille de huit personnes dont la consommation moyenne annuelle est de 400 kg.

## 2. Caractéristiques géométriques normalisées des réservoirs de propane « petit-vrac ».

Charge nominale	500 kg	1750 kg
$\phi$ : Diamètre extérieur (mm).....	800	1200
A: Voie (mm).....	450	800
B: Empattement (mm).....	1400	2000
C: Garde au sol (mm).....	150	150
E: Trou boulon scellement (mm)..	23	23
L: Longueur hors tout (mm).....	2500	3850
Volume intérieur (litre $\pm$ 2%)...	1140	3988

Ces caractéristiques sont indiquées sur le schéma représenté dans la page suivante.



### 3 - Règles de calcul

Avant de passer au calcul des épaisseurs des réservoirs, il semble indispensable de donner un aperçu de la réglementation concernant la construction et l'aménagement de ces derniers.

Arrêté ministériel du 23 juillet 1943 :

Article 3 :

§-1 Les matériaux entrant dans la construction des appareils doivent par leur nature opposer dans les conditions d'utilisation prévues, une résistance suffisante aux actions chimiques des corps qu'ils sont appelés à contenir.

Dans le cas où une attaque est néanmoins à redouter, et à défaut d'une sur-épaisseur suffisante, des précautions spéciales doivent être prises pour qu'elle ne puisse devenir une source de danger ; notamment par l'éloignement des appareils, l'établissement de dispositifs de protection, etc..

§2 Les joints, dispositifs de fermeture et soupapes, doivent pouvoir être rendus étanches, sans comporter de matière susceptible, dans les conditions d'emploi, de s'enflammer ou de détoner sous l'action des fluides contenus.

Article 4

§1- Le métal doit être exempt de fragilité, à la température et à la



pression d'épreuve, d'une part, dans le domaine des pressions et des températures de service d'autre part.

§ 2- Pour les parties en acier, les caractéristiques mécaniques du métal, mesurées sur des éprouvettes prélevées en direction des contraintes maxima, tous recuits, revenus ou traitements thermiques éventuels terminés, devront satisfaire aux deux inégalités :

$$R > 1050$$

$$A > 14$$

Dans lesquelles  $R$  représente la résistance de rupture à la traction, exprimée en myriapièze, et  $A$  l'allongement relatif, exprimé en centièmes. (Allongement mesuré sur des éprouvettes dont la section droite  $S$  et la distance entre repère  $L$ , exprimées dans le même système d'unités, répondent à la condition :

$$L = 5,65\sqrt{S} \text{ ou } L = 50 \text{ pour des éprouvettes circulaires}).$$

§ 3- Le taux de travail du métal doit être inférieur au tiers de la résistance à la rupture, sous l'action et à la température maxima susceptibles d'être atteintes en service.

#### 4- Méthode de calcul

Les épaisseurs des fonds et de la virole ainsi que le taux de travail  $t$  du métal sont données par les formules suivantes :

Virole :

$$e = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left( 1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} \right)$$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left( 1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} \right)$$

Fonds:

$$e = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left( 0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h} \right)$$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha}$$

Dans lesquelles:

P: représente la pression de service.

$D_e$  et  $D_i$ : les diamètres extérieur et intérieur du réservoir.

R: résistance de rupture à la traction

X: Coefficient de sécurité ( $X=3$ )

$\alpha$ : Coefficient de soudure ( $\alpha=0,7$  pour la virole et  $\alpha=0,5$  pour les fonds).

$\varphi$ : Angle que fait le cordon de soudure de forme hélicoïdale avec l'axe du réservoir. ( $\varphi = 67,1^\circ$ )

h: concavité du fond (Voir appendice B page 68).

h = 312 mm pour le réservoir de 1750 kg.

h = 208 mm pour le réservoir de 500 kg.

Les réservoirs dont les épaisseurs ont été déterminées à partir de ces formules ont donné des résultats satisfaisants après avoir été soumis à une pression d'épreuve égale à une fois et demi la pression de service ( $P_e = 1,5P$ )

Ces formules ont été relevées sur le Manuel pour le stockage du propane et du butane (Voir bibliographie).



## 5 - Métal choisi

Le métal utilisé est l'acier A48P2. C'est un acier au carbone de qualité « appareils à pression » et appartenant à ceux de la nuance A48P définie par la norme NFA 36205.

Ces aciers sont parmi les plus utilisés et peuvent être considérés comme parmi les plus satisfaisants pour des appareils fixes.

Les caractéristiques mécaniques d'un tel acier sont :

Résistance de rupture à la traction :

$$R = 47 \div 55 \text{ daN/mm}^2$$

Limite élastique

$$E = 28,5 \text{ daN/mm}^2$$

Allongement :

$$A = 25\%$$

Les principaux résultats concernant ces réservoirs sont regroupés dans les tableaux 3.1 et 3.2 des pages suivantes.

Les calculs détaillés de ces derniers sont donnés dans l'appendice A de la page 50.

Tableau 3.1

Température (°C)	Pression (bar)	Reservoir de 1750 kg pour	Diamètre extérieur (mm)	Longueur (mm)	Épaisseur virole (mm)	Épaisseur fond (mm)	Poids à vide (kg)
50	17,10	Propane	1200	3850	5,5	7,0	708,32
	11,86	mélange bupro 50-50	1200	3850	4,0	5,0	515,08
	14,65	mélange bupro 75-25	1200	3850	5,0	6,0	639,29
35	12,00	Propane	1200	3850	4,0	5,0	500,86
	8,22	mélange bupro 50-50	1200	3850	3,0	3,5	383,35
	10,23	mélange bupro 75-25	1200	3850	3,5	4,0	445,78
25	9,35	Propane	1200	3850	3,0	4,0	390,42
	6,35	mélange bupro 50-50	1200	3850	2,0	2,5	258,32
	7,95	mélange bupro 75-25	1200	3850	2,5	3,5	327,90

Remarque : la surépaisseur de corrosion n'est pas comprise dans les épaisseurs figurant dans les tableaux 3.1 et 3.2.



Tableau 3.2

Température (°C)	Pression (bar)	Réservoir de 500 kg pour	Diamètre extérieur (mm)	Longueur (mm)	Épaisseur virole (mm)	Épaisseur fond (mm)	Poids à vide (kg)
50	17,10	Propane	800	2500	4,0	4,5	218,94
	11,86	mélange bupro 50-50	800	2500	2,5	3,5	141,55
	14,65	mélange bupro 75-25	800	2500	3,5	4,0	192,22
35	12,00	Propane	800	2500	3,0	3,5	165,33
	8,22	mélange bupro 50-50	800	2500	2,0	2,5	111,44
	10,23	mélange bupro 75-25	800	2500	2,5	3,0	138,52
25	9,35	Propane	800	2500	2,0	2,5	111,44
	6,35	mélange bupro 50-50	800	2500	1,5	2,0	84,54
	7,95	mélange bupro 75-25	800	2500	2,0	2,5	111,44

# CHAPITRE IV TYPE D'INSTALLATION

## I- Règlement concernant le stockage à usage domestique.

Le réservoir de stockage peut être soit enterré dans un caveau, soit installé en surface dans une enceinte grillagée.

### 1- Poste de réservoirs fixes au dessus du niveau du sol.

L'installation des postes fixes composés de réservoirs, desservant des locaux d'habitation ou leurs dépendances et d'une contenance globale au plus égale à 200 mètres cubes doit être conforme aux règles techniques de sécurité fixées par l'arrêté du 17 mars 1971 (J.O du 2-4-1971, p.321 ou opuscule 71-47).

Les extraits suivants ne sont donnés qu'à titre indicatif. Les textes réglementaires doivent être consultés pour une étude détaillée.

Les postes de réservoirs fixes situés au niveau du sol ou en superstructure peuvent être implantés en plein air ou sous abri (emplacement protégé par une toiture légère et ne comportant pas de mur sur au moins un quart de son périmètre). Ils ne doivent être situés, ni à l'intérieur d'un local fermé, ni sur la toiture d'un local habité, en particulier sur une toiture en terrasse. Des distances minimales sont à observer vis-a-vis des divers emplacements énumérés ci-après.

Les réservoirs doivent reposer de façon stable par l'intermédiaire de berceaux, pieds ou supports construits en matériaux incombustibles.

Les fondations, si elles sont nécessaires, sont calculées pour supporter le poids du réservoir supposé rempli d'eau. Une distance d'au moins 0,10 mètre doit être laissée libre sous la génératrice ou le pôle inférieur du réservoir.

Sous les réservoirs sont mis à la terre. En outre, ils doivent être amarrés, s'ils se trouvent sur un emplacement susceptible d'être inondé.

Si le poste est implanté dans un endroit autorisé au public, il doit être entouré d'une clôture munie d'une porte verrouillable, ouvrant vers l'extérieur, et d'une hauteur d'au moins 1,75 mètre (hauteur portée à 2,50 mètres pour les postes de contenance globale supérieure à 70 mètres cubes).

S'il se trouve sur un terrain privé, les robinetteries et les accessoires doivent être protégés par un capot ventilé et verrouillable, sauf s'il existe une clôture comme définie ci-dessus.

Les orifices d'échappement des soupapes des réservoirs doivent être munis d'un chapeau éjectable (ou dispositif équivalent), et le jet d'échappement de ces soupapes doit s'effectuer de bas en haut sans rencontrer d'obstacle, et notamment une saillie de toiture.

Exemple d'installation d'un réservoir à usage domestique.

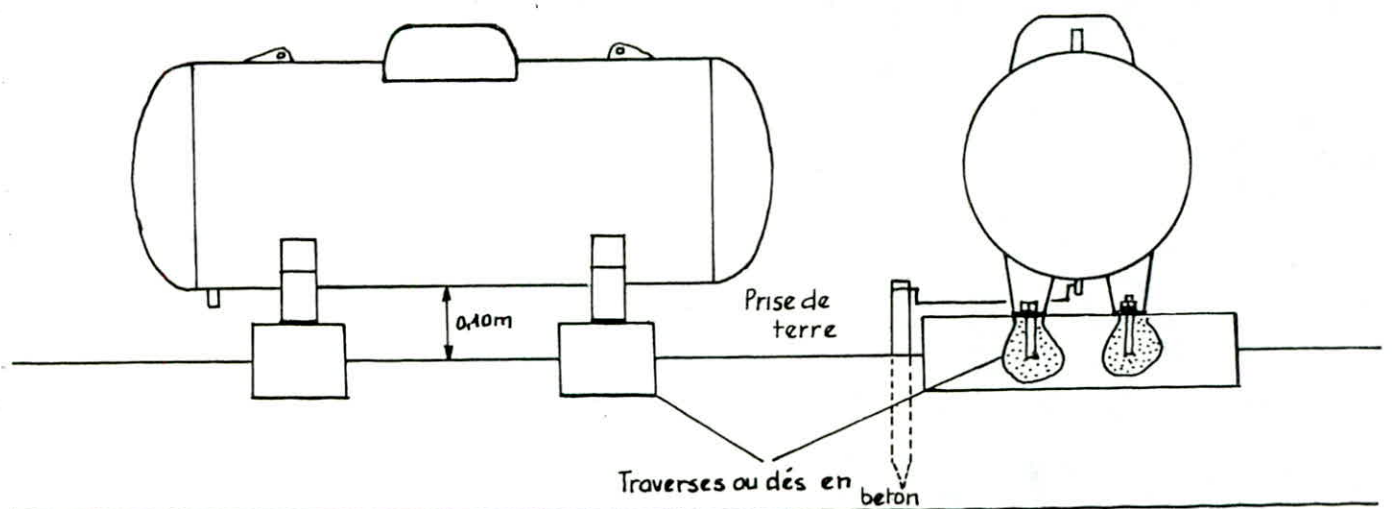


fig 4.1 : cas général d'un stockage de contenance globale au plus égale à  $8\text{m}^3$ .



Outres les conditions communes déjà indiquées, il y a lieu de respecter des distances minimales, qui varient en fonction de la contenance globale du stockage.

- Poste de contenance globale inférieure ou égale à  $8\text{ m}^3$  (jusqu'à 3,5 tonnes).

Le poste doit être implanté de façon que la bouche d'emplissage lorsqu'elle est placée sur le réservoir, et l'orifice de la soupape de sûreté soient à une distance (d) d'au moins 3 mètres de :

- de toute baie d'un local habité ou occupé,
- des ouvertures de locaux contenant des foyers ou autres feux nus,
- des ouvertures de locaux en contrebas,
- des bouches d'égout non protégées par un siphon,
- de tout dépôt de matière combustible,
- de la limite de la propriété,
- de la limite de la voie publique.

La distance (d) doit toujours être respectée vis-à-vis des baies dont la partie basse est à un niveau supérieur, soit à la bouche d'emplissage ou à l'orifice de la soupape, soit à la crête du mur plein dont il est question ci-après.

Vis-à-vis des autres emplacements, elle peut être réduite à 1,50 mètre par l'interposition d'un mur plein, mitoyen ou inclus dans la propriété, dont la hauteur excède de 0,50 mètre celle de la bouche d'emplissage et de l'orifice de la soupape et dont la longueur est telle que l'obstacle ainsi créé impose aux vapeurs éventuelles un trajet horizontal d'au moins 3 mètres.

Dans tous les cas, un espace libre de 0,60 mètre au moins doit être laissé latéralement autour du réservoir.

Fig 4.2 : Cas particulier d'une fenêtre et d'un soupirail.

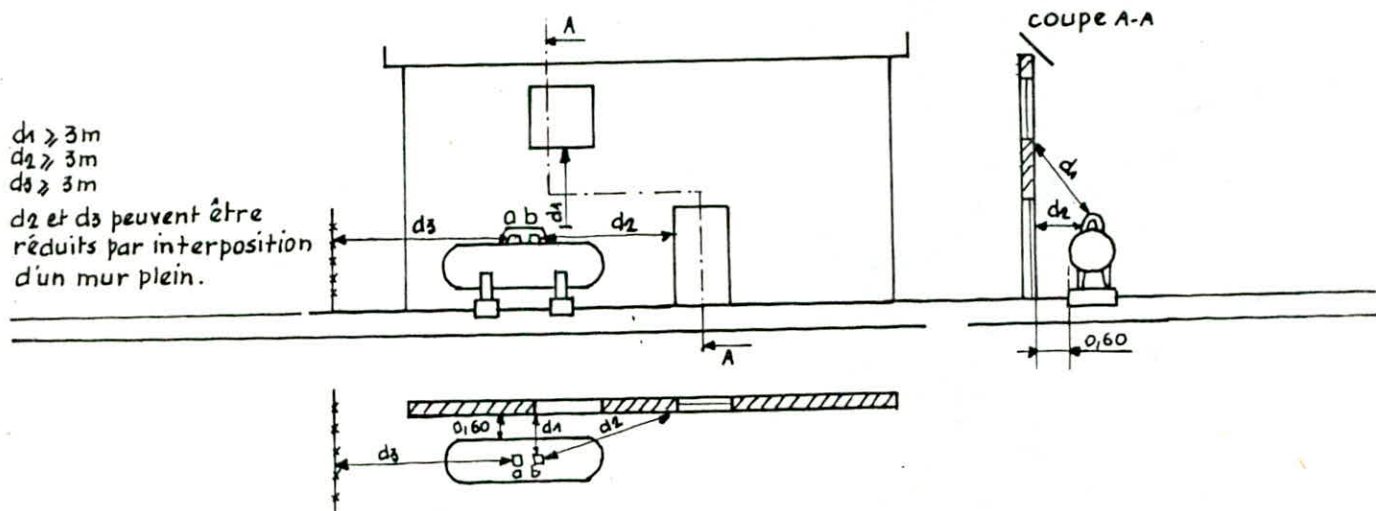
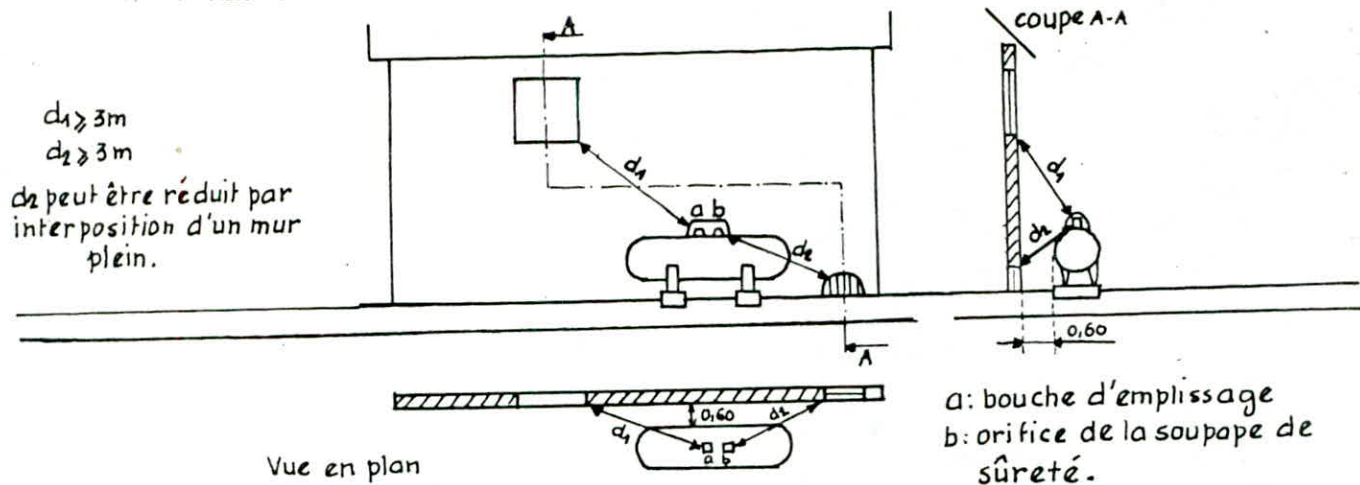


Fig 4.3 : Cas particulier d'une porte, d'une fenêtre et d'une limite de propriété en matériaux ajourés.

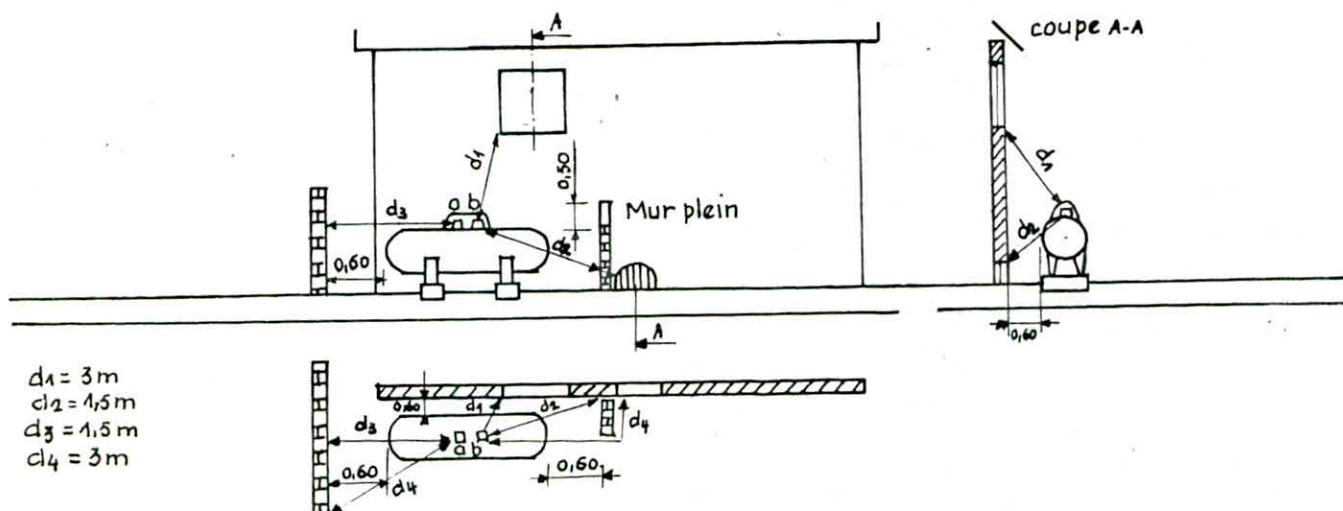


Fig 4.4 : Distances réduites par interposition d'un mur plein



## 2. Poste de réservoirs fixes enterrés

Les réservoirs enterrés doivent être placés à l'extérieur des constructions, en fouis, soit directement, soit dans une fosse comblée. En aucun cas, une cavité telle que cave, sous-sol, etc, ne devra se trouver sous le réservoir enterré.

La position de l'orifice de la soupape et celle de la bouche d'emplissage répondent aux mêmes prescriptions que celles qui s'appliquent aux réservoirs en plein air ou sous abri. Robinetterie et accessoires doivent être placés, soit hors du sol, soit dans un logement affleurant le sol et dont le volume intérieur n'excède pas 100 litres.

Les réservoirs sont posés ancrés et mis à la terre. Un intervalle d'au moins 0,20 mètre est laissé entre eux, et l'importance des massifs et ancrages tiendra compte de la poussée éventuelle des eaux. Le remblayage ou le comblement sera réalisé avec des produits inertes, tamisés (sable, etc.)

Les réservoirs enfouis directement doivent reposer sur un ou plusieurs massifs par l'intermédiaire de berrceaux, pieds ou supports, semblables à ceux des réservoirs aériens. Il ne doit y avoir aucun point du réservoir à moins de 1 mètre des murs de sous-sol ou des fondations d'un bâtiment. Lorsque les réservoirs sont en fosse, celle-ci doit être construite en béton ou maçonnerie. Un intervalle d'au moins 0,20 mètre devra exister entre les murs de la fosse et les réservoirs ainsi qu'entre ces derniers pour faciliter le remblayage de la fosse et le levage des réservoirs.

Dans tous les cas, le passage de véhicules ou le dépôt de charge au dessus du stockage est interdit, à moins que celui-ci ne soit garanti par un plancher de résistance suffisante.



Réservoir enfoui directement

Réservoir enfoui dans une fosse

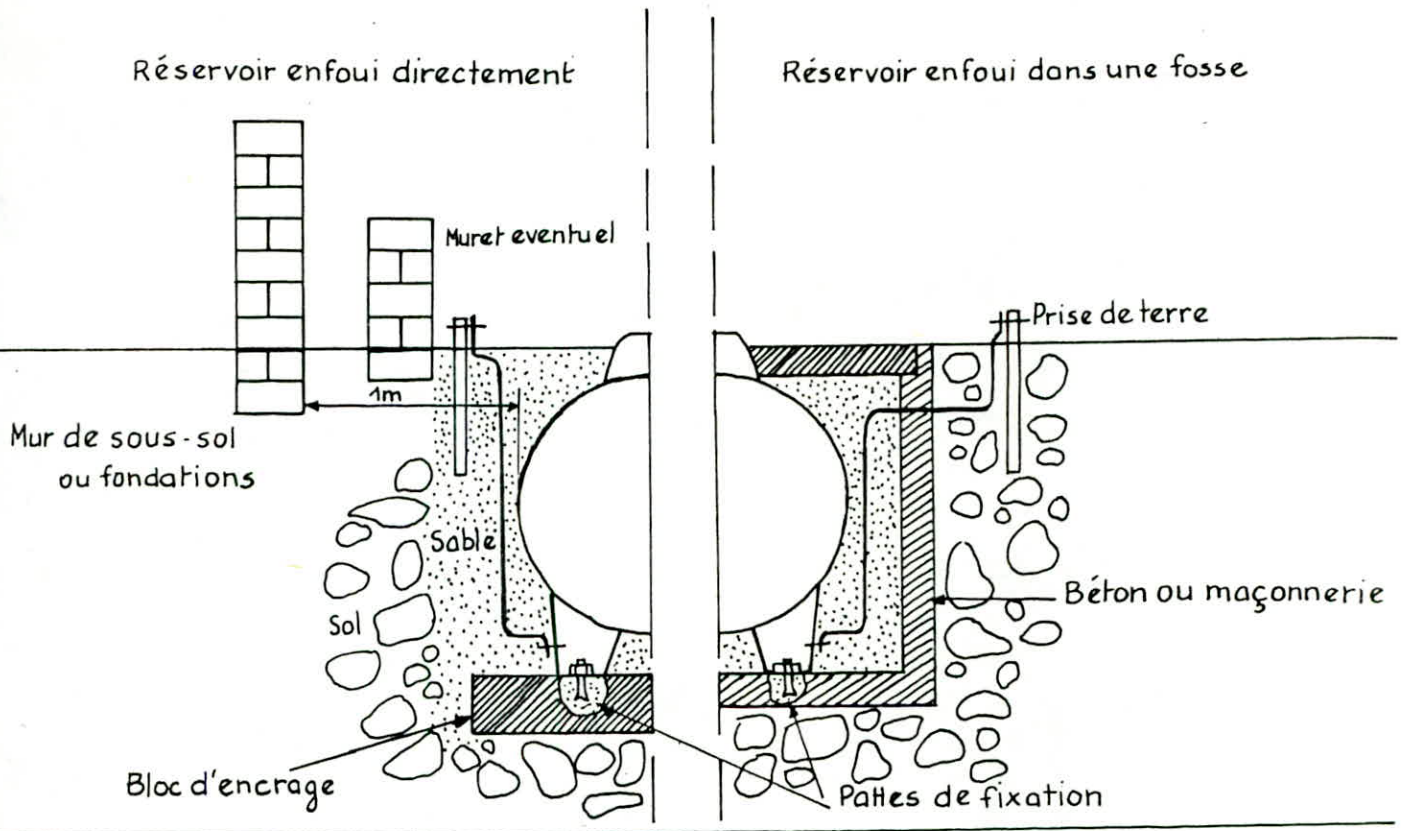


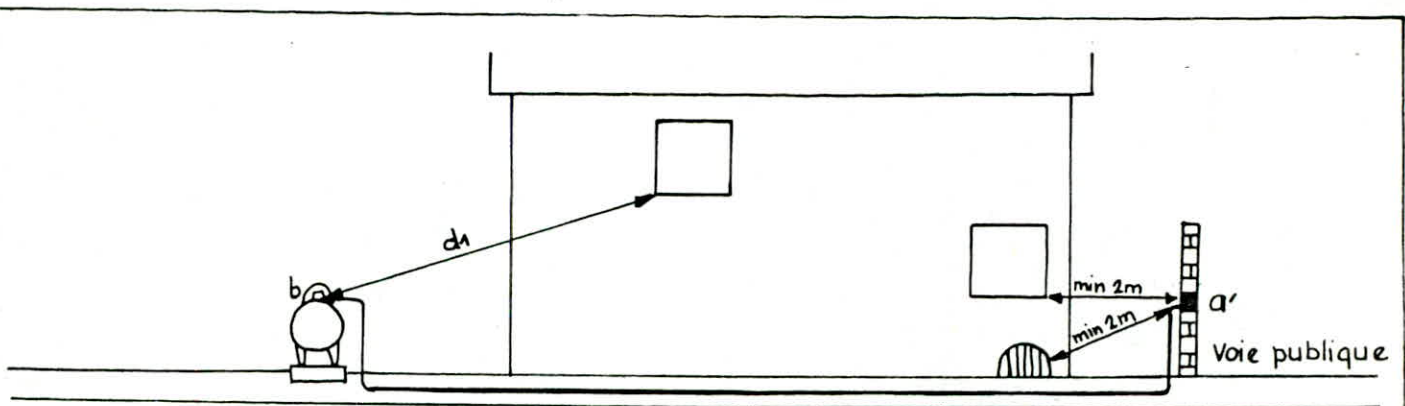
Fig 4.5: Cas d'un réservoir enterré de capacité inférieure à  $8\text{m}^3$

### 3- Borne d'emplissage déportée

Lorsque la bouche d'emplissage située sur le réservoir n'est pas accessible au flexible du camion ou du wagon ravitailleur, le réservoir est rempli à partir d'une borne déportée. Cette dernière doit également comporter un double clapet (ou tout autre dispositif offrant une sécurité équivalente) à son orifice d'entrée.

L'orifice d'entrée de la borne déportée doit être placé à une distance d'au moins 2 mètres des emplacements cités précédemment, à l'exception toutefois de la limite de la voie publique, vis-à-vis de laquelle aucune distance n'est exigée. Si la borne se trouve en bordure de la voie publique, elle doit être enfermée dans un coffret incombustible et verrouillable.

Cette borne doit être placée de manière que les opérations d'emplissage ne puissent gêner les accès et dégagements des bâtiments à usage collectif. Dans tous les cas, la borne d'emplissage doit être équipée d'une jonction permettant la mise en place de façon étanche du flexible lors de la livraison.



Vue en plan

a : bouche d'emplissage  
 b : orifice de la soupape  
 de sûreté.

Mur plein  
 ou  
 matériaux  
 ajourés

$d_1 \geq 3m$   
 $d_3 \geq 3m$

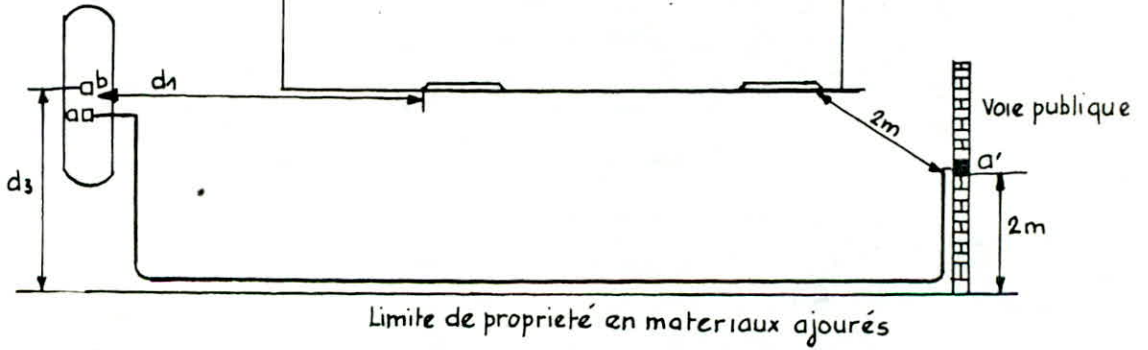


Fig 4.6 : Exemple d'un stockage avec borne d'emplissage déportée (a').



# CHAPITRE V

APPENDICE A : Calcul des épaisseurs des réservoirs.

- Réservoir de 1750 kg pour propane.

• Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$ .

• Pression de calcul  $P = 17,10 \text{ bar}$ .

$$\text{Virole: } e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{17,1 \times 1189 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 5,33 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 5,5 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{17,1 \times 1189}{5,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,20 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

$$\text{Fonds: } e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{17,1 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 6,51 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 7 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{17,1 \times 1186}{7 \times 400 \times 0,5} = 14,48 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole: (voir page

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 5,5)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 7) \right] = 66,26 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds: (voir page

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 7)^2 \right] = 10,90 \text{ dm}^3$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 66,26 + 10,90 = 77,16 \text{ dm}^3$$

Si  $\rho$  désigne la masse volumique de l'acier utilisé, le poids du réservoir à vide sera

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 77,16 = 708,32 \text{ kg.} \quad (\rho = 9,18 \text{ kg/dm}^3)$$

Réservoir de 1750 kg pour un mélange bupro (50-50)

• Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$

• Pression de calcul  $P = 11,86 \text{ bar}$ .

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left( 1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} \right) = \frac{11,86 \times 1192 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left( 1 - \frac{\sin^2 67,1}{2} \right) = 3,71 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 4 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left( 1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} \right) = \frac{11,86 \times 1192}{4 \times 200 \times 0,7} \left( 1 - \frac{\sin^2 67,1}{2} \right) = 14,53 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left( 0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h} \right) = \frac{11,86 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left( 0,65 + 0,1 \frac{1200}{312} \right) = 4,51 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 5 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{11,86 \times 1190}{5 \times 400 \times 0,5} = 14,11 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 4)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 5) \right] = 48,31 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 5)^2 \right] = 7,80 \text{ dm}^3$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 48,31 + 7,80 = 56,11 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 56,11 = 515,08 \text{ kg.}$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de:

$$\Delta P = 708,32 - 515,08 = 193,24 \text{ kg}$$

Réservoir de 1750 kg pour un mélange bupro (75-25)

- Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 14,65 \text{ bar}$

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{14,65 \times 1190 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1^\circ}{2}\right) = 4,57 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{14,65 \times 1190}{5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1^\circ}{2}\right) = 14,33 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{14,65 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 5,58 \text{ mm}.$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 6 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{14,65 \times 1188}{6 \times 400 \times 0,5} = 14,50 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 5)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 6) \right] = 60,29 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 6)^2 \right] = 9,35 \text{ dm}^3.$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 60,29 + 9,35 = 69,64 \text{ dm}^3.$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 69,64 = 639,29 \text{ kg}.$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de:

$$\Delta P = 708,32 - 639,29 = 69,03 \text{ kg}.$$



Réservoir de 500 kg pour propane

Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$

Pression de calcul  $P = 17,10 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{17,10 \times 792 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 3,55 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée :  $e_v = 4 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{17,1 \times 792}{4 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,92 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{17,10 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 4,34 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 4,5 \text{ mm.}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{17,1 \times 791}{4,5 \times 400 \times 0,5} = 15,02 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 4)^2 \right] \left[ 2500 - 2(208 + 4,5) \right] = 20,74 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 208}{3} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 4,5)^2 \right] = 3,11 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 20,74 + 3,11 = 23,85 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 23,85 = 218,94 \text{ kg.}$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro (50-50)

Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$

Pression de calcul  $P = 11,86 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot \alpha}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{11,86 \times 794 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,47 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{11,86 \times 794}{2,5 \times 200 \cdot 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,48 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot \alpha}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{11,86 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 3,01 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 3,5 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{11,86 \times 793}{3,5 \times 400 \times 0,5} = 13,43 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 2,5)^2 \right] \left[ 2500 - 2(208 + 3,5) \right] = 13,00 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 208}{3} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 3,5)^2 \right] = 2,42 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 13,00 + 2,42 = 15,42 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 15,42 = 141,55 \text{ kg}.$$

Comparé au réservoir pour propane il résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 218,94 - 141,55 = 77,39 \text{ kg}.$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro (75-25)

Température de calcul  $T = 50^\circ\text{C}$

Pression de calcul  $P = 14,65 \text{ bar}$ .

Virale :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{14,65 \times 793 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 3,04 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 3,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{14,65 \times 793}{3,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,64 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{14,65 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 3,72 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 4 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{14,65 \times 792}{4 \times 400 \times 0,5} = 14,50 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virale :

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [800^2 - (800 - 2 \times 3,5)^2] [2500 - 2(208 + 4)] = 18,17 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 208}{3} [800^2 - (800 - 2 \times 4)^2] = 2,77 \text{ dm}^3$$

Volume total

$$V = V_v + V_f = 18,17 + 2,77 = 20,94 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 20,94 = 192,22 \text{ kg}$$

Comparé au réservoir pour propane il résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 218,94 - 192,22 = 26,72 \text{ kg.}$$



Réservoir de 1750 kg pour propane.

- Température de calcul  $T = 35^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 12 \text{ bar}$

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{12 \times 1192 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 3,75 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 4 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{12 \times 1192}{4 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 14,70 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{12 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 4,57 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 5 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{12 \times 1190}{5 \times 400 \times 0,5} = 14,28 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 4)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 5) \right] = 48,31 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 4)^2 \right] = 6,25 \text{ dm}^3$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 48,31 + 6,25 = 54,56 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 54,56 = 500,86 \text{ kg.}$$

Réservoir de 1750 kg pour un mélange bupro (50-50)

- Température de calcul  $T = 35^{\circ}\text{C}$ .

- Pression de calcul  $P = 8,22 \text{ bar}$ .

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{8,22 \times 1194 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,57 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 3 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{8,22 \times 1194}{3 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,45 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{8,22 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 3,13 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 3,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{8,22 \times 1193}{3,5 \times 400 \times 0,5} = 14,01 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [1200^2 - (1200 - 2 \times 3)^2] [3850 - 2(312 + 3,5)] = 36,29 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 312}{3} [1200^2 - (1200 - 2 \times 3,5)^2] = 5,47 \text{ dm}^3$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 36,29 + 5,47 = 41,76 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 41,76 = 383,35 \text{ kg}$$

Compare au réservoir pour propane, il en résulte une économie d'acier de:

$$\Delta P = 500,86 - 383,35 = 117,51 \text{ kg.}$$

Réservoir pde 1750 kg pour un mélange bupro(75-25)

- Température de calcul  $T = 35^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 10,23 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{10,23 \times 1193 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 3,20 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 3,5 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{10,23 \times 1193}{3,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 14,33 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{10,23 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 3,89 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 4 \text{ mm.}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{10,23 \times 1192}{4 \times 400 \times 0,5} = 15,24 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [1200^2 - (1200 - 2 \times 3,5)^2] [3850 - 2(312 + 4)] = 42,31 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds.

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 312}{3} [1200^2 - (1200 - 2 \times 4)^2] = 6,25 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 42,31 + 6,25 = 48,56 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 48,56 = 445,78 \text{ kg}$$

Compare au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de :

$$500,86 - 445,78 = 55,08 \text{ kg.}$$



Réservoir de 500 kg pour propane

- Température de calcul  $T = 35^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 12 \text{ bar}$

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{12 \times 794 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,51 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 3 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 100 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{12 \times 794}{3 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,06 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{12 \times 800^2 \times 3}{4 \times 800 \times 208} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 3,04 \text{ mm.}$$

Epaisseur adoptée:  $e_f = 3,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{12 \times 793}{3,5 \times 400 \times 0,5} = 13,59 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 3)^2 \right] \left[ 2500 - 2(208 + 3,5) \right] = 15,59 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 208}{3} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 3,5)^2 \right] = 2,42 \text{ dm}^3$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 15,59 + 2,42 = 18,01 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 18,01 = 165,33 \text{ kg}$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro(50-50)

-Température de calcul  $T = 35^\circ\text{C}$

-Pression de calcul :  $P = 8,22 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{8,22 \times 796 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 1,71 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 2 \text{ mm.}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{8,22 \times 796}{2 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,45 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{8,22 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 2,08 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 2,5 \text{ mm.}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{8,22 \times 795}{2,5 \times 400 \times 0,5} = 13,06 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [800^2 - (800 - 2 \times 2)^2] [2500 - 2(208 + 2,5)] = 10,41 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 208}{3} [800^2 - (800 - 2 \times 2,5)^2] = 1,73 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 10,41 + 1,73 = 12,14 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 12,14 = 111,44 \text{ kg.}$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 165,33 - 111,44 = 53,89 \text{ kg.}$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro (75-25)

- Température de calcul  $T = 35^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 10,23 \text{ bar}$ .

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{10,23 \times 795 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,13 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée :  $e_v = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{10,23 \times 795}{2,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,37 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{10,23 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 2,59 \text{ mm}.$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 3 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{10,23 \times 794}{3 \times 400 \times 0,5} = 13,53 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [800^2 - (800 - 2 \times 2,5)^2] [2500 - 2(208 + 3)] = 13,01 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 208}{3} [800^2 - (800 - 2 \times 3)^2] = 2,08 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 13,01 + 2,08 = 15,09 \text{ dm}^3.$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 15,09 = 138,52 \text{ kg}$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 165,33 - 138,52 = 26,81 \text{ kg}.$$



Réservoir de 1750 kg pour propane.

Température de calcul  $T = 25^\circ\text{C}$ .

Pression de calcul  $P = 9,35 \text{ bar}$ .

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{9,35 \times 1194 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,93 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 3 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{9,35 \times 1194}{3 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,30 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{9,35 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 3,56 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 4 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{9,35 \times 1192}{4 \times 400 \times 0,5} = 13,93 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 3)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 4) \right] = 36,28 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 4)^2 \right] = 6,25 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 36,28 + 6,25 = 42,53 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 42,53 = 390,42 \text{ kg}$$

Réservoir de 1750 kg pour un mélange bupro (50-50)

- Température de calcul  $T = 25^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 6,35 \text{ bar}$ .

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{6,35 \times 1196 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 1,99 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 2 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{6,35 \times 1196}{2 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,60 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{6,35 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 2,41 \text{ mm}.$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{6,35 \times 1195}{2,5 \times 400 \times 0,5} = 15,17 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [1200^2 - (1200 - 2 \times 2)^2] [3850 - 2(312 + 2,5)] = 24,23 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 312}{3} [1200^2 - (1200 - 2 \times 2,5)^2] = 3,91 \text{ dm}^3.$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 24,23 + 3,91 = 28,14 \text{ dm}^3.$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 28,14 = 258,32 \text{ kg}$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de:

$$\Delta P = 390,42 - 258,32 = 132,10 \text{ kg}.$$

Réservoir de 1750 kg pour un mélange bupro (75-25)

- Température de calcul  $T = 25^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 7,95 \text{ bar}$ .

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{7,95 \times 1195 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 2,49 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{7,95 \times 1195}{2,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,62 < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{7,95 \times 1200^2 \times 3}{800 \times 312 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{1200}{312}\right) = 3,02 \text{ mm.}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 3,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{7,95 \times 1193}{3,5 \times 400 \times 0,5} = 13,54 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 2,5)^2 \right] \left[ 3850 - 2(312 + 3,5) \right] = 30,25 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 312}{3} \left[ 1200^2 - (1200 - 2 \times 3,5)^2 \right] = 5,47 \text{ dm}^3$$

Volume total

$$V = V_v + V_f = 30,25 + 5,47 = 35,72 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 35,72 = 327,90 \text{ kg.}$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 390,42 - 327,90 = 62,52 \text{ kg.}$$



Réservoir de 500kg pour propane

- Température de calcul:  $T = 25^\circ\text{C}$

- Pression de calcul  $P = 9,35\text{bar}$

Virole:

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{9,35 \times 796 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 1,95 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_v = 2 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{9,35 \times 796}{2 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 15,30 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Fonds:

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{9,35 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 2,37 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{9,35 \times 795}{2,5 \times 400 \times 0,5} = 14,86 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar.}$$

Volume de la tôle formant la virole:

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [800^2 - (800 - 2 \times 2)^2] [2500 - 2(208 + 2,5)] = 10,41 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds:

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 208}{3} [800^2 - (800 - 2 \times 2,5)^2] = 1,73 \text{ dm}^3.$$

Volume total:

$$V = V_v + V_f = 10,41 + 1,73 = 12,14 \text{ dm}^3$$

Poids du réservoir à vide:

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 12,14 = 111,44 \text{ kg.}$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro (50-50)

Température de calcul  $T = 25^\circ\text{C}$

Pression de calcul  $P = 6,35 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{6,35 \times 797 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 1,32 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_v = 1,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{6,35 \times 797}{1,5 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,87 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{6,35 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 1,61 \text{ mm}$$

Épaisseur adoptée  $e_f = 2 \text{ mm}$

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{6,35 \times 796}{2 \times 400 \times 0,5} = 12,63 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2] [L - 2(h + e_f)] = \frac{\pi}{4} [800^2 - (800 - 2 \times 1,5)^2] [2500 - 2(208 + 2)] = 7,82 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds :

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2] = \frac{\pi \times 208}{3} [800^2 - (800 - 2 \times 2)^2] = 1,39 \text{ dm}^3.$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 7,82 + 1,39 = 9,21 \text{ dm}^3.$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 9,21 = 84,54 \text{ kg}.$$

Comparé au réservoir pour propane il en résulte une économie d'acier de :

$$\Delta P = 111,44 - 84,54 = 26,90 \text{ kg}.$$

Réservoir de 500 kg pour un mélange bupro(75-25)

Température de calcul  $T = 25^\circ\text{C}$

Pression de calcul  $P = 7,95 \text{ bar}$

Virole :

$$e_v = \frac{P \cdot D_i \cdot X}{200 \cdot R \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{7,95 \times 796 \times 3}{200 \times 47 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 1,66 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée :  $e_v = 2 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 200 \cdot \alpha} \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2}\right) = \frac{7,95 \times 796}{2 \times 200 \times 0,7} \left(1 - \frac{\sin^2 67,1}{2}\right) = 13,01 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Fonds :

$$e_f = \frac{P \cdot D_e^2 \cdot X}{800 \cdot h \cdot R} \left(0,65 + 0,1 \frac{D_e}{h}\right) = \frac{7,95 \times 800^2 \times 3}{800 \times 208 \times 47} \left(0,65 + 0,1 \frac{800}{208}\right) = 2,02 \text{ mm}.$$

Epaisseur adoptée  $e_f = 2,5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{P \cdot D_i}{e \cdot 400 \cdot \alpha} = \frac{7,95 \times 795}{2,5 \times 400 \times 0,5} = 12,64 \text{ Hbar} < \frac{R}{3} = 15,66 \text{ Hbar}.$$

Volume de la tôle formant la virole :

$$V_v = \frac{\pi}{4} \left[ D_e^2 - (D_e - 2 \times e_v)^2 \right] \left[ L - 2(h + e_f) \right] = \frac{\pi}{4} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 2)^2 \right] \left[ 2500 - 2(208 + 2,5) \right] = 10,41 \text{ dm}^3$$

Volume de la tôle formant les fonds

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} \left[ D_e^2 - (D_e - 2 \times e_f)^2 \right] = \frac{\pi \times 208}{3} \left[ 800^2 - (800 - 2 \times 2,5)^2 \right] = 1,73 \text{ dm}^3$$

Volume total :

$$V = V_v + V_f = 10,41 + 1,73 = 12,14 \text{ dm}^3.$$

Poids du réservoir à vide :

$$P = \rho \cdot V = 9,18 \times 12,14 = 111,44 \text{ kg}.$$



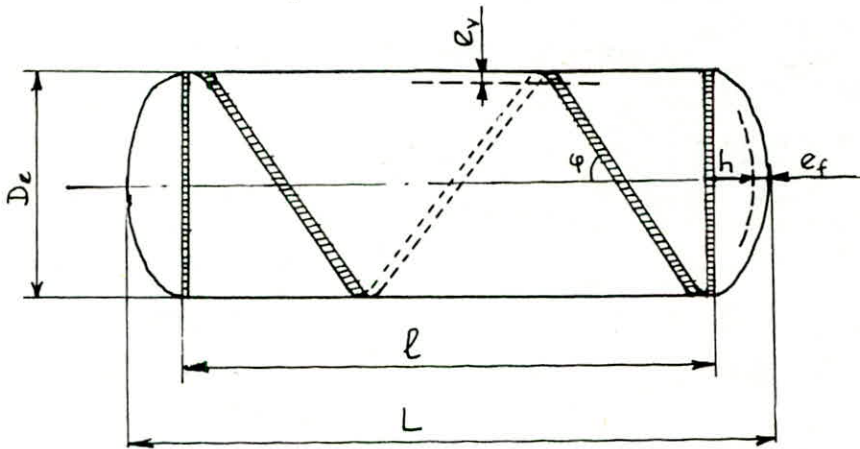
APPENDICE B: Calcul du volume de la tôle formant le réservoir.

Le réservoir est formé d'une enveloppe cylindrique (virole) et de deux fonds elliptiques.

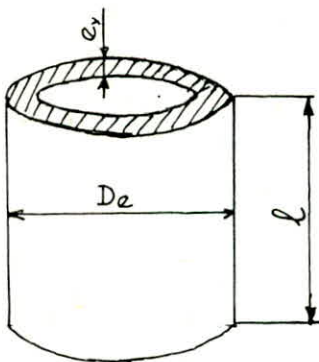
L'assemblage de ces deux fonds forme un ellipsoïde d'axes:  $\frac{D_e}{2}$ ,  $\frac{D_e}{2}$ ,  $h$ .

Le volume de la tôle formant le réservoir est obtenu en faisant la somme des volumes de la tôle formant la virole et de celle formant l'ellipsoïde.

- Schéma d'un réservoir:



- Volume de la tôle formant la virole:



$$V_v = \frac{\pi D_e^2 l}{4} - \frac{\pi D_i^2 l}{4}$$

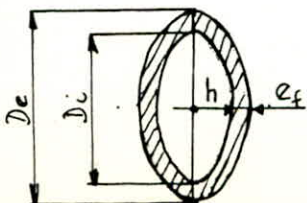
$$V_v = \frac{\pi}{4} l (D_e^2 - D_i^2)$$

$$l = L - 2(h + e_f)$$

$$D_i = D_e - 2e_v$$

$$V_v = \frac{\pi}{4} [L - 2(h + e_f)] [D_e^2 - (D_e - 2e_v)^2]$$

- Volume de la tôle formant les fonds:



$$V_f = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_e}{2}\right)^2 \cdot h - \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot h$$

$$V_f = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - D_i^2] = \frac{\pi \cdot h}{3} [D_e^2 - (D_e - 2e_f)^2]$$

## APPENDICE C.

Extrait des consignes de sécurité relatives à l'utilisation du gaz dans les locaux à usage d'habitation.

Le gaz domestique est utile, mais très dangereux si nous ne prenons pas un certain nombre de précaution pour éviter soit une intoxication, soit une explosion par suite d'une accumulation des gaz dans les locaux.

L'utilisation régulière du gaz domestique réduit votre vigilance face aux dangers qu'il peut provoquer.

Il est indispensable de veiller à l'application des consignes de sécurité ci-dessous :

- 1- Vérifier le bon état du flexible de raccordement et le remplacer en cas de besoin (la date portée sur le flexible est une date limite absolue à ne pas dépasser).
  - Ne pas utiliser des flexibles non normalisés.
  - Une aération insuffisante du local provoque une combustion incomplète du gaz et par conséquent les produits de combustion s'enrichissent d'oxyde de carbone qui est un gaz incolore inodore et très toxique.
  - Augmenter l'aération du local en fonction du débit des gaz brûlés.
- 2- Créer dans les locaux où l'on utilise le gaz une arrivée d'air et une sortie des gaz brûlés.
  - En ce qui concerne les appareils dont les gaz brûlés sont évacués directement par cheminée, vérifier le tirage de celle-ci afin de s'assurer

que les gaz brûlés sont évacués normalement.

Pour les appareils (cuisinières, radiateurs), il est recommandé, à défaut d'une ventilation du type insufflation-aspiration, de laisser légèrement ouvertes les fenêtres pour créer un échange d'air dans le local.

En cas de tirage insuffisant, nettoyer la grille de la cheminée qui pourrait être obturée par des poussières et résidus.

3- La flamme jaune du brûleur indique :

a- une combustion incomplète du gaz d'où une relation avec l'aération du local.

b- manque d'air dans le brûleur.

c- En cas d'excédent d'air dans le brûleur la flamme présente certain bruit dans les orifices du brûleur, une flamme insuffisante et parfois s'éteint.

Dans tous les cas cités en a, b. et c ci-dessus, arrêter l'utilisation du brûleur, aérer le local et prendre les mesures suivantes :

- Vérifier le tirage de la cheminée et assurer l'aération suffisante du local.

- Régler l'arrivée de l'air dans le brûleur (le dispositif de réglage est situé entre le robinet d'arrêt du gaz et le brûleur).

4- Tous les membres de la famille doivent connaître les consignes de sécurité relatives à l'utilisation du gaz dans les locaux à usage d'habitation.



- Interdire les enfants et les personnes ignorant les consignes de sécurité de manipuler les boutons d'allumage ou d'allumer les appareils électroménagers.
  - Eviter autant que possible d'installer le chauffe eau dans la salle de bain. Cet appareil devra être installé dans la cuisine.
  - Si le chauffe eau est installé dans la salle de bain, veiller à ce que la porte soit entr'ouverte pendant qu'un membre de la famille se baigne, afin d'assurer le maximum d'arrivée d'air.
  - Ne jamais fermer la porte de la salle de bain à clef pendant la baignade.
  - Après chaque utilisation du gaz, fermer le robinet d'arrêt de gaz ou de la canalisation ainsi que celui de l'appareil utilisé.
5. Ne laisser jamais les appareils à gaz en service, sans surveillance car les brûleurs peuvent s'éteindre pour plusieurs raisons, laissant ainsi dégager les gaz, qui en s'accumulant dans la pièce peuvent provoquer soit une intoxication, soit une explosion.
6. Si les membres de la famille sont appelés à s'absenter du logement, vérifier auparavant que tous les robinets de la canalisation sont fermés et assurer l'aération du local en laissant entr'ouvertes les fenêtres.
- Au retour dans l'appartement, s'assurer avant de manipuler l'interrupteur ou une allumette, qu'il n'y a pas d'odeur de gaz dans les locaux.

- Il est strictement interdit d'utiliser une allumette pour les recherches de fuites
- Si une fuite de gaz est constatée, fermer immédiatement le robinet d'arrivée de gaz contenu dans la canalisation tout en aérant le local, puis effectuer les réparations nécessaires.
- En cas de présence de gaz dans les locaux, ouvrir portes et fenêtres et vérifier la fermeture de tous les robinets des appareils électroménagers.
- si la fuite de gaz ne provient pas d'un robinet laissé ouvert, localiser cette fuite sur les canalisations, robinets, raccords, flexibles de raccordement etc... en utilisant de l'eau savonneuse.
- Si la fuite de gaz n'est pas détectée, appeler la protection civile, après avoir évacué les lieux.

## Conclusion et recommandation

Le domaine d'application des G.P.L est déjà très vaste. Il est couramment utilisé comme combustible dans des installations de chauffage, de séchage de produits agricoles. Son emploi comme carburant présente quelques avantages sur les carburants usuels. Cette dernière utilisation vient d'être récemment envisagée par le M.E.I.P

Un réseau de distribution du gaz propane liquéfié dans la ville de Ouargla pour 4630 abonnés vient d'être récemment inauguré.

L'utilisation généralisée du propane et éventuellement celle d'un mélange Butane - Propane permettra de mieux satisfaire la demande pendant les périodes froides de l'hiver.

La distribution et l'emploi de mélange Bupro à la place du butane permettra de satisfaire une demande supplémentaire de 44 et 55% respectivement pour le mélange (50-50) et (75-25).

Si la demande en butane est actuellement inférieure à la production, la quantité excédentaire pourra être exportée.

Un autre avantage de l'utilisation d'un mélange Butane - Propane est l'économie résultant sur les réservoirs de stockage qui sont légers donc moins coûteux.

Une étude complète est détaillée sur l'utilisation d'un système de mélange exigerait plus de temps et d'efforts qu'on ne peut y consacrer dans le cadre de ce mémoire. Ici l'objectif principal a été de faire ressortir les avantages substantiels de cette solution sur le plan économique.

Notamment, il serait souhaitable qu'une étude plus précise soit consacrée au comportement thermodynamique du mélange Butane-propane en fonction de la température extérieure et de la quantité soustraite pendant l'utilisation.





