



Optimisation du système hydraulique à air pour l'amélioration des performances des pompes solaires immergées CRIPTOPOMPE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE GENIE ENERGETIQUE ET ELECTRIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Brice BERMENDORA MAIGA(20131481)

Directeur de mémoire : Prénom NOM suivi du grade ou du titre

Encadrant 2iE : Prénom NOM suivi du grade ou du titre (enseignant-chercheur en...)

Si encadrant externe, mentionner comme suit :

Maître de stage : Eric NDAOSSAL, Responsable du développement de projets à CRIPT

Structure (s) d'accueil du stage

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM
Prénom NOM
Prénom NOM

Promotion [2018/2019]

REMERCIEMENT

Je tiens à témoigner ma reconnaissance et ma gratitude à toutes les personnes sans qui, mon stage de fin d'étude et ce travail n'aurait été possible.

Avant toute chose, je remercie d'abord l'éternel qui a rendu tout ça possible.

Je tiens à remercier **Eric NDOASSAL, Responsable du développement de projets au Centre de Recherche, d'Innovation et Production Technologique**, mon maître de stage, qui m'a aidé à mener à bien ce travail de par ses multiples conseils et observations.

Mes remerciements vont à l'endroit de Monsieur **DJERASSEM Le Bemadjel**, PDG du Centre, Monsieur **TOKOUNDA Nodjam Modeste**, Directeur Général, Messieurs **MBAIAKAMBAYE Joël**, **MBAIBAREM Clison** et tout le personnel du **Centre de Recherche, d'Innovation et Production Technologique** pour leur disponibilité à mes nombreuses sollicitations.

Je remercie aussi mes enseignants et tous ceux qui ont contribué à ma formation de près ou de loin, tous ceux qui m'ont accompagné, amis et proches, sans oublier tous mes camarades de classe.

Enfin, je remercie ma famille : mes parents **BERMENDORA Jacob**, **BERMENDORA Beatrice**, mes frères qui ont été une source constante d'encouragement tout le long de cette formation.

Soyez en remerciés et que Dieu vous bénisse.

RESUME

Le travail réalisé porte sur l'harmonisation du circuit d'air comprimé de la pompe immergée CRIPTOPOMPE. La pompe, assemblée à N'Djamena, au Tchad, est constituée de trois parties :

- **La partie hydraulique** qui prend son énergie de l'air comprimé produit par des compresseurs
- **Le groupe de compresseurs** qui eux-mêmes prennent leur énergie d'un champ solaire.
- **Le champ photovoltaïque.**

La CRIPTOPOMPE a été élaborée dans le but de fournir de l'eau aux populations rurales du Tchad avec un besoin énergétique limité, tout en permettant d'atteindre des profondeurs de pompages grandes.

L'harmonisation du circuit d'air comprimé s'est faite autour de trois étapes :

Dans la première étape, nous avons réalisé l'état des lieux du circuit d'air comprimé afin de s'imprégner des composants ;

La deuxième étape consiste à s'assurer de la conformité de l'installation par rapport aux exigences des circuits d'air comprimer et aux normes en vigueur et faire le choix des composants adéquats ;

Troisièmement, le dimensionnement des conduites d'air comprimé en fonction des pertes de charges linéique et un réservoir de stockage d'air comprimé.

Nous avons pu établir qu'un système à air comprimé se constituait de compresseurs, d'unités de traitement de l'air, d'une unité de stockage et des tuyauteries.

Les compresseurs pour la production de l'air comprimé. Des filtres à air et sécheurs s'assurent du traitement de cet air et enfin un réservoir pour le stockage de l'air comprimé. En vue d'améliorer notre système à air comprimé de la CRIPTOPOMPE, nous préconisons les actions suivantes :

- Installation d'un régulateur de pression réglé à 4 bars pour notre circuit ;
- Installation d'un préfiltre et d'un micro filtre en raison du risque de pollution de l'eau pompé par l'air provenant du circuit à air comprimé ;
- Installation d'un sécheur frigorifique pour éviter la corrosion de la tuyauterie dû à l'humidité de présent dans l'air comprimé ;
- Installation d'un réservoir de stockage équipé d'un manomètre, une soupape de sécurité DN8 avec une plage de réglage de la pression de 3 à 5 bars, une soupape

d'évacuation DN6, une soupape de décharge et une ouverture comme indiqué dans la figure 13 ;

- L'utilisation des diamètres de tuyauterie recommandés dans les tableaux en annexe 9 ;

Les résultats de l'étude obtenus s'insèrent dans la longue quête pour l'optimisation de notre pompe pour des performances optimales.

Mots Clés :

- 1 - Pompe
- 2 - Air comprimé
- 3 – Partie hydraulique
- 4 – Champs solaire
- 5 – Energie

ABSTRACT

The work carried out relates to the harmonization of the compressed air circuit of the CRIPTOPOMPE submersible pump. The pump, assembled in N'Djamena, Chad, consists of three parts:

- The hydraulic part which takes its energy from the compressed air produced by compressors
- The group of compressors which themselves take their energy from a solar field.
- The photovoltaic field.

The CRIPTOPOMPE was developed with the aim of supplying water to the rural populations of Chad with a limited energy need, while making it possible to reach great pumping depths.

The harmonization of the compressed air circuit was done in three stages:

- In the first step, the inventory of the compressed air circuit is carried out in order to impregnate the components.
- The second step is to ensure that the installation complies with the standards in force and to choose the appropriate components.
- Thirdly, the compressed air lines and a compressed air storage tank are dimensioned according to the linear pressure losses.

We were able to establish that a compressed air system consisted of compressors, air handling units, a storage unit and piping.

Compressors for the production of compressed air. Air filters and dryers ensure the treatment of this air and finally a tank for the storage of compressed air. In order to improve our compressed air system of CRIPTOPOMPE, we recommend the following actions:

- Installation of a pressure regulator set at 4 bars for our circuit;
- Installation of a prefilter and a micro filter due to the risk of pollution of the water pumped by the air from the compressed air circuit;
- Installation of refrigeration dryer to avoid corrosion of the piping due to the humidity present in the compressed air;
- Installation of a storage tank equipped with a pressure gauge, a safety valve DN8 with a pressure adjustment range of 3 to 5 bars, a discharge valve DN6;
- The use of the recommended pipe diameters in the tables.

The results of the study obtained are part of the long quest to optimize our pump for optimal performance.

Key words:

1 - Pump

2 – Compressed air

3 – Hydraulic part

4 – Solar field

5 – Energy

LISTE DES ABREVIATIONS

CRIPT : Centre de Recherche, d'Innovation et Production Technologique

DN : Diamètre nominal

EAH : Eau, assainissement et hygiène

HMT : Hauteur Manométrique Totale

ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PVC : Polychlorure de vinyle

Unicef : United Nations International Children's Emergency Fund

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	i
RESUME	ii
ABSTRACT.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
SOMMAIRE	7
LISTE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES FIGURES	11
INTRODUCTION	12
1- Contexte de l'étude.....	12
2- Objectif de l'étude.....	14
3- Méthodologie	14
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE : CRIPT	14
I. Les missions de CRIPT :.....	15
II. Organigramme.....	16
III. Présentation du projet en cours d'implantation.....	17
II- ETAT DE L'ART SUR LES POMPES ET LE POMPAGE SOLAIRE	19
II.1 Classification des pompes	19
II.2 Principes et caractéristiques générales	20
II.2.1 Les pompes volumétriques [17,9].....	20
II.2.2 Les turbopompes (hydrodynamiques) [9,17]	25
II.3 Pompage solaire [18].....	27
II.3.1 Principes du pompage solaire	27
III- LES SYSTEMES A AIR COMPRIME ET LA CRIPTOPOMPE	29

III.A	Les systèmes à air comprimé.....	29
A.1	-Composantes	29
III.B	La CRIPTOPOMPE	33
B.1	- Description de la CRIPTOPOMPE	33
B.2	- Principe et fonctionnement.....	36
IV-	OPTIMISATION DU CIRCUIT A AIR COMPRI ME DE LA CRIPTOPOMPE	43
IV.1	Optimisation de la production	43
IV.2.	Traitement de l'air	44
IV.2.1	Sécheur :.....	44
IV.2.2	Filtre :.....	45
IV.3	Dimensionnement des conduites	46
IV.4	Réservoir de stockage	47
IV.5	Maintenance de notre système à air comprimé	49
IV.5.1	Analyse des risques.....	49
IV.5.2	Plan de maintenance	52
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	53
	BIBLIOGRAPHIE	54
	ANNEXES	56
	ANNEXE 1: - Armoire électrique de la CRIPTOPOMPE	56
	ANNEXE 2 : - Compensateur	57
	ANNEXE 3 : - Chambre sérielle.....	57
	ANNEXE 4 : - Fiche technique du sécheur frigorifique.....	59
	ANNEXE 5 : - Fiches techniques des filtres à air	60
	ANNEXE 6 : - Fiche technique des conduites.....	62
	ANNEXE 7 : - Méthodologie de calcul des sections des conduites	62
	ANNEXE 8 : - Caractéristiques de l'air.....	63
	ANNEXE 9 : - Résultats du dimensionnement des conduites	64

ANNEXE 10 : -	Fiche technique du manomètre.....	67
ANNEXE 11 : -	Fiche technique de la soupape de sécurité.....	68
ANNEXE 12 : -	Fiche technique de la soupape d'évacuation	69
ANNEXE 13 : -	Fiche technique de la soupape de décharge.....	70
ANNEXE 14 : -	Schéma du système à air comprimé	70
ANNEXE 15 : -	Planning d'entretien	71
ANNEXE 16 : -	Plaque signalétique des panneaux solaire	72
ANNEXE 17 : -	Fiche technique du régulateur de pression	73
ANNEXE 18 :	Tableau de conversion Pas british standard en mm.....	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Avantages et inconvénients des pompes volumétriques alternatives.	22
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des pompes volumétriques rotatives	24
Tableau 3 : Avantages et inconvénients des turbopompes	27
Tableau 4: Débit des filtres à air comprimé.....	46
Tableau 5: Caractéristiques du conduit.....	47
Tableau 6: Caractéristiques de l'air retenu.....	47
Tableau 8: Dommages liés à la maintenance des équipements d'un système à air comprimé.	51
Tableau 9: Section (mm) de conduite en caoutchouc (0-100m).....	64
Tableau 10: Section (mm) de conduite en caoutchouc (110-200m).....	64
Tableau 11: Section (mm) de conduite en PVC (0-100m)	65
Tableau 12: Section (mm) de conduite en PVC (100-200m)	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Source d'approvisionnement en eau potable en % de la population totale. [16]	12
Figure 2 : Taux d'accès à l'eau potable en milieux rural et urbain [12]	13
Figure 3 : Organigramme du CRIPT.	16
Figure 4: Pompe à engrenage.....	23
Figure 5: Pompe rotative à vis	23
Figure 6: Pompe rotative péristaltique.	24
Figure 7: Pompe rotative à palettes.....	24
Figure 8: Types de roues pour les turbopompes.	26
Figure 9: Allure de la courbe du débit pour un pompage au fil du soleil.	28
Figure 10: Allure de la courbe du débit pour un pompage sur batterie.	28
Figure 11: Composantes d'un système à air comprimé.[5]	32
Figure 12 : CRIPTOSYS	34
Figure 13 : Armoire électrique.....	35
Figure 14 : Croquis d'un compensateur et d'une chambre sérielle.....	36
Figure 15	37
Figure 16	38
Figure 17: Classification de la pureté de l'air ISO08573-1:2010.....	44
Figure 18: Architecture du réservoir de stockage.	49
Figure 19 : L'appréciation des risques dans le processus global de gestion des risques (adapté de MSP, 2008).	50

INTRODUCTION

1- Contexte de l'étude

Situé au centre du continent africain, le Tchad présente un des plus faibles taux d'accès à l'eau potable au monde. Selon une étude conjointe de l'UNICEF et l'OMS (Figure 1 : Source d'approvisionnement en eau potable en % de la population totale.), ce taux était globalement de moins de 65% en 2004[1].

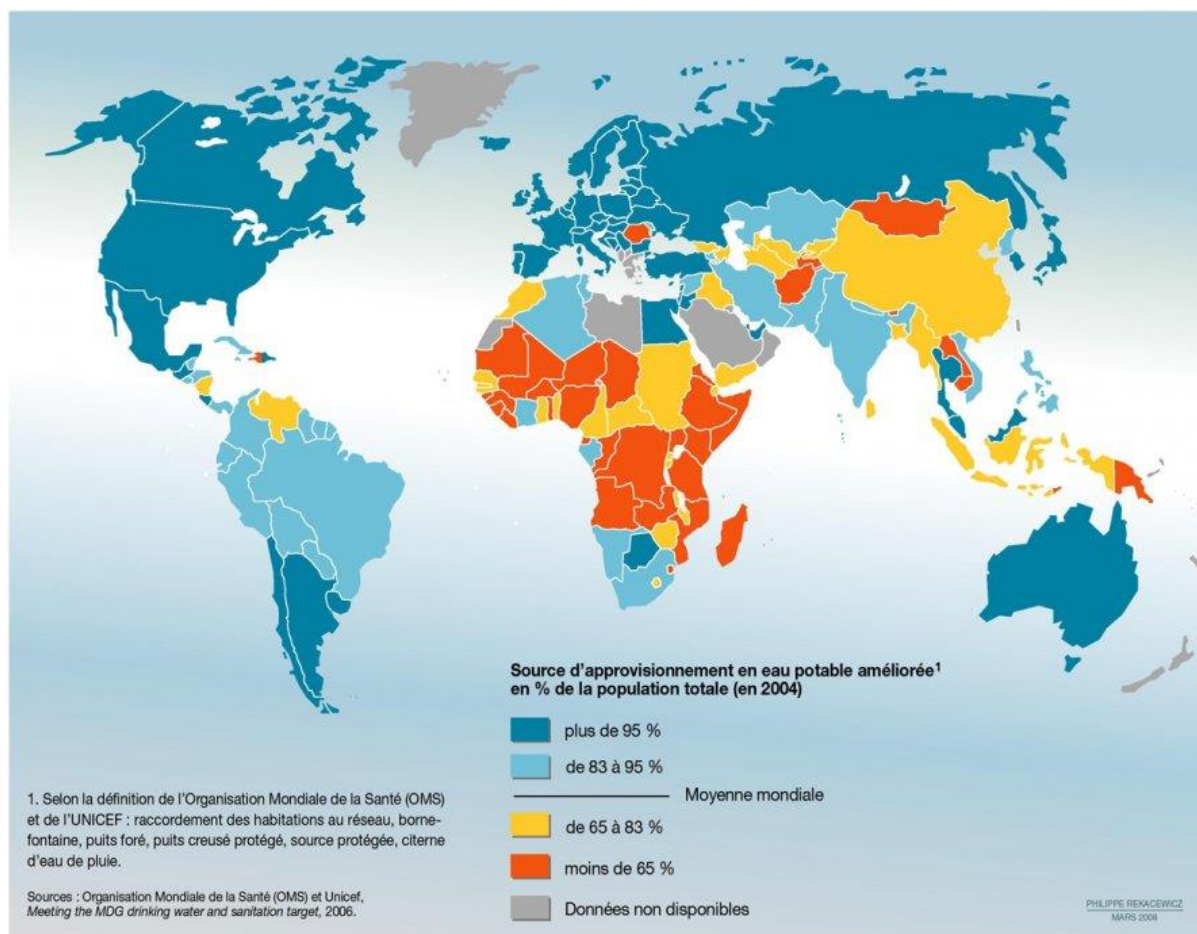
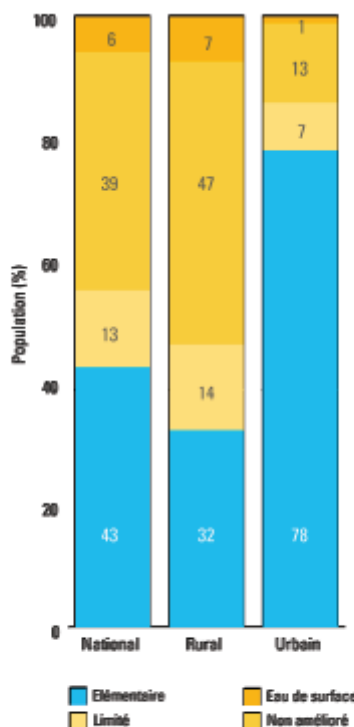


Figure 1 : Source d'approvisionnement en eau potable en % de la population totale. [16]

En 2017, d'après les résultats du programme de coopération Tchad-UNICEF-2017-2021 dans le secteur de l'eau, Hygiène et Assainissement, ce taux est de 43% avec 32% en milieu rural contre 78% en milieu urbain comme l'indique la Figure 2 [12]:



Source : JMP Tchad 2017

Figure 2 : Taux d'accès à l'eau potable en milieux rural et urbain [12]

Cette situation peut être liée au fait que le pays est situé aux portes du désert du Sahara. Avec les répercussions conjointes de la désertification et des changements climatiques, force est de constater une tendance à la baisse des précipitations, une diminution des points d'eau. En effet, depuis le 20^e siècle, le pays connaît aussi des hausses de températures et une baisse des précipitations dues aux changements climatiques. Le Lac Tchad, plus grand lac du pays, a ainsi vu 80% de sa superficie disparaître ces 40 dernières années.[2]

Les conflits armés auxquels le pays fait face depuis son indépendance fragilisent l'accès à l'eau potable des populations. Les attaques perpétrées en période de conflit, qu'elles soient délibérées ou non, détruisent les infrastructures et coupent l'alimentation électrique qui permettent aux systèmes d'EAH de fonctionner. L'UNICEF dans son rapport « L'eau sous le feu des bombes », nous rapporte que pendant les conflits prolongés, les enfants de moins de 15 ans sont, en moyenne, près de trois fois plus susceptibles de mourir d'une maladie diarrhéique liée à une eau insalubre et à un manque d'assainissement que des effets directs de la violence induite par un conflit ou une guerre. Tandis que les moins de 5 ans ont 20 fois plus de risques de mourir d'une maladie diarrhéique que de la violence.[14]

Au regard de toutes ces difficultés, CRIPT met au point une pompe immergée pouvant

atteindre des profondeurs de pompage allant jusqu'à plusieurs centaines de mètres, une consommation énergétique réduite et une usure moindre.

2- Objectif de l'étude

Dans le cadre de la commercialisation de leur nouvelle technologie de pompage, le Centre de Recherche pour l'Innovation et la Production Technologique (CRIPT) a initié notre thème de recherche intitulé : «**Etude de l'optimisation du système hydraulique à air pour l'amélioration des pompes solaires immergées CRIPTOPOMPE**», dans l'optique de peaufiner le travail déjà accompli à ce jour.

Ce travail représente la première étude menée dans ce sens et permettra d'entamer d'autres volets de l'optimisation de cette technologie.

L'objectif général de notre étude est **d'optimiser le système hydraulique à air de la CRIPTOPOMPE** pour l'amélioration des performances de la CRIPTOPOMPE. Plus spécifiquement, il s'agira d' :

- ❖ Harmoniser le système hydraulique à air ;
- ❖ Optimiser le réseau d'air notamment la production d'air, la tuyauterie et le système de récupération d'air pour améliorer le rendement des compresseurs.

3- Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs ci-dessus cités, la présente étude s'articule autour de quatre grandes parties :

- ❖ La première partie est consacrée à la présentation de l'entreprise d'accueil ;
- ❖ Dans la deuxième partie, nous présenterons les pompes et le pompage solaire ;
- ❖ La troisième partie sera consacrée aux systèmes à air comprimé et la présentation de la CRIPTOPOMPE ;
- ❖ La quatrième partie présentera le canevas emprunté en vue de l'optimisation du circuit à air comprimé de la CRIPTOPOMPE.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE : CRIPT

Le Centre de Recherche, d'Innovation et Production Technologique est une société à responsabilité limitée (S.A.R.L) pluripersonnelle avec son siège social fixé à N'Djamena au Tchad.

Fondée en 2013 à N'Djamena, par Monsieur DJERASSEM Le Bemadjiel, Madame DJERASSEM Linda née THAUYDET et Monsieur MBAIGOLMEN Siméon,

Elle a pour mission principale la recherche et le développement dans divers domaines scientifiques et technologiques.

I. Les missions de CRIPT :

Les missions de la société sont les suivantes :

- les activités de recherche et le développement dans divers domaines scientifiques et technologiques ;
- les prestations de recherche et de développement dans divers domaines scientifiques et technologiques ;
- la valorisation des résultats de la recherche dans les domaines scientifiques et technologiques ;
- la participation par tous moyens à toutes entreprises ou sociétés créées ou à créer pouvant se rattacher à l'objet social, notamment par voies de création de sociétés nouvelles, d'apports commandités, souscriptions ou achats de titres ou droits sociaux, fusion , alliance ou d'association en participation ;
- et généralement, toutes opérations financières, commerciales, industrielles, mobilières et immobilières, pouvant se rattacher directement ou indirectement à l'objet social dont les différents éléments viennent ainsi d'être précisés ou tous objets similaires ou connexes.

II. Organigramme

La société s'organise comme suit :

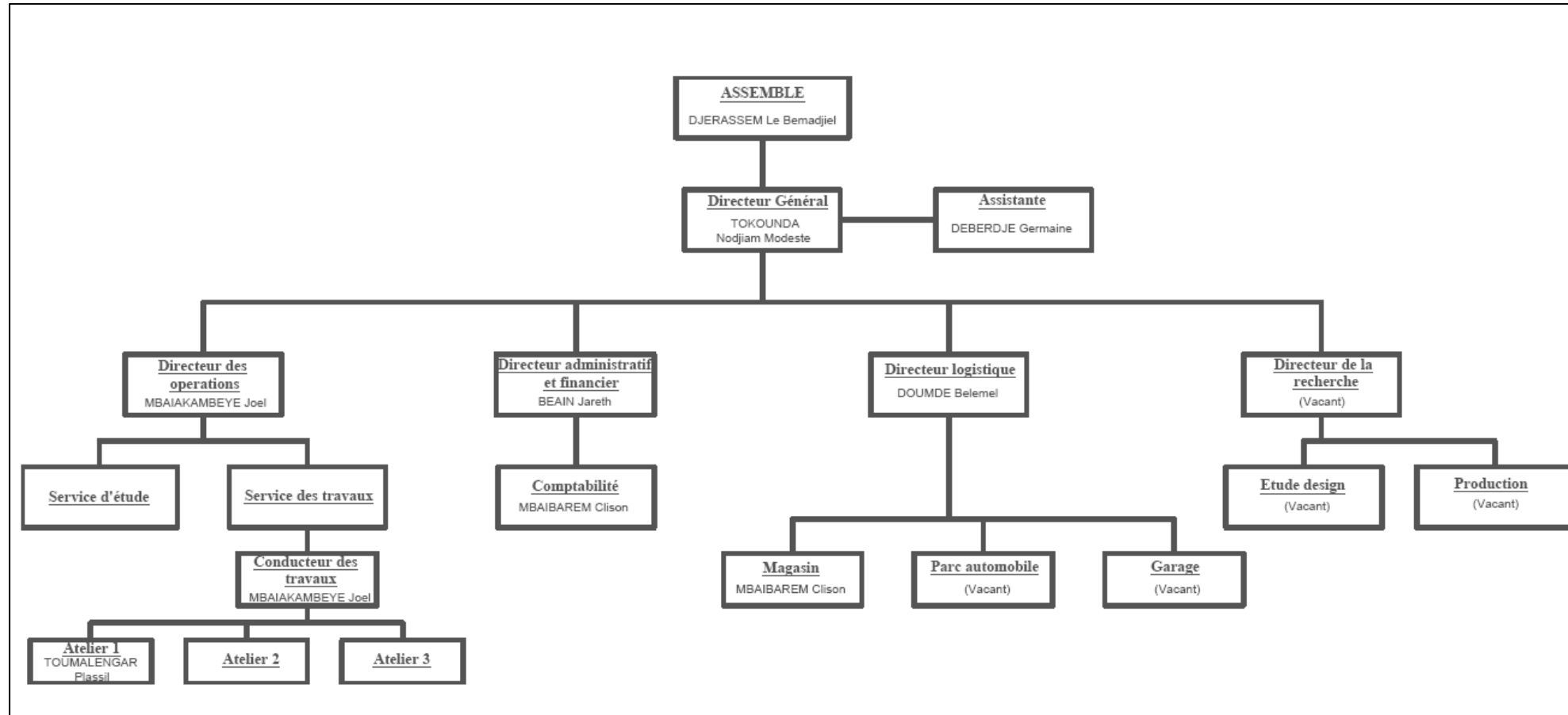


Figure 3 : Organigramme du CRIPT.

III. Présentation du projet en cours d'implantation

Le centre CRIPT, titulaire d'un brevet d'invention sur les systèmes de pompage, développe ainsi une pompe immergée. La CRIPTOPOMPE a été développée et en phase de déploiement dans 7 sites pilotes au Sud du Tchad afin d'assurer l'accès à l'eau potable des populations de ces régions. (Bebalem 1, Bebalem 2, Bougaro, Benoye 1, Benoye 2, Djotolmbairo, Mbaibo)

Dans cette partie, vous seront présentées les différentes installations par localités.

- **Mbaibo :**

La pompe installée ici est constituée de 6 compensateurs et 21 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 10 compresseurs sans huile **fengbao** modèle **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 30 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Un tank de stockage de 3 m³ y est aussi installé et servira de réserve d'eau.

La pompe est installée à une profondeur de 108 mètres avec le niveau statique se situant à 91,1 mètres.

- **Djotolmbairo**

La pompe installée ici est constituée de 4 compensateurs et 16 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 10 compresseurs sans huile **Fengbao** de numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentée par 40 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Avec un réservoir de 2 m³ pour le stockage de l'eau.

La pompe est installée à une profondeur de 96 mètres avec le niveau statique se situant à 59 mètres.

- **Bougaro**

La pompe installée ici est constituée de 6 compensateurs et 18 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 10 compresseurs sans huile **Fengbao** de numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 40 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Un réservoir à eau de 3 m³ y est aussi installé.

La pompe est installée à une profondeur de 96 mètres avec le niveau statique se situant à 81,4 mètres.

- **Benoye 1**

La pompe installée ici est constituée de 2 compensateurs et 4 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 7 compresseurs sans huile **Fengbao** de

numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 30 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Pour le stockage de l'eau, on dispose d'un réservoir de 2 m³.

La pompe est installée à une profondeur de 24 mètres avec le niveau statique se situant à 13,6 mètres.

- **Benoye 2**

La pompe installée ici est constituée de 4 compensateurs et 12 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 7 compresseurs sans huile **Fengbao** de numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 30 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Un réservoir de stockage d'eau de 2 m³ y est installé.

La pompe est installée à une profondeur de 64 mètres avec le niveau statique se situant à 33,4 mètres.

- **Bebalem 1**

La pompe installée ici est constituée de 2 compensateurs et 4 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 7 compresseurs sans huile **Fengbao** de numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 30 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Un réservoir de stockage d'eau de 2 m³ y est installé.

La pompe est installée à une profondeur de 17 mètres avec le niveau statique se situant à 9,41 mètres.

- **Bebalem 2**

La pompe installée ici est constituée de 2 compensateurs et 4 chambres sérielles. Alimentée par un réseau d'air comprimé à 2 bars par 7 compresseurs sans huile **Fengbao** de numéro de model **OLF550D**. Eux-mêmes alimentés par 30 panneaux solaires de marque **BLUESUN Solar** modèle **BSM270P-60**. Un réservoir de stockage d'eau de 2 m³ y est installé.

La pompe est installée à une profondeur de 20 mètres avec le niveau statique se situant à 11,1 mètres.

II- ETAT DE L'ART SUR LES POMPES ET LE POMPAGE SOLAIRE

Une pompe se définit comme un dispositif permettant de déplacer un fluide d'un point à un autre. Pour déplacer le fluide, la pompe lui transmet, soit de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Dès le premier siècle après JC, les besoins permanents en eau pour son autoconsommation, poussèrent l'homme à élaborer une stratégie afin de déplacer l'eau des sources naturelles (puits, rivières) vers lui. Ainsi, la pompe de godets, vit le jour en chine.

Au fur et à mesure des avancées technologiques de l'homme, notamment avec la mécanisation de l'outil de production, les premières pompes sont réellement construites et utilisées à la fin du XVIII^{ème} siècle. Il s'agissait en fait de pompes à piston, dont l'énergie provenait de la vapeur produite par de l'eau chauffée par un foyer.

Après l'apparition de l'énergie électrique au XIX^e siècle, les premières pompes électriques à principe rotatif furent développées.

Aujourd'hui, il existe une large gamme dans le choix des pompes toutes avec des spécificités particulières au propre de leur utilisation.

Il apparait donc que la fonction première d'une pompe est de déplacer un fluide d'un point à un autre, d'un point basse pression vers un autre point haute pression. Pour pouvoir déplacer les fluides, la pompe transforme de l'énergie mécanique reçue au préalable d'un moteur en énergie hydraulique.

II.1 Classification des pompes

La classification des pompes se base sur des critères relatifs à une demande précise, notamment **le type d'énergie transmis au fluide, le mode d'installation et la performance** pour ne citer que ceux-là. [9]

En fonction du type d'énergie transmis au liquide, on distingue principalement deux groupes de pompes :

- **Les turbopompes** : qui mettent en œuvre l'énergie cinétique. Elles sont toutes rotatives. On distingue principalement 3 familles : Les pompes **centrifuge, à hélices et hélico-centrifuge**.
- **Les pompes volumétriques** : Elles mettent en œuvre l'énergie de pression. Elles peuvent être scindées en deux familles : Les pompes **rotatives et alternatives**.

Nous présenterons de façon détaillée les deux groupes de pompes ci-dessus par la suite.

En fonction du mode d'installation, on distingue :

- **les pompes de surfaces** (cale sèche, en aspiration ou en charge) : généralement installée au niveau du sol à moins de 7m au-dessus du plan d'eau le plus bas. Avec une facilité d'entretien
- **les pompes immergées** : conçue pour être installée dans des forages de grande profondeur (200 m et plus), avec un moteur de conception spéciale prévu pour fonctionner dans l'eau. Son refroidissement étant assuré par le passage de l'eau pompée, le moteur ne supporte pas les eaux chaudes.
- **les pompes submersibles** (cale sèche/mouillée) : Ce sont des groupes monoblocs où le moteur travaille « submergé », mais sans eau à l'intérieur, contrairement aux pompes immergées. Elles sont souvent utilisées pour le relevage des eaux chargées et également pour des applications à bord des navires ou comme groupes mobiles pour chantier de travaux publics.
- **les pompes à axe verticale** : sont utilisées lorsque le niveau de l'eau peut descendre à plus de 6 à 7 m sous la pompe ou encore lorsque leur emploi réduit les ouvrages de génie civil (pompage direct dans un réservoir, par exemple). Ce type de pompe est utilisable jusqu'à des profondeurs de 70 à 80 m avec des paliers lubrifiés par l'eau pompée (propre) et de 150 m et plus avec des paliers lubrifiés à l'huile ou à la graisse.

En fonction de la performance des pompes :

- Les pompes à **haute pression** avec une HMT élevé
- Les pompes à **basse pression** avec une HMT faibles

II.2 Principes et caractéristiques générales

Qu'importe le type de pompe, celle-ci est constituée de 3 : [9]

- Une partie motrice qui fournit la puissance nécessaire au pompage,
- l'accouplement qui transmet cette puissance à la partie hydraulique,
- la partie hydraulique qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer (l'aspirer et/ou la refouler).

Globalement, 60 à 90 % de l'énergie fournie par le moteur est transformée en énergie mécanique. Cette énergie mécanique ne sera ensuite communiquée au fluide que dans une proportion de 50 à 80 % à cause des différentes pertes [9].

II.2.1 Les pompes volumétriques [17],[9]

De manière générale, une pompe volumétrique transforme l'énergie mécanique fournie par un moteur en énergie de pression. Elle emprisonne un volume V_0 du fluide dans un espace donné et le force à se déplacer de l'entrée vers la sortie de la pompe par un système mécanique. Le volume prélevé dans la conduite d'aspiration engendre alors une dépression

qui fait avancer le fluide vers la pompe par aspiration. Cet effet confère aux pompes volumétriques d'être auto-amorçant.

Suivant le type d'application, le but à atteindre est d'obtenir un débit avec l'accroissement de la pression.

On distingue principalement deux types de pompes volumétriques, les **pompes volumétriques alternatives** et les **pompes alternatives rotatives**.

- **Les pompes volumétriques alternatives**

Les pompes volumétriques alternatives ou pompes à pistons, utilisent le mouvement de va et vient du piston pour fournir l'énergie nécessaire au fluide. Il remplit et vide une chambre cylindrique et des clapets d'aspiration et de refoulement assurent l'écoulement du fluide dans les deux trajets.

Il existe trois familles de pompes volumétriques alternatives :

- **Pompe volumétrique alternative à piston**

Dans les pompes à piston, un piston effectue des mouvements de va et vient qui remplit et vide une chambre. Un jeu de clapet est nécessaire pour assurer l'aspiration et le refoulement du liquide à pomper.

Il existe des pompes à piston radiaux (cylindre fixe/tournant), des pompes à piston axiaux et des pompes à piston en ligne.

Les principaux domaines d'utilisation sont : les appareils électro-médicaux, la manipulation avec ventouses, les applications de laboratoire et le bâtiment, les pompes villageoises.

- **Pompe volumétrique alternative à plongeur**

La pompe à plongeur est une version spéciale de la pompe à piston. Le terme « plongeur » fait référence à la tige du piston.

Contrairement à une pompe à piston, le piston n'atteint pas la paroi du cylindre. La tige de piston représente en elle-même le piston. Extérieurement, il n'a pas de joint d'étanchéité avec la paroi du cylindre. La pompe fonctionne selon le principe de déplacement. Le plongeur effectue des mouvements de va et vient. Le mouvement de recul du plongeur crée une aspiration et l'ouverture de la vanne d'aspiration. Le déplacement du plongeur vers l'avant déplace un volume de liquide équivalent à son propre volume et augmente la pression du liquide tandis que la vanne de refoulement s'ouvre pour laisser s'écouler le liquide.

Les applications des pompes plongeurs sont diverses, elles sont utilisées pour des besoins de pompage à basse pression tel que les applications de nettoyage mais aussi pour des besoins

à très haute pression (pouvant atteindre 2000 bars) notamment dans le pompage de pétrole et de gaz. Elles sont aussi adaptées au pompage des fluides (huile ou eau). Elles sont également parfaitement adaptées aux milieux contenant des abrasifs tels que les boues de détergent ou les mèches de charbon.

- **Pompe volumétrique alternative à membrane**

Les pompes à membrane sont entraînées par de l'air comprimé ou un piston. La membrane est poussée et tirée alternativement par un distributeur alimenté par la pression d'air et qui en assure aussi l'échappement ou par les mouvements de va et vient du piston. La membrane peut être en matière plastique ou en métal.

Elles sont conçues pour transférer toutes sortes de liquides qu'ils soient visqueux, corrosifs, ou contenant des particules solides d'où leurs applications dans les domaines tels que les industries chimique, alimentaire, cosmétique, mécanique, peinture et imprimerie.

Les avantages et inconvénients de ce type de pompes sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1: Avantages et inconvénients des pompes volumétriques alternatives.

	Pompes à piston	Pompes à plongeur	Pompes à membrane
Avantages	-Pression élevée - Robuste -Bon rendement (à partir d'une certaine taille)	-Conception simple et robuste -Production haute pression	-Pas de pièce en rotation -Fonctionnement à sec possible -Etanchéité statique par la membrane -Conception simple et robuste
Inconvénients	-Débit sinusoïdale et faible -Conception complexe et prix élevé -Etanchéité (avec liquide possédant des particules solides)	-Débit sinusoïdale, variable et faible	-Limitée par la température (membrane plastique) -Pulsation importante -Débit sinusoïdale, variable

b) Les pompes volumétriques rotatives

Dans le cas des pompes volumétriques rotatives, la rotation d'éléments mécaniques (engrenages, vis, palettes,) dans une chambre hermétique en variant des espaces ou jeux fonctionnels, provoque le déplacement continu du liquide à pomper, de l'aspiration vers le refoulement.

On distingue principalement quatre familles de pompes volumétriques rotatives.

- **Pompe rotative à engrenage**

Deux pignons tournent en sens inverse dans un carter. Le fluide situé entre les dents et la paroi du carter est contraint d'avancer au cours de la rotation. Au centre un contact permanent empêche le retour du fluide vers l'amont.

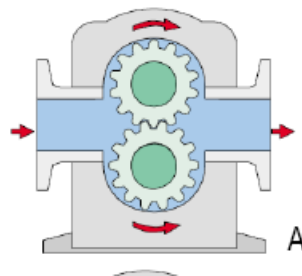


Figure 4: Pompe à engrenage.

Parmi les pompes à engrenages, on distingue les pompes à **denture extérieure**, à **denture intérieure**.

Elles sont le plus souvent utilisées comme pompe de transfert ou d'alimentation et peuvent fournir 10 à 15 bars de pression pour des débits de l'ordre de 80 à 100 m³/h. C'est le type de pompe le plus répandu sur le marché.

- **Pompe rotative à vis**

Deux (ou trois) vis de sens inverses entraînées mutuellement par un engrenage tournent en sens contraires à l'intérieur d'un carter. Les vis satellites possèdent un pas inverse à celui de l'engrenage. L'espace entre les filets va se remplir alors de fluide, ce fluide est transporté par la rotation de l'orifice d'entrée à l'orifice de refoulement.

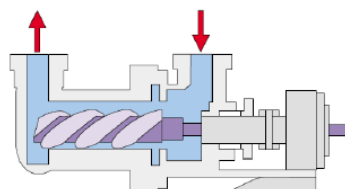


Figure 5: Pompe rotative à vis

En raison du flux linéaire, ces pompes ont un débit régulier et un excellent rendement

global, elles peuvent générer des débits important (1000 l/mn) mais sous une pression modeste ne dépassant pas 120 bars.

- **Pompe rotative péristaltique**

Un tuyau souple est écrasé par des galets. Le fluide est alors repoussé sans turbulence, ni cisaillement. Il n'y a pas de contact entre le fluide et les pièces du mécanisme.

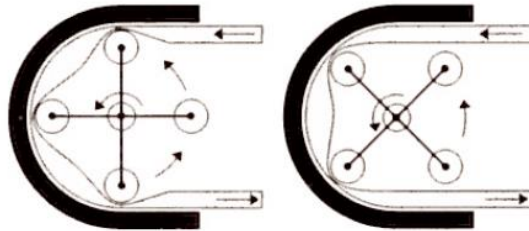


Figure 6: Pompe rotative péristaltique.

Elles fournissent des débits de 60 à 80 m³/h avec un rendement de 100%. C'est la pompe doseuse par excellence. Elles sont le plus utilisées dans le milieu médicale.

- **Pompe rotative à palettes**

Dans les pompes à palettes, un rotor excentré muni de palette tourne dans un cylindre fixe. Les espaces délimités par les palettes et la paroi intérieure du cylindre varient au cours de la rotation et créent les dépressions nécessaires au fonctionnement.

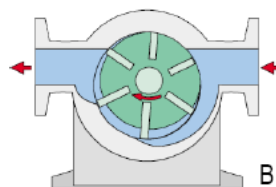


Figure 7: Pompe rotative à palettes.

Ces pompes conviennent bien au gaz.

Dans le tableau suivant, nous y avons récapitulé les avantages et inconvénients des pompes volumétriques rotatives.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des pompes volumétriques rotatives

	Avantages	Inconvénients
Pompe rotative à engrenage	-Robustesse -Un bon rendement -Une pression élevée	-Un débit pulsé et faible - L'étanchéité ne permet pas de travailler avec des fluides possédant des particules solides. - Conception complexe

Pompe rotative à vis	- Conception simple, - Robustesse	-Débit sinusoïdal, variable et faible - Pression moyenne
Pompe rotative péristaltique	-Pompage des produits chargés et abrasifs -Excellent rendement	-Débit faible et limité -Faible température d'utilisation -Maintenance préventive délicate (rupture du tube)
Pompe rotative à palettes	-Silencieuse ; -Auto-amorçant ; -Pas d'émulsion pendant le pompage.	-Usure du corps par frottement des palettes - Entretien coûteux - Pression limitée

II.2.2 Les turbopompes (hydrodynamiques) [9][17]

Les turbopompes sont quant à elles dotées d'une roue ou hélice munie d'aubes ou d'ailettes animées d'un mouvement de rotation dans un carter appelé corps de pompe. Elle fournit au liquide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en énergie de pression par réduction des vitesses.

La différence entre les pompes centrifuge, hélico-centrifuge et à hélice porte essentiellement sur la direction de l'écoulement du fluide dans les roues. Celle-ci étant imposée par la forme des roues.

La figure suivante nous présente les différentes formes de roues rencontrées :

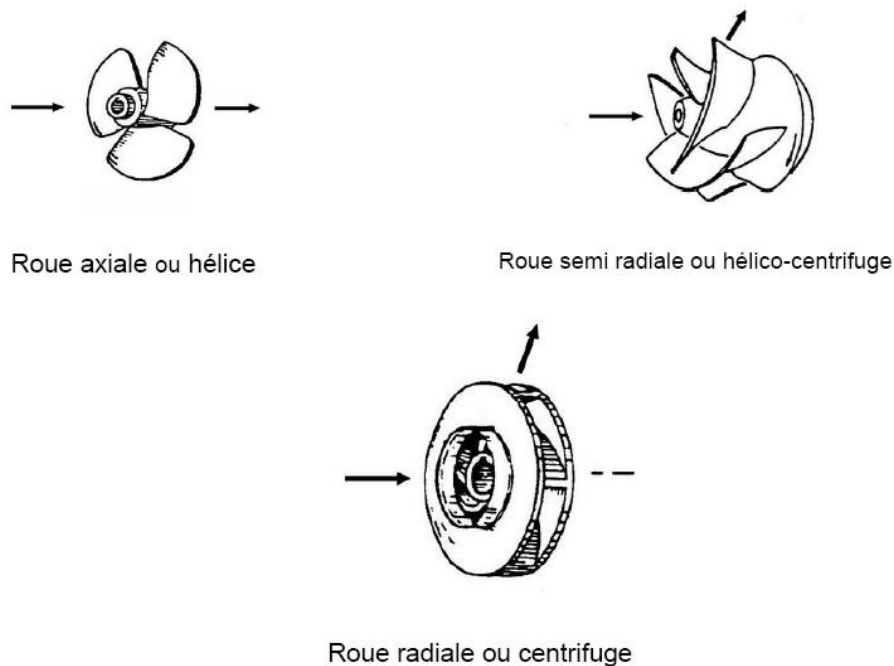


Figure 8: Types de roues pour les turbopompes.

Le processus de pompage se fait en trois étapes :

- L'aspiration : la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente, ce qui conduit à une baisse de pression, engendrant ainsi une aspiration et le maintien de l'amorçage.
- L'accélération : la rotation augmente la vitesse du fluide tandis que la force centrifuge qui le comprime sur la périphérie augmente sa pression.
- Le refoulement : dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression.

Il faut noter qu'il est nécessaire d'amorcer ces types de pompes au préalable.

Les pompes roto-dynamiques sont le plus souvent utilisées dans :

- L'alimentation en eau de surface, de profondeur, de mer ;
- L'arrosage, irrigation, assèchement ;
- Le chauffage, climatisation ;
- La distribution d'eau potable, eau industrielle, eau de piscine ;
- La protection incendie ;
- La distribution d'eau chaude industrielle et domestique.

Les avantages et inconvénients des turbopompes sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des turbopompes

Turbopompes	
Avantages	Inconvénients
- Un débit continu et important, - Une conception simple, compacte et de la robustesse - Prix d'acquisition relativement faibles, - Fonctionnement silencieux	- Une plage de pression assez basse (0,5 ; 10 bars), - Incapacité de pomper les liquides visqueux, - Absence d'auto-amorçage - Ne s'opposent à l'écoulement du fluide sous l'effet de la gravité à l'arrêt.

II.3 Pompage solaire [18]

La première tentative pour pomper l'eau par le soleil est initiée par Héron d'Alexandrie en l'an 100 après J.-C. Elle consistait à utiliser la dilatation de l'air entre le jour et la nuit pour aspirer de l'eau.

L'arrivée des cellules photovoltaïques en 1839 est venue simplifier le procédé. La première pompe solaire photovoltaïque fut installée en 1975 par les établissements Pompes Guinard, à titre expérimental à Propriano en Corse. Ce qui permit d'installer la première pompe à Koni au Mali deux ans après avec une puissance nominale de 1kW. Fin 1980, une pompe de près de 30 kW sera installée en démonstration à Montpellier.

II.3.1 Principes du pompage solaire

La caractéristique de l'énergie solaire est d'être périodique (jour/nuit), continuellement variable en fonction de l'ensoleillement au cours d'une journée. A partir de cette caractéristique, il se dégage deux principes de pompage solaire :

a) Le pompage au fil du soleil

Le pompage au fil du soleil s'effectue sans stockage préalable d'énergie. Le débit du pompage évolue avec l'intensité de l'ensoleillement. Par la variation de vitesse, et donc du débit, le pompage permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Pour une pompe volumétrique, le couple est constant : la puissance absorbée sera proportionnelle à la vitesse de rotation.

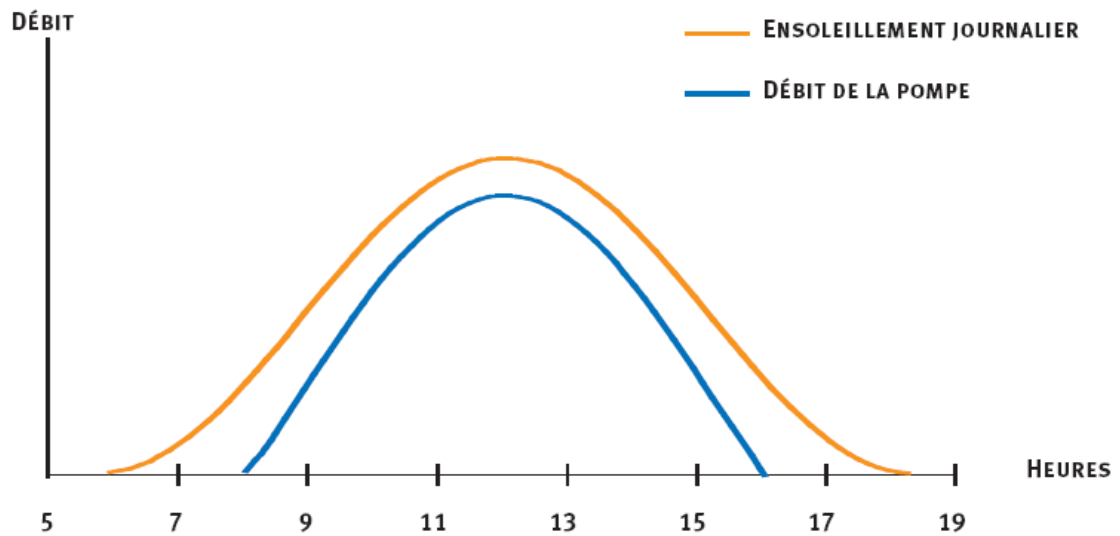


Figure 9: Allure de la courbe du débit pour un pompage au fil du soleil.

a) Pompage sur batterie

Pour le pompage sur batterie, l'énergie solaire est stockée dans des batteries d'accumulateur au préalable. Cela permet de faire fonctionner le système de pompage indépendamment des heures d'ensoleillement. C'est l'utilisateur qui déclenche la mise en route de la pompe qui fonctionne alors en régime fixe.

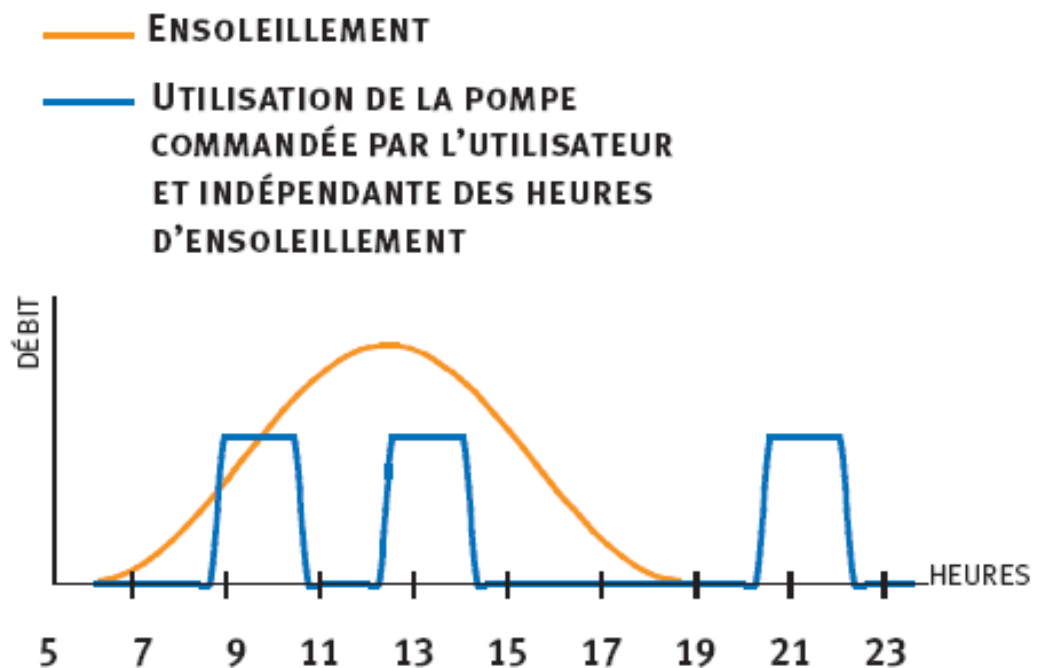


Figure 10: Allure de la courbe du débit pour un pompage sur batterie.

III- LES SYSTEMES A AIR COMPRIME ET LA CRIPTOPOMPE

III.A Les systèmes à air comprimé

L'air comprimé est de l'air prélevé à la pression atmosphérique, comprimé à l'aide d'un compresseur. Un système à air comprimé, en comparaison avec un circuit électrique, est un système qui utilise l'énergie transportée par l'air comprimé.

L'air comprimé est un vecteur énergétique coûteux comparé aux autres systèmes. Néanmoins, bien conçu et bien tenu, un système à air comprimé offre des possibilités d'économies d'énergie élevée, une réduction des fréquences de maintenances, accroît la production et améliore la qualité de la production.

A.1-Composantes

Un système à air comprimé se subdivise en trois branches, une branche **Production**, constituée de compresseurs et les unités de traitement de l'air, une autre branche **Demande**, englobant la distribution et le système de stockage et une dernière branche, **les équipements terminaux**. [5]

Les compresseurs, il en existe deux grandes familles [10]:

❖ Les compresseurs volumétriques :

La compression s'obtient par la réduction du volume de l'air absorbé. On distingue ainsi :

- Les compresseurs à piston
- Les compresseurs à vis
- Les compresseurs à lobes
- Les compresseurs à spirales
- Les compresseurs à palettes

Ce type de compresseurs est très adapté dans le cas d'une centrale de compression avec plusieurs compresseurs. La modulation est généralement assurée par un de ces compresseurs volumétriques, habituellement un compresseur à vis, bien adapté aux variations de débit.

❖ Les compresseurs dynamiques :(Centrifuges)

Ces compresseurs équipés de turbines, toujours non lubrifié. L'air accéléré par un « impulseur » (roues), génère une énergie cinétique qui se transformera en énergie potentielle de pression lorsque l'air sera ralenti dans son entrée dans le diffuseur.

Cette technologie est peu adaptée aux débits intermédiaires. En revanche, les compresseurs centrifuges sont les machines idéales (efficacité énergétique, absence de lubrification) pour produire en continu à leur niveau nominal.

Les Unités de traitement de l'air se subdivisent eux aussi en plusieurs sous-groupes [10], [5]:

❖ **Les Sécheurs :**

Les compresseurs entraînent dans les canalisations l'humidité de l'air ambiant aspiré. Il faut sécher cet air une fois qu'il a été comprimé. Pour ce faire, on utilise des sécheurs qui en réalité retiennent les gouttelettes d'eau condensée.

Le séchage de l'air est indispensable pour éviter la corrosion quand les tuyauteries sont en acier noir ou galvanisé, ou dans le cas où le réseau est équipé d'instrumentation qui nécessite de l'air particulièrement sec. La qualité de l'air comprimé est régentée par la norme ISO 8573-1 à laquelle il faut se référer pour déterminer les performances du séchage nécessaire.

On distingue deux grandes familles de sécheurs

- Les sécheurs frigorifiques : pour des points de rosée proches de +3°C sous pression
- Les sécheurs par adsorption : (par contact), pour des points de rosée inférieurs, {-20° ; -70°C sous pression}.

❖ **Les lubrificateurs :**

La plupart des outils et appareillages pneumatiques nécessitent une lubrification par brouillard d'huile. Les gouttelettes du brouillard idéales pour lubrifier les utilisations sont de taille comprise entre 0,3 micron et 0,01 micron.

❖ **Les séparateurs de condensat :**

Réglementation : Les installations de production d'air comprimé entrent dans la nomenclature des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les condensats récupérés quand la compression est lubrifiée sont chargés d'hydrocarbures avec des teneurs pouvant atteindre jusqu'à 10 g/l.

Ces rejets sont particulièrement nuisibles à l'environnement, car ils sont difficilement biodégradables, ils entravent l'apport d'oxygène et perturbent l'efficacité du processus d'épuration des boues par décomposition. La législation française relative aux rejets d'hydrocarbures rend obligatoire le traitement de ces effluents polluants : Décret N°77-1133 du 21 septembre 1977, loi du 13 juillet 92, décret du 20 décembre 93, arrêté du 2 février 1998.

Les unités de base pour 20 mg/l utilisent une chambre de détente où les condensats arrivent sous pression, un collecteur où s'accumulent les impuretés solides, puis un réservoir séparateur où l'huile remonte à la surface par gravitation avant d'être évacuée vers un réservoir collecteur. Le condensat doit ensuite traverser un système de filtrage par préfiltre

coalesceur puis un filtre à adsorption au charbon actif pour que soient retenues les dernières particules d'hydrocarbures.

Ces unités deviennent plus complexes quand il s'agit d'atteindre 5 à 10 mg/l.

❖ **Les filtres :**

Un air comprimé filtré évite toutes pollutions, préserve les équipements et ainsi réduit les coûts d'entretien. La qualité de l'air est définie par la norme 8573-1.

Les filtres installés en ligne augmentent les pertes de charge de 0,3 bar en moyenne par cartouche de filtre pendant leur durée d'utilisation. Chaque filtre est ainsi responsable d'une surconsommation énergétique de l'ordre de 2 à 3% (+1 bar = +6% à +7% d'énergie pour les compresseurs). La production d'air comprimé sans lubrification, qui permet d'éviter la filtration pour déshuilage, est une solution souvent retenue dans le cas d'une utilisation intensive d'air comprimé et/ou si l'on veut que l'air soit de qualité « classe 0 ».

❖ **Le système de refroidissement :**

Il est important de noter que pour obtenir de meilleures performances énergétiques, la présence d'un système de refroidissement est cruciale.

On distingue deux systèmes de refroidissement :

- Refroidissement par eau
- Refroidissement par air

Ils nécessitent tous deux l'installation d'un échangeur de chaleur.

La branche demande qui englobe :

❖ **La tuyauterie**

La distribution de l'air comprimé dans tout le système est assurée par un réseau de tuyauterie. Le choix de la matière des conduites se fait en fonction des conditions d'exploitation, le lieu et les exigences de la centrale. Les sections optimales des conduites seront alors déterminées par calcul en fonction du débit, la longueur et la vitesse.

❖ **Le réservoir à air comprimé:**

Les réservoirs à air comprimé assurent le maintien d'un volume d'air à la pression du réseau. Ils évitent les chutes brutales de pression lors des pointes de consommation (il est préférable de limiter ces chutes à 1 bar). Ils remplissent aussi le rôle de point de purge du système. L'utilisation de réservoir à air comprimé comporte des risques pour la santé de personnel, il fait donc l'objet d'une réglementation pour une utilisation plus sûre.

Un réservoir à air comprimé doit être muni des éléments suivant [4]:

- Un manomètre : il permettra de contrôler la pression interne de notre réservoir ;
- Une soupape de sécurité pour permettre d'évacuer l'excès de pression dans le réservoir en cas de dysfonctionnement du système de régulation de pression ;
- Un purgeur situé au point le plus bas du réservoir afin de drainer tout condensat qui se dépose dans le réservoir ;
- Un regard, une ouverture suffisante pour un contrôle visuel et une intervention manuelle lors de la maintenance du réservoir ;
- Un pressostat
- Une note lisible indiquant la pression maximale admissible et la date de la dernière inspection.

Les manuels des fabricants pour chaque composant doivent être soigneusement étudiés pour bien comprendre les principes de fonctionnement et les exigences de maintenance. Toutes les instructions données dans les manuels doivent être explicitement suivies. Ainsi bien le dimensionner est important pour un fonctionnement optimal du système.

La figure suivante illustre les différents composants d'un système à air comprimé :

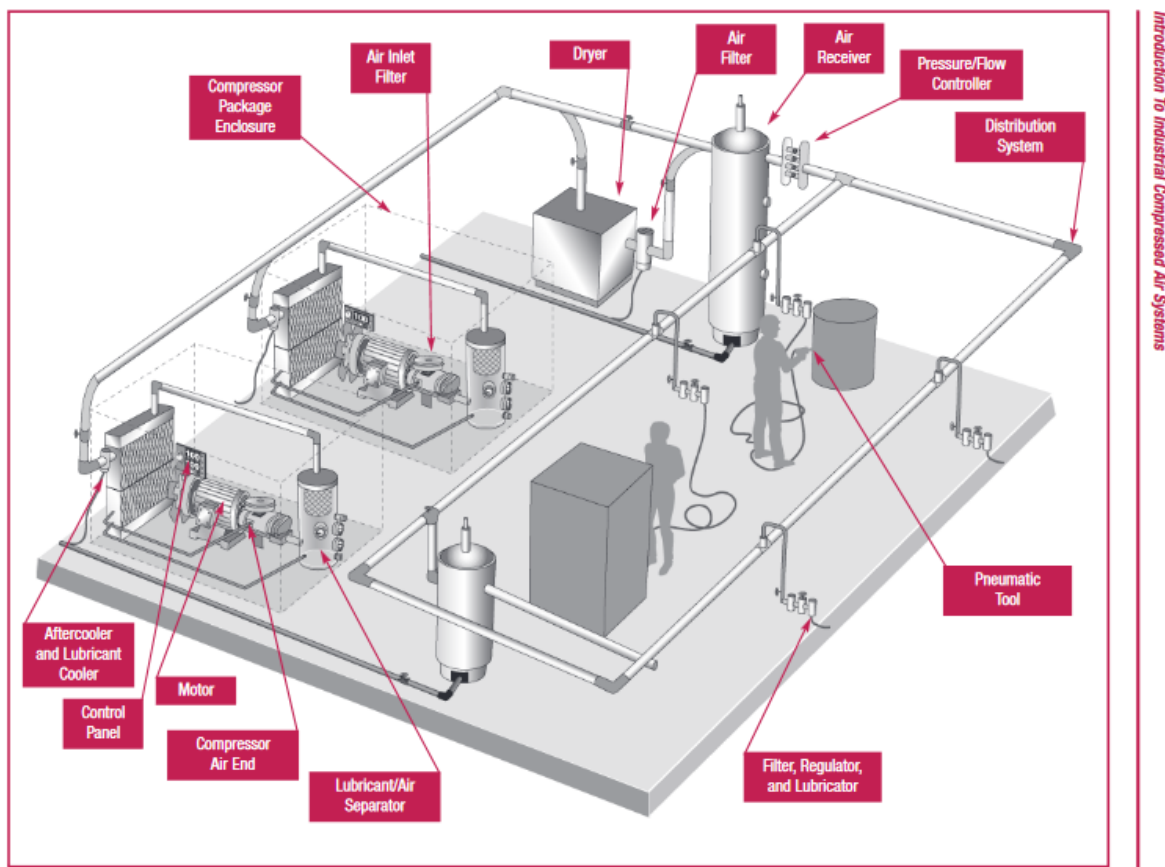


Figure 11: Composantes d'un système à air comprimé.[5]

III.B La CRIPTOPOMPE

Les systèmes de pompages actuels présentent tous un point commun : ils nécessitent tous un apport constant en énergie pour pouvoir déplacer le fluide, sources d'énergies qui ne sont pas toujours disponibles à proximité du site de pompage dans nos pays en voie de développement.

C'est dans l'optique de répondre à ces différents problèmes que s'inscrit la conception de la pompe immergée CRIPTOPOMPE. Tout en fonctionnant avec un apport en énergie faible, elle permettra notamment d'atteindre des profondeurs difficilement accessibles tout en fournissant un débit assez important pour des activités telles que l'irrigation.

Dans cette partie de notre travail, nous allons tout d'abord vous présenter une description détaillée de la pompe immergée CRIPTOPOMPE. Ensuite nous parlerons des principes qui régissent le fonctionnement de la pompe.

B.1- Description de la CRIPTOPOMPE

La CRIPTOPOMPE est constituée principalement de trois parties distinctes.

- Le champ photovoltaïque : Il tire l'énergie du soleil à travers des panneaux solaires **BLUESUN SOLAR BSM270P-60 G** (annexe 17), qu'il transforme en énergie électrique utilisable par les compresseurs et autres composantes électriques.
- Le système à air comprimé : Le système à air comprimé est assimilé à l'accouplement par analogie avec les autres pompes. Il tire sa source du circuit énergétique et transmet cette énergie au circuit hydraulique par le biais de l'air comprimé.
- Le circuit hydraulique : qui assure le pompage du fluide

a) Le système à air comprimé

Le système à air comprimé comprend, une armoire électrique de 150×56×124cm de fabrication en soudure et compartimentée en trois. Un compartiment plus grand pour les compresseurs ; un deuxième pour les protections électriques et la commande de la pompe et un dernier pour le réservoir d'air comprimé. Il est installé aux abords du trou de forage dans un espace sec ; et d'un réseau de distribution.

- Compartiment compresseurs :

Il peut contenir au maximum 20 compresseurs superposés. C'est le cœur de la pompe. Les compresseurs produisent l'air comprimé nécessaire au fonctionnement de la pompe.

- Compartiment électrique et commande

Il se subdivise en deux compartiments. D'un côté les différentes protections électriques des différentes composantes du système à air comprimé et de l'autre côté le cerveau de la

pompe. Le cerveau, encore appelé CRIPTOSYS assure le contrôle de tout le système électrique de la pompe. Il gère l'alimentation de la pompe en air comprimé en actionnant (ouvrir/fermer) les électrovannes à l'entrée des compensateurs. Il permet d'optimiser la production en programmant le démarrage des compresseurs en fonction de leur nombre d'heures d'utilisation de manière à ce que le compresseur avec le moins d'heure de fonctionnement démarre en premier. Il est aussi capable de collecter les données provenant des capteurs (ensoleillement, pression, température, humidité) en temps réel sur les sites d'installation et les transmettre au centre de recherche. La commande du système à air comprimé peut aussi s'effectuer depuis le centre de recherche.

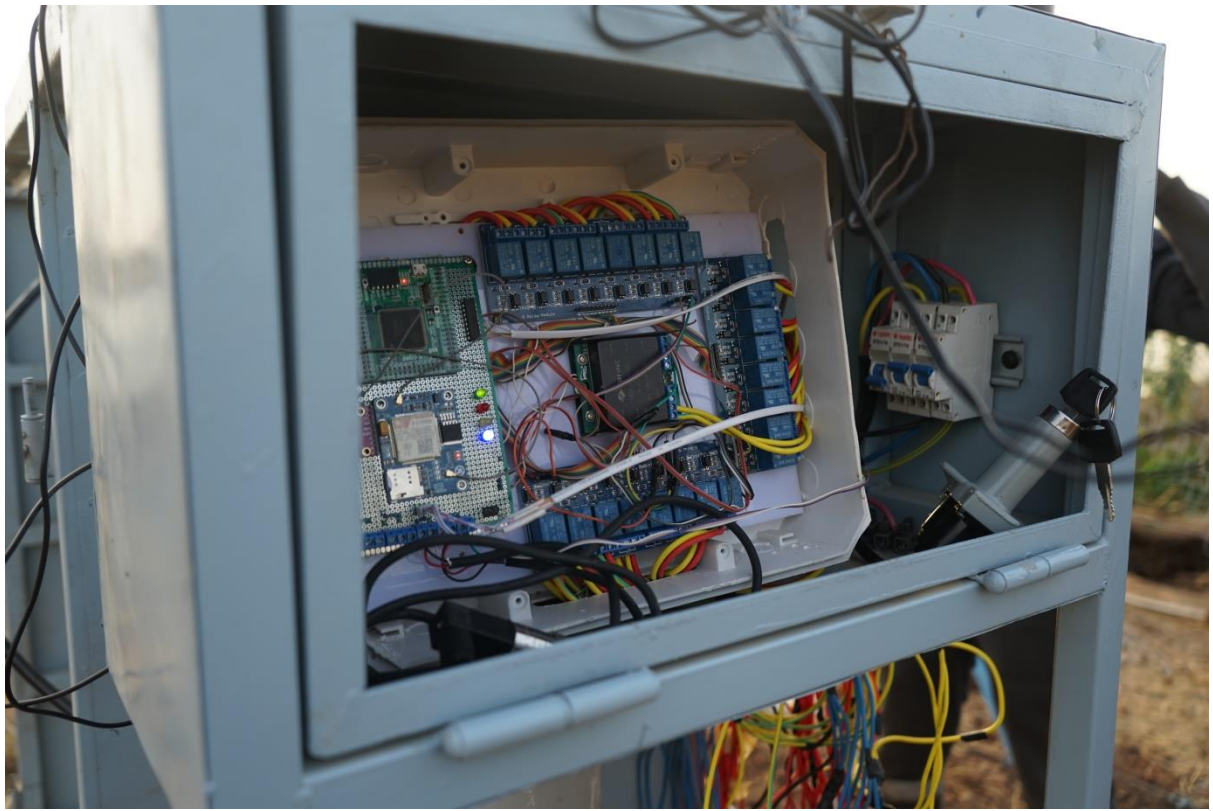


Figure 12 : CRIPTOSYS

- Compartiment réservoir

Il dispose d'un réservoir d'air comprimé pour stocker l'air produit par les différents compresseurs et l'injecter dans le circuit d'air comprimé.



Figure 13 : Armoire électrique.

b) La partie immergée

C'est la partie de la pompe qu'on retrouve dans le puit de forage. Elle comporte :

- Un ou plusieurs compensateurs (en fonction de la profondeur d'installation)
Le compensateur n'est rien d'autre qu'un cylindre doté de bouchon à ses extrémités. A l'extrémité supérieure, un tuyau surmonté d'un clapet anti-retour passe à travers le bouchon et qui sert de circuit de refoulement. Un deuxième tuyau plus petit passe à travers le bouchon et est destiné à l'injection de l'air ; à l'extrémité inférieure un autre tuyau équipé d'un clapet anti-retour assure le remplissage du compensateur en eau. Il est nécessaire que cette partie soit immergée dans l'eau pour permettre son remplissage.
- Une ou plusieurs chambres sérielles
La chambre sérielle est similaire au compensateur à la seule différence que la chambre sérielle ne comporte pas d'orifice d'injection d'air et comporte donc un volume d'air à l'intérieur bien limité. C'est ici que se passe le principe de compression et de dépression sérielle.

Les éléments de la partie immergée sont faits, soit en PVC soit en acier galvanisé.

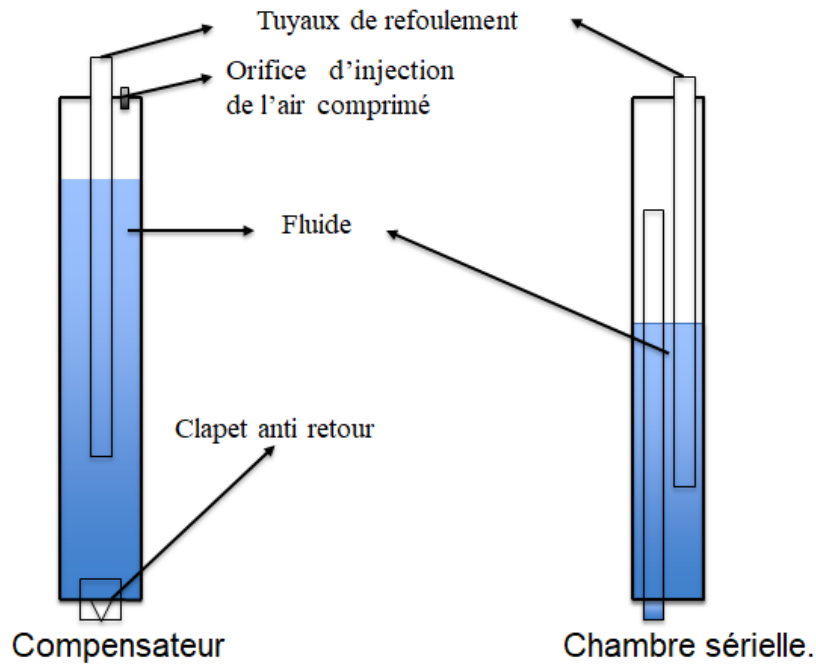


Figure 14 : Croquis d'un compensateur et d'une chambre sérielle.

c) Le champ photovoltaïque

Selon la gamme de pompe, notre champ photovoltaïque devra fournir soit 8,1 kW, soit 10,8 kW.

Le champ photovoltaïque sera alors constitué de 30 ou 40 panneaux photovoltaïques **BLUESUN SOLAR BSM270P-60 G**. Le courant continu produit sera converti en alternatif par un variateur de fréquence pouvant aussi remplir le rôle d'onduleur. Le nombre de branche en parallèle du champ photovoltaïque sera alors défini par la tension d'entrée maximale admissible du variateur de fréquence.

L'intérêt du variateur de fréquence ici est d'améliorer les performances des moteurs de nos compresseurs. Il permet notamment de limiter les pics de courant lors du démarrage des moteurs en les faisant accélérer progressivement.

Après conversion du courant par notre onduleur, il alimente directement les compresseurs à travers des disjoncteurs.

B.2- Principe et fonctionnement

Le fonctionnement de la CRIPTOPOMPE est une invention qui repose sur deux principes de pompages brevetés: le principe de **compression en série autonome** et le principe de **dépression en série autonome**.

a) Principe

La dépression série autonome, repose sur le fait qu'un gaz contenu dans un système fermé

non isolé peut recevoir le travail de l'environnement extérieur ou fournir le travail à l'environnement extérieur. La présente invention exploite donc la situation dans laquelle c'est le système fermé qui fournit du travail à l'environnement extérieur. Il s'agit principalement de fluides compressibles.

Considérons le cas d'un fluide compressible, par exemple de l'air, contenu dans un tube qui est isolé de l'environnement extérieur par un bouchon de poids négligeable, capable de glisser sans frottement le long de la paroi du tube. Si la pression dans l'environnement extérieur est réduite au-dessous de la pression régnant à l'intérieur du système, le bouchon se déplacera vers le haut sous l'effet de la dilatation du fluide compressible situé à l'intérieur du système. Ainsi, le système fournit du travail.

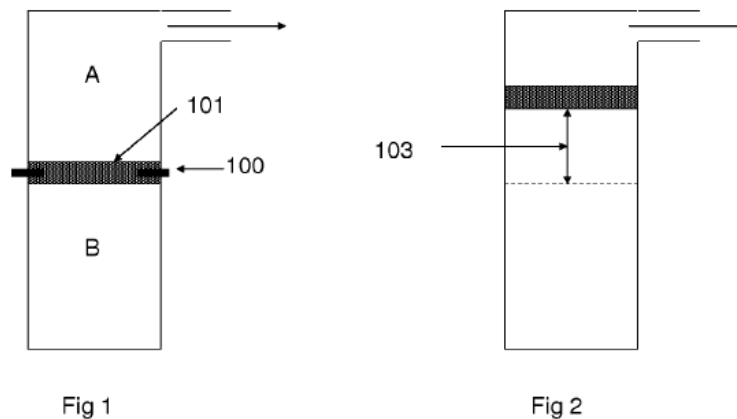


Figure 15

Fig 1 de la Figure 15 représente deux chambres séparées par un bouchon étanche de poids négligeable. Le bouchon est sécurisé par deux broches [100] afin de le maintenir en position contre les pressions différentielles. Soit V_1 et P_1 respectivement le volume et la pression dans le compartiment B et P_{ex} est la pression dans le compartiment A telle que $P_{ex} \ll P_1$. Lorsque les deux broches [100] sont retirées, le bouchon [101] est poussé vers le haut en raison de la dilatation du gaz comme sur Fig 2 (Figure 15). Ceci est le résultat du travail du gaz contenu dans la chambre [B]. Le travail effectué par le système entraîne une augmentation de volume [103] qui correspond à l'équation:

$$W = -P_{ex} dV \quad (1)$$

Où W [W] est le travail, P_{ex} [Pa] est la pression dans l'environnement extérieur et dV est la variation de volume [103].

Reprenons la même expérience en remplaçant le bouchon [104] par un bouchon fixe à travers lequel passe un tube [106] reliant les compartiments A et B et pénétrant à une certaine profondeur afin d'éviter les échanges gazeux comme dans Fig 3 (Figure 16). Le tube est isolé par une valve [105]. Gardons la pression $P_{ex} \ll P_1$.

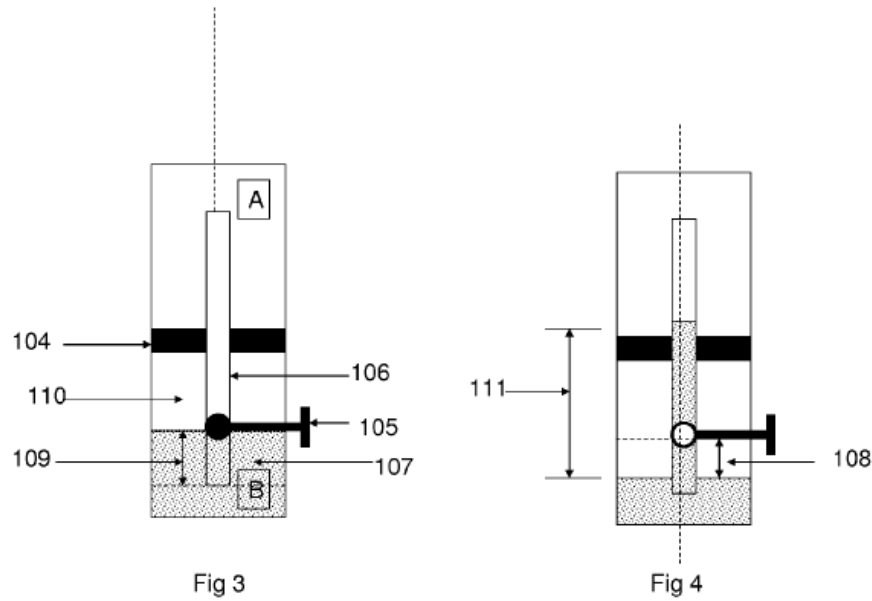


Figure 16

Si on ouvre la vanne [105] progressivement, du fait que $P_{ex} \ll P_1$, le gaz dans le compartiment B commencera une dilatation isotherme qui fera donc monter le liquide [107] du compartiment B le long du tube [106] (Fig 4 - Figure 16). Cette montée de liquide s'accompagne d'une augmentation du volume de gaz [110] dans le compartiment. Cette augmentation de volume [108] résulte du travail effectué par le gaz [110] du compartiment B. L'augmentation de volume sans échange de matière dans le compartiment B s'accompagne donc d'une baisse de la pression P_1 du gaz [110].

Le travail total réalisé par le gaz [110] lors de son expansion est donc exprimé par la relation suivante:

$$W = -P dv - mgh = -P_{ex} dV \quad (2)$$

Où P [Pa] est la pression du gaz dans le compartiment B,
 dv est la variation du volume [108] du gaz [110] ,
 m [kg] est la masse du liquide,
 g [m.s⁻²] est l'accélération due à la pesanteur,
 h [m] est la hauteur ou la tête [111] du liquide incompressible [107] dans le tube [106].
 P_{ex} [Pa] est la pression extérieure au compartiment B obtenue dans le compartiment A,
 dV est la variation de volume [103].

Pour que le liquide [107] remplisse complètement le tube [106], le travail fourni par la dilatation ou la détente du gaz [110] doit être suffisant pour fournir le travail requis, qui est directement lié à la valeur de la pression P_{ex} dans le compartiment A. Dans le dispositif expérimental de la Fig 3 et la Fig 4 (Figure 16), le travail à fournir pour que le liquide [107] remplisse complètement la longueur du tube [106] est décrit par la formule ci-dessous, qui a été conçue en tenant compte des facteurs expérimentaux:

$$W = -\frac{P_1 V_1}{(V_1 + V_t)} l^{-\frac{\rho g V_t^2 \sin \alpha}{RT V_{tsp}}} \iiint dv - \frac{\rho g dv^2}{V_{tsp}} \sin \alpha \quad (3)$$

Où P_1 et V_1 sont respectivement la pression et le volume du gaz [110] à l'état initial, c'est-à-dire avant l'ouverture du robinet [105];

ρ [ρ] est la densité du liquide [107];
 g [m.s⁻²] est l'accélération due à la gravité,
 R est la constante de gaz universelle = 8,314 J·K⁻¹·mol⁻¹;
 T [K] est la température du gaz;
 V_t [m³] est le volume total du tube [106];
 V_{tsp} [m³] est le volume spécifique du tube [106];
 α [°] est l'angle entre le système et le plan horizontal.

La pression du gaz [110] dans le compartiment B lorsque le travail effectué est suffisamment grand pour que le liquide [107] monte de la hauteur totale du tube [106] est exprimée par l'équation 4 ci-dessous. Cette pression est encore appelée pression critique P_c , et considérée comme la pression au-dessus de laquelle le liquide [107] va déborder du tube dans le compartiment A. Elle est exprimée par l'expression suivante:

$$P_c = -\frac{P_1 V_1}{(V_1 + V_t)} l^{-\frac{\rho g V_t^2 \sin \alpha}{RT V_{tsp}}} \quad (4)$$

Le travail total fourni par la dilatation isotherme du gaz [110] peut donc être exprimé par la relation ci-dessous, qui est la solution de l'équation 3:

$$W = -\frac{P_1 V_1}{(V_1 + V_t)} l \left(-\frac{\rho g V_t^2 \sin \alpha}{RT V_{tsp}} + \ln v_t \right) - \frac{\rho g V_t^2}{V_{tsp}} \sin \alpha \quad (5)$$

La réduction de la pression du gaz [110] dans le compartiment B résultant de son expansion peut être exploitée au moyen de la pression externe par un autre système fermé non isolé similaire au système de Fig 3 et Fig 4 (Figure 16) . Cela revient à disposer ces simples dispositifs du modèle à étudier aux Fig 3 et Fig 4 en série en les empilant les uns sur les autres. Ce dispositif est donc constitué d'une série de systèmes fermés et isolés en terme de gaz stocké au-dessus du liquide de chaque système. Le nombre de moles de ces gaz reste constant car il n'y a pas d'échange de matière avec les autres systèmes. Cependant, du point de vue thermodynamique, le liquide incompressible se comporte comme dans un système ouvert car il est possible que du liquide soit transféré d'un système à un autre. L'expansion du gaz contenu dans un système fermé et isolé fournira le travail nécessaire pour transporter le liquide contenu dans un système ouvert d'un système à un autre.

Et lorsque la dépression créée dans le premier système [112] est suffisamment grande pour que la pression dans le dernier système [115] soit égale à la pression critique, la pression P_i du gaz contenu dans chaque système i peut être décrite ou évaluée à l'aide des éléments suivants: équation:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = \frac{P_1 V_1}{V_1 + dv} l^{-\frac{\rho g dv^2 \sin \alpha}{P_1 V_1 V_{tsp}}} \Rightarrow dv \leq vt \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = \frac{P_1 V_1}{V_1 + dv} l^{-\frac{\rho g (ht^2 - h_{imt}^2) + V_{tsp} \sin \alpha}{P_1 V_1}} \Rightarrow dv > vt \end{array} \right. \quad (7)$$

Où dv est la variation du volume de l'air [110] au cours de l'expansion,

vt est le volume du tube et lui-même la variation de la profondeur de l'eau [109] au cours de la dépression.

Les équations 6 et 7 sont des modèles physiques de la variation de la pression de l'air au cours de l'expansion. La variation de pression lorsque dv est inférieure ou égale au volume du tube est décrite par l'équation 6 et lorsque le volume dv est supérieur au volume du tube, c'est-à-dire lorsque le liquide déborde du tube et tombe dans le tube. Dans le compartiment ci-dessus, la pression de l'air [110] est décrite par l'équation 7.

Lorsque la dépression appliquée dépasse la longueur physique, la différence de pression entre le côté refoulement et le côté aspiration tend vers zéro. Le système se comporte comme s'il

n'y avait pas de pression hydrostatique. La longueur apparente du système devient plus courte que la longueur physique du périphérique.

Ainsi, connaissant le nombre total de systèmes montés en série, il est possible de calculer le P_{exR} de dépression qui doit être créé sur le premier système [112] pour pouvoir atteindre la pression critique P_c dans le dernier système, en appliquant l'équation suivante:

$$P_{exR} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_1 V_1}{V_1 + dv} l^{-\frac{\rho g(ht^2 - h_{imt_i}^2) + V_{tsp} \sin \alpha}{P_1 V_1}} - \rho g(ht - h_{imt_i}) \sin \alpha \quad (8)$$

La condition pour que l'écoulement en série se poursuive jusqu'au réservoir dépend de la pression différentielle entre la pression au-dessus du liquide [116] et la pression du gaz à l'intérieur du dernier système [115]. Ce différentiel doit être suffisamment important pour que le liquide [125] monte sur toute la hauteur du tube [117] et déborde dans le dernier système [115].

Par conséquent, pour que ce système fonctionne en continu, il est important de noter que la pression du gaz [110] doit être supérieure à la pression d'ébullition. En dessous de cette pression, les gaz dissous se gazéifieront et constitueront la différence de pression dans le système adjacent au premier système. Les gaz sortant de la phase liquide augmenteront donc la pression du gaz au-dessus du liquide, ce qui ne permettra pas d'activer la dépression en série autonome. La pression critique P_c et la pression du premier système P_{ex} doivent impérativement être supérieures à la pression d'ébullition. Dans le cas de l'eau, la pression d'ébullition, même à 50 degrés Celsius, est suffisamment basse (0,123 bar) et peut être estimée pour toutes les températures comprises entre 5 et 140 degrés Celsius à l'aide de l'équation suivante:

$$\ln P_{sat} = 13,7 - \frac{5120}{T} \quad (9)$$

Où T est la température sur l'échelle Rankine et P_{sat} est la pression de saturation dans les atmosphères.

De même, le même système que celui décrit ci-dessus utilisant le principe de la dépression sérielle autonome peut être utilisé en créant une compression sérielle autonome. Pour cela, il suffit que la pompe soit immergée sur une profondeur suffisante pour provoquer la compression du gaz contenu au-dessus du liquide. L'objectif principal est de créer une compression de sorte qu'il existe une différence de pression par rapport à la pression externe ou ambiante. En même temps que se produit la compression et que le liquide est ouvert au

système situé au-dessus à une pression inférieure, le gaz en compression fournira un travail qui provoquera la montée du liquide dans le système dans le compartiment supérieur. Le gaz est comprimé par la pénétration de liquide via sa partie immergée. La pénétration du liquide dans le système réduit donc le volume d'air. D'où l'augmentation de sa pression. La pression de compression est égale à la pression hydrostatique ou à la charge de liquide dans laquelle la pompe est immergée.

Dans le système de compression série autonome, une colonne motrice n'est pas nécessaire. La différence de pression entre le système et l'environnement extérieur est donc suffisante pour permettre un écoulement en série lorsque la profondeur d'immersion est suffisante pour activer la compression en série.

b) Fonctionnement

La disposition compensateur/chambre sérielle est importante dans le fonctionnement de la technologie. Le compensateur est le premier élément de la chaîne, car il permet de déclencher la compression en série. Ensuite viennent les chambres sérielles qui répètent la compression.

De manière pratique, les compresseurs présent dans le coffret en surface compriment l'air ambiant et l'envoient dans les compensateurs immergés situé dans le puit de forage. L'air pénètre dans le compensateur par un orifice prévu à cet effet. La pression d'air dans le compensateur augmente et entraîne ainsi la compression de l'eau, à cause de son caractère incompressible, l'eau est donc chassée du compensateur vers le haut à travers le tuyau de refoulement du compensateur jusqu'à la chambre sérielle au-dessus.

L'eau remplit progressivement la chambre sérielle située, comprimant ainsi l'air contenu dans la chambre sérielle jusqu'à ce que la pression de l'air dans la première chambre sérielle soit supérieure à la pression de l'air contenu dans la chambre sérielle du dessus déclenchant ainsi la compression en série autonome. Se produit alors une dilatation de l'air et ainsi la montée de l'eau dans le tuyau de refoulement de la chambre sérielle jusqu'à la chambre du dessus. Ce phénomène est répété dans les chambres du dessus.

L'eau arrive ainsi dans le compensateur suivant et les compresseurs reprennent le relais.

Le pompage ici se fait de manière alternative, c'est-à-dire que deux compensateurs successifs pompent l'eau chacun à son tour pour permettre un pompage continu.

IV- OPTIMISATION DU CIRCUIT A AIR COMPRIME DE LA CRIPTOPOMPE

Le système à air comprimé de la CRIPTOPOMPE comporte deux grandes parties : **approvisionnement et recyclage.**

La partie approvisionnement englobe la production d'air comprimé, le traitement, le stockage et le transport jusque dans le puit de forage. La partie recyclage va des compensateurs (assure la reprise de l'air injecté auparavant dans les compensateurs) jusqu'à la réutilisation de l'air recyclé par les compresseurs.

L'optimisation du système va donc consister à :

- Apporter des méthodes d'optimisations de la production ;
- Choisir les équipements adéquats pour assurer un bon traitement de l'air et la sécurité du système ;
- Dimensionner un réservoir de stockage d'air comprimé ;
- Dimensionner les conduites des deux parties, en minimisant les effets des pertes de charges ;
- Schématiser des circuits d'approvisionnement et de recyclage de la CRIPTOPOMPE.

IV.1 Optimisation de la production

L'optimisation de la production d'air vise principalement à réduire la consommation spécifique des compresseurs (kWh/Nm³). Il existe plusieurs méthodes pour améliorer la production d'air comprimé :

Réduction de la pression de service :

Dans les systèmes à air comprimé, il est commun de rencontrer une pression de service supérieure à celle requise par les récepteurs. Généralement pour éviter les dégâts occasionnés par un manque de pression sur les machines ou tout simplement par ignorance. C'est pourquoi il est recommandé d'installer un régulateur de pression. Il permettra de limiter la pression de service de notre système.

Les économies réalisées pour une pression de refoulement moyenne réduite, P_{2r} , par rapport à une pression de refoulement moyenne élevée, P_2 , lorsque la pression d'air en entrée est P_1 se calcule comme suit [15]:

$$FR = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{0.286} - \left(\frac{P_{2r}}{P_1}\right)^{0.286}}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{0.286} - 1} \quad (10)$$

En considérant une pression de consigne de 3 bars et une pression recommandée de 2,5 bars, l'économie partielle par réduction de pression sur la consommation d'énergie serait de 20%.

Pour nous permettre de limiter la pression de notre système, nous avons opté pour l'utilisation d'un régulateur de pression. Le model compact **Compact 406.293** du catalogue ewo Air comprimé pourra être retenu (annexe 23). Il nécessite l'installation d'un filtre à air comprimé en amont pour des raisons d'entretien.

IV.2. Traitement de l'air

Une bonne qualité de l'air est essentielle au bon fonctionnement des procédés en aval de la centrale. Elle permet notamment d'éviter la pollution par les huiles et les particules de poussières de notre liquide à pomper, l'encrassement et les surcoûts inutiles avec des entretiens plus fréquents et une génération plus rapide des fuites d'air. Il convient toutefois d'éviter le surdimensionnement qui affecterait le rendement des installations.

La norme ISO 8573-1 a défini 9 classes en fonction de la teneur en particules, en eau et en huile décrite dans la figure suivante :

ISO8573-1:2010 CLASSE	Particules solides				Eau		Huile
	Nombre maximum de particules par m³			Concentration massique mg/m³	Point de rosée sous pression	Liquide g/m³	Teneur totale en huile (sous forme liquide, d'aérosols et de vapeurs)
	0,1 - 0,5 micron	0,5 - 1 micron	1 - 5 microns				mg/m³
0	Valeurs conformes aux spécifications de l'utilisateur ou du fournisseur de l'équipement et supérieures aux valeurs de Classe 1						
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6 000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1 000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10 000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100 000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Figure 17: Classification de la pureté de l'air ISO8573-1:2010

Les exigences en matière de qualité de l'air de notre application de pompage seront assimilées à celles d'une application alimentaire. La spécification de la pureté de l'air à retenir est alors : **ISO 8573-1 :2010 1.4.1.**

IV.2.1 Sécheur :

La classe 4 de teneur en eau de la Norme ISO 8573-1 :2010 est celle qui correspond le plus à une application alimentaire de l'air comprimé. Elle prévoit un point de rosé sous

pression de $\leq +3^{\circ}\text{C}$.

Au vu des diverses méthodes de séchage, le séchage par réfrigération s'inscrit comme la méthode la mieux adaptée :

- ❖ Une efficacité énergétique élevée ;
- ❖ Séparation de près de 100% de toute les particules solides et gouttelettes d'eau supérieur à $3\mu\text{m}$;
- ❖ Engendre de faible perte charge

- **Choix du sécheur**

Pour choisir notre sécheur, en plus d'être en adéquation avec les conditions d'utilisations de notre système, il doit être capable de supporter le débit d'air de notre système. Ainsi nous devons calculer le débit supporté par le sécheur ramené aux conditions d'installation.

Un sécheur **DRYPOINT RAX 50** a un débit nominal de principe de 50 scfm (1416 l/min). La masse d'air maximum pouvant être obtenue dans les conditions de fonctionnement suivantes est :

Pression d'entrée d'air = 4 bars

Température ambiante = 40°C

Température d'air en entrée = 43°C

Point de rosée sous pression = 3°C

Facteur (F1) = 0.79

Facteur (F2) = 0,94

Facteur (F3) = 0,82

Facteur (F4) = 1,00

À chaque paramètre de fonctionnement correspond un facteur numérique qui, multiplié par le débit nominal de principe, détermine ce qui suit :

Débit d'air réel = Débit nominal x Facteur (F1) x Facteur (F2) x Facteur (F3) x Facteur (F4)

En appliquant les facteurs de correction en fonction des données ci-dessus, on obtient un débit d'air réel de 30,45 scfm, soit 862.25 l/min pour le modèle RAX 50.

Le débit d'air réel seuil de notre sécheur est supérieur au débit de notre système.

Nous retenons ainsi le sécheur DRYPOINT® RAX, modèle RAX 50 pour le séchage de notre air comprimé (annexe 14)

IV.2.2 Filtre :

Le but du filtre est de retenir le maximum possible de particules solides d'une dimension particulière contenu dans notre air comprimé. La classe 1 de la norme ISO 8573-1 :2010

définit le nombre maximum de particules solides par m³ d'air à :

- ❖ 400000 particules pour les tailles de 0.1 à 0.5 micron
- ❖ 6000 particules pour les tailles allant de 0.5 à 1 micron
- ❖ 100 particules pour des tailles de 1 à 5 microns

Pour atteindre le niveau de filtration spécifié par la norme, il est indispensable de procéder à une filtration à deux étages minimum. Le premier étage assure la préfiltration de notre air pour atteindre la classe 2. Le deuxième étage assure ensuite une filtration fine pour atteindre la classe 1.

- **Choix des filtres**

Nous avons retenu une combinaison de deux filtres. Le premier, préfiltre v du catalogue Air Comprimé ewo, modèle **429.5410** et le deuxième un micro filtre m du catalogue Air Comprimé ewo, modèle **430.5510**.

- **Justification**

Débit du système $\approx$ 700 l/min.

Tableau 4: Débit des filtres à air comprimé.

Modèle	Débit (Nl/min ; l/min)
429.5410	5333 ; 716
430.5510	6500 ; 873

Le seuil de débit acceptable par chacun des modèles ci- dessus $Q_{429.5410}$ et $Q_{430.5510}$ sont supérieur à celui du système.

Ils correspondent aussi à la classe 1 de filtration de poussière définie par la norme ISO 8573-1 :2010 (annexe 15).

IV.3 Dimensionnement des conduites

Tout d'abord, nous devons choisir le matériau le mieux adapté pour notre situation et nos installations. Ce matériau doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Une faible rugosité ;
- Une bonne résistance à la pression ;
- Une bonne résistance à la corrosion ;
- Une bonne flexibilité des liaisons ;
- Une bonne étanchéité ;
- Et une bonne résistance aux rayons UV

Pour notre cas, nous avons retenu le **Caoutchouc** et le **PVC** en fonction de leur disponibilité sur le marché. Les caractéristiques des tuyaux sont consignées en annexe 16.

Le tableau suivant présente la rugosité absolue des différentes conduites :

Tableau 5: Caractéristiques du conduit.

Caractéristiques du conduit		
Rugosité absolue [m]	Caoutchouc	0,000025
	PVC	0,000015

Le dimensionnement des sections des conduites se fait par la méthode des pertes de charges linéique constantes. La section des conduites sera calculée pour la distance allant de 10 à 200 mètres et pour un débit d'air circulant à l'intérieur de **70l/min** à **1050l/min**.

La pression de service étant de **2 bars**, on admettra comme des pertes de charge maximales admissibles inférieures à **0.02 bar**.

Les caractéristiques de l'air retenu pour le dimensionnement sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 6: Caractéristiques de l'air retenu.

Caractéristiques de l'air	
Température [°C]	40
Humidité relative [%]	50
Masse volumique [kg/m ³]	1,112
Viscosité cinématique [m ² /s]	0,000017
Vitesse [m ² /s]	[5 ; 10]

En considérant les paramètres précédant, On obtient les sections de conduites (en millimètre) mentionné dans le tableau en annexe 18.

IV.4 Réservoir de stockage

Il sert de réservoir pour le stockage de l'air comprimé, et absorbe les pulsations dans la conduite de refoulement des compresseurs.

La construction du réservoir de stockage doit être minutieuse en raison des risques que comporte l'utilisation de cet équipement. Les points à respecter sont les suivants :

- La coque cylindrique et les plaques d'extrémité sont chacune, de préférence, fabriquées à partir d'une seule plaque. Si la coque cylindrique et les plaques d'extrémité ne peuvent pas être fabriquées à partir d'une seule plaque, elles doivent être composées d'un nombre minimum de joints.
- Les soudures longitudinales ne doivent pas passer à travers les buses ou les ouvertures. Toutes les soudures doivent être effectuées par des soudeurs qui ont été testés selon le code national correspondant.
- Les ouvertures de contrôle ne doivent pas être situées à proximité d'un joint soudé et, si nécessaire, une bague de compensation doit être installée afin de compenser l'effet des discontinuités à proximité des ouvertures.

- Tous les matériaux utilisés dans la fabrication des réservoirs de stockage doivent être conformes aux exigences du code de conception correspondant et pouvoir être identifiés à l'aide des feuilles de la fabrique. Le choix des matériaux de la coque doit prendre en compte l'adéquation des matériaux avec la pression de travail maximale et le procédé de fabrication.
- Il est recommandé d'installer des amortisseurs de vibrations ou des isolateurs de vibrations entre le compresseur et le réservoir d'air. Dans le cas contraire, des vibrations pourraient être transmises au réservoir de stockage et provoquer l'apparition de fissures de fatigue dans le corps du réservoir.

Détermination du volume du réservoir

Dans leurs travaux « Optimizing Compressed Air Storage for Energy Efficiency », Brian Abels et J.Kelly Kissock ont pu établir que le volume d'un réservoir de stockage à air comprimé peut s'écrire [6]:

$$V = \frac{V_{net} \Delta t P_s}{P_2 - P_1}$$

Avec V [m^3] le volume du réservoir, V_{net} [$m^3 \cdot min^{-1}$] le débit d'air produit par les compresseurs, Δt [min] la durée de chute de pression admissible, P_s [bar] la pression atmosphérique. P_2 et P_1 en [bar] étant les valeurs de la plage de fonctionnement de nos compresseurs.

En considérant les paramètres suivant :

$$\Delta t = 1 \text{ min}$$

$$P_2 = 4 \text{ bars}$$

$$P_1 = 2 \text{ bars}$$

On obtient comme volume :

- 0.245 m^3 pour la gamme de 7 compresseurs ;
- 0.35 m^3 pour la gamme de 10 compresseurs.

Choix des composantes du réservoir de stockage

- Un manomètre $\varnothing 40$ numéro de commande 734 dans le catalogue ewo Air comprimé, avec une plage d'affichage de 0 à 16 bars (annexe 19);
- Une soupape de sécurité DN8 numéro de commande 351.224 dans le catalogue ewo Air comprimé avec une plage de réglage de la pression de 3 à 5 bars (annexe 20) ;
- Une soupape d'évacuation DN6 numéro de commande 259.011 dans le catalogue ewo Air comprimé. (annexe 21)

- Une soupape de décharge numéro de commande 166.12 dans le catalogue ewo Air comprimé. (annexe 22)

L'architecture du réservoir de stockage se présentera comme suit :

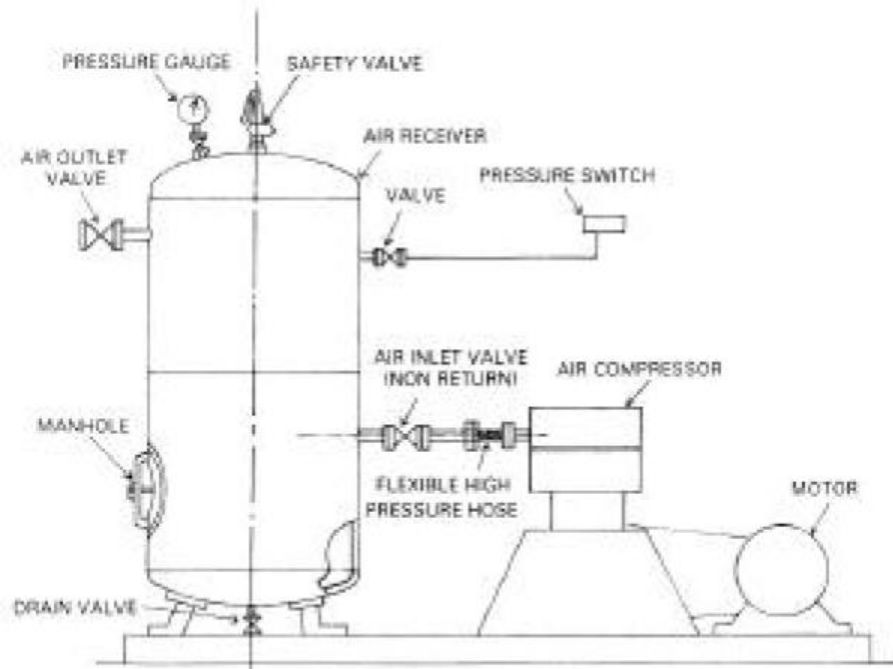


Figure 18: Architecture du réservoir de stockage.

IV.5 Maintenance de notre système à air comprimé

IV.5.1 Analyse des risques

La maintenance des systèmes à air comprimé comporte d'importants risques d'accidents de travail. Ces accidents de travail sont pour la plupart mineurs. Mais certains d'entre eux peuvent mettre en danger la vie des utilisateurs. C'est pourquoi en prendre connaissance avant toute utilisation est très important.

a) Description de l'installation

Notre système à air comprimé se compose de compresseurs à air qui produisent l'air comprimé, des tuyauteries qui assurent le transport de l'air comprimé des compresseurs au sécheur pour le séchage de l'air, puis du sécheur aux filtres à air pour la filtration, des filtres au réservoir de stockage et enfin du réservoir de stockage à la partie hydraulique de la pompe.

(Schéma de principe)

b) Modalités de gestion des équipements

Les différentes modalités de gestion des équipements et les différents modes de fonctionnement sont fournis dans les manuels d'utilisation de chaque équipement.

c) Processus d'analyse et d'évaluation des risques :

L'analyse et l'évaluation des risques font partie du processus global de gestion des risques qui apparaît à la figure 4 plus bas, tirée de la norme ISO 31000 :2009

La démarche d'appréciation des risques est composée de trois parties à exécuter de manière itérative:

1. L'identification des risques;
2. L'analyse des risques;
3. L'évaluation des risques.

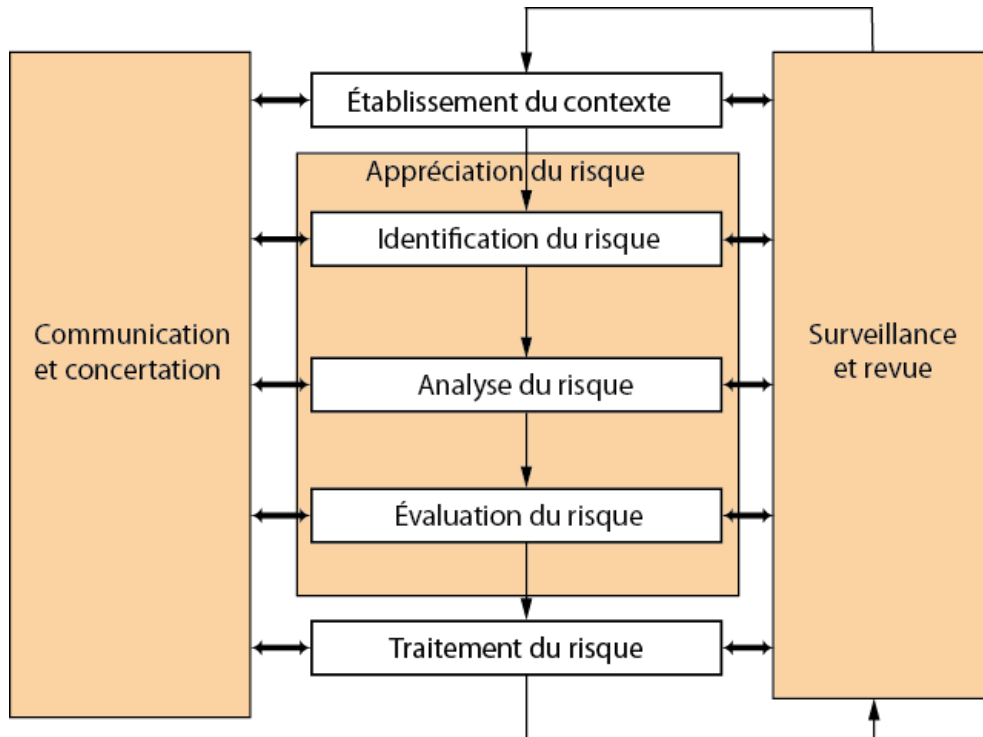


Figure 19 : L'appréciation des risques dans le processus global de gestion des risques (adapté de MSP, 2008).

Cette démarche d'identification, d'analyse et d'évaluation des risques s'inscrit comme étant la pierre angulaire du processus global de gestion des risques; sans une bonne connaissance des risques, il est difficile de mettre en œuvre des mesures adéquates afin d'éviter leur occurrence ou bien de gérer les effets lorsque ceux-ci se matérialisent (traitement des risques).

Notre analyse des risques s'inscrit dans le cadre de la maintenance de notre système à air comprimé. Compte tenu du niveau de pression mis en œuvre dans notre système, les équipements de notre système peuvent présenter des dangers pour les opérateurs lors de la maintenance.

❖ Identification des risques

Compte tenu du niveau de pression mis en œuvre dans notre système, les équipements de notre système, les opérateurs de maintenance s'exposent principalement à des risques liés à la

santé et la sécurité.

❖ Analyse du risque

Les dommages occasionnés par la maintenance des systèmes à air comprimé sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 7: Dommages liés à la maintenance des équipements d'un système à air comprimé

Désignation	Dommages
Compresseurs	- Brulures - Ecrasement par les organes mobiles. - Electrocutation - Bruit ambiant et/ou vibrations.
Sécheurs	- Blessure grave ou mort (éclatement de joint mal fixé) - Choc électrique - Brulure
Réservoir à air comprimé	- Perforations - Lésions diverses

❖ Evaluation du risque

Ces dommages sont principalement liés :

- Au niveau de pression qui peut être libéré ;
- A la partie du corps soumise à cette pression ;
- Aux caractéristiques physico-chimiques du fluide ;
- Aux particules projetées sur le corps ;
- A la chute d'équipements.

Un opérateur peut être exposé à un fluide sous pression :

- Lors d'une opération de maintenance nécessitant le maintien de pression durant les phases de diagnostic, de réglage, de tests de fonctionnement, de recherche de fuites...,
- Lors de la rupture d'un joint d'étanchéité, d'un raccord ou d'un flexible

Pour minimiser l'occurrence des différents dommages énumérés ci-dessus, les équipements de pneumatiques des machines doivent être conçues de sorte que :

- La pression maximale ne puisse pas être dépassée dans les circuits,
- Aucun phénomène dangereux ne puisse résulter de variations ou d'une augmentation de pression, ni de chute de pression, de perte de charge ou d'une réduction de pression,
- Aucun jet dangereux de fluide ou mouvement brusque dangereux d'un tuyau flexible ne puisse résulter d'une fuite ou de la défaillance de composants ;
- Les récepteurs pneumatiques, les réservoirs d'air ou les cuves similaires soient conformes aux codes ou réglementations de conception qui leur sont applicables,

- Tous les éléments qui restent sous pression, après séparation de la machine de sa source d'énergie, soient munis de dispositif de mise à la pression atmosphérique.

Le bruit et les températures en services des composants doivent être pris en compte lors de la conception des systèmes. Les émissions de bruits doivent être réduites au minimum à la source.

Pour faciliter la maintenance, il convient de prévoir des moyens adéquats ou bien d'équiper les composants et tuyauteries de façon que leur dépose :

- Réduise au minimum la perte de fluide,
- Pour les machines fixes uniquement, ne nécessite pas de vidanger le réservoir,
- Ne nécessite pas un démontage inutile des pièces adjacentes.

On veillera également en particulier à :

- Identifier par un marquage approprié la nature et la pression des fluides véhiculés dans les tuyauteries, canalisation et flexibles,
- Fixer les tuyauteries souples à des éléments fixes, afin de limiter l'amplitude des fouettements en cas de déconnexion.

Le port des équipements de protection et de sécurité est indispensable pour pouvoir procéder à la maintenance de notre système.

IV.5.2 Plan de maintenance

Le plan de maintenance s'appuie sur les interventions planifiées par le constructeur et aussi l'historique des pannes pour déterminer le type de maintenance à appliquer. Nous préconisons une maintenance préventive conditionnelle, en plus d'une maintenance corrective systématique conformément à l'échéancier prévu par les constructeurs, en raison de l'absence d'historique de maintenance des équipements. La maintenance de notre système à air comprimé se résume à la maintenance des composantes suivantes :

- Les compresseurs
- Le sécheur
- Le filtre à air
- Le réservoir de stockage
- La tuyauterie

Le planning d'entretien de notre système est résumé en annexe 14.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre travail a consisté à optimiser le circuit à air comprimé de la CRIPTOPOMPE. Plus précisément harmoniser le circuit d'air comprimé, améliorer la production et dimensionner un réservoir d'air comprimé.

Nous avons pu établir qu'un système à air comprimé se constituait de compresseurs, d'unités de traitement de l'air, d'une unité de stockage et des tuyauteries.

Les compresseurs pour la production de l'air comprimé. Des filtres à air et sécheurs s'assurent du traitement de cet air et enfin un réservoir pour le stockage de l'air comprimé. En vue d'améliorer notre système à air comprimé de la CRIPTOPOMPE, nous préconisons les actions suivantes :

- Installation d'un régulateur de pression réglé à 4 bars pour notre circuit ;
- Installation d'un préfiltre et d'un micro filtre en raison du risque de pollution de l'eau pompé par l'air provenant du circuit à air comprimé ;
- Installation d'un sécheur frigorifique pour éviter la corrosion de la tuyauterie dû à l'humidité de présent dans l'air comprimé ;
- Installation d'un réservoir de stockage équipé d'un manomètre, une soupape de sécurité DN8 avec une plage de réglage de la pression de 3 à 5 bars, une soupape d'évacuation DN6, une soupape de décharge et une ouverture comme indiqué dans la figure 13 ;
- L'utilisation des diamètres de tuyauterie recommandés dans les tableaux en annexe 9 ;

L'optimisation de la production aurait été plus affinée si on avait pu modéliser le système avec des données réelles. Mais à cause du manque d'instrumentation de notre système, nous n'avons malheureusement pas eu la possibilité de la faire.

De plus, l'utilisation du pompage au fil du soleil entraine une fluctuation de la ressource énergétique lors d'un passage nuageux au-dessus du champ photovoltaïque. L'installation de batterie résoudrait ce problème.

Cette technologie de pompage peut aussi être appliquée au pompage des eaux d'un cours d'eau tel qu'un fleuve.

BIBLIOGRAPHIE

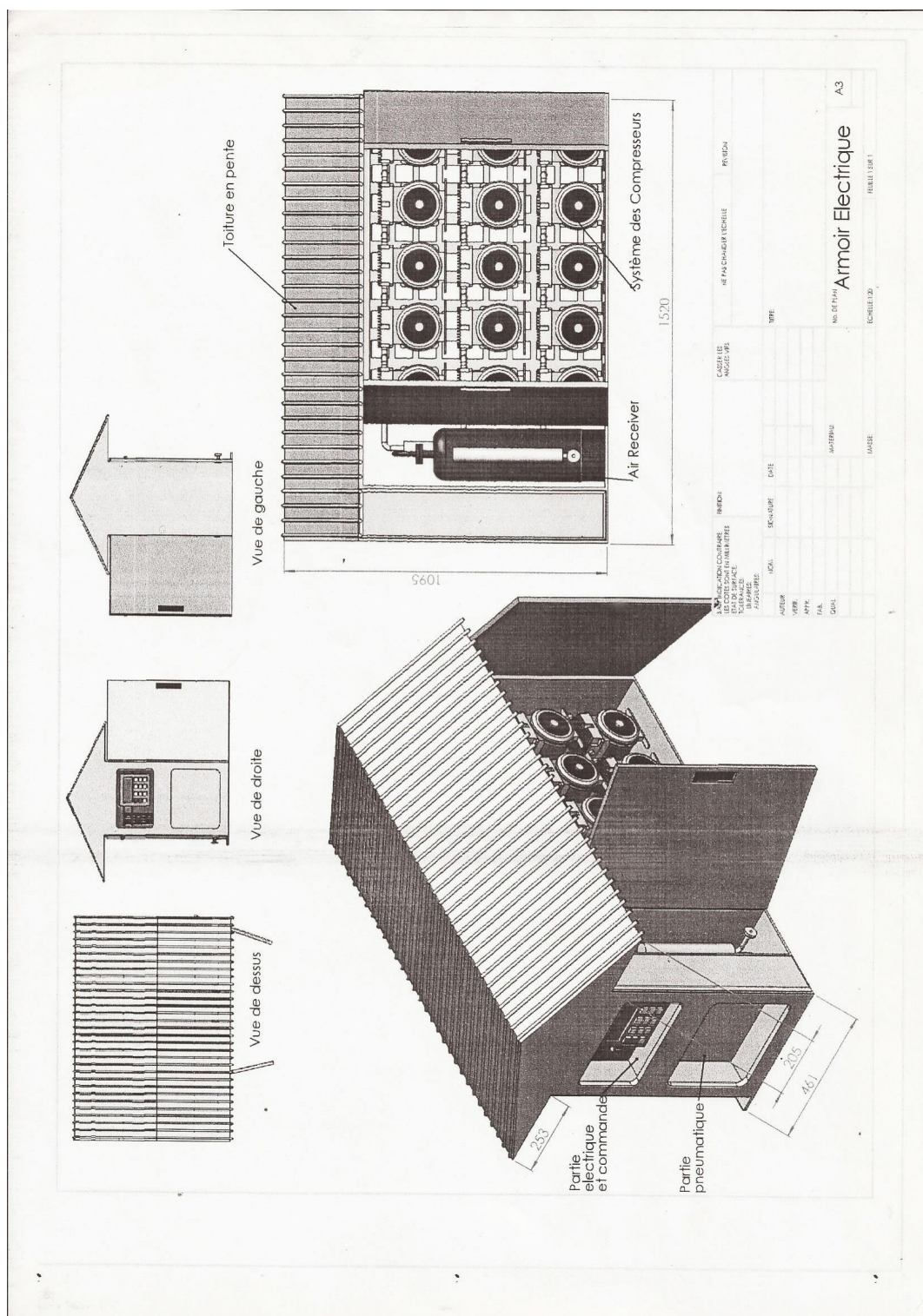
- [1]. Organisation mondiale de la Santé et UNICEF. 2007. « Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement : Le défi urbain et rural de la décennie »
- [2]. Florencia Valdés Andino. 2015. « Dans la région du lac Tchad, réchauffement climatique et terrorisme vont de pair »[en ligne]. <https://information.tv5monde.com/afrique/dans-la-region-du-lac-tchad-rechauffement-climatique-et-terrorisme-vont-de-pair-61151> consulté le 08 Décembre 2019
- [3]. Abdul Hadi Mahmoud Ayoub. Modeling of industrial air compressor system energy consumption and effectiveness of various energy saving on the system. Indiana : Purdue University Indianapolis. 2018
- [4]. Occupational Safety and Health Branch, Labour Department, « A Guide to the Construction, Installation, Operation and Maintenance of Air Receivers », 2016
- [5]. U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy « Improving Compressed Air System Performance, a sourcebook for industry », 2003
- [6]. B. J. Abels and K. Kissock, « Optimizing compressed air storage for energy efficiency », University of Dayton, 2011
- [7]. SECTORIEL air comprimé « Réservoir pour air comprimé, NOTICE DE MONTAGE ET D'ENTRETIEN », 2015
- [8]. Instructions d'installation et d'utilisation, Sécheur réfrigérant à air comprimé, BEKO DRYPOINT RAX 600-5000 NA
- [9]. Dr. Harinaivo A. ANDRIANISA. 2016. « Cours de technologie de pompes ».
- [10]. ATEE (ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT). , 2013. « Guide pratique de l'air comprimé ».
- [11]. Air comprimé de haute qualité pour l'industrie agroalimentaire, Parker domnick hunter.
- [12]. UNICEF, « Resultat 2017 : Le programme de coopération Tchad-UNICEF 2017-2021 programme de coopération dans le secteur de l'Eau, Hygiène et Assainissement », 2017
- [13]. Le Bemadjiel Djerasssem, « Patent application publication Djerasssem », 2011
- [14]. UNICEF « L'eau sous le feu des bombes », 2019
- [15]. K. Kissock, « Modeling and simulation of air compressor energy use », in

ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2005.

- [16]. Philippe Rekacewicz. Accès à l'eau potable. [en ligne] 2008
<https://www.monde-diplomatique.fr/cartes/eaupotable> consulté le 09 Décembre 2019.
- [17]. Pascal BIGOT. Cours CIRA 1^{ère} année « MECA-FLU V : LES POMPES ».
- [18]. Système solaires. Technologie européennes du pompage solaire photovoltaïque. 2004.
- [19]. Institut national de recherche et de sécurité : « Prévention des risques en maintenance », 1^{ère} édition, mars 2017.

ANNEXES

ANNEXE 1: -Armoire électrique de la CRIPTOPOMPE

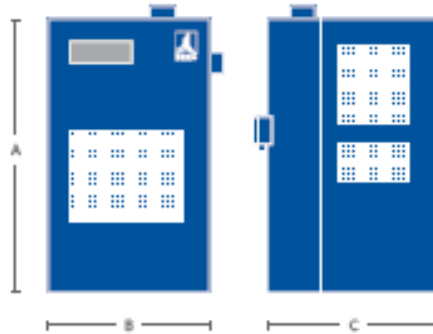




ANNEXE 4 : - Fiche technique du sécheur frigorifique

DRYPOINT® RAX Premium Refrigeration Dryers equipped with all premium features including BEKOMAT® as standard

Standard outlet pressure dew point	38 °F
Max. Inlet air temperature	160 °F
Min. / Max. ambient temperature	34/120 °F
Max. Inlet pressure	
RAX 20-50	232 psig
RAX 75-7800	200 psig
Required Pre-filtration	1.0 µm
Recommended Post-filtration	.05 µm



Model	Flow Rate (cfm)	Pressure Drop (psid)	Connection Size	Standard Voltage	Power Input (kW)	A (in)	B (in)	C (in)	Weight (lbs)
RAX 20	20	.44	1/2" NPT-F	115V/1Ph	.26	29	14	17	62
RAX 30	30	1.16	1/2" NPT-F	115V/1Ph	.27	29	14	17	64
RAX 50	50	1.60	1/2" NPT-F	115V/1Ph	.39	29	14	17	75
RAX 75	75	1.89	1/2" NPT-F	115V/1Ph	.48	29	14	17	79
RAX 100	100	2.47	1/2" NPT-F	115V/1Ph	.58	32	19	18	82
RAX 125	125	2.18	1/2" NPT-F	115V/1Ph	1.00	32	19	18	101
RAX 150	150	2.90	1/2" NPT-F	115V/1Ph	1.06	32	19	18	110
RAX 200	200	2.18	1/2" NPT-F	115V/1Ph	1.10	35	22	23	121
RAX 200	200	2.18	1/2" NPT-F	230V/1Ph	1.10	35	22	23	121
RAX 200	200	2.18	1/2" NPT-F	460V/3Ph	1.22	35	22	23	121
RAX 250	250	2.61	1/2" NPT-F	230V/1Ph	1.19	35	22	23	119
RAX 250	250	2.61	1/2" NPT-F	460V/3Ph	1.38	35	22	23	119
RAX 300	300	1.31	2" NPT-F	230V/1Ph	1.64	38	22	25	203
RAX 300	300	1.31	2" NPT-F	460V/3Ph	1.41	38	22	25	203
RAX 350	350	1.89	2" NPT-F	230V/1Ph	2.15	38	22	25	207
RAX 350	350	1.89	2" NPT-F	460V/3Ph	1.80	38	22	25	207
RAX 400	400	1.02	2 1/2" NPT-F	230V/1Ph	2.48	44	26	29	331
RAX 400	400	1.02	2 1/2" NPT-F	460V/3Ph	2.70	44	26	29	331
RAX 500	500	1.89	2 1/2" NPT-F	460V/3Ph	2.57	44	26	29	355
RAX 600	600	2.47	3" Flange	460V/3Ph	2.65	58	31	39	529
RAX 800	800	3.05	3" Flange	460V/3Ph	3.25	58	31	39	514
RAX 1000	1000	2.76	3" Flange	460V/3Ph	4.10	58	31	39	608
RAX 1250	1250	3.77	3" Flange	460V/3Ph	4.60	58	31	39	686
RAX 1500	1500	3.05	4" Flange	460V/3Ph	5.60	69	45	47	1021
RAX 1750	1750	2.03	4" Flange	460V/3Ph	6.40	69	45	47	1186
RAX 2000	2000	2.90	4" Flange	460V/3Ph	7.50	69	45	47	1190
RAX 2500	2500	3.77	4" Flange	460V/3Ph	8.60	69	45	47	1349
RAX 3000	3000	2.90	6" Flange	460V/3Ph	12.20	71	51	69	1830
RAX 4000	4000	2.90	8" Flange	460V/3Ph	15.70	76	55	87	2330
RAX 5000	5000	3.77	8" Flange	460V/3Ph	23.50	76	55	87	2650
RAX 6100	6100	3.20	8" Flange	460V/3Ph	23.70	96	61	85	4040
RAX 7000	7800	4.50	8" Flange	460V/3Ph	26.60	96	61	85	4430

Correction Factors

Operating Pressure psig	60	80	100	120	140	160	180	200
Correction Factor	.79	.91	1.00	1.07	1.13	1.18	1.23	1.27
Inlet Air Temperature °F	90	100	110	120	130	140	150	160
Correction Factor	1.16	1.00	.82	.68	.53	.45	.45	.40

Ambient Air Temperature °F	89	90	100	105	110	115	120
Correction Factor	1.11	1.09	1.00	.94	.87	.78	.69
Pressure Dew Point °F	38	41	45	50			
Correction Factor	1.00	1.08	1.20	1.36			

Subject to technical errors, changes, omissions and/or corrections without prior notice.

ANNEXE 5 : - Fiches techniques des filtres à air

Evo

Filtre à air comprimé

Micro-filtre m

Filtre silicate de bore. De préférence pour le filtrage des aérosols et des impuretés solides de plus de 0,01 µm. Le montage en amont d'un pré-filtre v est recommandé.

Application : Installations de peinture au pistolet, décapeurs au jet de sable, unités de commande, installations à vide, instruments de mesure, techniques des fluides, air de refoulement, air de processus, pelier d'air, climatisation.

Structure :

1. Soutien interne, gaine de renfort étirée en acier inoxydable.
2. Non-tissé de pré-filtration.
3. Microfibres en non-tissé de silicate de bore sans tant 0,01 µm.
4. Tissu de renfort.
5. Soutien externe, gaine étirée en acier inoxydable.
6. Gaine en mousse synthétique.
7. Capuchons en aluminium.

Principe de fonctionnement : L'air si possible pré-nettoyé (pré-filtre) traverse l'élément filtrant de l'intérieur vers l'extérieur. Les impuretés grossières sont d'abord retenues par le non-tissé de pré-filtration, la filtration tridimensionnelle se déroule ensuite dans le silicate de bore multicouche. Le grand volume creux de 94 % entre les fibres de verre garantit une forte absorption d'éléments solides. Sous l'effet de la coalescence, le liquide séparé est transformé en goutte, puis accumulé dans la mousse synthétique. Ce liquide s'égoutte ensuite dans le réservoir et peut alors être évacué vers l'extérieur.

Nettoyage : Impossible. Remplacement recommandé en présence d'une perte de pression d'environ 0,8 bar (zone rouge sur le manomètre à pression différentielle) ou après environ 2 000 heures de service.

Versions standard :

Avec manomètre à pression différentielle et purge automatique externe A.

Taille	Raccord	N° de commande	
		Micro-filtre complet	Cartouche
I1	G 1/4"	430.2102	430-2
	G 3/8"	430.2104	430-2
	G 1/2"	430.2106	430-2
I2	G 1/4"	430.2206	430-6
	G 3/8"	430.2208	430-6
II1	G 1/4"	430.2306	430-6
	G 1"	430.2309	430-6
II2	G 1"	430.2409	430-6
	G 1 1/4"	430.2410	430-6
II3	G 1 1/4"	430.2510	430-11
	G 1 1/2"	430.2511	430-11
II4	G 1 1/2"	430.2611	430-12
	G 2"	430.2612	430-12

* Entrée et sortie réduites

Code de commande pour toutes les variantes :

430.x102

2 – avec manomètre à pression différentielle

5 – sans manomètre à pression différentielle

par exemple :

430.2102 sans manomètre à pression différentielle

= 430.2102

Caractéristiques techniques

Pression de service max. (p1)	16 bars
Température de service	+5 °C à +60 °
Position de montage	verticale
Sens du débit	voir flèche (de l'intérieur vers l'extérieur)
Raccord	G 1/4" à G 2" (voir tableau)
Pression de service min.	- Purge à commande manuelle : à partir de 0 bar - Purge autom. externe A : 4 bars
Manomètre à pression différentielle	0 à 2 bars (0 à 29 psi)
Rendement	99,999 % équivalent à 0,01 µm
Teneur résiduelle en huile	0,01 ppm
Qualité de l'air comprimé	selon ISO 8573-1, poussières/huile, classe 1

Débits

Taille	Raccord	Débit
	W	Q**
I1	G 1/4", G 3/8", G 1/2"	78 (1300)
I2	G 1/4", G 3/8"	120 (2000)
II1	G 3/8", G 1"	245 (4080)
II2	G 1", G 1 1/4"	275 (4580)
II3	G 1 1/4", G 1 1/2"	390 (6600)
II4	G 1 1/2", G 2"	540 (9000)

* Entrée et sortie réduites

** Débit en Nm³/h (Nm³/min) mesuré avec p=6 bars et Δp=0,1 bar

Dimensions

Taille	Raccord	Dimensions de l'appareil (mm)							Fixation			Poids (g)
		A	B	C	E	F	G***	J	K	L		
I1	G 1/4", G 3/8", G 1/2"	83	335	83	57	41,5	410	40	48	M6	2100	
I2	G 1/4", G 3/8"	83	405	83	57	41,5	550	40	48	M6	2300	
II1	G 3/8", G 1"	118	420	118	72	59	530	70	80	M8	4800	
II2	G 1", G 1 1/4"	118	520	118	72	59	730	70	80	M8	5300	
II3	G 1 1/4", G 1 1/2"	118	620	118	72	59	930	70	80	M8	5700	
II4	G 1 1/2", G 2"	118	810	118	72	59	1310	70	80	M8	6400	

* Entrée et sortie réduites

*** Place requise pour échange d'élément de filtre

Purgeurs de condensat, voir chapitre 8

Filtre à air comprimé

ewo

Pré-filtre v

Cartouches filtrantes en polyéthylène fritté hautes performances.

Application : Pré-filtre pour micro-filtre et combinaison micro-filtre – filtre à charbon actif, après-filtre pour sécheur à adsorption, absorption et Hgortique, filtre à poussière pour air comprimé et autres gaz comprimés.

Structure :

1. Cylindre en polyéthylène
2. Capuchons en aluminium

Principe de fonctionnement : Les particules de matières solides dont la taille est supérieure ou égale à 2 µm sont retenues pendant l'admission de l'air comprimé non purifié. Pendant la traversée de l'intérieur vers l'extérieur de l'élément, l'effet de coalescence améliore la séparation de l'humidité. Le débit ne s'en trouve pas réduit.

Nettoyage : Possible par lavage à la lessive chaude et soufflage de l'extérieur vers l'intérieur. Nettoyage recommandé au plus tard avec une perte de pression de 0,6 bar.

Versions standard :

Avec manomètre à pression différentielle et purge automatique externe A.

Taille	Raccord	N° de commande	
		Pré-filtre complet	Cartouche
I1	G 1/4"	429.2102	429-152
	G 3/8"	429.2104	429-152
	G 1/2"	429.2106	429-152
I2	G 1/2"	429.2206	429-156
	G 3/4"	429.2208	429-156
	G 1"	429.2308	429-158
I1	G 1"	429.2309	429-158
	G 1 1/4"	429.2409	429-159
	G 1 1/2"	429.2410	429-159
I3	G 1 1/4"	429.2510	429-161
	G 1 1/2"	429.2511	429-161
	G 2"	429.2611	429-162
I4	G 2"	429.2612	429-162

* Entrée et sortie réduites

Code de commande pour toutes les variantes :

429.x102

2 – avec manomètre à pression différentielle
5 – sans manomètre à pression différentielle

par exemple :

429.2102 sans manomètre à pression différentielle
= 429.2102

Caractéristiques techniques

Pression de service max. (p)	16 bars
Température de service	+5 °C à +80 °C
Position de montage	verticale
Sens du débit	voir flèche (de l'intérieur vers l'extérieur)
Raccord	G 1/4" à G 2" (voir tableau)
Pression de service min.	- Purge à commande manuelle : à partir de 0 bar - Purge autom. externe A : 4 bars
Manomètre à pression différentielle	0 à 2 bars (0 à 20 psi)
Rendement	99,99 % équivalent à 2 µm (impuretés solides)
Qualité de l'air comprimé	selon ISO 8573-1, classe 2

Dimensions

Taille	Raccord	Dimensions de l'appareil [mm]						Fixation			Poids [g]
		A	B	C	E	F	G***	J	K	L	
I1	G 1/4", G 3/8", G 1/2"	83	335	83	57	41,5	430	40	48	M5	2100
I2	G 1/2", G 3/4"	83	405	83	57	41,5	550	40	48	M5	2300
I1	G 1/4", G 1"	118	420	118	72	59	530	70	80	M5	4800
I2	G 1", G 1 1/4"	118	520	118	72	59	730	70	80	M5	5300
I3	G 1 1/4", G 1 1/2"	118	620	118	72	59	930	70	80	M5	5700
I4	G 1 1/2", G 2"	118	810	118	72	59	1310	70	80	M5	6400

* Entrée et sortie réduites

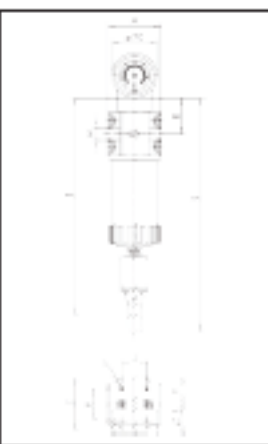
** Place requise pour échange d'élément de filtre

Débits

Taille	Raccord	Débit
	W	Q**
I1	G 1/4", G 3/8", G 1/2"	60 (1000)
I2	G 1/2", G 3/4"	120 (2000)
I1	G 1/4", G 1"	180 (3000)
I2	G 1", G 1 1/4"	320 (5333)
I3	G 1 1/4", G 1 1/2"	600 (8333)
I4	G 1 1/2", G 2"	800 (13333)

* Entrée et sortie réduites

** Débit en Nm³/h (l/h/min)
mesuré avec p₁ = 6 bars et Δp = 0,01 bar



Purgeurs de condensat, voir chapitre 8

ANNEXE 6 : - Fiche technique des conduites



Tuyaux à air comprimé en caoutchouc

Qualité industrielle pour un emploi universel, résistant à l'essence, aux huiles et aux UV.

Température de service: -40 °C à +100 °C

Intérieur: NBR

Armature: tissage en polyester

Extérieur: CR, lisse, noir



Tuyaux en PVC

Transparent, à prix avantageux, pour air comprimé et liquides. Résistant à l'essence et aux huiles. Indication: ce tuyau perd sa flexibilité lors de températures basses et lors du vieillissement.

Température de service: -15 °C à +60 °C

Intérieur: PVC mou

Armature: tissage en polyester

Extérieur: PVC, lisse, transparent

ANNEXE 7 : - Méthodologie de calcul des sections des conduites

Pour dimensionner, on commence par fixer un diamètre à priori,

Tuyaux caoutchouc D40mm

- Calcul de la vitesse de l'air compte tenu du débit

$$V = 4Q / \pi d^2$$

$$= Q / S$$

- Calcul du nombre de Reynold

$$Re = UDh / \nu = 4Q / \pi Dh \nu$$

- Calcul de la rugosité relative du conduit

$$\epsilon = k / D$$

k : rugosité absolu 0.012mm ou 0.025mm (caoutchouc)

- Coefficient de Darcy

Régime laminaire = $64 / Re$

Régime turbulent $1/\sqrt{\lambda} = -2 \log((\epsilon/D)/3.7 + 2.51/Re\sqrt{\lambda})$

$$\Lambda = 0.25 / (2 \log((\epsilon/D)/3.7 + 5.74/Re^{0.9}))$$

-

- Calcul de la perte de charge linéique de

$$\Delta P = (F \times L \times D^{1,85}) / (d^5 \times P)$$

ΔP = perte de charge en bar

F = facteur d'écoulement (1.6×10^8 pour l'acier)

L = longueur en m

D = débit en m³/s

d = diamètre intérieur du tube en mm

P = pression en bar absolu

$$\Delta P = \lambda(L/D)(\rho/2)v^2 \text{ Pa}$$

- Modifier le diamètre en procédant par itération de façon à ce que la perte de charge linéique soit aussi proche que possible de la valeur choisie.

ANNEXE 8 : - Caractéristiques de l'air



Caractéristiques de l'air

Tableau 3: Masse volumique et viscosité cinématique de l'air sous la pression atmosphérique normale de 101325 Pa (calcul selon ISO 5801 [12])

Température °C	Air sec		Air humide (humidité relative 50 %)	
	Masse volumique kg/m ³	Viscosité cinématique 10 ⁻⁵ m ² /s	Masse volumique kg/m ³	Viscosité cinématique 10 ⁻⁵ m ² /s
-20	1.395	1.157	1.394	1.158
-10	1.342	1.239	1.341	1.239
0	1.293	1.323	1.291	1.325
10	1.247	1.410	1.244	1.413
20	1.204	1.500	1.199	1.506
30	1.165	1.592	1.155	1.605
40	1.127	1.687	1.112	1.711
50	1.093	1.785	1.067	1.827
60	1.060	1.885	1.020	1.958
70	1.029	1.989	0.969	2.111
80	1.000	2.095	0.911	2.297
90	0.972	2.203	0.845	2.535
100	0.946	2.315	0.767	2.854

23/10/2012 Centre Scientifique et Technique de la Construction 10

ANNEXE 9 : - Résultats du dimensionnement des conduites

[20]. Caoutchouc :

Tableau 8: Section (mm) de conduite en caoutchouc (0-100m)

Distance (m)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Nombre de compresseurs	Débit d'air (m³/s)										
1	0.0012	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018
2	0.0024	0,018	0,018	0,018	0,02	0,02	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
3	0.0036	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03
4	0.0048	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0.006	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,035
6	0.0072	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,035	0,035	0,035	0,035
7	0.0084	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
8	0.0096	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,04	0,04
9	0.0108	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0.012	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
11	0.0132	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
12	0.0144	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
13	0.0156	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
14	0.0168	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
15	0.018	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tableau 9: Section (mm) de conduite en caoutchouc (110-200m)

Distance (m)		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Nombre de compresseurs	Débit d'air (m³/s)										
1	0.0012	0,019	0,019	0,019	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025
2	0.0024	0,023	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03

3	0,0036	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,0048	0,03	0,03	0,03	0,03	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
5	0,006	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
6	0,0072	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
7	0,0084	0,035	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
8	0,0096	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,045	0,045
9	0,0108	0,04	0,04	0,04	0,04	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
10	0,012	0,04	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
11	0,0132	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,05
12	0,0144	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,05	0,05	0,05	0,05
13	0,0156	0,045	0,045	0,045	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
14	0,0168	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
15	0,018	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,055	0,055

[21]. PVC

Tableau 10: Section (mm) de conduite en PVC (0-100m)

Distance (m)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Nombre de compresseur	Débit d'air (m/s)										
1	0,0012	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017
2	0,0024	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,02	0,02	0,02	0,02
3	0,0036	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
4	0,0048	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
5	0,006	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,0072	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
7	0,0084	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
8	0,0096	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
9	0,0108	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0,012	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

11	0,0132	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
12	0,0144	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
13	0,0156	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
14	0,0168	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
15	0,018	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tableau 11: Section (mm) de conduite en PVC (100-200m)

Distance (m)		110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Nombre de compresseurs	Débit d'air (m/s)										
1	0,0012	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2	0,0024	0,02	0,023	0,023	0,023	0,023	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
3	0,0036	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03	0,03	0,03
4	0,0048	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,006	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,035	0,035	0,035
6	0,0072	0,03	0,03	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
7	0,0084	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
8	0,0096	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
9	0,0108	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0,012	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
11	0,0132	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
12	0,0144	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
13	0,0156	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
14	0,0168	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
15	0,018	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

ANNEXE 10 : - Fiche technique du manomètre

Manomètres



Manomètres ø 40 et 50

EN837-1

Manomètre à tube de Bourdon avec raccord horizontal (à l'arrière) ou vertical (au-dessous). Diamètres 40, 50, 63 et 100 mm. Différentes plages d'affichage : La plage d'affichage devrait être utilisée des $\frac{2}{3}$ aux $\frac{3}{4}$. Cela signifie qu'un réducteur de pression avec une plage de réglage de 0,5 à 10 bars devrait être équipé d'un manomètre avec une plage d'affichage de 0 à 16 bars.

Manomètres ø 40

Affichage en bar et psi. Avec filetage en laiton.

Lunette plastique, boîtier ABS noir. Classe 2,5. Tmax 60 °C.

Raccord	Plage d'affichage [bar]	Fond/chiffres	N° de commande
Raccord horizontal			
G 1/8	0 - 2,5	noir/blanc	640
	0 - 4	noir/blanc	650
	0 - 6	noir/blanc	660
	0 - 10	noir/blanc	670
	0 - 16	noir/blanc	680
G 1/4	0 - 25	noir/blanc	690
	0 - 2,5	noir/blanc	708
	0 - 4	noir/blanc	709
	0 - 6	noir/blanc	714
	0 - 10	noir/blanc	723
M 8x1 (Mod. spécial)	0 - 16	noir/blanc	734
	0 - 25	noir/blanc	745
	0 - 3	noir/blanc	669
	0 - 6	noir/blanc	673
	0 - 10	noir/blanc	674
	0 - 16	noir/blanc	675

Raccord horizontal, avec zones couleur en supplément (rouge/vert)

G 1/4	0 - 16	blanc/noir	746
-------	--------	------------	-----



ANNEXE 11 : - Fiche technique de la soupape de sécurité



Soupapes de sécurité

Soupape de sécurité testée DN8

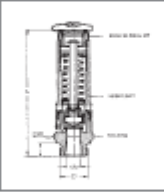


Les soupapes de sécurité ont été conçues pour réguler dans l'atmosphère des gaz non toxiques et non inflammables et pour protéger les réservoirs sous pression contre une surpression.

Remarque importante : seules les soupapes de sécurité réglées et plombées en usine sont fournies avec une identification du composant. Lors de la commande, impérativement préciser la pression à régler en bar. Pour le test de fonctionnement, il est possible de prélever les soupapes de sécurité en tournant la vis moletée vers la gauche. Pour nettoyer les sièges et les aigles d'anché, diviser entièrement la partie supérieure, sans modifier le réglage de la pression. Les réparations sont strictement réservées au fabricant.



351.247



Raccord	Dimensions [mm]				Pression réglée [bar]	N° de commande
W	L	i	SW	do		
G 1/4	85	10	20	8	1,0 - 1,5	351.221
G 1/4	85	10	20	8	1,5 - 2,0	351.222
G 1/4	85	10	20	8	2,0 - 3,0	351.223
G 1/4	85	10	20	8	3,0 - 5,0	351.224
G 1/4	85	10	20	8	5,0 - 7,0	351.225
G 1/4	85	10	20	8	7,0 - 9,0	351.226
G 1/4	85	10	20	8	9,0 - 15,0	351.227
G 1/4	90	10	20	8	15,0 - 20,0	351.421
G 1/4	90	10	20	8	20,0 - 27,0	351.422
G 1/4	90	10	20	8	27,0 - 40,0	351.423
G 1/2	85	10	20	8	1,0 - 1,5	351.241
G 1/2	85	10	20	8	1,5 - 2,0	351.242
G 1/2	85	10	20	8	2,0 - 3,0	351.243
G 1/2	85	10	20	8	3,0 - 5,0	351.244
G 1/2	85	10	20	8	5,0 - 7,0	351.245
G 1/2	85	10	20	8	7,0 - 9,0	351.246
G 1/2	85	10	20	8	9,0 - 15,0	351.247
G 1/2	90	10	20	8	15,0 - 20,0	351.441
G 1/2	90	10	20	8	20,0 - 27,0	351.442
G 1/2	90	10	20	8	27,0 - 40,0	351.443
G 1/2	87	12	24	8	1,0 - 1,5	351.251
G 1/2	87	12	24	8	1,5 - 2,0	351.252
G 1/2	87	12	24	8	2,0 - 3,0	351.253
G 1/2	87	12	24	8	3,0 - 5,0	351.254
G 1/2	87	12	24	8	5,0 - 7,0	351.255
G 1/2	87	12	24	8	7,0 - 9,0	351.256
G 1/2	87	12	24	8	9,0 - 15,0	351.257
G 1/2	92	12	24	8	15,0 - 20,0	351.451
G 1/2	92	12	24	8	20,0 - 27,0	351.452
G 1/2	92	12	24	8	27,0 - 40,0	351.453

Quantité d'air évacuée

Les capacités d'évacuation indiquées sont les valeurs minimales atteintes en cas d'augmentation de pression de 10 % au-delà de la pression réglée.

Pression réglée [bar]	Quantité d'air évacuée (état normal) [m³/h]	[l/min]
1	23,5	304
2	35,5	502
4	50	685
6	63	1380
8	108	1773
10	130	2168
12	154	2552
14	171	2957
16	201	3350
18	225	3745
20	248	4138
22	272	4533
25	307	5124
30	387	6110
35	428	7035
40	485	8080

Les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées.

Couples de serrage

Raccord	Couple de serrage maxi.
G 1/4	15 Nm
G 1/2	25 Nm
G 1/2	35 Nm

Caractéristiques techniques

Fabricage de raccordement	G 1/4, G 1/2, G 3/4
Température de service	-10 °C à +135 °C
Plage de réglage	1 à 40 bars (10 niveaux)
Différence de pression d'ouverture	< 10 %
Différence de pression de fermeture	< 10 % (plombée à 3 bars < 0,3 bar)
Position de montage	verticale
Matériau	laiton
Étanchéité	RDM (NBR)
Montage	aluminium

Couple de serrage (montage de la soupape) 13 Nm

Important : la conduite d'alimentation vers la soupape de sécurité ne doit pas être < DN8, la chute de pression dans la conduite ne doit pas être > 3 %.

Définitions

Pression réglée : = Pression de réponse : début de l'évacuation audible

Pression d'ouverture : soupape entièrement ouverte, capacité d'évacuation maxi.

Pression de fermeture : soupape fermée et étanche

DR, pression d'ouverture : différence entre pression de réponse et pression d'ouverture

DR, pression de fermeture : différence entre pression de réponse et pression de fermeture

Exemple :

Pression réglée	12,0 bars
Pression d'ouverture (+10 %)	13,2 bars
Pression de fermeture (-10 %)	10,8 bars

Identification du composant

CE2258 SV 02 2 8 DVG 032 P

- Pression réglée [bar]
- Facteur de débit
- Convient aux gaz et vapeurs
- Diamètre de flux minimal [mm]
- Numéro de composant
- Année d'homologation
- Soupape de sécurité
- Organisme de surveillance notifié
- ici : DEKRA

ANNEXE 12 : - Fiche technique de la soupape d'évacuation

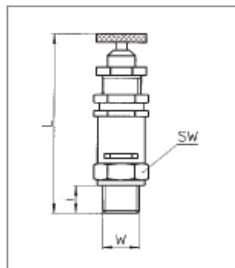


Soupapes d'évacuation

Soupapes d'évacuation DN3, DN6 (composants non testés)



Pour rejeter dans l'atmosphère des gaz non toxiques et non inflammables et protéger les réservoirs sous pression contre une surpression. **Le réglage et le plombage sont facturés séparément.**



Soupape d'évacuation classique DN6

Les soupapes réglées sont plombées.

Les soupapes à étanchéité métallique peuvent légèrement fuir.

Raccord W	Étan-chéité	Dimensions [mm]			Pression réglée [bar]	N° de commande
		L	i	SW		
G 1/4	Métal	78	10	17	1,5 - 4,0	259.007
					4,0 - 8,0	259.008
					8,0 - 12,0	259.009
G 1/4	NBR	78	10	17	1,5 - 4,0	259.010
					4,0 - 8,0	259.011
					8,0 - 12,0	259.012

Quantité d'air évacué

Les capacités d'évacuation citées correspondent aux valeurs typiques du débit en cas d'augmentation de pression de 10 % au-delà de la pression réglée.

Pression réglée [bar] Qté d'air évacué (état normal) [m³/h] [l/min]

Soupape d'évacuation classique DN6

1,5	10	165
2	13	215
4	26	430
6	42	700
8	58	970
10	74	1230
12	90	150

Soupape d'évacuation Mini DN3

1	3	50
4	12	200
6	18	300
10	30	500
20	60	1000
30	90	1500
40	120	2000
50	150	2500
60	180	3000

Les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées.

Caractéristiques techniques

	DN6	DN3
Filetage de raccordement	G 1/4	G 1/8, G 1/4
Température de service	-10 °C à + 90 °C (NBR) / -10 °C à + 180 °C (métal) autres plages de températures sur demande	
Plage de réglage	1,5 à 12 bars	1 à 60 bars
Diff. de pression d'ouverture	10 % à 15 %	~ 20 %
Diff. de pression de fermeture	15 % à 25 %	~ 20 %
Position de montage	verticale	
Matériau	- Boîtier : laiton	
	- Étanchéité : métal, NBR	

Définitions

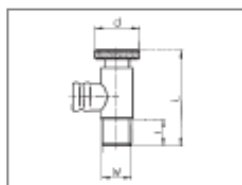
Pression réglée : = Pression de réponse : début de l'évacuation audible
 Pression d'ouverture : soupape entièrement ouverte, capacité d'évacuation max.
 Pression de fermeture : soupape fermée et étanche
 Diff. pression d'ouverture : différence entre la pression de réponse et pression d'ouverture
 Diff. pression de fermeture : différence entre la pression de réponse et pression de fermeture

ANNEXE 13 : - Fiche technique de la soupape de décharge



Valves

Soupape de décharge, distributeur d'air



Soupape de décharge

Les soupapes de décharge, à forme droite ou coudée, permettent d'évacuer la condensation au point le plus bas d'un réservoir sous pression. De nos jours, elles servent généralement de soupapes de purge. Étanchéité caoutchouc ou métal, avec volant ou bâillon. Matériau laiton.

Raccord	Dimensions [mm]				SW	N° de commande
W	DN	L	I	d		

Forme coudée, volant, avec étanchéité en caoutchouc, laiton

G 1/8	5	43	9	20	-	166.02
G 1/4	5	43	12	20	-	166.12

Forme droite, bâillon, avec étanchéité métallique, nickelé

G 1/8	5	35	7	40	12	212.01
G 1/4	5	35	10	42	14	168.11

Caractéristiques techniques

Pression de service max. (p+):	25 bars (PN 25)
Température de service:	0 °C à +90 °C
Position de montage:	au choix

ANNEXE 14 : - Schéma du système à air comprimé

ANNEXE 15 : - Planning d'entretien

Equipements	Procédure	Journalier	Mensuel	Annuel
Filtre à air	Changer la cartouche.			
	Vérifier les connexions de la tuyauterie.	X		
Tuyauterie	Recherche d'éventuelles fuites	X		
	Vérifier la pression interne.	X		
Réservoir de stockage	Inspecter l'intérieur.	X		
	Evacuer les condensats.	X		
	Contrôler le fonctionnement de la soupape de sécurité.			
Tout le système	Vérifier le serrage des bornes.	X		
	S'assurer que le point de rosée affiché sur l'instrument électronique est correct.	X		
Sécheur	S'assurer du bon fonctionnement du système d'évacuation du condensat.	X		
	S'assurer que le condenseur soit propre.	X		
	Nettoyer le condenseur avec un jet d'air comprimé (max. 2 bars)			x
	Vérifier le fonctionnement de la machine.			x
	Vérifier l'absence de fils cassés, fendus ou dénudés sur l'unité.			
	Vérifier toutes les vis, attaches et tous les raccordements du système électrique pour s'assurer qu'ils sont bien fixés.			
	Vérifier l'absence de signes de fuite d'huile et de réfrigérant sur le circuit réfrigérant.			
	Mesurer et noter l'ampérage. Vérifier que les mesures lues sont dans la plage des valeurs limites admissibles.			
	Inspecter les flexibles du purgeur de condensat et les remplacer si nécessaire.			
	Vérifier le fonctionnement de la machine.			

ANNEXE 16 : - Plaque signalétique des panneaux solaire



ANNEXE 17 : - Fiche technique du régulateur de pression

3 caractéristiques



Remarque : Manomètre (auto-étanchéifiant) non monté

Régulateur de pression – G^{3/4} – G1^{1/2}



Les régulateurs de pression règlent la pression d'alimentation (p_i) d'une installation à air comprimé sur la pression de travail définie (p_e) et la maintiennent pratiquement constante, indépendamment des variations de pression et de la consommation d'air. Régulateur de pression (construction à membrane) à forme droite. Avec aération secondaire (pilotage contre-réactif), dépendance air d'arrivée et compensation quantitative. Plages de régulation pour p_e de 0,5 à 3/6/10/16 et 25 bars. Commande : taille Compact jusqu'à 10 bars avec volant, 16 bars avec bâillon ; tailles Grand et Max jusqu'à 10 bars avec bâillon, 16 + 25 bars avec vis hexagonale SW19. Versions spéciales (par ex. sans pilotage contre-réactif) sur demande. Manomètre montable des deux côtés. Fixation pour tableau de commandes ou kit de supports disponibles comme accessoires. Fletage de raccordement de G^{3/4} à G1^{1/2}.

Remarque : Pour éviter les pertes, brancher un filtre à air comprimé en amont.

Utilisable également avec des gaz neutres et non toxiques.

Versions standard :

Plage de régulation 0,5 à 10 bars, avec manomètre	N° de commande			
	Raccord			
Taille	G ^{3/4} "	G1	G1 ^{1/4} "	G1 ^{1/2}
Compact	406.293*	406.293	-	-
Grand	280.393*	280.393	-	-
Max	-	-	280.3103*	280.3113

* Entrée et sortie réduites (réducteurs fournis en vrac, voir p. 32)

Code de commande pour toutes les variantes :

Taille Compact	Taille Grand/Max
406.xxx	280.xxxx
1 - 0,5 à 3 bars	1 - 0,5 à 3 bars
2 - 0,5 à 6 bars	2 - 0,5 à 6 bars
3 - 0,5 à 10 bars	3 - 0,5 à 10 bars
4 - 0,5 à 16 bars	4 - 0,5 à 16 bars
5 - 0,5 à 25 bars	5 - 0,5 à 25 bars
8 - G ^{3/4} "	8 - G ^{3/4} "
9 - G1	9 - G1
10 - G1 ^{1/4} "	10 - G1 ^{1/4} "
11 - G1 ^{1/2}	11 - G1 ^{1/2}
12 - Volant avec manomètre (jusqu'à 10 bars)	12 - Bâillon* avec manomètre
13 - Bâillon avec manomètre	13 - Bâillon* sans manomètre
14 - Volant sans manomètre (jusqu'à 10 bars)	
15 - Bâillon sans manomètre	

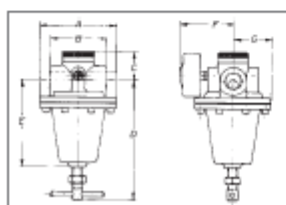
par exemple :

280.3113 - mais sans manomètre et 0,5 à 25 bars = 280.5115

Pièces de rechange et accessoires

	N° de commande		
	Compact	Grand	Max
Kit de supports pour fixation en bas sur le couvercle ou vis de fixation	406-17	280-239	280-239
Fixation pour tableau de comm. M28x1,5	406-18	-	-
Manomètre horizontal, ø 63, Plages d'attache : 0 à 6 bars (pour p _e ≤ 3 bars)		213	213
0 à 10 bars (pour p _e ≤ 6 bars)		214	214
0 à 16 bars (pour p _e ≤ 10 bars)		215	215
0 à 25 bars (pour p _e ≤ 16 bars)		216	216
0 à 40 bars (pour p _e ≤ 25 bars)		217	217
Cône d'étanchéité olive complet	406-32	280-218	280-235
Membrane complète	406-50	280-219	280-219

Manomètres, voir chapitre 10, p. 53 et suivantes



Dimensions [mm]

Taille	Compact	Grand	Max
	G ^{3/4} ", G1	G ^{3/4} ", G1	G1 ^{1/4} ", G1 ^{1/2}

Caractéristiques techniques

	Compact	Grand	Max
Débit nominal**	5330 Nl/min	7830 Nl/min	12160 Nl/min
Pression de service max. (p _i)	25 bars (PN25)	40 bars (PN40)	40 bars (PN40)
Température de service	-10 °C à +90 °C		
Position de montage	au choix		
Sens du débit	voir flèche		
Diamètre nominal	DN20	DN20	DN25
Dépendance air d'arrivée	< 3 %	< 1,5 %	< 1,5 %
Hystérésis de contre-réaction	~ 1 bar		
Poids	2050 g	3480 g	5260 g
Matériau	- Membranes - Joints - Boîtier/couvercles ressort zinc moulé sous pression	NBR NBR laiton	laiton

** mesuré avec p_i = 8 bar, p_e = 6 bar et Δp = 1 bar

Activer W
Accédez aux

ANNEXE 18 : Tableau de conversion Pas british standard en mm

LA GUZZITHÈQUE

1- Gaz-mm
British standrad to mm

8/03/10

PAS BRITISH STANDARD	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR FILETÉ mm	DIAMÈTRE INTÉRIEUR TARAUDÉ mm	DIAMÈTRE DE L'AVANT- TROU mm	RACCORD PLOMBERIE
G 1/8"	9,73	8,85	8,80	
G 1/4"	13,16	11,89	11,80	8/13
G 3/8"	16,66	15,39	15,25	12/17
G 1/2"	20,95	19,17	19,00	15/21
G 5/8"	22,91	21,13	21,00	
G 3/4"	26,44	24,66	24,50	20/27
G 7/8"	30,20	28,42	28,25	
G 1"	33,25	30,93	30,75	26/34
G 1 1/8"	37,90	35,58	35,30	
G 1 1/4"	41,91	39,59	39,25	33/42
G 1 3/8"	44,32	42,00	41,70	
G 1 1/2"	47,80	45,48	45,25	40/49
G 1 3/4"	53,74	51,43	51,10	
G 2"	59,61	57,29	57,00	50/60
G 2 1/4"	65,71	63,39	63,10	
G 2 1/2"	75,18	72,86	72,60	66/76
G 2 3/4"	81,53	79,21	78,90	
G 3"	87,88	85,56	85,30	80/90
G 3 1/4"	93,98	91,66	91,50	
G 3 1/2"	100,33	98,01	97,70	
G 3 3/4"	106,68	104,30	104,00	
G 4"	113,03	110,71	110,40	102/114