

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	P.3
ÉTAPE 1 : DÉCOUVRIR UN SITE.....	P.4
ÉTAPE 2 : ÉVALUER LE SITE.....	P.5
ÉTAPE 3 : L'ENVIRONNEMENT SOCIAL.....	P.9
ÉTAPE 4 : ÉLÉMENTS DU BÉLIER ET SA CONSTRUCTION.....	P.10
ÉTAPE 5 : LA GESTION DE LA PRISE D'EAU.....	P.26
ÉTAPE 6 : LE TUYAU DE BATTERIE.....	P.27
ÉTAPE 7 : IMPLANTATION DU BÉLIER SUR LE TERRAIN.....	P.29
ÉTAPE 8 : TUYAU DE REFOULEMENT	P.30
ÉTAPE 9 : LANCEMENT DU BÉLIER	P.31
ÉTAPE 10 : LE BÉLIER HYDRAULIQUE, TOUTE UNE COMMUNAUTÉ.....	P.34



INTRODUCTION

LES ORIGINES DU BÉLIER HYDRAULIQUE

Persévérant à automatiser l'utilisation du coup de bélier, déjà exploité manuellement pour alimenter la papeterie familiale Joseph Marie, un des frères Montgolfier découvrit la technique permettant de relever de l'eau de façon automatique et continue. Décrivant puis théorisant la technique du bélier hydraulique, il la breveta en 1792.

Durant tout le XIX^{ème} siècle, c'était la seule technique de relevage d'eau pour alimenter les châteaux, fermes isolés sur les hauteurs ou les premiers châteaux d'eau pour alimenter les réseaux de distribution. Les composants de l'époque en faisaient un investissement onéreux, il fallait souvent une vingtaine de tonnes de fonte sous forme de tuyaux pour une installation complète.

Écrasée par la diffusion de l'énergie électrique au XX^{ème} siècle, la technique a disparu des milieux professionnels et les fabricants ne travaillent plus qu'à l'unité. Les apprentis ont disparu avec les fabricants et le savoir-faire aussi. L'étude de la technique n'est plus enseignée nulle part.

La technique du bélier hydraulique est une technique orpheline !

Il ne reste que les amateurs avertis ou le tourisme industriel pour explorer la technique et entretenir les belles machines de l'ère industrielle. Les ONG, grandes écoles, lycées techniques snobent encore

cette technique qui pourtant est la plus économique, écologique et durable.

Et bien souvent, la plus adaptée aux milieux isolés ou démunis d'énergie.

Aujourd'hui, dans les zones les plus reculées, avec la diffusion des savoirs par internet mais aussi l'évolution du savoir-faire des mécaniciens de brousse (technique d'assemblage : soudure électrique, tronçonnage, générateurs portables...) et l'utilisation de matériaux modernes (plastiques, ballons à air...), il devient possible de proposer aux populations concernées une meilleure maîtrise de leur ressource en eau. Cette maîtrise permettra ainsi l'alimentation humaine ou l'irrigation agricole.

On pourrait penser que se servir de l'attractivité terrestre pour relever de l'eau équivaut à vouloir faire avancer une voiture électrique avec une éolienne sur le toit. Pourtant, pour l'eau, c'est possible, c'est le bélier hydraulique !

Ce petit mémoire regroupe les paramètres à optimiser en s'appuyant sur une description détaillée des phénomènes en cause. On peut en faire un guide pratique d'installation ou un ouvrage de vulgarisation technique. L'un s'appuyant sur l'autre pour justifier les choix de configuration à faire pour optimiser le rendement de l'ouvrage.



ÉTAPE 1 : DÉCOUVRIR UN SITE

Il faut trouver de l'eau de surface qui coule sur une pente de façon suffisamment vive pour faire du bruit (glacis, torrent, chute, barrage...) et que l'on puisse la capter vers un point bas. Mentalement cela devient très facile de repérer les possibilités pour qui connaît la technique.

Mais, avant d'aller plus loin dans la démarche, il faut savoir s'il y a un besoin d'eau dans les parages. Savoir pour quoi faire, qui en a besoin, comment l'utiliser et surtout quel va être le support financier du projet pour l'investissement et le fonctionnement. Ce projet va-t-il s'intégrer à la culture et aux coutumes locales sans parler des problèmes fonciers et du droit de l'eau. Qui va s'occuper du fonctionnement ? Ce sont des sujets de première importance dont on ne parle pas assez dans l'élaboration d'un projet.





ÉTAPE 2 : ÉVALUER LE SITE

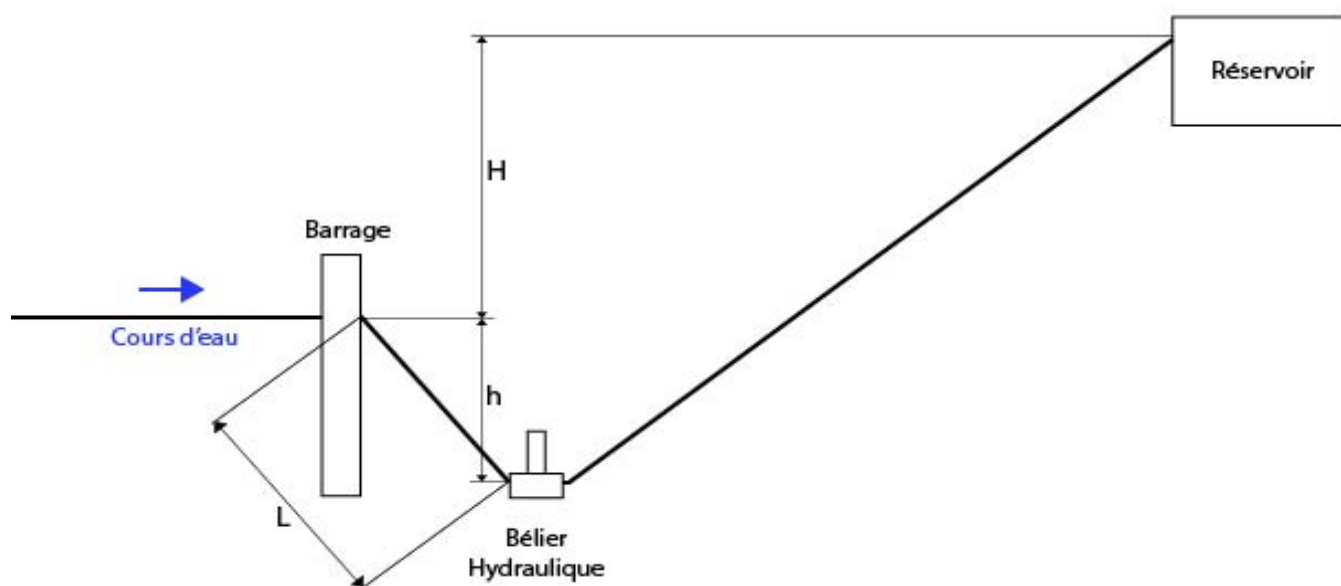
La technique du bélier hydraulique étant simple, une précision de l'ordre du mètre suffit pour les niveaux et les longueurs. Pour les débits, le litre par minute est préférable au litre par seconde. Un schéma global avec les distances suffira. La zone entre le captage et les environs du bélier mérite un plan en coupe pour gérer au mieux la hauteur de charge.

La première chose à estimer : c'est le débit d'eau disponible (D). À l'aide d'une trotteuse de montre, on chronomètre le temps nécessaire pour remplir un récipient dont la capacité est connue et on en déduit le débit en litres/minute. Il faudra tenir compte des saisons et des besoins en eau qui varient aussi pour dimensionner les installations ou leur nombre. Il vous faut estimer un débit maximum et minimum suivant les saisons.

Ensuite, choisir sur le parcours du ruisseau ou de la source une zone (vingtaine de mètres) offrant le plus de dénivelé possible entre le point haut de la future prise d'eau et le point bas où installer le bélier. La différence de hauteur entre la prise d'eau et le bélier s'appelle hauteur de chute (h). Pour la mesurer, un simple décamètre ou un niveau de maçon en guise de lunette suffira.

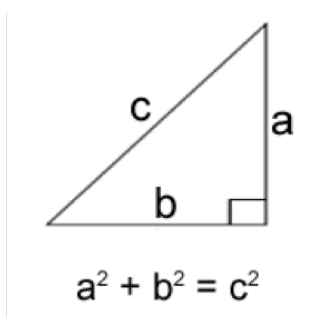
Enfin, on mesure la distance entre le futur bélier et le réservoir ainsi que la différence de niveau entre les deux (H).

L : Longueur de la conduite motrice
h : Hauteur de la chute
H : Hauteur d'élévation



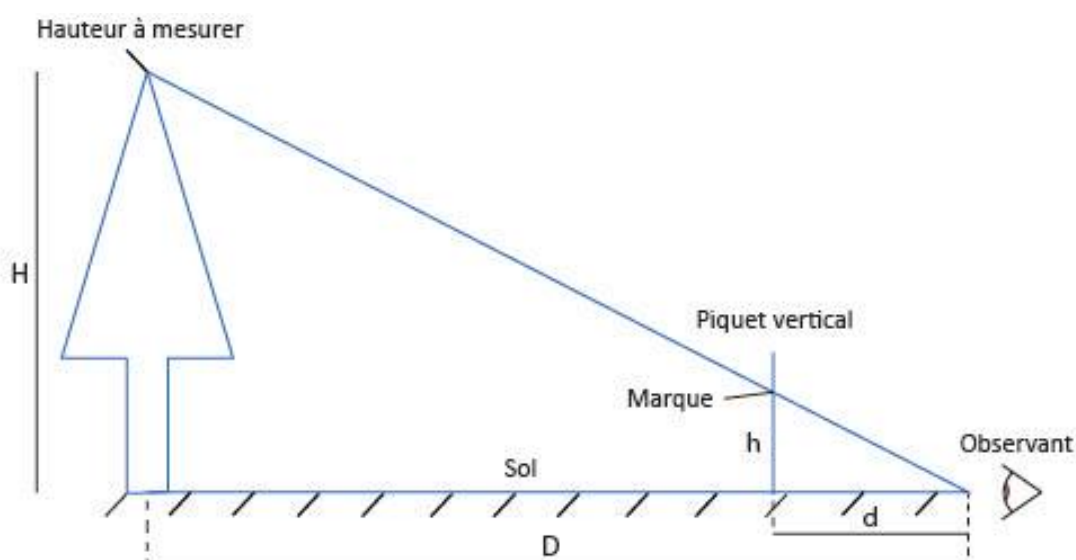
Il y a trois méthodes pour calculer H :

- La première est de se procurer une carte IGN qui serait suffisamment précise pour donner les altitudes du cours d'eau et du réservoir.
- La seconde méthode consiste à se servir du théorème de Pythagore. Grâce à l'application google map on peut trouver les coordonnées GPS du réservoir et du barrage de manière très précise. Le site internet lexilogos donne ensuite la distance entre les deux points au mètre près (http://www.lexilogos.com/calcul_distances.htm). L'hypoténuse se calcule ensuite à la main à l'aide d'un décamètre.
Petit rappel : « Dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des deux autres coté. »



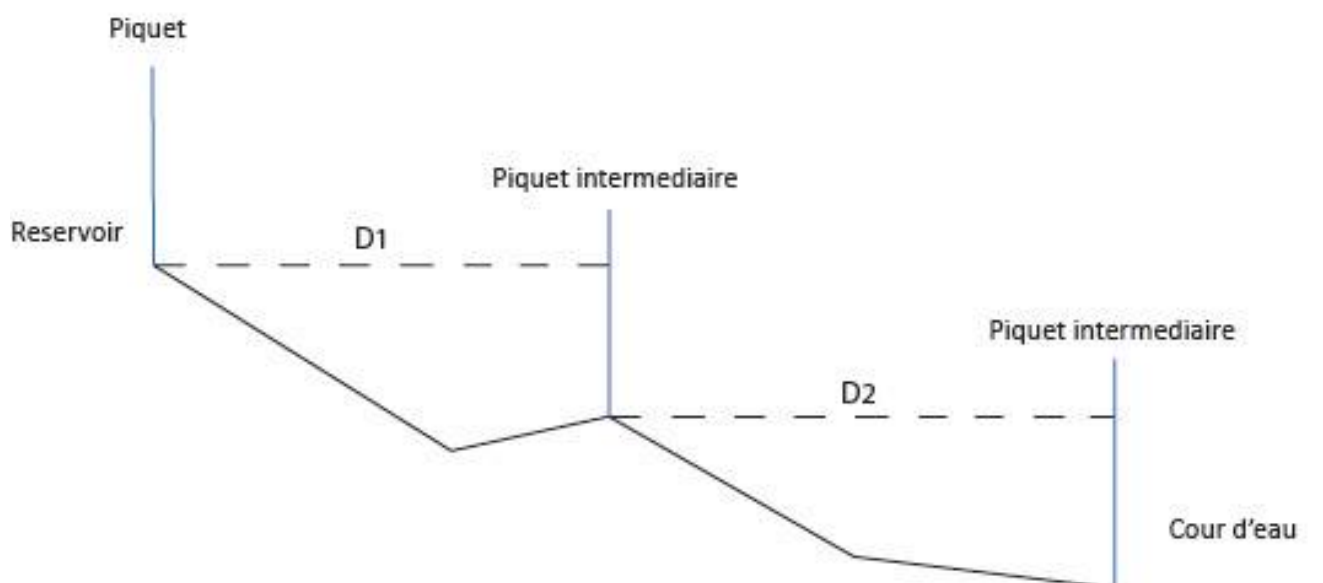
Dans cet exemple l'hypoténuse est c.

- Une autre méthode qui peut être utilisée est la méthode du forestier



Connaissant h, d et D on peut trouver H grâce au théorème de Thalès.

On a le rapport suivant : $d/D = h/H$



Pour s'affranchir des inégalités de terrains, soit on calcule à partir d'un piquet planté très haut au niveau du réservoir soit on se sert de piquets intermédiaires. On a donc :

$$D = D1 + D2$$

Avec ces données on peut estimer le rendement de la machine en appliquant la formule :

$$d \text{ (debit en litres /minute)} = ((D (l/ mn) \times h (\text{en m})) / H) \times 0,6$$

On obtient un débit théorique qui utiliserait 100% de l'eau disponible ce qui n'est pas possible. On doit raisonnablement n'utiliser que 60 à 80% de l'eau disponible pour ne pas détruire l'équilibre naturel du cours d'eau et ne pas accaparer toute l'eau même si on va en restituer la majorité, la pompe n'en prélevant que 5 %.

Un autre paramètre important est le rapport entre la hauteur de chute et la hauteur à refouler. Il est possible de faire remonter de l'eau à 30m avec une hauteur de chute de seulement 60cm. Cependant, le rendement d'un tel béliet est pratiquement nul. Pour avoir une bonne idée de l'altitude où placer votre réservoir d'eau, on peut considérer qu'avec une hauteur de chute de 1 mètre, on peut obtenir un bon rendement avec une hauteur de refoulement entre 6 et 10 mètres. Ce calcul est proportionnel. Ainsi, pour 2 mètres de chute, ne visez pas plus de 20 mètres de refoulement ou le rendement risque de s'amoinrir.

A noter : si vous devez nécessairement remonter une hauteur de refoulement importante par rapport à la hauteur de chute dont vous disposez, il faudra peut-être envisager de construire plusieurs béliets. Cependant, il faudra toujours se poser la question suivante : pourquoi remonter de l'eau à 40 mètres ? Sachant qu'en remonter à 20 mètres peut permettre de doubler le rendement !

En somme, le choix du béliet réside principalement dans l'estimation de la quantité d'eau à remonter par jour. Pour choisir la taille du béliet la plus pertinente voici un tableau récapitulatif :

BELIER	Débit de la source en L/min	Rendement en L/j dans le rapport de chute sur élévation			Diamètre en millimètre du tuyau de batterie et par conséquent celle du corps du béliet et du clapet de choc
		1/5	1/10	1/15	
1	1 à 4	210 à 800	120 à 440	60 à 240	15 x 21
2	3 à 9	680 à 2100	340 à 1050	150 à 500	20 x 27
3	5 à 16	1100 à 3600	550 à 1800	270 à 900	26 x 34
4	10 à 30	2300 à 7000	1150 à 3500	570 à 1750	33 x 42
5	20 à 50	4600 à 11000	2300 à 5500	1000 à 2750	40 x 49
6	40 à 100	8800 à 22000	4400 à 11000	2100 à 5500	50 x 60
7	80 à 180	18000 à 42000	9000 à 21000	4600 à 10000	

Aide pour lire ce tableau :

La colonne *débit de la source* correspond au débit minimum et maximum que le béliet pourra traiter. Si vous disposez d'une source supérieure à ce qui est indiqué dans le tableau, cela n'a pas d'importance. Le but est d'optimiser au maximum la source, par conséquent, si votre source est de 300L/min par exemple, préférez un gros béliet.

Lorsque le béliet est bien monté, il est possible d'espérer un rendement entre 1/5^{ème} et 1/10^{ème}. Ainsi, pour sélectionner la taille du corps de votre béliet, il vous suffit de faire la moyenne entre ces deux colonnes et de choisir quelle quantité d'eau en L vous souhaitez remonter par jour.



ÉTAPE 3 : L'ENVIRONNEMENT SOCIAL

L'environnement particulier de Madagascar est à prendre en compte. Il faut donc mettre en place une structure qui porte le projet, cela peut être la commune ou le fokontany (quartier), un particulier, un groupement de producteurs, une association, une coopérative, une ONG... Mais, il faut s'assurer de pouvoir financer l'investissement et par la suite, honorer les remboursements en cas de prêt. Il faut également être sûr de pouvoir assurer les frais d'entretien et de réparation en cas de panne, dommages naturels, détérioration... Sans un minimum de structure et d'organisation, le site sera abandonné faute d'entente.

À Madagascar, suivant les régions, il faut porter une attention particulière aux problèmes culturels touchant à la coutume. Avant de se lancer, il faut obtenir l'appui du chef de fokontany (quartier) et peut-être des responsables religieux pour être sûr que ce projet soit accepté et ne transgresse pas des tabous (fady).

Il faut prendre des précautions et obtenir, en amont, les autorisations écrites pour les droits de passage,

loyers redevances... Il faut, également, si possible, intégrer au projet toutes les personnes concernées sur le plan foncier car la jalousie est très présente. Il est nécessaire qu'il y ait un chef de projet (même à l'intérieur d'une organisation) qui gèrera dans le temps les règles d'utilisation, les redevances, les défaillances, les transmissions et les conflits.

Aller visiter tous ces interlocuteurs, présenter le projet, demander s'ils veulent participer sont des étapes primordiales et permettront de faire marcher l'économie du village et d'éviter au maximum les conflits. Le bélier, s'inscrivant dans le temps, on ne peut pas démarrer un projet s'il n'est pas entièrement structuré pour résister aux aléas.

Ce sont des démarches coûteuses en temps mais indispensables si vous voulez voir de l'eau couler un jour en haut de votre tuyau. Dès le début du projet, jusqu'après sa mise en route, vous aurez à veiller à la bonne entente entre toutes les personnes concernées.

+

ÉTAPE 4 : ÉLÉMENTS DU BÉLIER ET SA CONSTRUCTION

1



Une cloche à air qui permet d'amortir l'onde de choc provoquée par le coup de bélier. Elle laisse ainsi passer un maximum d'eau. Il faut veiller à ce que la cloche conserve une certaine quantité d'air, faute de quoi l'onde ne sera plus absorbée et le bélier s'abîmera. Heureusement, il existe aujourd'hui plusieurs solutions pour gérer cela simplement.

2



Un clapet de choc ou clapet robuste, généralement monté à la verticale, qui provoque les coupures brutales du flux entraînant la surpression. Il contrôle la fréquence et l'apparition d'une onde de choc. L'exploitation de cette onde de choc permet d'enchaîner les cycles et de rendre le système automatique, c'est la partie géniale de l'invention de Joseph de Montgolfier.

3



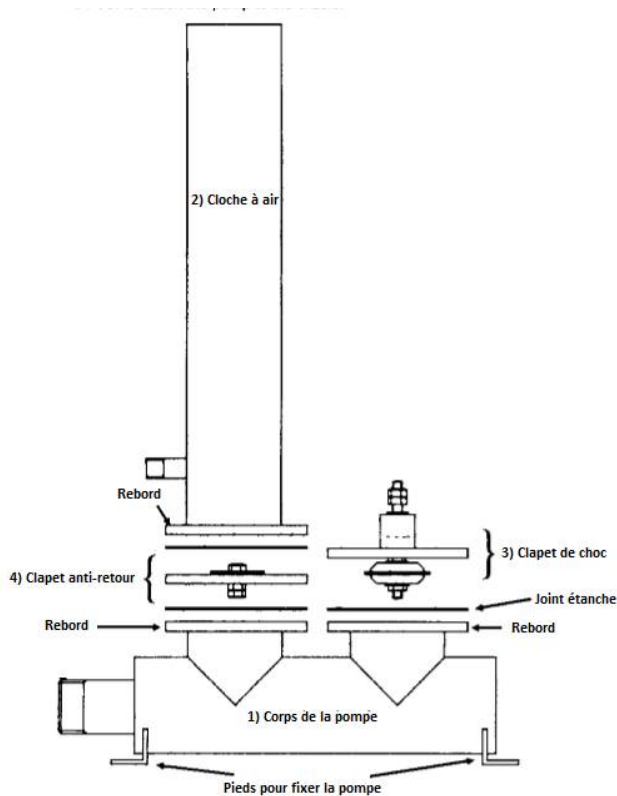
Un clapet anti retour classique qui absorbe la surpression et bloque son retour.

4



Un corps sur lequel va venir se fixer les différentes pièces du bélier.

Schéma des 4 pièces assemblées :



À SAVOIR :

La fabrication du bélier peut s'effectuer à partir de fer ordinaire et même de récupération. Le savoir-faire d'un mécanicien de brousse, une fois qu'il dispose d'un poste à souder, tronçonneuse et un plan d'assemblage certifié suffit. Il faut savoir qu'il existe une abondance de modèles, de formes, de matières et de prix qui sont souvent construits au détriment de la configuration générale et des conditions environnementales.

Informations générales sur les béliers hydrauliques

Clapet frontal vs Clapet vertical

Il y a plusieurs généralités à savoir sur les différents types de béliers hydrauliques. Tout d'abord, il existe des béliers à clapet « frontal » c'est à dire que le clapet de choc est positionné à l'horizontale et des béliers à clapet « vertical » où le clapet de choc est positionné à la verticale.



Bélier hydraulique frontal



Bélier hydraulique vertical

Il faut savoir que les béliers frontaux ne se différencient pas nécessairement par leur efficacité. De plus, ils nécessitent des moyens techniques plus importants et des compétences plus poussées pour les mettre en œuvre. À Madagascar, il est donc sage de s'orienter vers un bélier à clapet « vertical ».

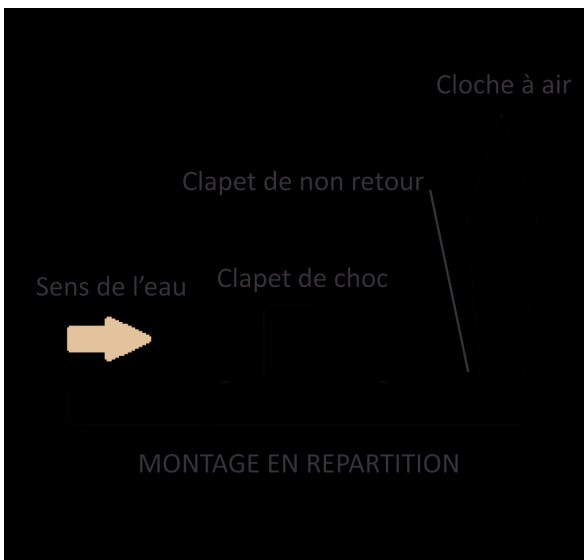
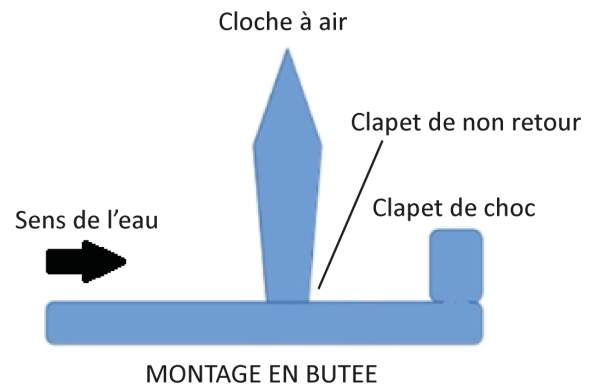
Montage en butée vs montée en répartition

On peut construire son bélier hydraulique de deux manières différentes :

1

Le montage en butée.

La cloche à air est installée devant et le clapet de choc est monté en bout de bélier.



Le montage en répartition.

Le clapet de choc est installé devant et la cloche à air est montée en bout de belier.

2

Une étude réalisée par Mr Patrick Hadengue, spécialiste en béliers hydrauliques, nous montre que pour les mêmes composants et les mêmes conditions d'installations, un montage en répartition enregistre un rendement 21% fois supérieur à un montage en butée. Le montage en répartition est donc nettement préférable pour maximiser le rendement du bélier.

1) La cloche à air

Pour que le bélier fonctionne, il est indispensable d'avoir de l'air dans la cloche. Au bout d'un moment l'air se dissout dans l'eau. Par conséquent, la cloche n'absorbe plus l'onde de choc des coups de bélier et la machine risque de se casser !

Il existe plusieurs solutions pour pallier à ce problème.

Le plus simple, est de trouver directement une cloche à vessie. Si vous en trouvez une d'occasion, vérifiez bien l'état général de cette dernière car la cloche à vessie a une durée de vie limitée. Concernant l'entretien, il faut juste vérifier la pression d'air une fois par mois pour s'assurer qu'il n'y ait pas de fuites.

La deuxième solution, probablement la plus adaptée pour un bélier à Madagascar, est d'acheter un extincteur qui supportera facilement une pression importante. De manière générale, il faut



essayer de favoriser une cloche à air la plus grande possible.

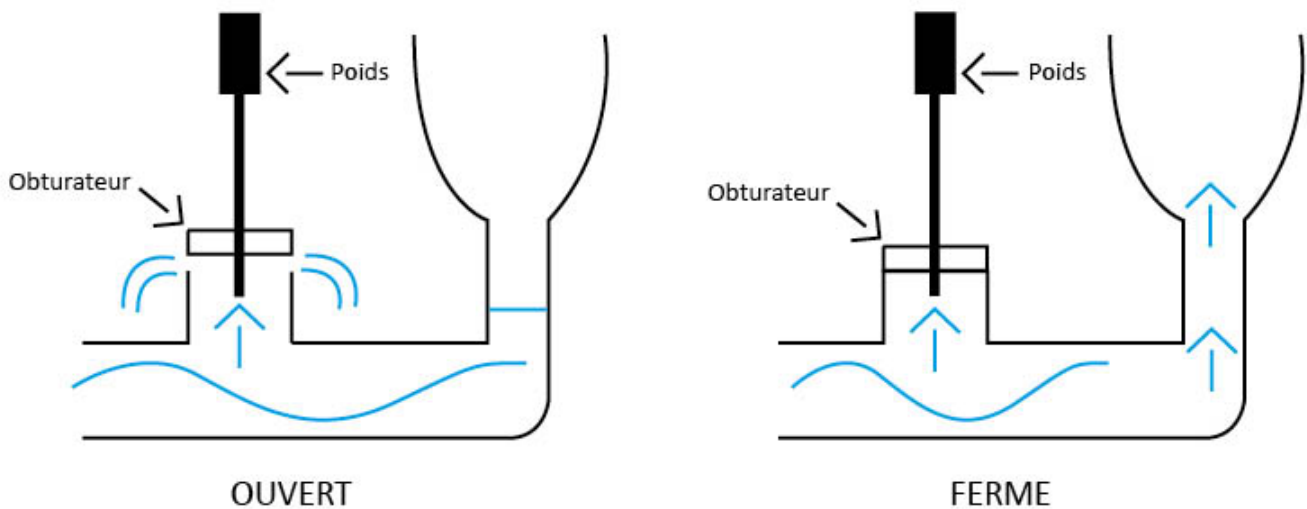
La troisième parade consiste à installer un reniflard. Pour les béliers un peu plus rustiques, c'est la solution la plus appropriée. Il suffit simplement de faire un petit trou de 1,5 ou 2 mm en-dessous du clapet anti retour. Cela provoque une légère fuite au moment du coup de bélier. En revanche, au moment de la dépression, de l'air va être aspiré et va se trouver piégé sous le clapet puis repoussé dans la cloche au prochain coup de bélier.

Les quelques bulles d'air générées suffisent à entretenir la réserve d'air.

L'inconvénient de cette méthode est que cela demande une surveillance quotidienne car la moindre saleté risque de boucher le trou.

2) Le clapet de choc

Le clapet de choc a pour fonction de se fermer rapidement dès que la vitesse de l'eau dans la conduite motrice atteint un seuil prédéterminé. Son rôle est d'assurer le coup du bélier qui produira l'onde de choc nécessaire à l'élévation de l'eau. C'est donc la partie la plus importante du dispositif. **Elle doit être réalisée avec le plus grand soin.**



Le clapet de choc doit répondre aux conditions suivantes :

- 1) **Etre conçu le plus solidement possible** pour résister aux frottements, chocs et fatigue sur un nombre de cycles importants. À titre d'exemple, sur 15 ans de fonctionnement, le clapet de choc d'un bélier se fermera et s'ouvrira 500 millions de fois.
- 2) La section pour le passage de l'eau doit être optimale entre l'obturateur et le corps du clapet.
- 3) L'obturateur doit être, si possible, le plus léger possible pour permettre des fermetures et ouvertures rapides.
- 4) Le clapet de choc doit être parfaitement étanche en position fermée pour optimiser le coup de bélier.
- 5) Si possible, avoir un obturateur accessible depuis l'extérieur du bélier pour permettre le lancement manuel du bélier.
- 6) Avoir un joint dont la raideur soit maximale. L'idéal est d'avoir un contact sans joint (métal-métal), l'obturateur et son siège se durcissant mutuellement par martelage.

Il n'existe pas encore de fabricants de béliers hydrauliques et donc de clapets de choc ici à Madagascar. Cependant, il y a un certain nombre de méthodes, plus ou moins simples, pour en fabriquer. Nous avons recensé 2 d'entre elles.

La méthode de Monsieur Nébréda, spécialiste du bélier hydraulique

Pour commencer, vous pouvez consulter l'ensemble du travail de Mr Nébréda sur son site internet : <http://www.belier-inox.fr/fabriquez-votre-belier-p867652>

La première précision qu'il est important de prendre en compte est que le clapet de choc qu'il propose n'est pas très solide et nécessitera un entretien régulier. Cependant, il est relativement simple à construire et il est plutôt simple de trouver des pièces de rechanges.

Pour le réaliser vous aurez besoin de :

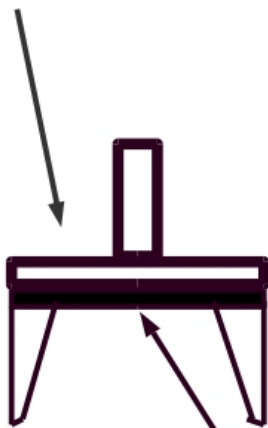
- Une crépine
- 15 centimètre de tige filetée en inox M6
- 3 écrous M6 inox : 2 nylstop et 1 normal
- 20 rondelles en inox large (type carrossier) Ø6



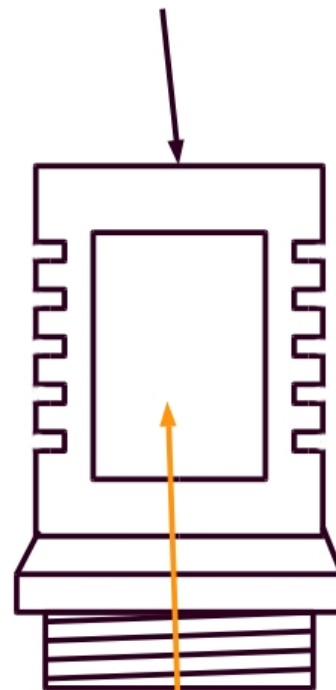
Important : si vous ne trouvez pas de pièce en inox vous pouvez utiliser des pièces en acier.

L'assemblage se fera de la manière suivante :

Clapet interne de la
crépine



Perçage Ø 7
Bien au centre qui
servira de guide à la
tige filetée . à réaliser
de préférence au tour



Perçage Ø 5
Sur 10 mm de
profondeur ,
taraudé à M6
Attention !!
parfaitement au
centre . A réaliser
de préférence au
tour

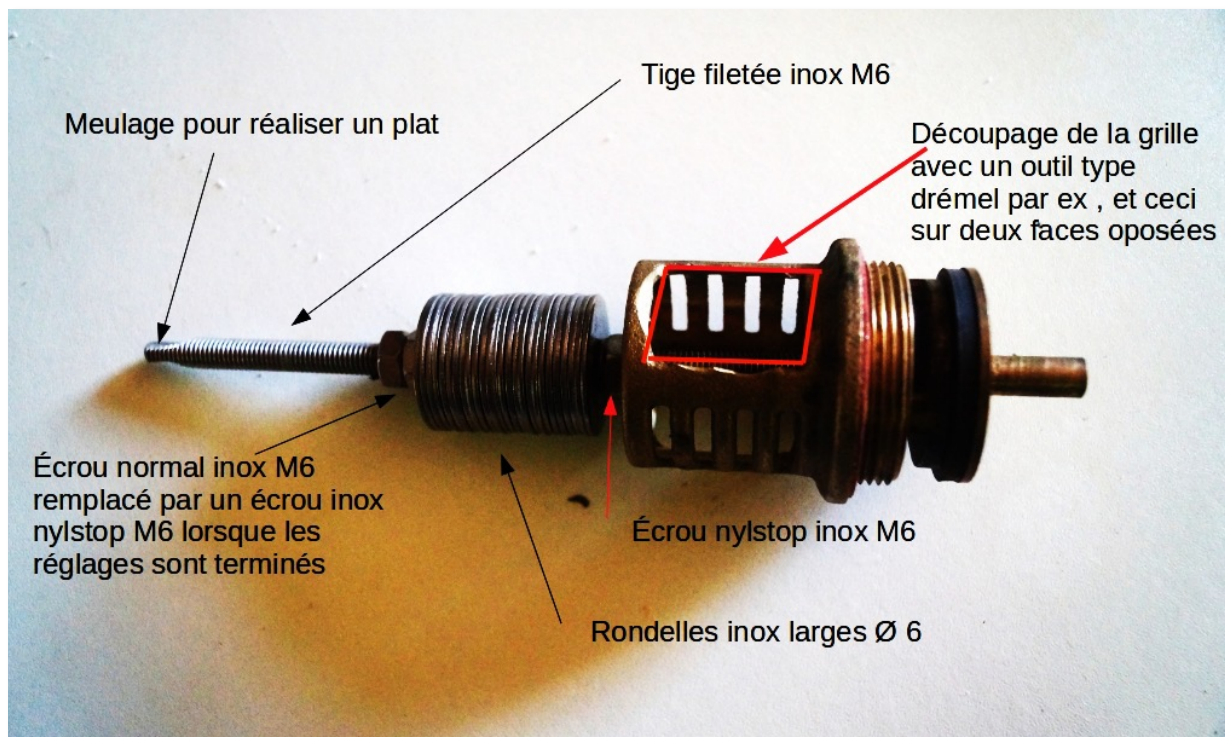
Tige filetée inox M6



Plat réalisé par meulage (disque à
lamelles) qui servira à maintenir la tige
avec une petite clé lors du serrage des
écrous

Découpe de la
grille à l'aide d'une
drémel ou par
meulage .

Voici à quoi ressemblera votre clapet de choc une fois monté :



La crépine sur la photo ci-dessus dispose d'une rondelle en caoutchouc. Il faut savoir que ce n'est pas systématique, vous devrez alors vous en procurer une. Cette rondelle permet d'éviter la déformation du clapet lors du coup de bélier. De plus, elle est facilement interchangeable.

Pour la modification de la crépine, le plus simple est de faire appel à un tourneur. En effet, le clapet de choc est la partie la plus importante et l'aide d'un tourneur vous fera gagner en précision.

Pour commencer les réglages de ce clapet, laissez une ouverture d'environ 9 mm au clapet de choc. Cette ouverture sera réglable grâce à l'écrou nylstop situé sous les rondelles. Il faudra pour cela maintenir la tige filetée avec une petite clé au niveau du plat que vous aurez pratiqué au sommet de la tige. Attention ! La visserie inox grippe facilement, il est impératif de graisser la tige filetée sur toute sa longueur avant de visser les écrous.

La méthode du site « L'aventure, l'installation »

Un bélier hydraulique a été réalisé en entier sur ce site dont les différentes étapes de montage sont expliquées ici : <http://aventure-installation.blogspot.com/search/label/Fabrication%20b%C3%A9lier%20hydraulique>

Pour réaliser le clapet de choc qu'ils ont fabriqué, vous aurez besoin de :

- Un clapet anti-retour hydraulique du commerce (26x34)



- Une tige M6 mi filetée mi lisse (environ 20cm). Si vous n'en trouvez pas dans le commerce la solution est de souder une tige filetée à une tige lisse



- 2 Té en 26/34



- 4 écrous M6, 1 contre-écrou M6



- Bouchon 26/34 inox percé au centre a Ø8 mm



- Quelques rondelles en inox large (type carrossier) Ø6



- Une chambre à air pour tailler des joints



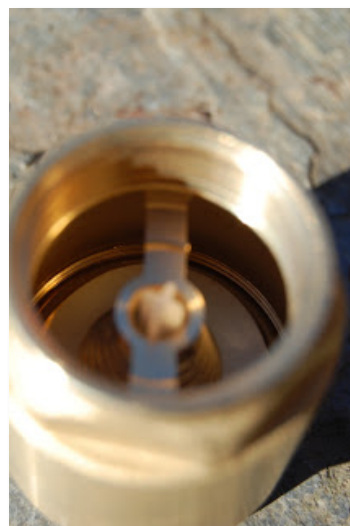
Attention :

- Ici aussi vous pouvez **remplacer les éléments en inox par des éléments en acier.**
- **Les tailles dépendent du bélier** que vous avez choisies. En effet, selon votre bélier vous devrez peut-être prendre une autre mesure que 26x34.

Tout d'abord, il faut savoir que plus le clapet anti-retour du clapet de choc est grand, plus il est facile de le manipuler. En effet, il est préférable de pouvoir y accéder aisément, pour apporter les modifications nécessaires durant l'installation et pendant l'utilisation quotidienne si un problème surgit.

La première étape de la construction du clapet de choc ici, est de modifier le clapet anti-retour. Pour cela, il faut enlever le clapet plastique d'origine. Vous trouverez ci-dessous la méthode à suivre.

- 1) En apparence, rien ne laisse transparaître un quelconque moyen d'ouvrir le clapet. Mais si nous regardons à l'intérieur, on aperçoit un pas de vis dissimulé.



- 2) On chauffera donc la partie où se trouve le pas de vis caché avec un chalumeau.

Il est important de monter les tés de chaque côté du clapet lorsque nous chauffons. Ceci afin de ne pas déformer le pas de vis, ce qui le rendrait inutilisable.

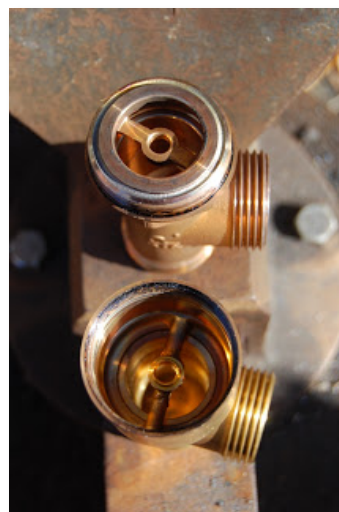
Il faut chauffer jusqu'à apercevoir la rainure cachée trahie par la colle qui brûle.



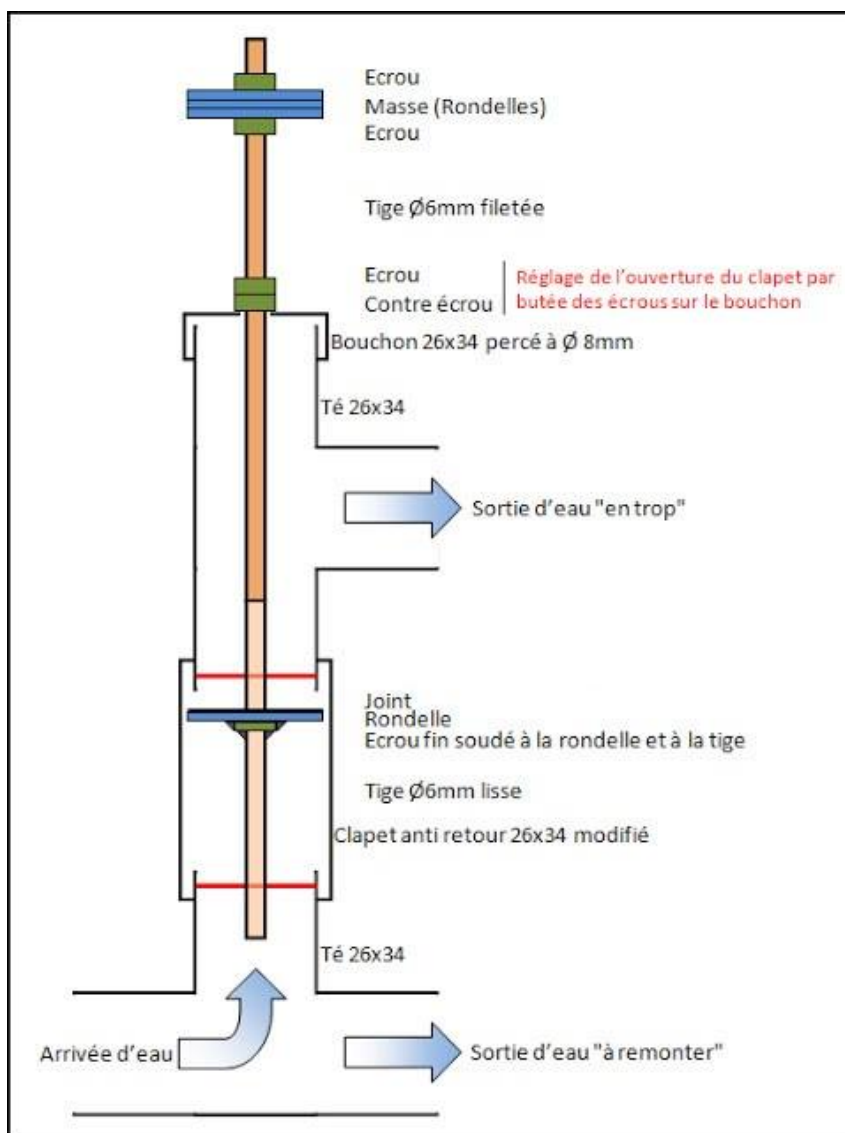
- 3) Enfin, pour le dévisser, un coup de pince (sans forcer) suffit largement. Attention aux brûlures ! Les pièces sont brûlantes !



Après cette opération, le clapet plastique est hors d'usage, c'est normal. Dans tous les cas, il n'aurait pas résisté longtemps aux futurs coups de bélier à répétition.



Une fois le clapet anti-retour modifié, vous allez pouvoir assembler le clapet de choc d'après le schéma suivant :



Voici à quoi ressemble votre clapet de choc une fois monté :



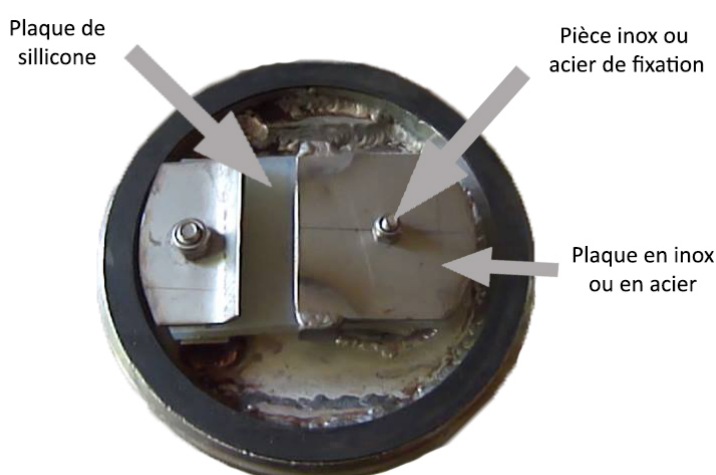
3) Le clapet anti-retour

Le rôle du clapet anti-retour est de laisser passer l'eau dans un sens et de la bloquer dans l'autre. Il est possible de trouver directement cette pièce dans le commerce à Madagascar.

Plusieurs formes et tailles sont disponibles en magasin (26/34, 40/49). À vous de choisir la taille en fonction du béliet que vous voulez construire.



Si vous souhaitez fabriquer vous-même votre clapet anti-retour, l'opération est relativement simple. Il faut se munir d'une pièce en caoutchouc ou en silicone assez épaisse (5 ou 6mm). Ensuite, taillez cette pièce puis fixez-la sur le tuyau qui vous intéresse comme sur le schéma ci-dessous. L'idéal est de lester votre silicone à l'aide d'une petite plaque en inox ou en acier (2 ou 3mm d'épaisseur), d'une tige et de deux écrous. L'avantage de cette méthode est qu'il est très simple de remplacer le caoutchouc ou le silicone s'ils sont abimés.

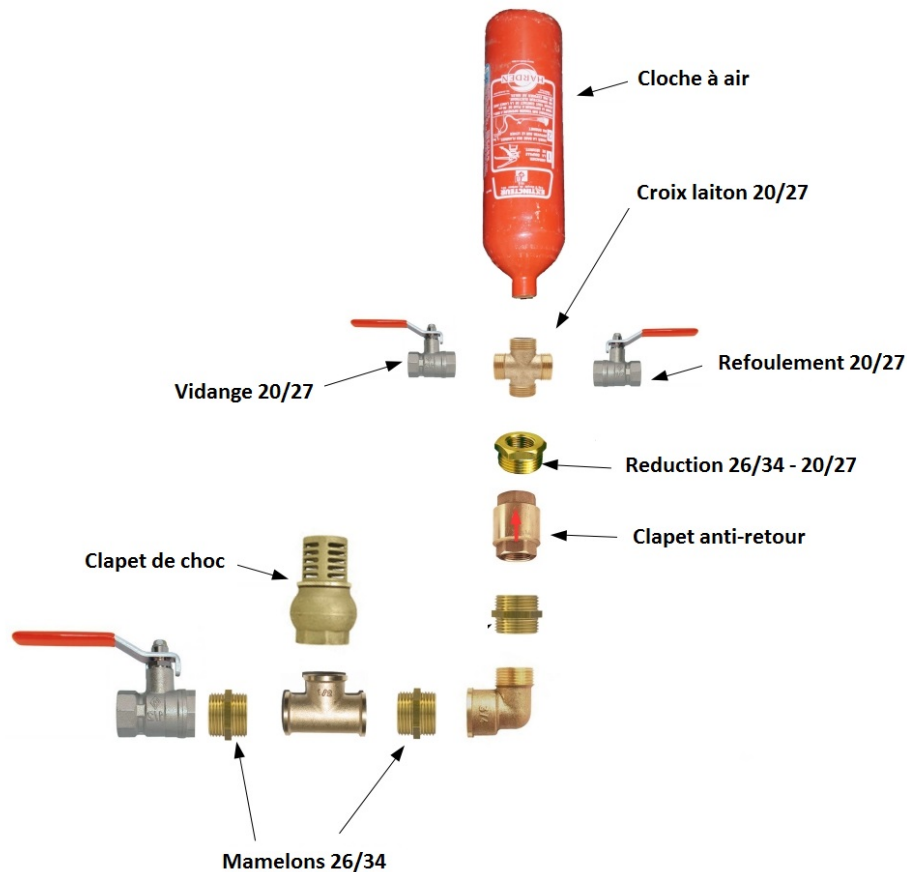


Tuyau d'arrivée d'eau

NB : installer un grand béliet est plus couteux et pas forcément nécessaire. Dans la plupart des cas, il vaut mieux favoriser l'installation de plusieurs béliets de moyennes ou petites tailles. En effet, si l'un tombe en panne, nous pouvons le réparer sans entraver le fonctionnement des autres.

4) Le corps du bélier

Une fois les pièces majeures de votre bélier construites, il ne vous reste plus qu'à les assembler selon le schéma suivant.



Bien évidemment, les pièces de raccords (coude, té, croix en laiton, mamelons et vannes) sont à adapter en fonction de la taille de votre bélier.

Important : lorsque vous achetez la vanne qui viendra se placer à l'entrée du bélier, faites attention à ce qu'il n'y ait pas de réduction à l'intérieur comme sur la photo ci-dessous. Sur cet exemple, il s'agit d'une vanne en 40/49 avec seulement 25mm d'ouverture à l'intérieur au lieu de 40mm. Si vous mettez une telle vanne, le rendement sera considérablement diminué.

Parfois, on ne peut pas trouver la bonne vanne. Pas d'inquiétudes, il y a une solution, il suffit d'acheter une vanne du diamètre supérieur et deux réductions.



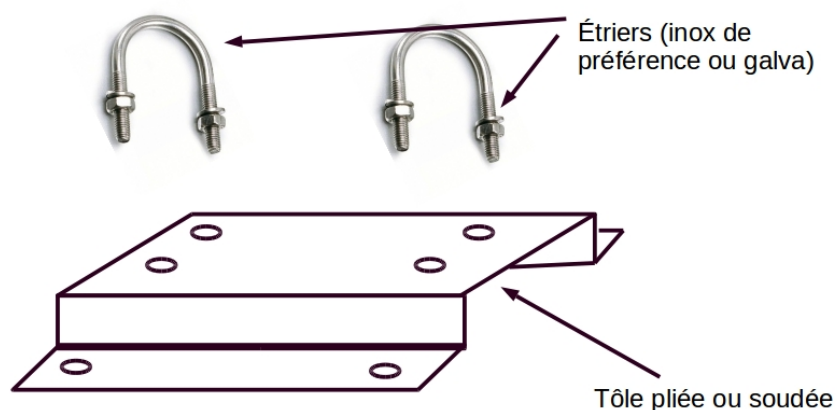
L'assemblage du bélier est à réaliser à l'aide de téflon. Il ne doit pas y avoir la moindre fuite ! Pour appliquer le téflon sur un raccord en laiton, il existe une astuce. Il faut d'abord « abimer » le filetage du raccord en laiton à l'aide d'une pince comme sur le schéma suivant. Sans cela, le téflon risque de ne pas adhérer. Si vous rencontrez des difficultés avec le téflon, utilisez un produit d'étanchéité.



Les professionnels préfèrent souvent utiliser la méthode de la fillasse/gébatout qui garantit une meilleure étanchéité. Son application est en tout point similaire à celle du téflon.

Lorsque votre bélier sera assemblé et soudé, il ne devra absolument pas bouger lorsqu'il sera mis en route. C'est pourquoi, il est crucial de le fixer quelque part. Cela peut se faire directement sur un rocher, une dalle de béton installée sur place ou vous pouvez éventuellement construire un support comme celui-ci-dessous.

En tout cas, il est impératif de prévoir des étriers ou un élément de ce type pour fixer le bélier.





ÉTAPE 5 : LA GESTION DE LA PRISE D'EAU

Le principe général est d'installer un béliet hydraulique en parallèle et au plus près du tracé naturel de l'eau. Mais, dans les régions où la saison des pluies est très violente, il est prudent de l'installer sur le côté en dehors du lit du ruisseau.

On va donc sortir l'eau de son tracé naturel grâce à un épi ; petit merlon ou barrage à l'abri duquel on va installer une tuyauterie ou un canal à ciel ouvert qui va conduire l'eau vers un réservoir de mise en charge. L'idée générale est de tout faire pour garder le niveau originel. On peut prendre une certaine distance ou utiliser un siphon (par le bas) pour traverser une dépression ou un vallon pour optimiser le fonctionnement de la batterie. Dans cette partie de l'installation, c'est l'ingéniosité et l'expérience de l'installateur qui font la qualité d'utilisation future. **Tout est possible, il n'y a pas de technologie spécifique.**

Le deuxième objectif est de filtrer l'eau pour

éviter le blocage du béliet par des herbes ou animalcules, sable et boue.

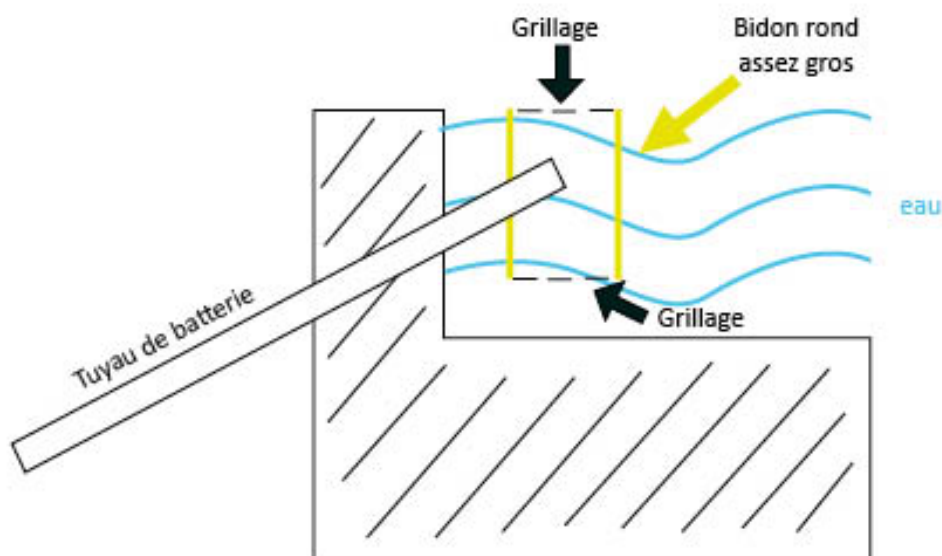
La moindre particule solide qui parviendrait jusqu'au corps du béliet serait susceptible d'atteindre le clapet de choc et le clapet anti-retour. Le fonctionnement serait stoppé immédiatement. Installer une filtration fine en amont du tuyau de batterie est une bonne solution.

Le schéma ci-contre est une méthode pour pallier à ce problème. De nombreuses autres méthodes sont possibles, cela dépend principalement de ce dont vous disposez comme matériel.

La règle importante : laisser toujours 30 cm d'eau au-dessus du départ de batterie.

Un tourbillon pourrait se former et laisser entrer de l'air dans la batterie.

Cultivez la simplicité et privilégiez l'astuce pour faciliter les fonctions de base et faire des économies en même temps !





ÉTAPE 6 : LE TUYAU DE BATTERIE

C'est le point fort de la partie aménagement de l'installation. C'est l'endroit où l'énergie cinétique de l'eau enfermée dans ce tube se transforme en pression. Le potentiel de l'installation dépend de la qualité des matériaux et de la qualité de son implantation.

L'énergie récupérable dans un fluide en mouvement dépend de sa masse (poids de l'eau) et de sa vitesse d'écoulement suivant la formule générale $e = m \times V^2$. Le facteur vitesse est le plus important. Si vous doublez la section de votre tube, soit la masse d'eau en mouvement, vous doublez l'énergie récupérable. Mais, si vous en doublez la vitesse vous multipliez par quatre l'énergie récupérable. Il faut s'efforcer d'obtenir la vitesse la plus rapide en moins de 1 seconde (le temps qui sépare deux coups de bélier).

Première évidence, **la batterie devra être rectiligne**, pas de coudes, pas de réductions, de sections (attention aux raccords), même dans l'appareil. Les matériaux recommandés à utiliser pour **la batterie sont l'acier, éventuellement le fer ou le PEHD**.

Si vous faites couler de l'eau dans un tube, il est évident que plus vous en augmentez la pente, plus vous allez augmenter son débit par augmentation de sa vitesse.

Pour optimiser le dimensionnement, il faut :

- Raccourcir la batterie pour augmenter sa pente et réduire les pertes de charge
- Augmenter le diamètre pour réduire les pertes de charge.

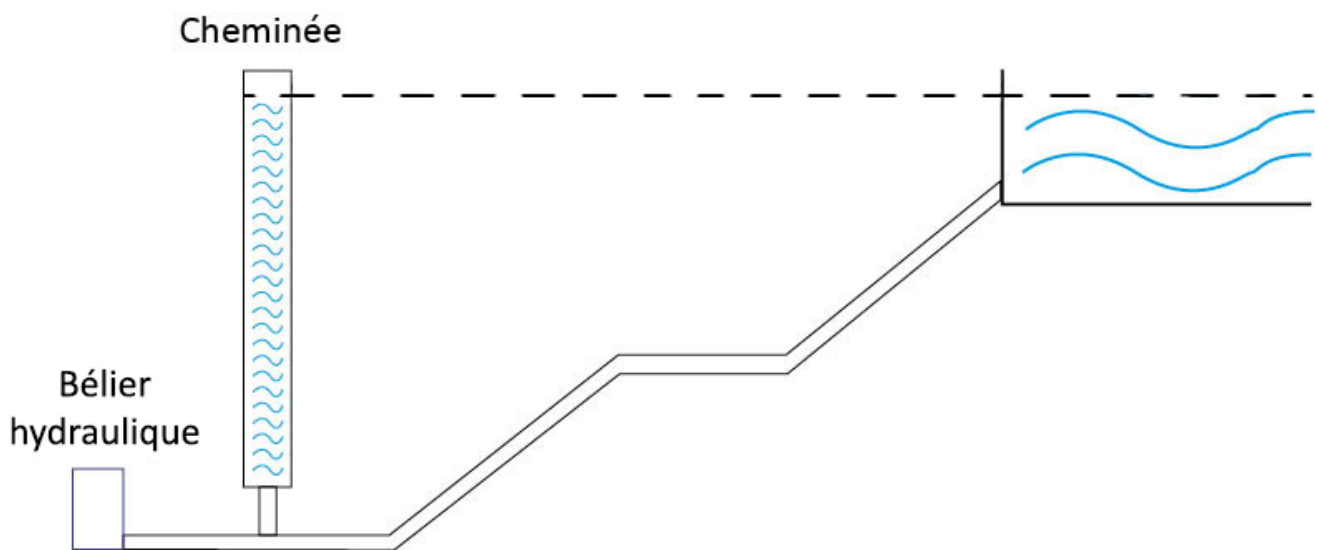
Heureusement, l'expérience sur deux siècles nous donne des repères. La longueur de la batterie doit se situer entre **4 à 6 fois la hauteur de chute** car nous le verrons plus tard, il existe d'autres facteurs comme l'onde de choc qu'il faut préserver.

Astuce : il arrive que la pente ne soit pas suffisante pour que la longueur du tuyau de batterie reste dans la fourchette de 4 à 6 fois la hauteur de chute. Il faut alors utiliser la solution du puits d'équilibre. Cela consiste à monter sur la batterie un tube vertical ouvert de 30 cm de diamètre. L'eau va remonter dans ce tube au même niveau que le début du tuyau de batterie autrement appelé regard de mise en charge (sans perte de hauteur) ; on va pouvoir ainsi optimiser la longueur et le tracé entre le puits d'équilibre et le bélier comme vous pouvez le voir sur le schéma suivant.

Pour le diamètre le choix est simple, à Madagascar au-delà d'un débit de 80 litres/minute on utilisera du PEHD de 63 ou du fer en 40-49 ou en 50-60. Pour des sections plus fortes le matériel n'est pas disponible ou beaucoup trop cher. Lorsque vous ferrez le raccord entre la batterie et le béliet, il faudra **garantir une étanchéité parfaite** ! C'est le raccord le plus important de l'installation. À la moindre fuite, la pression dans le béliet sera bouleversée et le coup de béliet sera médiocre, voire inexistant. Pour ce raccord, le mieux est de réduire le diamètre de la batterie juste

avant le béliet de façon à créer une perte de charge significative vis à vis du flux repartant dans la batterie. Une solution est de façonner un cône en sortie de béliet. Ainsi, la vitesse de l'eau sera accélérée à l'entrée du clapet anti-retour et cela limitera la forte perte de charge d'un raccord « droit ».

L'idéal est d'**enterrer ou de cacher la batterie** au maximum. Cela permettra de gagner en solidité, en effet pendant la saison des pluies, un tuyau de batterie mal installé s'arrachera rapidement. De plus, cela permet de ne pas encourager le vol ou la dégradation.





ETAPE 7 : IMPLANTATION DU BELIER SUR LE TERRAIN

Comme nous avons pu le voir précédemment, le tuyau de batterie ainsi que le bélier doivent être installés en parallèles et au plus près du tracé naturel de l'eau. Selon les régions, il est préférable d'installer le bélier sur le côté en dehors du lit du ruisseau puisque la saison des pluies peut être très violente.

Il est aussi recommandé de cacher un minimum le bélier afin de ne pas attirer les convoitises mais également pour le consolider lors d'intempéries. Vous pouvez par exemple, construire un abri pour ce dernier en ciment, en béton ou en pierre. Voici un schéma à titre d'exemple pour vous montrer où disposer le bélier ainsi que son abri.





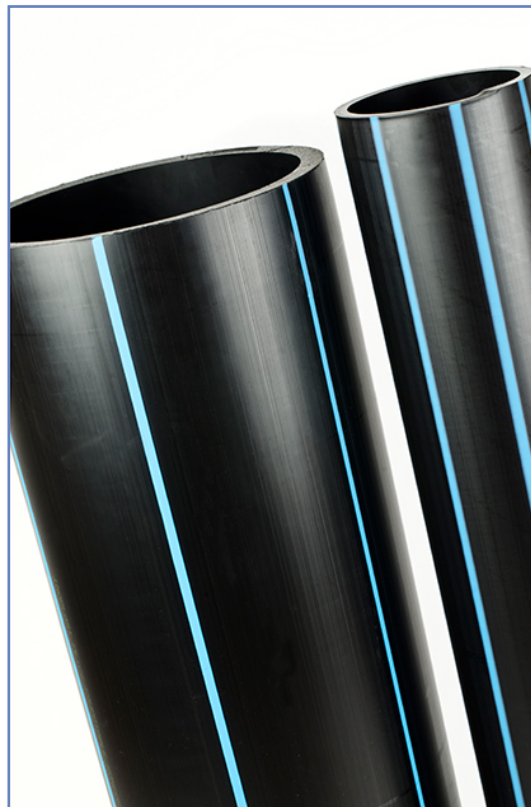
ÉTAPE 8 : LE TUYAU DE REFOULEMENT

La pression de refoulement étant très basse (on est à 0 au point haut), il faut soigner le refoulement dans toute sa longueur. Important : il ne faut **jamais installer de vanne à l'extrémité du refoulement**. En effet, si la pression de refoulement est faible elle va s'accumuler en cas de fermeture et provoquer l'arrêt du fonctionnement du béliet.

Pour le refoulement, on utilise toujours du **PEHD en PN faible 6 ou 10**. En principe, il est le moins cher sur le marché. Il faut, par contre, se méfier des pertes de charge car sur des longueurs de 100m ou plus, cela peut entraîner des pertes de rendement de 25%.

En général, le diamètre du tuyau de refoulement est deux diamètres nominaux en-dessous de celui de la batterie. Par exemple, pour un diamètre de tuyau de batterie de 63, nous aurons un diamètre de tuyau de refoulement de 40.

Il faut aussi porter un soin particulier à l'enterrement des tuyaux. Il faut que la pente soit continue et éviter au maximum les contre pentes. La vitesse de l'eau ne permet pas de chasser l'air qui va s'accumuler par endroits. Cet air va provoquer des freinages et de grosses pertes de rendement.





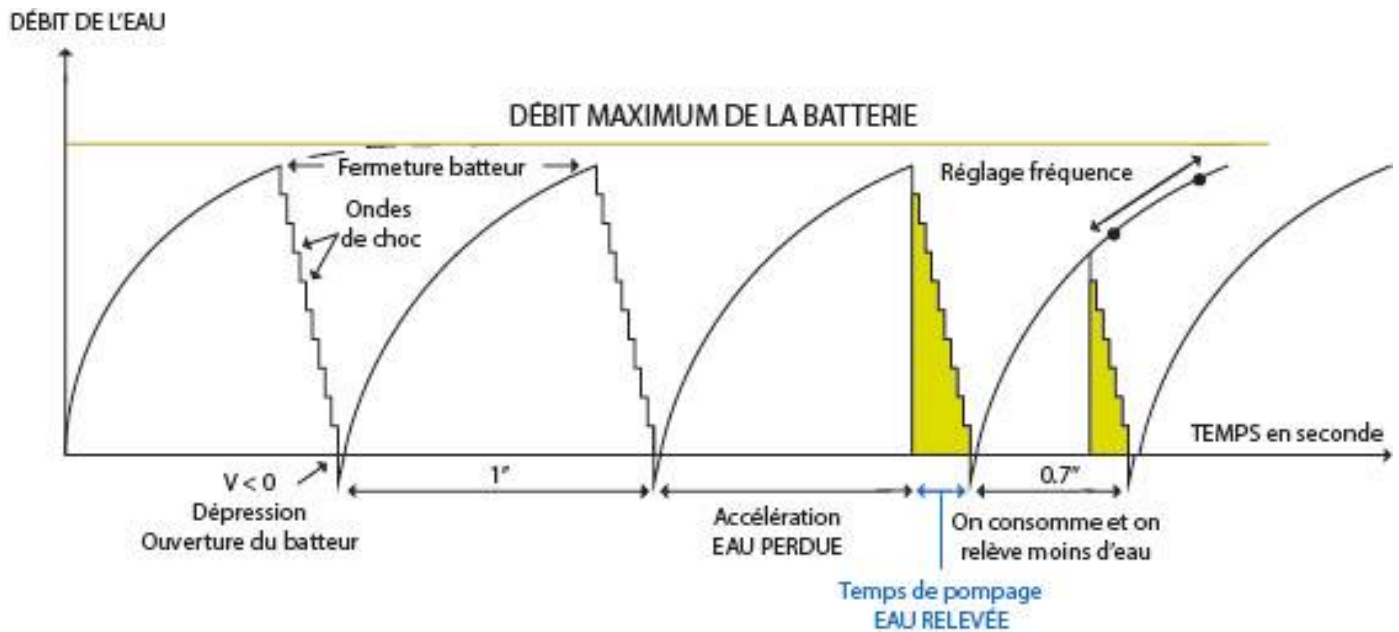
ÉTAPE 9 : LANCEMENT DU BÉLIER

Le principe de fonctionnement d'un bélier hydraulique est très simple mais il y a beaucoup de finesse dans l'enchaînement des phénomènes. Heureusement, une machine correctement installée ne demande pas de réglages après sa mise en route.

Que se passe-t-il lors de la mise en route du bélier ?

Lorsque vous aurez entièrement fini d'installer le bélier avec la batterie et le tuyau de refoulement, vous allez pouvoir observer le processus suivant :

- 1) La batterie, qui est branchée sur l'appareil, débouche sous le clapet de choc. Au départ, la pression créée par la hauteur de chute va suffire à fermer le clapet de choc. Cette pression va aussi être suffisante pour que l'eau présente dans le bélier traverse le clapet anti-retour et envahisse en partie le ballon. À ce moment-là, l'eau va remonter dans le tuyau de refoulement environ au même niveau que l'eau du bassin de mise en charge.
- 2) Il faudra ensuite ouvrir le clapet de choc manuellement pour que l'eau se remette à couler. L'eau va prendre de la vitesse et cette pression dynamique va forcer le clapet de choc à se fermer brutalement. L'eau va remonter un peu plus haut dans le tuyau de refoulement puis plus rien. Le clapet de choc ne s'ouvrira toujours pas mécaniquement. Ne vous inquiétez pas, cela est normal !
- 3) Ce n'est qu'au bout d'une dizaine de relances manuelles que vous allez voir le clapet de choc hésiter à s'ouvrir pour enfin commencer un cycle régulier. Vous verrez le tuyau de refoulement se remplir à environ deux fois la hauteur de chute et c'est là que le phénomène du coup de bélier va apparaître.



Comment expliquer ce processus ?

La figure ci-dessus est le diagramme du débit en fonction du temps dans la batterie pendant la mise en route du béliet. Juste après l'ouverture du clapet de choc (à gauche), l'eau commence à prendre de la vitesse. Arrive le moment où le clapet de choc se ferme déclenchant le coup de béliet. Nous voyons que cela provoque une succession d'ondes de chocs ou le débit subit de nombreuses petites coupures. Sur le diagramme, une marche de l'escalier correspond au temps qu'il faut à l'onde de choc pour remonter et redescendre le tuyau de batterie. Ce temps dépend donc de la longueur de la batterie. À chaque petite onde de choc, une petite quantité d'eau traverse le clapet anti-retour.

Il y a, ainsi, une succession très rapide d'instant où le clapet anti-retour s'ouvre et se ferme laissant passer un peu d'eau. Jusqu'à un certain moment où le débit, et donc la pression, deviendra négatif. À ce moment le clapet anti-retour ne peut plus s'ouvrir et le clapet de choc s'ouvre à nouveau pour libérer l'eau de la batterie et ainsi recommencer un cycle.

Sur le 3ème cycle du diagramme, nous pouvons voir que l'eau relevée correspond à 6 voire 10% de l'eau perdue. Nous pouvons aussi comprendre qu'un tuyau de batterie ne coule pas à son débit maximum tout le temps. En effet, le débit monte en pression jusqu'au coup du béliet et il redescend alors progressivement pendant la phase des ondes de choc. En théorie, un tuyau de batterie débite en moyenne 50% de son débit maximum.

Sur le 4ème cycle du diagramme, nous constatons que la longueur de chaque cycle varie en réglant le clapet de choc. S'il est bloqué, il se fermera plus rapidement, il va consommer moins d'eau mais aussi en remonter moins. C'est vers ce réglage qu'il faut s'orienter si vous pensez faire face au problème du manque d'eau.

Cependant, plus on ralentira le rythme de fermeture du clapet de choc, meilleur sera le rendement du béliet. Normalement, il faut toujours chercher à reculer le point de fermeture, pour assurer un rendement maximum.

Si le clapet n'arrive pas à se fermer, il faut diminuer la distance du point de fermeture grâce à l'écrou de réglage. Le réglage est bon quand il se referme tout seul. À l'inverse, pour être sûr d'avoir le rendement maximum, il est préférable d'allonger cette distance de fermeture du clapet jusqu'au moment où il ne peut plus se fermer. Puis, il faut resserrer l'écrou d'un demi-tour. Il faudra aussi faire ce réglage en fonction des poids disposés sur le clapet de choc.

Batterie et onde de choc

Une onde de choc se diffuse à une vitesse extrêmement grande dans l'eau. Par exemple, pour une batterie de 10 m, l'aller-retour de l'onde va prendre $2/1000^{\text{ème}}$ de secondes et elle se déplacera à une vitesse d'environ 4500 km/h. Le tuyau de batterie subit donc de fortes pressions. C'est pourquoi, cela demande du matériel solide. L'acier ou le fer seront toujours préférés au PEHD.

Une batterie trop longue va allonger le temps de parcours de l'onde de choc et en diminuer la fréquence. Le clapet de choc du bélier risque alors de s'arrêter en position fermée car les ondes de choc ne seront pas assez fréquentes lors du coup de bélier. Une batterie mal fixée ou avec des courbes trop fortes va se comporter comme une batterie trop longue.

Une batterie trop courte n'aura pas une masse d'eau suffisante, son rendement sera donc affaibli.

La moindre bulle d'air aspirée par la batterie ou par le clapet de choc au moment de la dépression risque de modifier la pression dans la batterie et dans le bélier. Ainsi, l'effet des ondes de choc causé par le coup de bélier qui sert à remonter l'eau s'annulera. Cela justifie le fait, qu'il faille impérativement installer l'entrée du tuyau de batterie au moins 30cm sous l'eau. De plus, il faut vraiment éviter que des éléments s'introduisent dans le tuyau de batterie car le débit doit rester le plus constant possible, faute de quoi le bélier pourrait cesser de fonctionner. C'est pourquoi, il est vivement conseillé d'installer le système de filtres avec les bidons que nous recommandons plus tôt dans le guide.



ÉTAPE 10 : LE BÉLIER HYDRAULIQUE, TOUTE UNE COMMUNAUTÉ

- Il faut savoir qu'il existe une véritable communauté autour du bélier hydraulique sur internet. Nous vous proposons une sélection de sites internet que vous pouvez consulter afin d'avoir de plus amples informations. En effet, nous avons tenté de vous présenter quelques méthodes pour réaliser votre bélier mais il en existe encore beaucoup d'autres. Grâce à ces différents sites vous pourrez confrontés les idées et les méthodes. Ceux que nous avons sélectionné ont été réalisés par des experts en bélier hydraulique, des techniciens ou des ingénieurs.

- Site de *Didier Nébréda* : <http://www.belier-inox.fr>
- Site de *Régis Petit* : <http://www.regispetit.fr/belier.htm>
- Site de *Sylvain Lévaillé* : <http://www.cluber.inter-systeme.ca/belier.html>
- Site de Patrick Hadengue : <https://sites.google.com/site/fabricationdunepompeabelier/>
- Le blog de *Mélina Gacoin & Jean Aine* : <http://aventure-installation.blogspot.com/search/label/Fabrication%20bélier%20hydraulique>

Si vous avez des questions, vous pouvez également les contacter par mail afin qu'ils vous aident. Il vous suffit de vous diriger vers la rubrique contact de chacun de ces sites.

- Un autre contact qui pourrait vous intéresser est Mr Paul Lenaerts. Son but est de démocratiser au maximum la technologie du bélier hydraulique à Madagascar. Une grande partie de la méthode illustrée dans ce guide vient de ses conseils. Son plus grand souhait est qu'une entreprise puisse commercialiser des béliers hydrauliques de qualité et en quantité sur l'île de Madagascar. Il pourra éventuellement répondre à vos questions comme il l'a fait pour nous si vous le contactez à l'adresse suivante : lenaertspaul@yahoo.fr
- Aussi, n'hésitez pas à regarder des vidéos, des tutoriaux sur Youtube. C'est une véritable mine d'or. Voici une sélection de chaînes Youtube, mais vous pouvez en trouver beaucoup d'autres si vous cherchez dans d'autres langues, par exemple :
 - Didier Nébréda
 - Turneralp
 - Luis Carpinteiro



+

BONNE
INSTALLATION
À TOUS



BENOÎT ARNOLD & ALISSON GROSDÉMANGE
REMERCIEMENTS À DIDIER NÉBRÉDA & PAUL LENAERTS