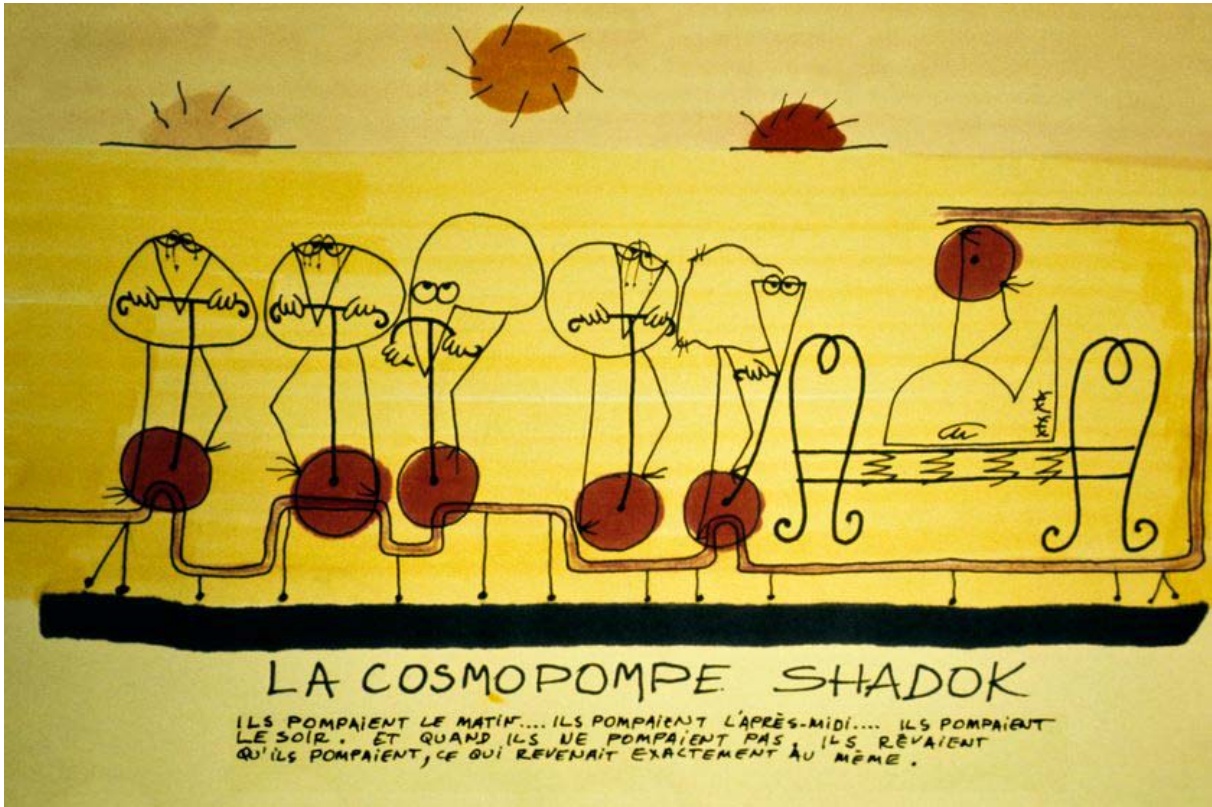




Les Spéléos de l'interclubs Chuats
présentent :

LA COSMOPOMPE DU SPÉLÉODROME

G.P. 2021



" Quand les Shadoks se trouvaient devant un problème grave et qu'ils ne voyaient pas très bien comment faire, et bien ils pompaient.

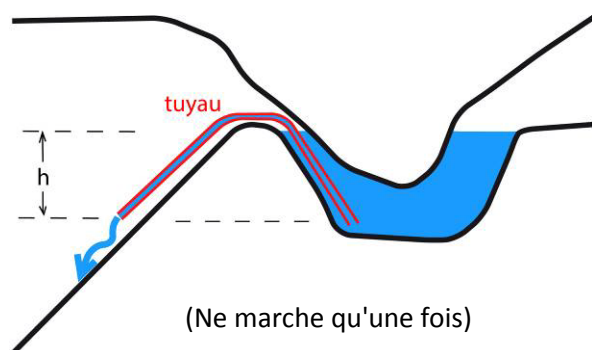
Ils avaient de grosses pompes pour les gros problèmes et de petites pompes pour les petits problèmes.

Ils avaient mis au point des pompes spéciales pour les cas où il n'y avait pas de problème du tout. Quand ils pompaient avec ça... non seulement il ne se passait rien, comme avec une pompe Shadok ordinaire, mais plus ils pompaient et plus il ne se passait rien..."

Sommaire

La théorie	page 3
Le matériel	page 6
Coût financier	page 8
Annexe 1 : Présentation des siphons Cénote et Abel Oued	page 8
Annexe 2 : Historique des "déboires"	page 9
Annexe 3 : quelques maximes appropriées au contexte :-)	page 12
Annexe 4 : Le programme	page 13
Bibliographie -remerciements	page 15

La Théorie

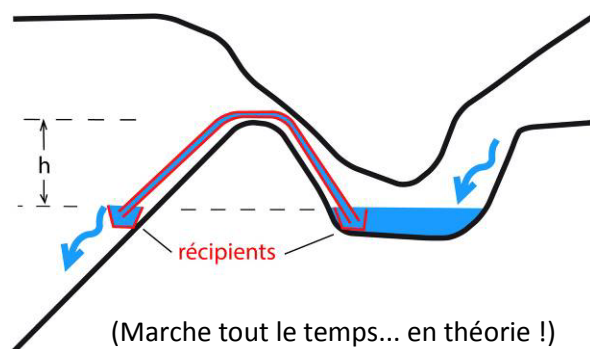


Le principe de base consiste à désiphonner à l'aide d'un tuyau, à la condition que la hauteur h du seuil par rapport au point bas du siphon n'excède pas quelques mètres (maxi 5 à 7m dans la pratique).

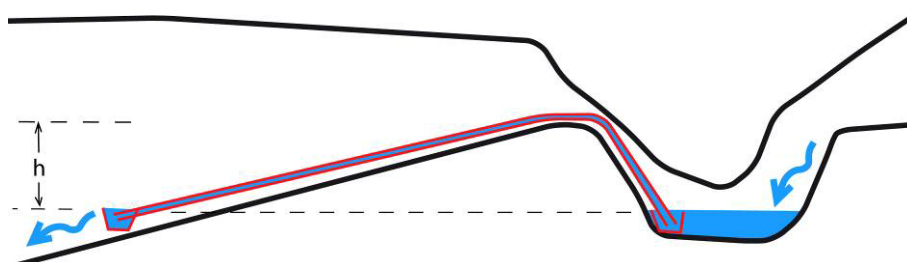
Pour faciliter le remplissage du tuyau, il est pratique de brancher une petite pompe 12V du côté siphon, qui ne tournera qu'une minute, le temps nécessaire à remplir le tuyau. Ce dernier ne doit pas être souple, mais rigide, car il travaille en dépression, et le plus lisse possible pour limiter les pertes de charge.

Seulement voilà, quand le siphon est à sec, de l'air rentre dans le tuyau qui se désamorçe. Quand la crue suivante arrive, le tuyau plein d'air ne fait plus son travail.

La parade habituelle consiste à placer des récipients aux extrémités du tuyau, de manière à empêcher l'air de rentrer (ou à courber vers le haut les extrémités) : quand un récipient se remplit d'un côté, l'autre se vide, le niveau reste identique des deux côtés.



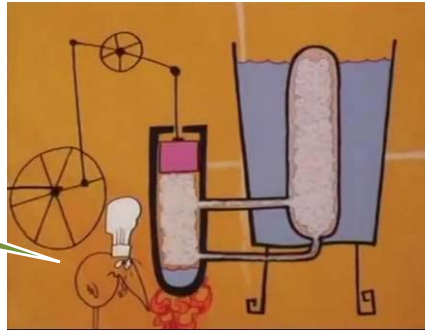
Sur du long terme, pour une installation fixe, cette dernière technique a un gros point faible : Si le tuyau est poreux, si les raccords ne sont pas parfaits (parce qu'ils travaillent à la dépression, et non en compression), la moindre bulle d'air présente dans l'eau va s'accumuler au point haut du tuyau. Quand le point haut contient trop d'air, le tuyau désamorçe.



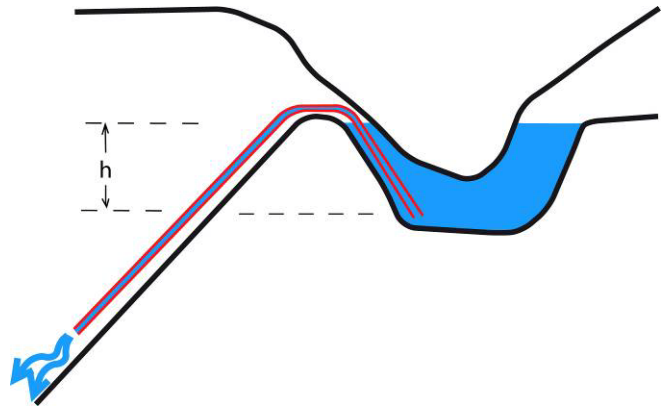
Une amélioration consiste à avoir beaucoup plus de tuyau côté aval que côté siphon : la masse d'eau plus importante "tombant" du côté aval du seuil entraînera les bulles d'air.

Si c'est vrai au début de la vidange, quand l'altitude de l'eau dans le siphon est nettement supérieure à la sortie aval du récipient, ça l'est beaucoup moins quand les deux niveaux se rapprochent en altitude : le débit et la vitesse chutent avec le rapprochement des niveaux. Sur le long terme, le problème du désamorçage revient. Si l'installation fixe est éloignée de l'entrée, la sortie explo prévue de longue date se transformera parfois en sortie "ré-engrenage de la machinerie". Il faut bien voir que le principe du tuyau rempli d'eau repose sur un équilibre instable.

mais pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ?!



Pour s'éviter des sorties "chou blanc", il est tentant de faire en sorte que le dénivelé côté aval soit nettement plus important que la profondeur du siphon, afin de profiter de l'effet de chute d'eau (si la configuration le permet).



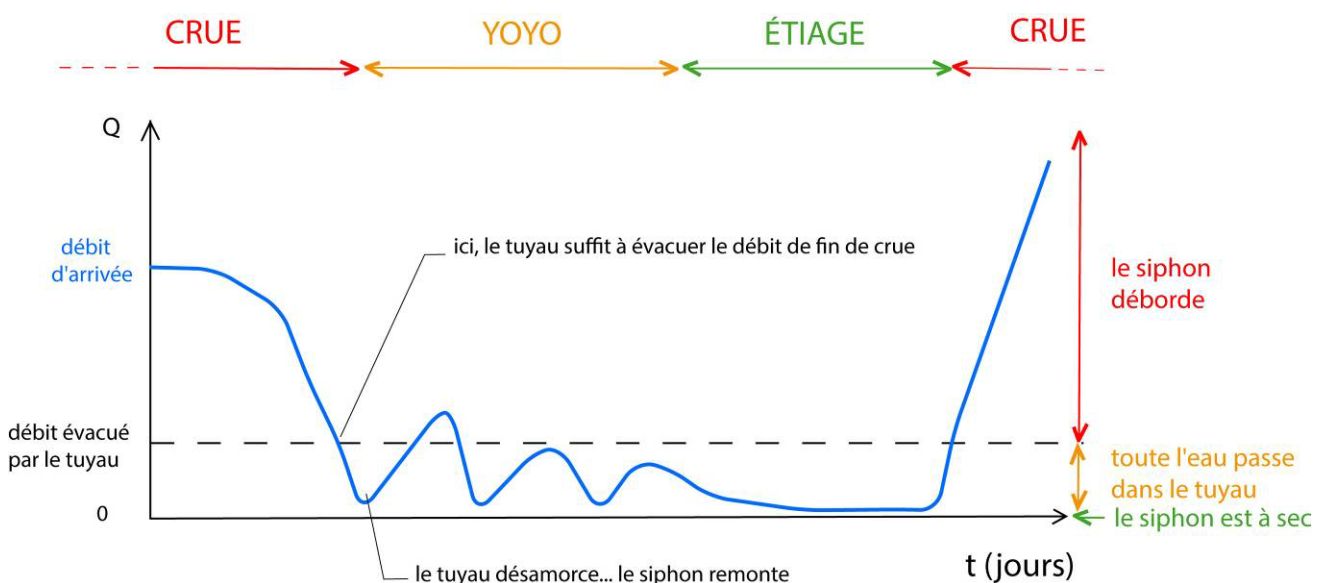
Seulement voilà, dans cette configuration, la méthode des récipients ne fonctionne plus : la vidange du siphon entraîne le désamorçage inéluctable du tuyau.

Il va donc falloir automatiser le déclenchement de la pompe à intervalles réguliers (1 minute par jour par exemple), pour s'assurer du réamorçage du tuyau puisque le siphon se remet alors en charge. La batterie étant peu sollicitée, elle peut assurer une centaine de déclenchements.

Allons plus loin, et soulageons un peu la batterie : un flotteur placé dans le siphon juste au dessus de la pompe rendra le tout un peu plus "intelligent", lui permettant de distinguer 3 états :

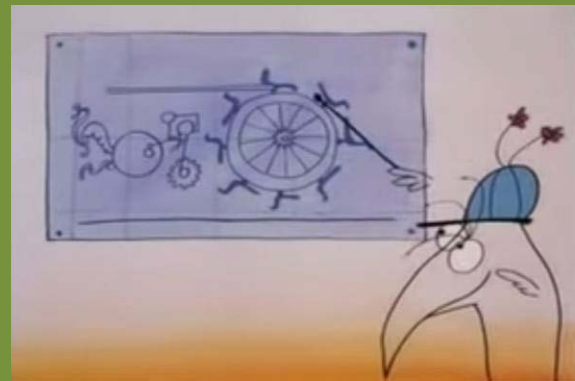


- tant que le débit de **crue** sera supérieur ou égal au débit du tuyau, le tuyau restera amorcé, et il sera inutile de relancer la pompe (sauf le 1^{er} jour de la crue).
- dès que le débit de crue sera inférieur au débit du tuyau, le tuyau se désamorcera chaque jour et le siphon se mettra alors à remonter (le niveau du siphon fera "**yoyo**"). Il faudra donc relancer la pompe régulièrement, mais pas forcément à chaque remontée du flotteur : on peut économiser de la batterie avec uniquement une relance par jour.
- quand le siphon sera à sec (**étiage**), il sera inutile de pomper.



Mentionnons enfin une variante à la "pompe intelligente", qui consisterait à placer aux extrémités du tuyau 2 électrovannes bi-stables (on ne fournit du courant que pour la faire changer d'état ouvert / fermé), comme il s'en trouve maintenant à des prix dérisoires. Il s'agirait juste de conserver l'eau dans le tuyau entre les périodes de crue. Plus besoin de pompe, sauf la 1^{ère} fois. Il faudrait néanmoins s'assurer qu'elles ne provoquent pas trop de freinage, comme c'est le cas avec les crépines.

" Ce qu'il leur fallait, c'était le moteur à pomper perpétuel. Qui non seulement ne s'arrêterait jamais, mais qui n'aurait besoin de rien pour marcher, et ceci jusqu'à ad vitam aeternam, et même plus, si possible."



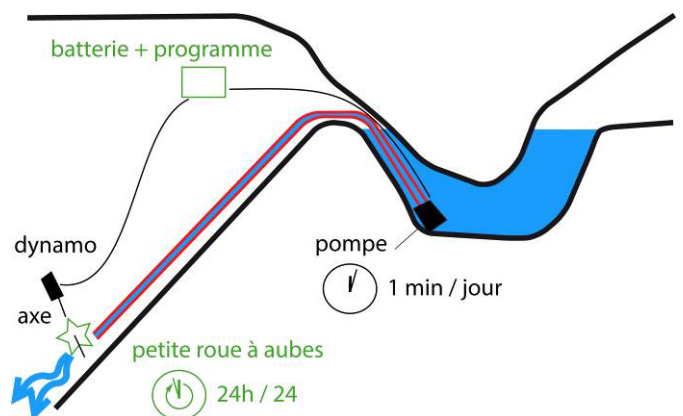
Je ne résiste pas au plaisir de la possibilité de produire du courant avec l'eau pompée ! Comment l'eau pompée pourrait-elle fournir plus de courant que ce qu'il en a coûté pour la pomper ?!
Deux éléments de réponse :

- L'énergie consommée pour soulever l'eau d'une hauteur h du siphon vers le seuil, on pourrait, avec une turbine et un rendement parfait, la récupérer sur la descente de la même hauteur h en aval du seuil. Et puisque l'extrémité est située $3 \times h$ plus bas que le seuil (dans l'exemple d'Abel Oued), on pourrait caresser l'espoir de compenser les pertes de rendement de la pompe et de la turbine. Cela ferait tourner la pompe en continu, la turbine en continu, et tout s'userait en continu.

- Alors en fait nous avons beaucoup mieux : Nous avons vu qu'il suffit de n'allumer la pompe qu'une minute par jour pour avoir la garantie d'avoir accès au SpéléoDrôme quelques jours seulement après la dernière crue (il serait de toute manière scabreux de s'y enfileur quand le siphon est encore en phase "yoyo").

La consommation d'une pompe de 8 A (100 W) pendant une minute représente une consommation électrique de 6 mA répartie sur la journée. C'est 3 fois moins qu'un voyant à led !

Une simple dynamo suffirait ! Elle pourrait être montée sur un axe déportant une petite roue à aubes placée à l'embouchure du tuyau, pour simplifier le problème d'étanchéité de l'arbre de la dynamo.



La pompe :	La dynamo :
8A x 1 min.	= 6mA x 60 min. x 24h

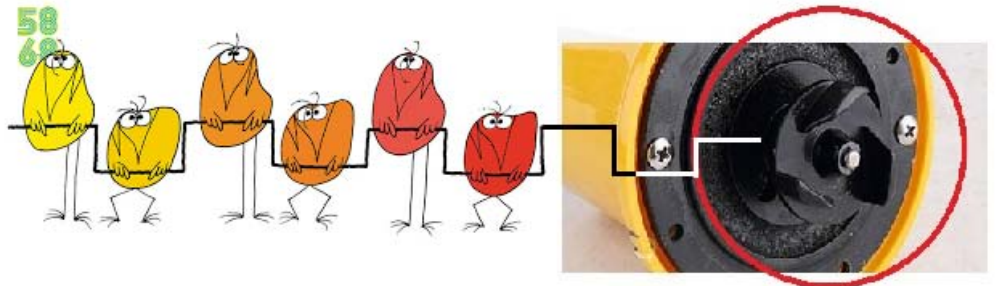
Le matériel

La pompe :

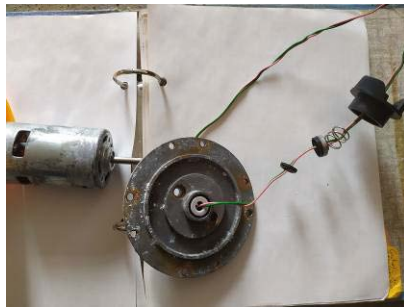
- n'a pas besoin d'être puissante, il suffit de lui laisser le temps suffisant pour remplir le tuyau,
- n'a pas besoin d'avoir de multiples paliers pour remonter l'eau très haut, un modèle type vide-cave ira très bien vu le faible dénivelé à franchir,
- n'a pas besoin d'avoir des pales en acier inusable vu qu'elle ne tourne que quelques heures par an.

En revanche :

- elle doit être étanche (son moteur ne doit pas prendre l'eau !),
- si possible à aimants permanents ou à champ tournant (pas à charbons, sensibles à l'humidité),
- la forme des pales de sa turbine ne doit pas freiner l'eau quand la pompe est coupée : les modèles de type vide-cave avec une hélice qui tourne très vite, faisant aspiration, sont les plus appropriés. Trop de freinage au niveau de la pompe, c'est le risque d'un désamorçage du tuyau (l'aval ayant moins de perte de charge que l'amont). Dans ce cas, il vaut mieux réduire le diamètre du tuyau en conséquence, ou augmenter la capacité de la pompe.



La pompe testée est une "Marine Angel Baby", modèle BL2512S. Elle avait tous les atouts requis, mais son moteur a pris l'eau à deux reprises, et le démontage a mis en évidence la faiblesse de l'alimentation par charbons. Je met une photo de la bête à proscrire, et de ses entrailles :



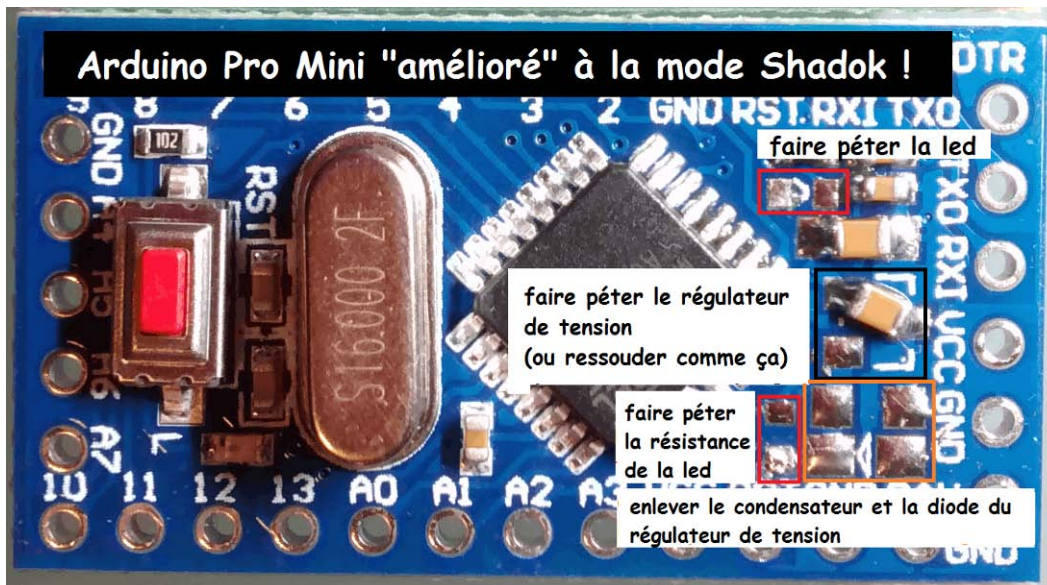
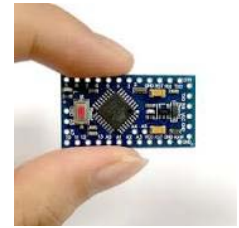
Malgré un siliconage en règle, un bourrage de graisse des joints de l'arbre, et la pose soigneusement verticale pour profiter de l'effet "cloche de plongeur", l'eau est quand même passée dans le moteur.

Le flotteur est très basique avec un contact enclenché par un aimant, le tout parfaitement étanche et très satisfaisant. Voir au début une photo de ce petit flotteur qu'on trouve facilement sur ebay. Nous l'avons doublé en parallèle, par redondance. Il est à placer un poil plus haut que la pompe.

Le tuyau est en polyéthylène diamètre 25mm (intérieur 19 mm). Il fait 50m de long. Le seuil à franchir est de 3,50m. Le désiphonnage avec récipient donnait un débit de 3L/min quand le siphon est plein. Le désiphonnage avec l'extrémité aval placée le plus bas possible, au bas du P6, passe à 25 L/min, sans aucun désamorçage du tuyau tant qu'il y a de l'eau dans le siphon.

La dynamo est une génératrice 12V / 50 mA pas chère trouvée sur Aliexpress. Son inertie est très faible. Il reste à la monter sur un arbre déporté avec un petit moulin à la sortie du tuyau.

Le microcontrôleur qui va commander la pompe est au choix du spéléo. Nous avons opté pour un "arduino pro mini", facile à programmer, et qui consomme très peu avec les modifications ci-après. En effet, il serait dommage qu'il bouffe 15mA en veille (ce qui sur une journée représente une consommation équivalente à 3 minutes de pompe !). Les "améliorations" à effectuer :



On gagne dans les 10mA pour les leds, et 5mA pour le régulateur de tension, à condition de fournir désormais à l'arduino un courant compris entre 3 et 5V (sinon il grille). L'absence de port usb nous faisait déjà gagner 15mA, mais rend le transfert du programme plus compliqué (voir en biblio le site de Nick Gammon sur le transfert de fichier via liaison série).

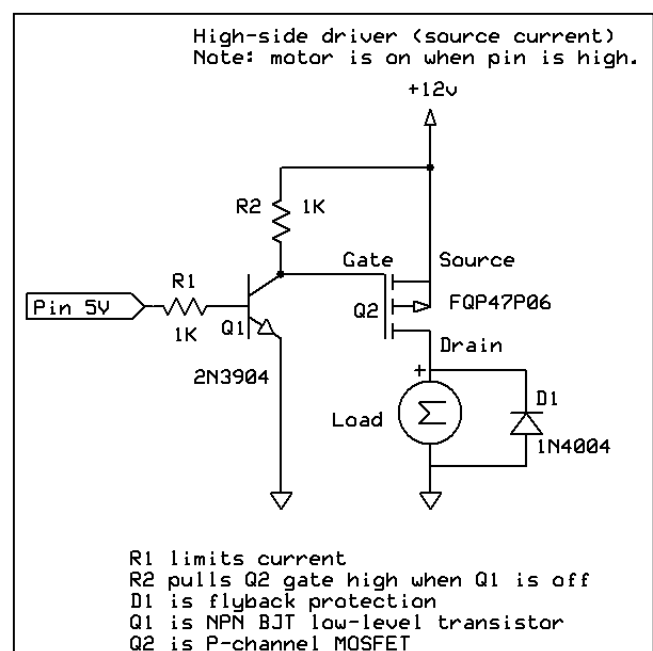
Maintenant quand l'arduino passe en veille, c'est à dire la plupart du temps, nous sommes à 66 μ A (avec un saut à 73 μ A toutes les 8s, lors des micro-réveils). Quand il est réveillé, il consomme 7 mA pendant quelques millisecondes, le temps de faire basculer le mosfet.

Toutes les autres "améliorations" sont faites par programmation. C'est tout l'intérêt d'un microcontrôleur.

Le programme est fourni en annexe.

Le circuit électronique commandé par l'arduino comprend juste un mosfet "P-channel" (parce qu'on a choisi de mettre la masse en commun, pour consommer moins en veille), et un transistor pour commander plus que 5V.

Je reprend tel quel le schéma de Nick Gammon : les explications sont sur son site (voir biblio).



Coût financier

2 x 25m de tuyau polyéthylène en 25mm (la 3 ^e bobine sera remontée)	2 x 20,90 €
1 manchon F-F pour tuyau polyéthylène 25 mm (le 2 ^e sera remonté)	2,55 €
15m gaine TPC en diamètre 40 (pour dévier l'eau de la Galerie Anglaise)	20,30 €
2 flotteurs	3,92 \$
microcontrôleur arduino pro mini + électronique	environ 10 €
La pompe "Marine Angel" qui prend l'eau	24,90 €
batterie Yuasa plomb gélifié 12V 7Ah (à terme)	environ 35 €
Nouvelle pompe idéale ?	100 € ?
micro-alternateur (dynamo 18V / 30 mA)	environ 10 \$

Annexe 1 : Présentation des siphons Cénote et Abel Oued

Deux siphons défendent l'accès du SpéléoDrôme au réseau des Chuats : le Cénote pour le 1^{er}, Abel Oued pour le second. Heureusement une galerie permet de shunter le Cénote. Mais la tuyauterie quant à elle passe dans le Cénote pour avoir une montée sans aucun point bas entre la pompe et le seuil, et de même en aval. Le moindre point bas du tuyau serait un piège favorisant le dépôt d'argile. Le seuil à franchir est de 3,50m.

Le Cénote contient environ 10m³ d'eau. Abel Oued en contient 20 à 30 m³. En crue, les deux siphons sont reliés par un bras d'eau. Il y a deux arrivées d'eau qui alimentent le siphon :

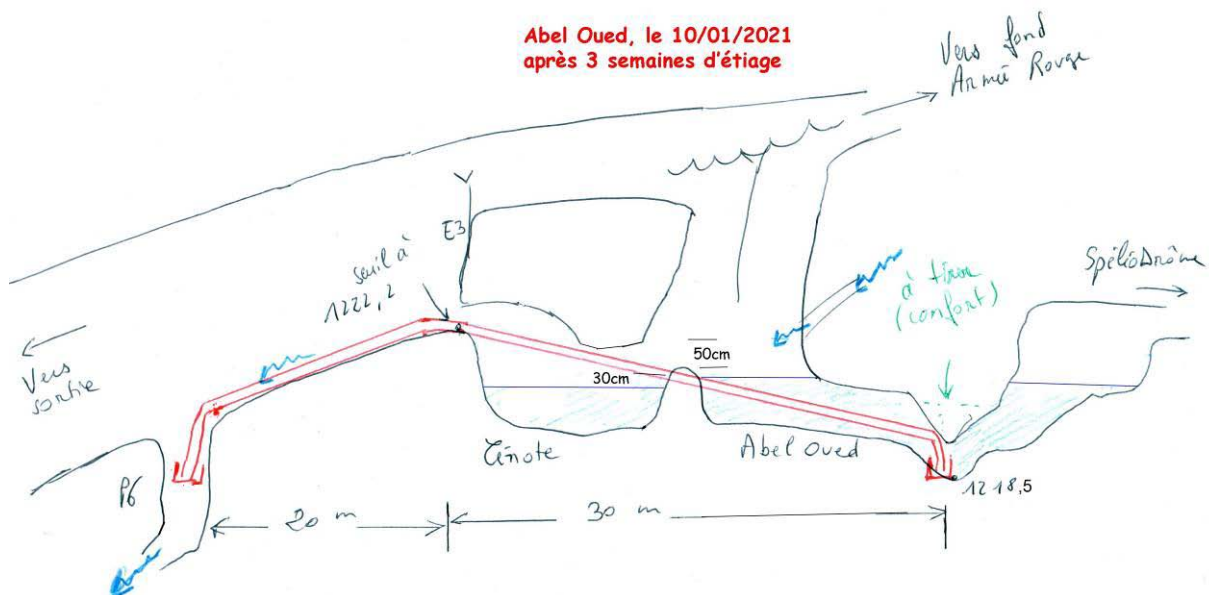
- le SpéléoDrôme, avec un débit de crue de 120 L/s, mais qui chute à zéro en quelques jours d'étiage (il existe probablement des pertes dans le lit de l'actif du SpéléoDrôme, lui donnant au niveau du siphon Abel Oued un caractère de trop-plein).
- la Galerie An-glaise, avec un débit de crue de 20 L/min, et qui met 2 à 3 semaines d'étiage pour chuter doucement à quelques L/min.

Annexe 2 : Historique des "déboires"

Au cours des sorties dans la trémie de la Galerie Anglaise en décembre 2020, nous constatons que le siphon Cénote commence à baisser à partir de 2 semaines d'étiage (-1m). Au cours de l'hiver, nous allons profiter des sorties effectuées à la Galerie Anglaise, puis au Boyau des Évadés, pour faire avancer le schmilblick en parallèle.

10 janvier 2021 : Dirk, François, Jérôme, Gilles : Nous sommes à 3 semaines d'étiage hivernal. La voûte entre Cénote et Abel Oued est désamorcée (50cm de revanche). Nous constatons que le Cénote fuit plus vite, car Abel Oued, qui est pourtant alimenté par l'arrivée d'eau de la Galerie Anglaise, déverse dans le Cénote avec 30 cm d'écart en dénivelé. En installant un tuyau dans Abel Oued, il doit être possible d'accélérer les choses et ne plus attendre 2 mois d'étiage pour passer.

Il faudrait installer un désiphonnage autonome, quelque chose comme ça :



16 janvier 2021 : Miha, Gilles : descente et pose du tuyau dans le Cénote dans un premier temps. Mise en route du désiphonnage par gravité avec les embouts du tuyau positionnés à la même altitude, et plongés dans un récipient (l'une des extrémités est à 1m sous la lèvre du P6). Le seuil à franchir est de 3m de haut. Pour faciliter l'amorçage du tuyau, nous posons une pompe 12V à l'extrémité plongée dans le siphon, et nous l'allumons une minute, juste pour lancer le désiphonnage. Pompe coupée, le débit du tuyau est de 3L/min. Tout semble marcher.

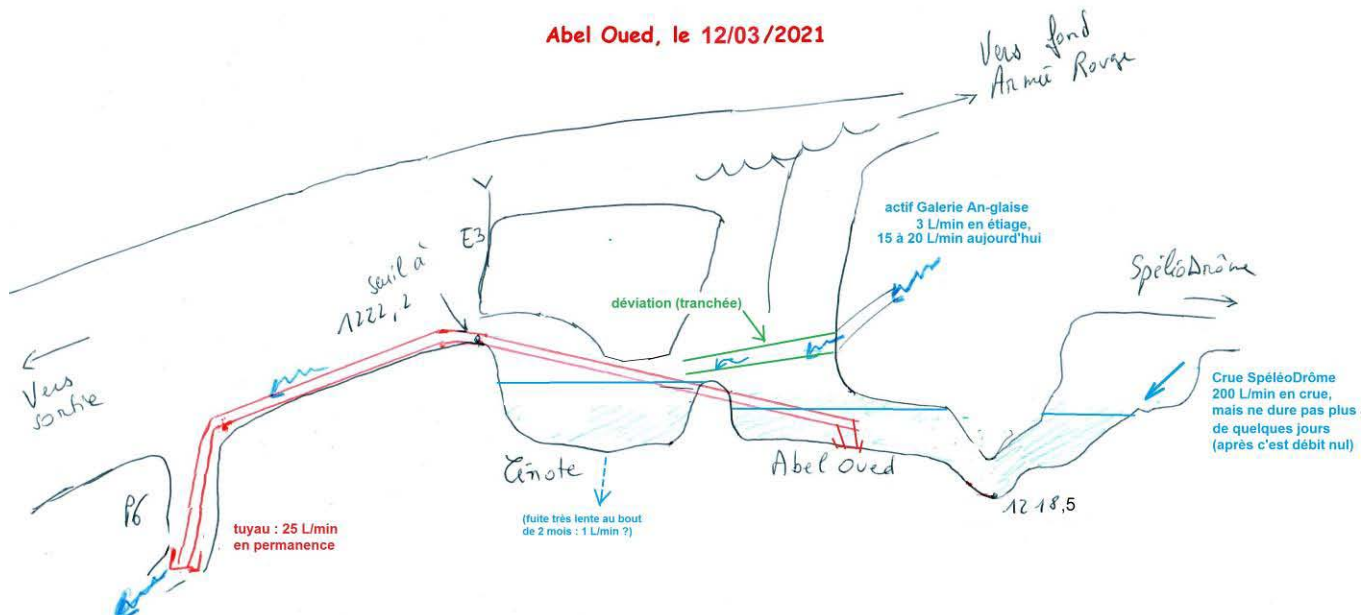
4 février 2021 : Miha, Dirk, François, Jean-Paul, Alexandre, Gaël, Patrik, Gilles : Le siphon est en crue, environ 120L/min. Le tuyau s'est désamorcé. Comme nombre de spéléos avant nous, nous constatons que le désiphonnage par gravité n'est pas fiable sur le long terme. Nous déplaçons la sortie du tuyau en bas du P6 pour augmenter le dénivelé. Le débit désiphonné passe à 25L/min. Nous installons un programmeur avec une batterie, qui lancera la pompe 1 minute par jour (merci Miha pour la bonne idée).

20 février 2021 : Mathéo, Chris, François, Gilles : La voûte entre Cénote et Abel Oued est désamorcée. Avec Mathéo et une bouteille flottante accrochée à une ficelle, nous réussissons à faire passer la pompe et le tuyau du siphon Cénote au siphon Abel Oued. La pompe est désormais plongée dans le bon siphon. Malheureusement elle a pris l'eau, nous devons la ressortir pour autopsy.

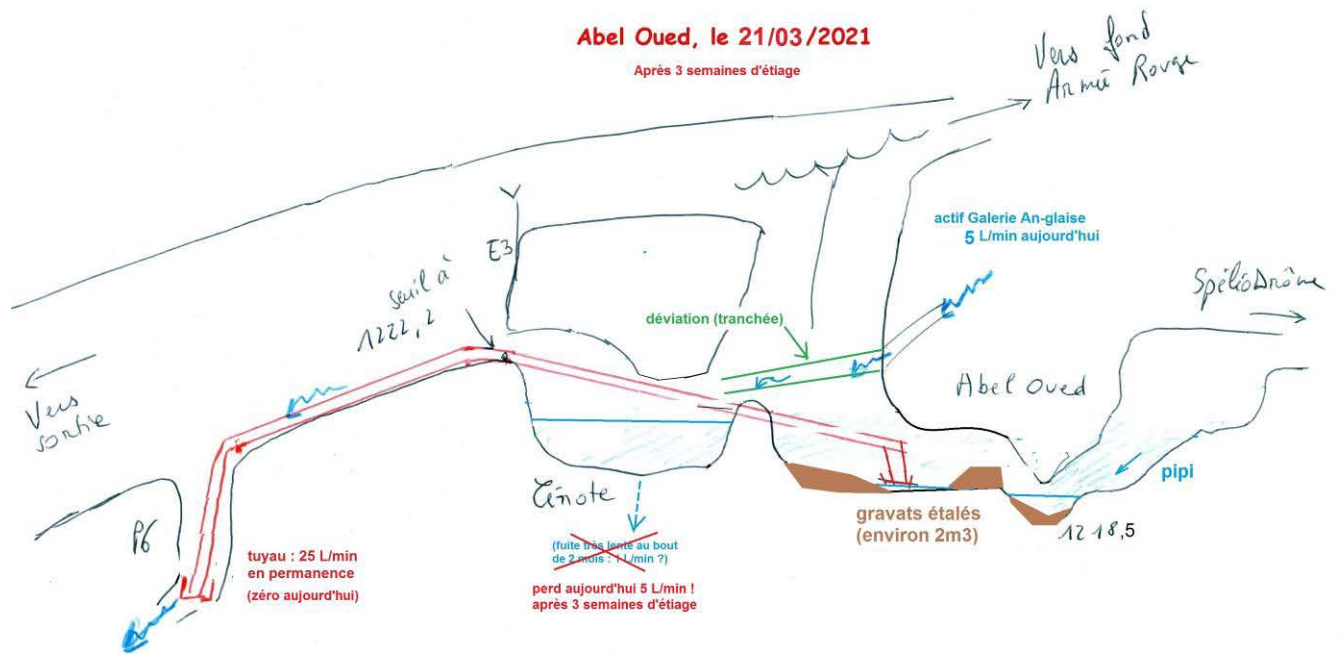
25 février 2021 : Gilles : Le siphon est en crue. Creusement de la tranchée pour dévier l'eau arrivant de la Galerie Anglaise vers le Cénote (elle coulait avant vers Abel Oued). La tranchée est en dessous du niveau du siphon, il faudra raccorder à une prochaine occasion.

6 mars 2021 : En passant, nous remettons la pompe en place, et nous changeons la batterie.

12 mars 2021 : Patrik, Alexandre, Olivier, Gilles : Abel Oued a bien baissé, mais ne passe pas. Séance dévissage des boucles du tuyau et avancement de la pompe dans le siphon. Olivier finit de raccorder la tranchée de la Galerie Anglaise au Cénote. Pose du panneau. L'arrivée d'eau de la Galerie Anglaise est de 15 à 20L/min aujourd'hui : elle coule dans le Cénote, qui déverse dans Abel Oued (50cm d'écart), mais le tuyau qui débite 25L/min peine à compenser.



21 mars 2021 : Clément, Gilles : Clément descend la gaine de 40 pour la Galerie Anglaise. Nous sommes à 3 semaines d'étiage. Tout est à sec : le système de pompage + la tranchée déviant l'eau vers le Cénote nous a fait passer d'une attente de 2 mois d'étiage à seulement 3 semaines. Fixation de la pompe à son emplacement définitif. L'arrivée d'eau de la Galerie Anglaise est de 5L/min aujourd'hui, et elle ne semble plus faire déborder le Cénote, qui doit fuir un peu. Dévier l'arrivée d'eau de la Galerie Anglaise en amont de la trémie découverte, pour ne plus qu'elle arrive au Cénote, nous ferait gagner encore quelques semaines d'attente lors des étiages. Peut-être moins d'une semaine ? Pour l'heure, nous ne franchissons pas le point bas qui mouille un peu. Il faudra revenir pour percer et faire tomber le plafond de ce passage étroit et aquatique.



2 avril 2021 : Jean-Paul, Gilles : Abel Oued est en crue. Un coup pour rien. Je remonte avec mes sucreries, bredouille.

29 mai 2021 : Gilles : Remplacement de la batterie après 2 longs mois de confinement. Puis pose de la gaine qui dévie l'eau en haut de la trémie de la Galerie Anglaise. Le débit de cette arrivée d'eau au niveau du Cénote passe de 10L/min à un simple goutte-à-goutte. Ce sera l'apport décisif (ou plutôt le retrait) qui nous fera passer à une attente de seulement 1 semaine d'étiage.

18 juin 2021 : Olivier, Gilles : Abel Oued est sec. Perçage du plafond d'Abel Oued et gros coup de massue. Olivier creuse le gravier. Visite et balisage en partant du fond du SpéleoDrôme.

26 juin 2021 : Christian, Gilles : Il a beaucoup plu : il reste 40cm d'eau à Abel Oued. Le tuyau désiphonne encore.

30 juin 2021 : Gaël : Il reste encore 40cm d'eau à Abel Oued. Le tuyau désiphonne encore.

3 juillet 2021 : Mathéo, Steven, Zoé, Dirk, Gilles : Abel Oued est presque à sec, curieusement il reste une flaque au milieu du passage, dans laquelle baigne la pompe, qui a pris l'eau une seconde fois, la fois de trop. Nous la remonterons en fin de séance. Dégagement des gravats du plafond d'Abel Oued. Fixation du tuyau avec Zoé pour ne plus qu'il présente de points bas, avec le risque de dépôts d'argile. Balisage du passage Steph Verdot dans le SpéleoDrôme. Visite des spéléos du GSV qui font la traversée Fleurs-Blanches → Mouchtiques. Tout le monde ressort émerveillé.

Conclusion : Il semblait au départ plus judicieux d'attendre 1 an, la fin de l'été, et de mettre en place toute l'installation une fois pour toutes, sans y passer 14 séances (dont 7 descentes faites exprès). Mais ce point de vue est illusoire : nous aurions butté sur les mêmes problèmes tant matériels que techniques, avec l'impossibilité de ressortir la pompe. De plus, nos nombreuses sorties ont permis de comprendre le comportement du siphon et de ses alimentations, et de dévier les arrivées d'eau en conséquence.

Annexe 3 : quelques maximes appropriées au contexte :-)

(merci aux papillotes Révillon !)

*"Le bon jugement vient avec l'expérience.
L'expérience vient avec de mauvais jugements."*

"Rien ne s'accomplit dans ce monde sans passion." (Hegel)

"Le bonheur est un rêve d'enfant réalisé à l'âge adulte." (Freud)

*"Toutes les grandes personnes ont d'abord été des enfants,
mais très peu s'en souviennent." (St-Exupéry)*

*"La terre nous en apprend plus long sur nous que tous les livres.
Parce qu'elle nous résiste.
L'homme se découvre quand il se mesure avec l'obstacle."
(St-Exupéry, Terre des hommes)*

"L'expérience est le nom que l'on donne à ses erreurs." (Oscar Wilde)

*"Ne craignez pas d'avancer lentement,
craignez seulement de rester sur place." (Sagesse Chinoise)*

"La patience est l'art d'espérer." (Luc de Vauvenargues)

*"Il ne faut avoir aucun regret pour le passé,
aucun remord pour le présent,
et une confiance inébranlable pour l'avenir." (Jean Jaurès)*

*"Il n'est pas d'hiver sans neige,
de printemps sans soleil,
et de joie sans être partagée."
(proverbe Serbe)*

*"Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas,
mais parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles." (Sénèque)*

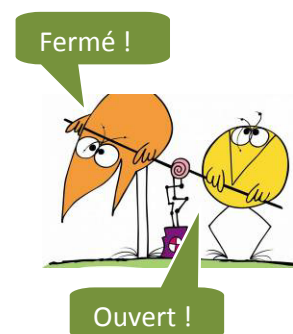
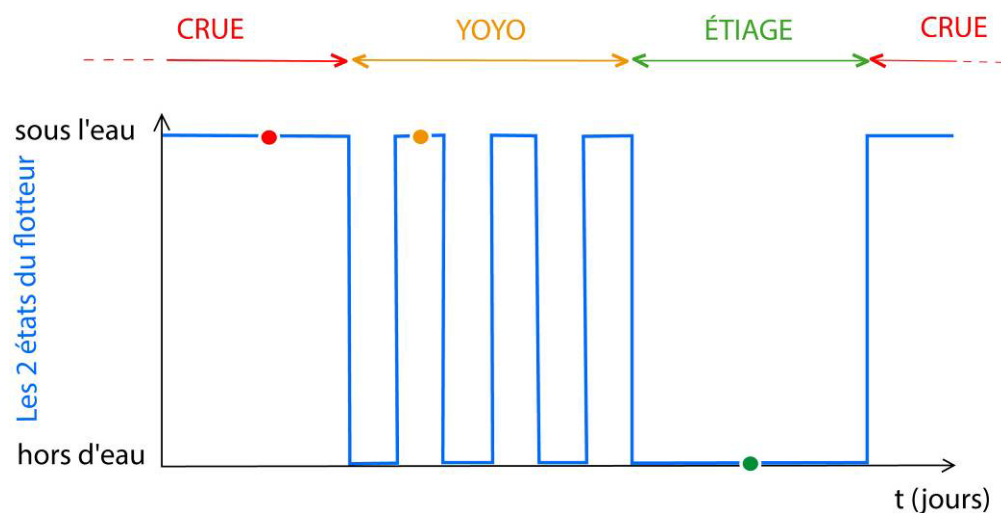
"Les folies sont les seules choses qu'on ne regrette jamais." (Oscar Wilde)

Annexe 4 : Le programme

Le code source est libre de tous droits. Dispo sur : <https://github.com/GillesPalue/Cosmopompe>

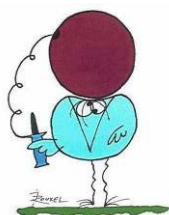
Quelques explications :

- **pour économiser l'énergie**, le microcontrôleur est en sommeil presque tout le temps. Pour ne pas perdre le moindre courant, les pins sont tirés à la masse dès qu'une lecture est faite (mise en pull-down via la résistance interne de l'arduino). Voir plus d'explications sur le site de Nick Gammon.
- **la pompe est coupée si la batterie tombe à un niveau trop bas**, pour ne pas tuer cette dernière. La mesure se fait directement sur un pin, via un pont diviseur de tension. Par ailleurs une batterie au plomb serait moins sensible à l'autodécharge.
- **il n'y a pas de module RTC** (Real Time Clock), mais juste le CPU, lui-même calibré à chaque réveil par rapport au quartz (16 MHz). Le calibrage ne serait à faire qu'une seule fois en théorie, mais le CPU est très sensible à la température, alors si cela est fait sous terre chaque jour, on est sûr qu'il est bien acclimaté. La dérive est très acceptable pour le besoin qu'on en a : maxi 10 secondes par jour.
- **le cas compliqué des flotteurs** : par souci de fiabilité, ils sont redondants et montés en parallèle. Dans le programme, on parle donc d'un seul flotteur. Il n'a que deux états possibles : sous l'eau (contact fermé), et hors d'eau (contact ouvert).



MAIS :

Se réveiller une fois par jour et regarder l'état du flotteur avant de décider s'il faut lancer la pompe ou non ne suffit pas.



Car on a dit dans la théorie qu'on souhaitait économiser le lancement de la pompe quand on était en régime de **crue** permanente (c'est à dire d'un point de vue de la mesure du flotteur quand le tuyau ne s'est pas désamorçé d'un jour sur l'autre, et qu'il est donc inutile de relancer la pompe). Mais quand on est dans le cas du point rouge sur le dessin ci-dessus, il n'y a pas lieu de lancer la pompe, alors que le flotteur est pourtant sous l'eau. Il nous faut donc stocker une variable en mémoire d'un jour sur l'autre, entre deux réveils.

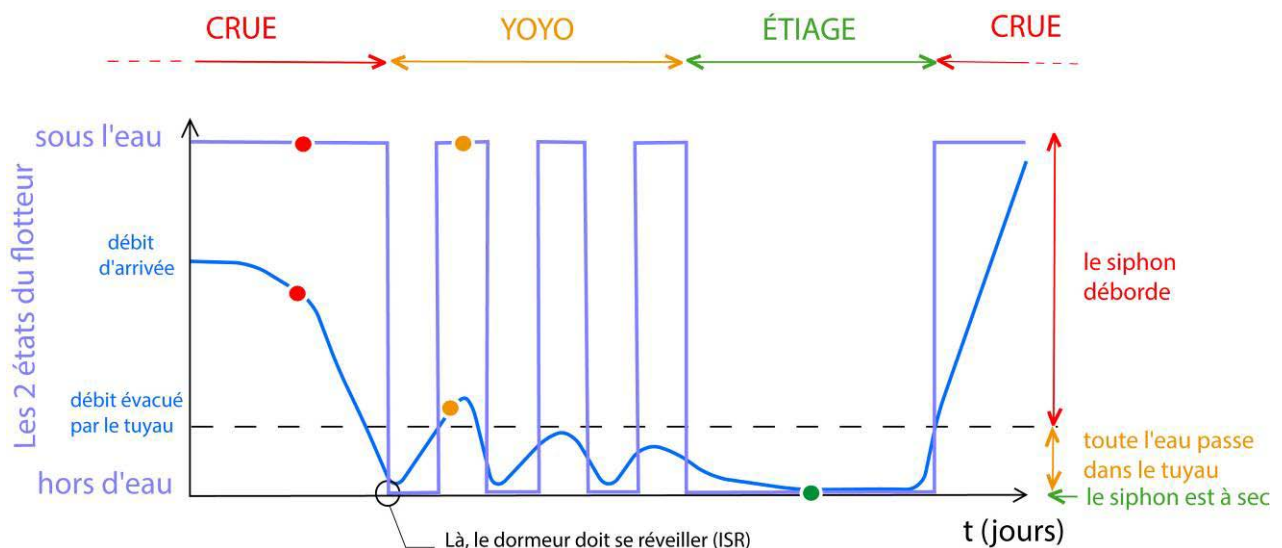
Mais cela ne suffit toujours pas !



Car prenons un cas plus tordu, celui du point orange sur le dessin (régime "yoyo") : Le tuyau a fini de vider le siphon il y a quelques heures. Le tuyau s'est alors désamorçé. Depuis, l'eau a commencé à remonter, car la crue, si elle commence à faiblir, n'est pas encore finie (pour rappel, le cas du "yoyo" c'est quand le débit du tuyau est supérieur à celui de la crue. En réalité, du point de vue de la mesure physique du phénomène, c'est quand le flotteur désamorçé). Comme l'eau est déjà remontée, le flotteur est sous l'eau. Le microcontrôleur se réveille peu après. S'il en croit le flotteur, il y a de l'eau à pomper. Alors il regarde la variable qu'il a gardé en mémoire, qui lui dit qu'au dernier réveil, c'était déjà le cas. Il en conclut qu'il est en régime de crue permanente, et qu'il n'a pas besoin de relancer la pompe...!

Renseigner une variable d'état du flotteur, une fois par réveil, ne suffit donc pas.

Le changement d'état du flotteur à "hors d'eau" (quand le tuyau se désamorçé) doit réveiller l'arduino quelques millisecondes, qui va changer l'état de la variable pour ne plus la modifier (même si le flotteur remonte) jusqu'au prochain réveil programmé, puis se rendort pour finir son sommeil de 24h. A son réveil, malgré que le capteur sera à nouveau sous l'eau, il saura qu'il faut relancer la pompe car le tuyau s'est désamorçé pendant son sommeil (d'où le nom de la variable : `_is_tuyau_désamorçé`). Pour cela il existe un truc bien pratique capable de tirer un CPU de son sommeil profond, c'est une ISR (Interrupt Service Routine). Même chose, voir le site de Nick.



Et l'**étiage** ? Le cas du point vert est simple : le tuyau s'est désamorçé pendant le sommeil de 24h ? (enfin, un sommeil à peine réveillé par les pleurs du bébé). Ou bien il était déjà désamorçé la veille et rien ne l'a fait changer d'état ? Et le flotteur est toujours hors d'eau au réveil ? C'est simple, nous sommes à l'étiage ! (des shadoks vicieux feront remarquer qu'il peut arriver que l'interrupt intervienne quelques minutes avant le réveil programmé, et dans ce cas l'arduino conclura à un étiage qui n'en est pas vraiment un. Il serait possible de garder l'heure en mémoire, mais nous pensons que le cas sera très rare, et sans conséquence 24h après, quand l'arduino aura rectifié le tir. Pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?!).

- Vous aurez remarqué les couleurs associées au 3 régimes de débit (**crue** / **yoyo** / **étiage**) ? Une petite led RVB ferait un heartbeat très simple à comprendre pour le randonneur spéléo qui hésite à s'enfiler derrière le siphon (un flash de quelques ms toutes les 8s est négligeable en consommation).

Bibliographie - remerciements

Le site de Nick Gammon : La Sainte Bible en matière de programmation sur arduino :

https://www.gammon.com.au/forum/bbshowpost.php?bbtopic_id=123

Voir en particulier les pages "Interrupts", "Motors", et "Power saving"

Souterweb, et sa célèbre "Boîte à outils" :

<http://souterweb.free.fr/boitaoutils/indexboite.htm>

On regardera en particulier la page consacrée au désiphonnage par gravité :

http://souterweb.free.fr/boitaoutils/desob/pages/vidange_siphon.htm

Merci à :

Laurent Garnier et le GSV pour les recommandations sur le diamètre des tuyaux.

<http://speleogsv.free.fr>



Au SGCAF pour la fourniture de l'élargissement
du passage bas du siphon Abel Oued

www.sgcaf.fr

Merci aux spéléos et aux clubs qui ont participé financièrement à l'installation, d'un coût total d'environ 200 €.

Merci à tous les spéléos venus traîner des tuyaux (merci Miha !) ou remuer des gravats pour permettre à tous d'enfin pouvoir admirer les beautés du SpéléoDrôme toute l'année... ou presque !

Les papillotes Révillon pour leurs citations bien pratiques,

Les shadoks et leur philosophie à toute épreuve.

Le code source du programme est téléchargeable à cette adresse :

<https://github.com/GillesPalue/Cosmopompe>