



Sciences de l'Ingénieur	Compétences travaillées : <ul style="list-style-type: none">- Caractériser la puissance et l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système- Analyser des résultats d'expérimentation et de simulation-Caractériser les grandeurs physiques en entrées/sorties d'un modèle multi-physique traduisant la transmission de puissance-Associer un modèle aux composants d'une chaîne de puissance-Déterminer les grandeurs flux (courant) et effort (tension) dans un circuit électrique-Mettre en œuvre une simulation numérique à partir d'un modèle multi-physique pour qualifier et quantifier les performances d'un objet réel ou imaginé	Connaissances associées : <ul style="list-style-type: none">- Outils d'ingénierie-système : diagrammes fonctionnels, définition des exigences et des critères associés, cas d'utilisations, analyse structurelle- Grandeurs physiques (mécanique, électrique, thermique, etc.) mobilisées par le fonctionnement d'un produit- Lois physiques associées au fonctionnement d'un produit Description qualitative et quantitative des grandeurs physiques caractéristiques du fonctionnement d'un produit <ul style="list-style-type: none">-Grandeur effort, grandeur flux-Sources parfaites de flux et d'effort Interrupteur parfait Modèle associé aux composants élémentaires de transformation, de modulation, de conversion ou de stockage de l'énergie <ul style="list-style-type: none">-Lois de Kirchhoff Lois de comportement <ul style="list-style-type: none">-Paramètres de simulation : durée, incrément temporel, choix des grandeurs affichées, échelles adaptées à l'amplitude et la dynamique des grandeurs simulées
Durée : 2 h		
Référence : Hydrao_Alimentation_1		
Matériel : Système didactique HYDRAO DIDACT Oscilloscope		
Logiciel : MatLab Simulink 2019b pour la simulation		
	Pré-requis : <ul style="list-style-type: none">- Premiers éléments sur les diagrammes SysML- Lois de Kirschhoff, fonctionnement d'une LED- Caractérisation des signaux et utilisation d'un oscilloscope	

Problème scientifique et technologique :

Le système de douche intelligent développé par Hydrao pour réduire le volume d'eau consommé lors d'une douche, et conséquemment l'énergie nécessaire pour chauffer cette eau, repose à la fois sur une limitation du débit d'eau, et sur l'implication de l'utilisateur en l'informant de ses consommations.

Dans l'architecture fonctionnelle générique d'un système pluri-technologique, la fonction « Alimenter » de la chaîne de puissance fournit à l'objet technique l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement. Dans la plupart des cas, cette fonction transforme les caractéristiques de l'énergie livrée par le réseau EDF pour les adapter aux conditions de l'alimentation de l'objet technique (le fonctionnement des circuits électroniques d'un objet technique nécessite en général une alimentation sous très basse tension continue).

Le pommeau Hydrao a la particularité d'être autonome sur le plan énergétique, pour cela il comporte un hydrogénérateur composé d'une micro-turbine entraînant une génératrice synchrone.

On propose dans cette première activité (Hydrao_Alimentation_1) d'étudier les problèmes scientifiques et technologiques d'ingénierie, ainsi que les solutions retenues, liés à la production et à l'adaptation de l'énergie afin



de répondre aux contraintes de l'électronique du pommeau de douche en permettant notamment d'alimenter correctement les LEDs colorées.

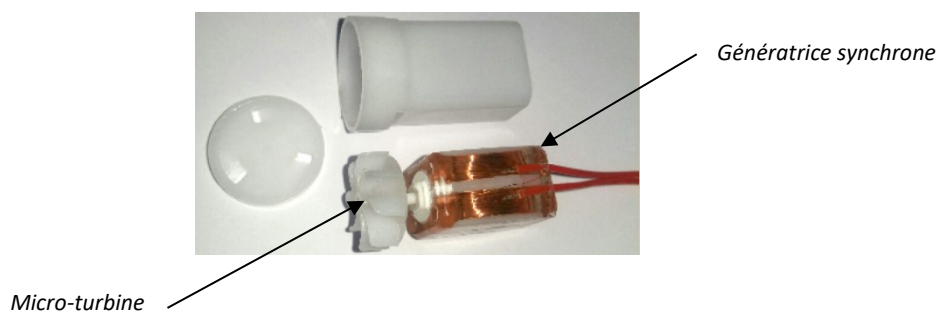
En l'absence d'écoulement d'eau, l'hydrogénérateur ne tourne pas et ne produit donc pas d'énergie électrique. Dans une seconde activité (Hydrao_Alimentation_2) sera étudiée une solution pour maintenir alimentée l'électronique de traitement de l'information (microcontrôleur) afin de pouvoir poursuivre le fonctionnement après l'état de pause.

Travail à effectuer :

Nota : il conviendra de réaliser un dossier réponse documenté à l'aide de copies d'écran pertinentes si besoin.

1^{ère} partie : Production de l'énergie électrique

La micro-turbine est mise en mouvement de rotation par l'écoulement de l'eau sous pression à travers le pommeau. La génératrice synchrone convertit l'énergie mécanique transmise par la micro-turbine en énergie électrique.



Vous disposez du système didactisé du pommeau Hydrao permettant notamment de relever différentes grandeurs électriques caractéristiques de la chaîne de puissance. (cf. annexe 1 : Mise en œuvre du système didactisé).

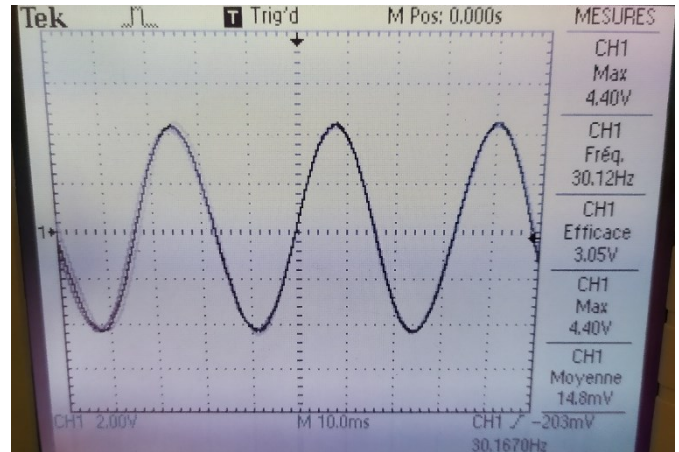
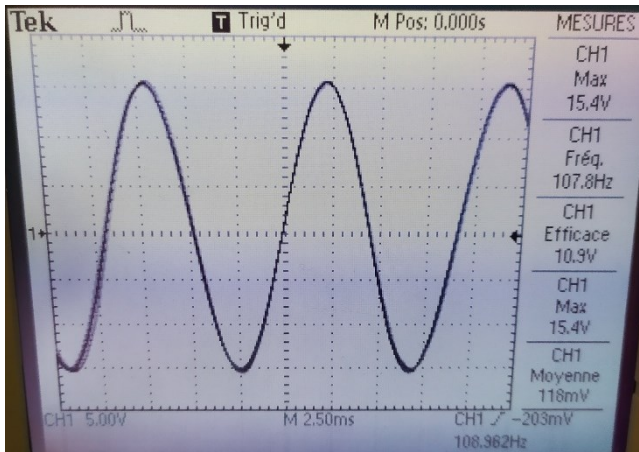
Question 1 : Relevés de la tension produite par la génératrice synchrone

- a- Mettez en œuvre le système didactisé en démarrant la pompe de circulation d'eau. La vanne d'arrivée d'eau est en position ouverte pour obtenir un débit maximal.
- b- Connectez la sonde d'un oscilloscope entre les bornes M1 et M2 de la carte de puissance du système didactique Hydrao et retirez le cavalier TP2.
- c- Réglez l'affichage de l'oscilloscope pour observer 3 périodes du signal.
- d- Déterminez les caractéristiques de cette tension en complétant la première ligne du tableau de mesures suivant :

Débit d'eau	Type de tension (AC ou DC*)	Tension max (V)	Tension efficace (V)	Fréquence (Hz)
Maximal	AC	15,4	10,9	107,8
Réduit	AC	4,4	3,05	30,1

* AC : alternative DC : continue

- e- Réduisez le débit d'eau à environ au tiers du débit précédent en modifiant la position de la vanne puis compléter la seconde ligne du tableau de mesures.



Question 2 : Caractérisation de la tension produite

- Quelle type de tension est produite par la génératrice ?
- La tension générée aura-t-elle les mêmes caractéristiques (valeur efficace et fréquence) en fonction du lieu d'installation et du débit d'eau réglée par l'utilisateur ?

Corrigé

La tension produite est alternative. Ses caractéristiques tension et fréquence dépendent directement du débit d'eau réglé par l'utilisateur et de l'installation sanitaire. (Pression disponible à l'arrivée). La tension et la fréquence du signal généré augmentent avec le débit de l'écoulement à travers le pommeau.

2^{ème} partie : Adaptation de la tension d'alimentation

Les principaux composants électroniques du pommeau nécessitant d'être alimentés sont : les LEDs RGB et le processeur BluetoothLE.

Question 3 : A partir de la documentation technique de ces composants (cf. annexe 2), donnez pour chacun les caractéristiques de la tension d'alimentation permettant d'assurer leur fonctionnement en complétant le tableau suivant :

Composants électroniques	Type de tension (AC ou DC)	Tension d'alimentation (V)
LED RGB	DC	2,2 V
Processeur Bluetooth LE BLENRG-MG	DC	De 1,7V à 3,6V
Microcontrôleur STM32	DC	De 1,8V à 3,6V

Question 4 : La tension délivrée par la génératrice est-elle compatible avec les besoins des différents composants présents dans le pommeau de douche ? Justifier.

Corrigé

La tension alternative délivrée n'est pas compatible puisque les 3 composants électroniques nécessitent des tensions d'alimentation continues. La tension doit donc être convertie.

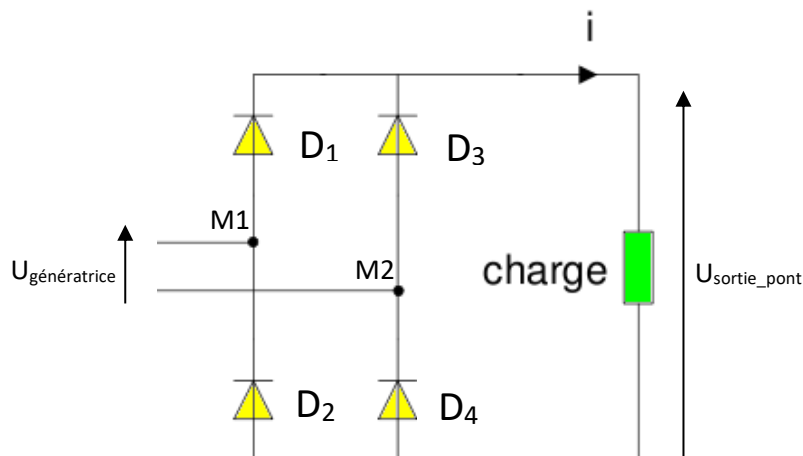


Question 5 : Donnez le nom du convertisseur à utiliser pour adapter la tension de sortie de l'hydrogénérateur aux récepteurs à alimenter.

Réseau	Symbole du convertisseur	Charge	Nom du convertisseur
Alternatif		Continu	REDRESSEUR
Continu		Continu	HACHEUR
Continu		Alternatif	ONDULEUR
Alternatif		Alternatif	GRADATEUR

Conversion de la tension d'entrée

Le montage choisi pour réaliser cette conversion dans le système est appelé pont de Graetz à diodes :

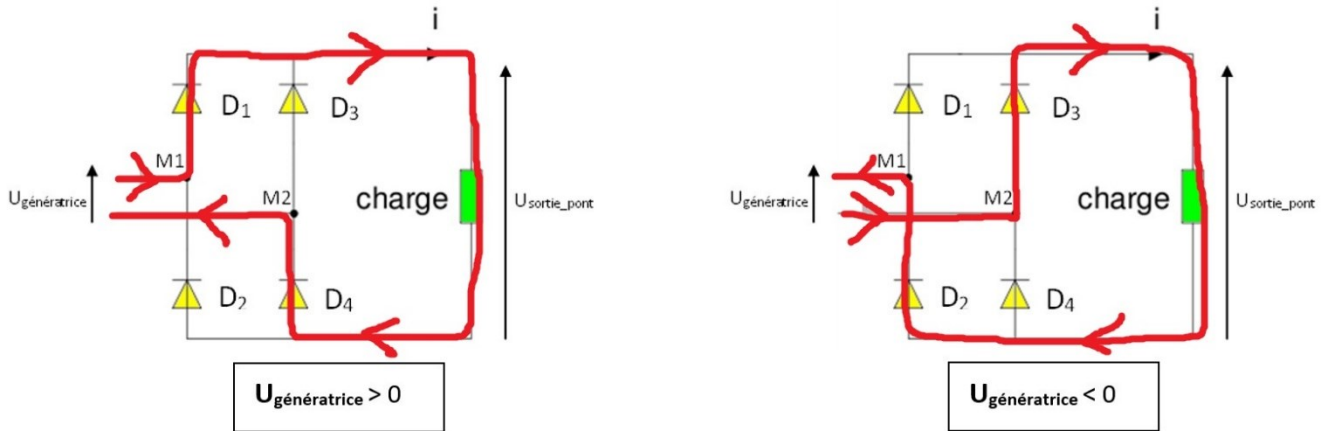


Question 6 : Complétez le tableau suivant en indiquant l'état des diodes D1 à D4 (passante ou bloquée) suivant le signe de la tension en entrée du pont $U_{\text{génératrice}}$.

Signe de $U_{\text{génératrice}}$	D1	D2	D3	D4
$U_{\text{génératrice}} > 0$	Passante	Bloquée	Bloquée	Passante
$U_{\text{génératrice}} < 0$	Bloquée	Passante	Passante	Bloquée



Question 7 : Représenter, en vous aidant de la question précédente, le chemin emprunté par le courant électrique et son sens suivant le signe de la tension $U_{\text{génératrice}}$.



Question 8 : Essai à vide

- Réalisez un relevé à l'oscilloscope de la tension générée entre M1 et M2 à vide notée U_{g0} . Il faut pour cela garder retiré le cavalier TP2 pour déconnecter les composants en aval du Pont. Voir montage en figure 1.
- Relevez la tension maximale et la fréquence du signal U_{g0} .

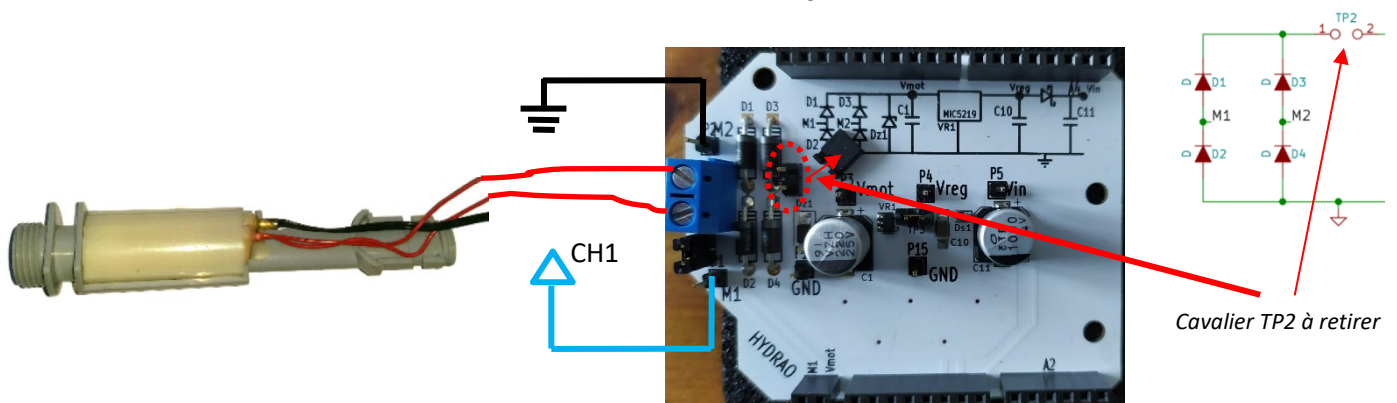
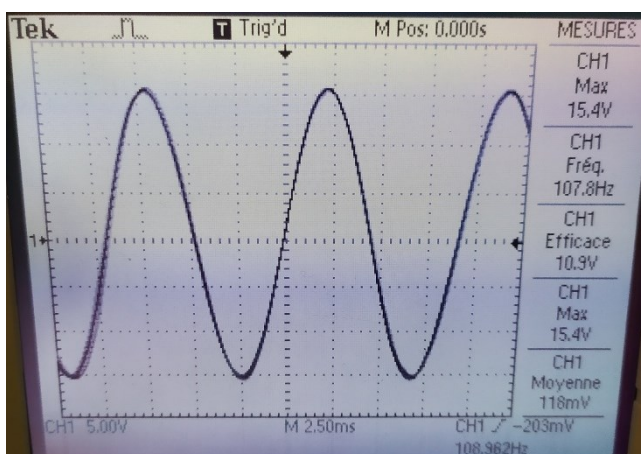


Figure 1 : Mesure de U_{g0} à vide



Corrigé

Tension max : 15,4V

Fréquence : 107,8 Hz

- Déplacez la sonde de l'oscilloscope pour observer l'évolution de la tension en sortie du Pont à vide notée V_{mot0} . Voir montage en figure 2.

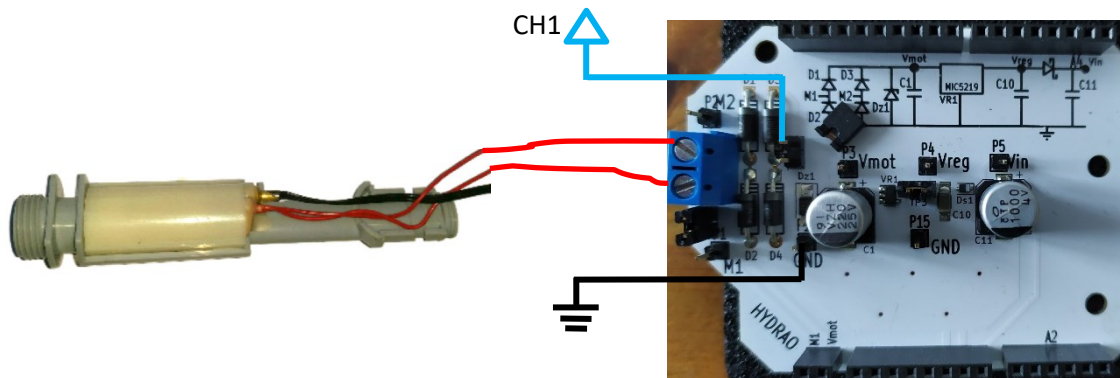
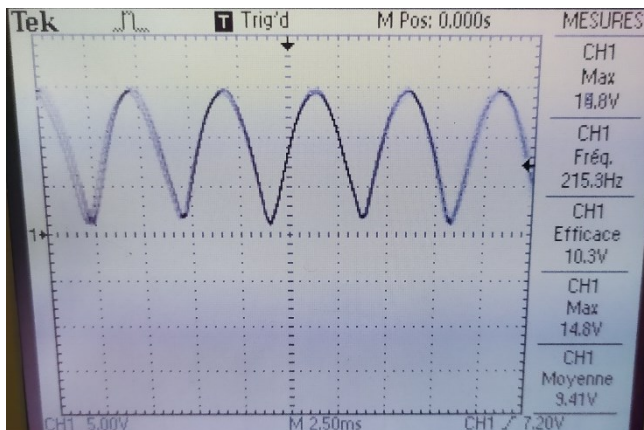


Figure 2 : Mesure de V_{moto} à vide

d- Concluez sur le signe de la tension en sortie du Pont. Ce résultat est-il cohérent avec votre réponse à la Question 8 ? La tension obtenue peut-elle être utilisée en l'état pour alimenter les composants électroniques du pompage ?

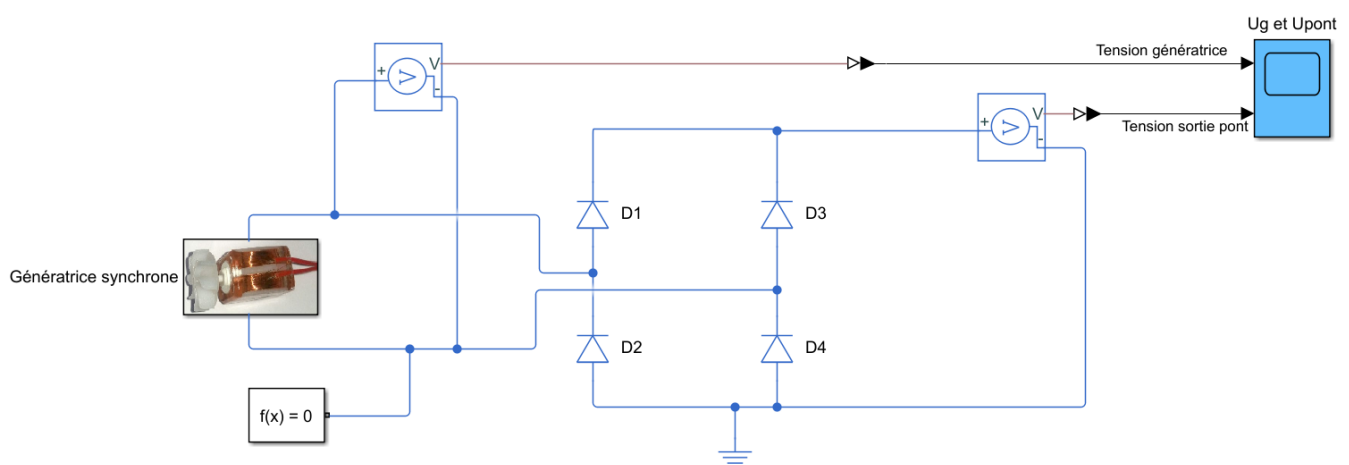


Corrigé

La tension en sortie du pont est positive comme nous pouvions le prévoir en question Q8.

Cette tension ne peut être utilisée en l'état pour alimenter les composants du pompage. En effet celle-ci n'est pas continue, elle comporte une ondulation très importante (environ 14V !).

- Ouvrez le modèle Matlab-Simulink « [hydrao_alim1_a_Rxxxb.slx](#) ».

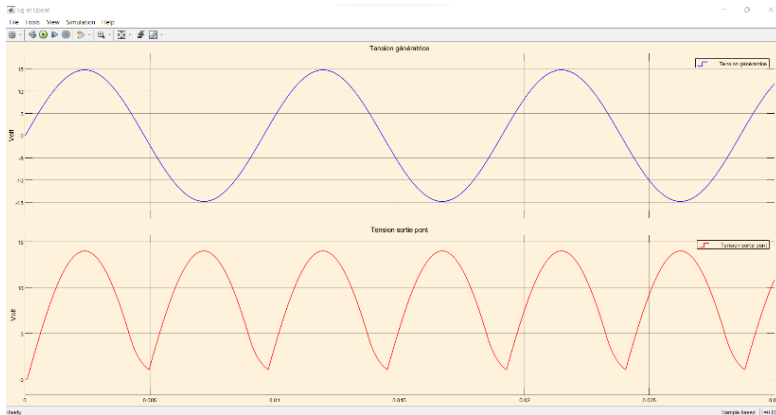


- Paramétrez la génératrice synchrone à partir du relevé effectué à vide.
- Choisissez une durée de simulation « Stop Time » permettant d'afficher quelques périodes des signaux.



- Affichez les tracés des tensions d'entrée et de sortie du Pont de Graetz à diodes.

e- Le modèle utilisé est-il valide aux vues des résultats obtenus en réel et en simulation?



Corrigé

Les résultats de la simulation sont identiques aux mesures précédentes. Le modèle utilisé est donc valide.

Lissage de la tension en sortie du pont

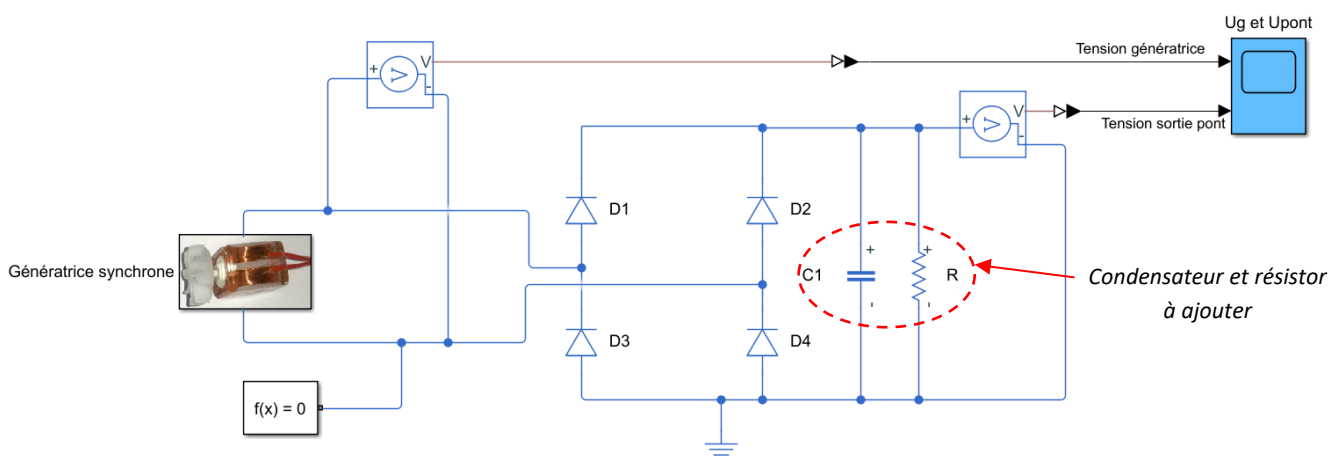
Afin d'obtenir la forme de tension désirée, une étape dite de lissage est nécessaire. L'objectif est de diminuer les variations brutales de la tension. Pour cela, une solution consiste à utiliser un condensateur. Ce composant permet de stocker une certaine quantité d'énergie et de la restituer par la suite.

Ainsi, lorsque la tension augmente, le condensateur se charge. Lorsque la tension à la sortie tend à diminuer, le condensateur se décharge et limite la chute de la tension.

Si le condensateur a une capacité suffisante, les variations de la tension peuvent être négligeables, la tension est alors quasiment continue.

La quantité d'énergie stockable dans un condensateur dépend directement de sa capacité C exprimée en Farad (F).

- Ajoutez dans le modèle Matlab-Simulink en dérivation en sortie du pont de Graetz un condensateur C1 et un résistor R1. (depuis Library Browser: Simscape/Electrical/Passive/)

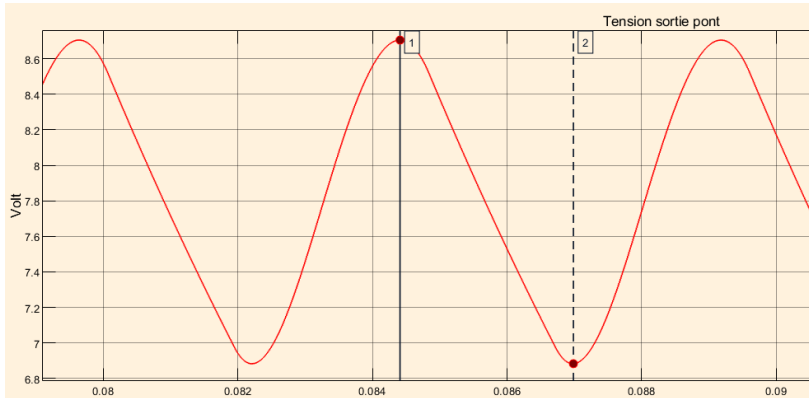


- Paramétrez le résistor à 470Ω et le condensateur avec une valeur de capacité de $20 \mu F$.
- Lancez la simulation puis observez l'évolution temporelle de la tension de sortie.

Question 9 : Lissage de la tension



- a- Déterminez la variation de tension en Volts obtenue en sortie (tension maximale - tension minimale). Comparez à la valeur de la variation sans la présence du condensateur.
b- L'ajout du condensateur a-t-il l'effet espéré sur l'allure du signal de sortie ?



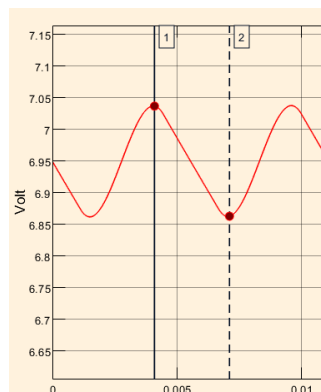
Corrigé avec 20 microF

$$\Delta U = 1.82 \text{ V}$$

L'ondulation de la tension a été diminuée grâce à la présence du condensateur. Le signal obtenu se rapproche donc de l'allure continue recherchée.

- Cherchez sur le schéma électrique du système didactique (cf annexe 3) la valeur de la capacité qui a été choisie dans le pommeau pour réaliser cette fonction.
- Modifiez le modèle avec cette nouvelle valeur et lancez la simulation. Affichez la courbe d'évolution de la tension de sortie.

- c- Comparez l'évolution de la tension avec la précédente. Expliquez l'amélioration obtenue.



Cursor Measurements			
Settings			
Measurements			
	Time	Value	
1	4.077e-03	7.037 V	
2	7.097e-03	6.863 V	
ΔT		3.020 ms	ΔY 173.976 mV
1 / ΔT		331.111 Hz	
$\Delta Y / \Delta T$		57.605 V/s	

Corrigé

Avec une capacité de 220 µF l'ondulation n'est plus que de 174 mV et permet de se rapprocher d'une tension continue sans toutefois l'atteindre.

Cela montre que l'augmentation de la capacité a pour effet de diminuer.

- Remettez en place le cavalier TP2 sur la carte électronique du système didactique et branchez une résistance d'environ 470 Ohms entre la borne 1 (Vmot) du connecteur A5 et la borne 2 (GND) du connecteur A1 afin de simuler la charge équivalente du pont.
- Connectez la sonde de l'oscilloscope pour afficher l'évolution de la tension V_{mot} aux bornes du condensateur C1. Voir montage en figure 3.

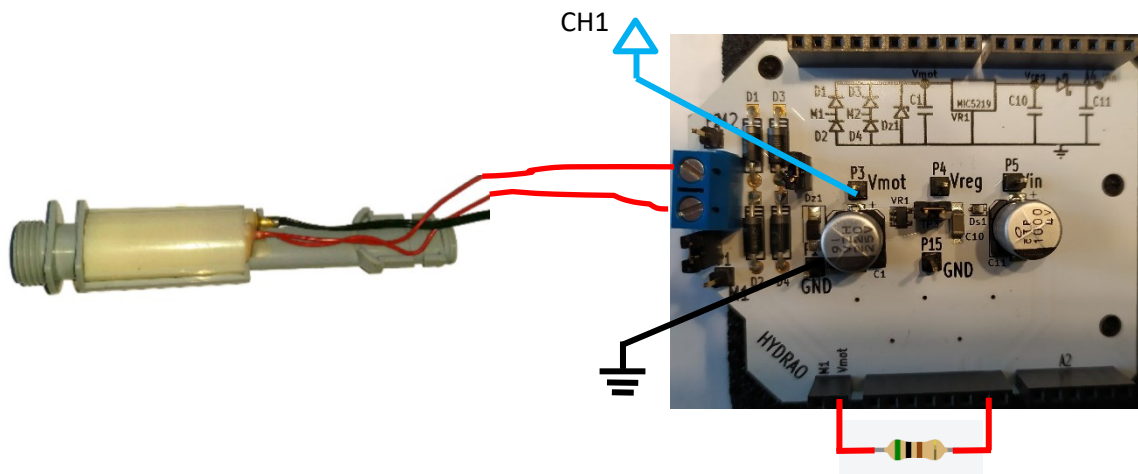
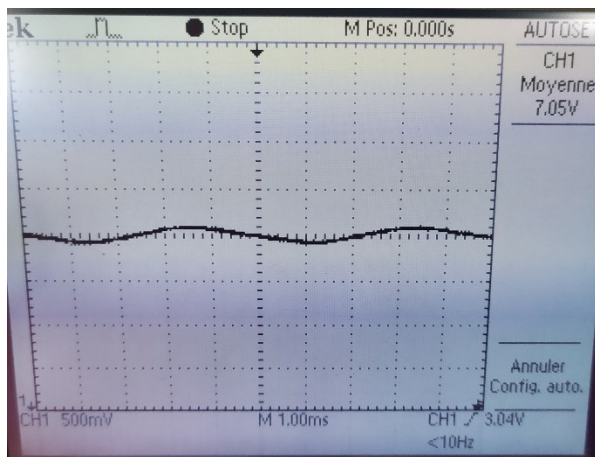


Figure 3 : Mesure de V_{mot}

d- Comparez le signal obtenu lors de l'essai à celui de la simulation.



Corrigé

La tension obtenue lors de l'essai a une tension moyenne de 7.05 V et admet une ondulation d'environ 200 mV.

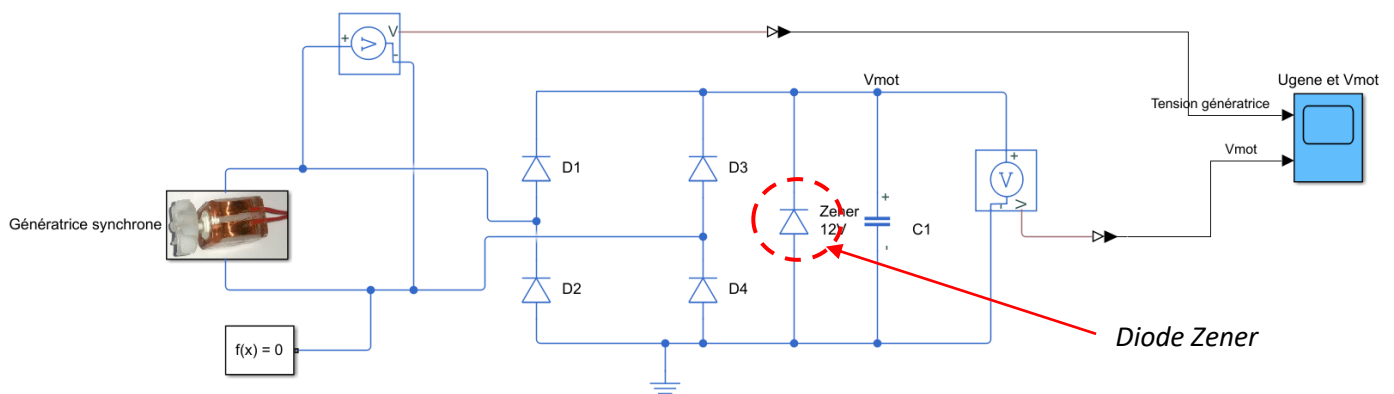
(Pour rappel les valeurs obtenues par simulation : $U_{moy}=7.037V$ et $\Delta U=174 mV$)

Ces valeurs valident le modèle de simulation. Des écarts de l'ordre de 10% sont à noter pour l'ondulation mais ils s'expliquent par le manque de précision de la mesure à l'oscilloscope.

3^{ème} partie : Alimentation et protection des LEDs RGB

La tension V_{mot} alimente les 5 LEDs RGB associées en dérivation. Cette tension, qui varie en fonction de la vitesse de rotation de la micro-turbine, peut atteindre une valeur trop élevée pour être utilisée directement par les composant électroniques à alimenter.

Pour limiter la tension en sortie du Pont, une diode Zener est montée en inverse en dérivation.

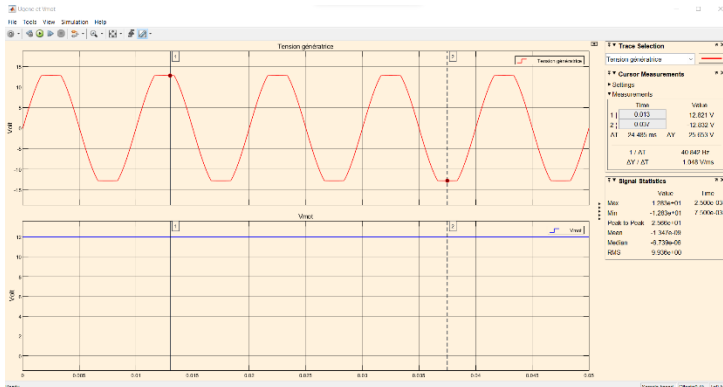




- Ouvrez le modèle Matlab-Simulink « *hydrao_alim1_b_Rxxx.slx* ».

Question 10 : Limitation de la tension

- Paramétrez le modèle pour simuler une tension produite par la génératrice d'amplitude 15V et de fréquence 100 Hz.
- Lancez la simulation et observez les courbes obtenues.
- Le diode Zener permet-elle effectivement de limiter la tension ? A quelle valeur ?



Corrigé

La diode Zener permet de limiter la tension de sortie à 12V.

La tension Zener de la diode Dz1 est de 12V. La tension V_{mot} ne pourra donc pas dépasser cette valeur quel que soit la vitesse de rotation de la micro-turbine.

Cette valeur de V_{mot} reste trop importante pour une utilisation directe aux bornes des LEDs. Une résistance de protection (R_3 sur la figure 4) doit donc être associée en série pour limiter le courant qui endommagerait les LEDs. Pour dimensionner cette résistance nous choisissons d'étudier le cas où seuls les LED rouges sont commandées.

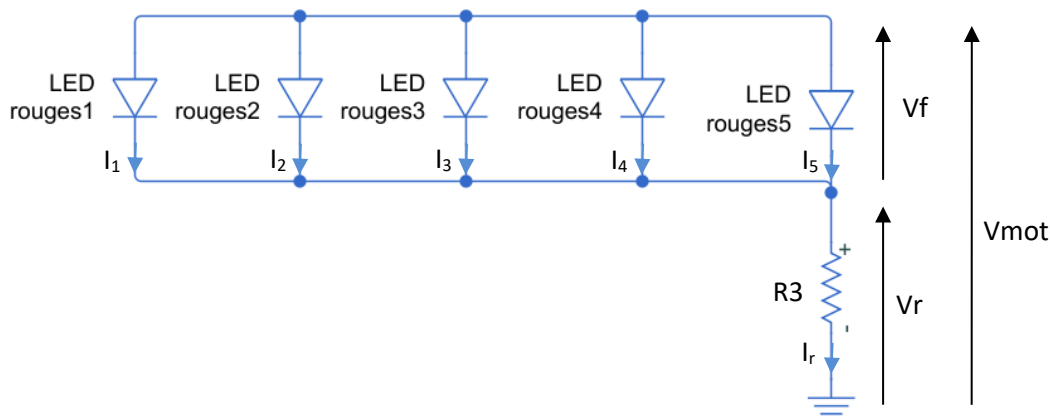


Figure 4 : Schéma électrique simplifié de l'alimentation des LEDs rouges

Question 11 : Dimensionnement de la résistance

- Déterminez la tension V_r lorsque V_{mot} atteint sa valeur maximale 12V. On prend la tension directe des Leds rouges à la moyenne entre le mini et le maxi soit $V_f=2,2V$.
- Donnez, à partir de la documentation technique des LED, le courant direct maximal admissible I_f . Déduisez-en, en utilisant la loi des Nœuds, l'intensité maximale I_r traversant la résistance.
- Appliquez la loi d'Ohm aux bornes de la résistance puis calculez la valeur minimale de R_3 assurant la protection des LEDs.



d- La valeur $R3=75\Omega$ choisie dans le système est-elle valide ?

Corrigé

a- $V_r = V_{mot} - V_f = 12 - 2,2 = 9,8V$

b- D'après la documentation le courant direct maximal admissible des Leds est de 30 mA.

$I_r = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 5 \times 30 = 150 \text{ mA} = 0,15 \text{ A}$

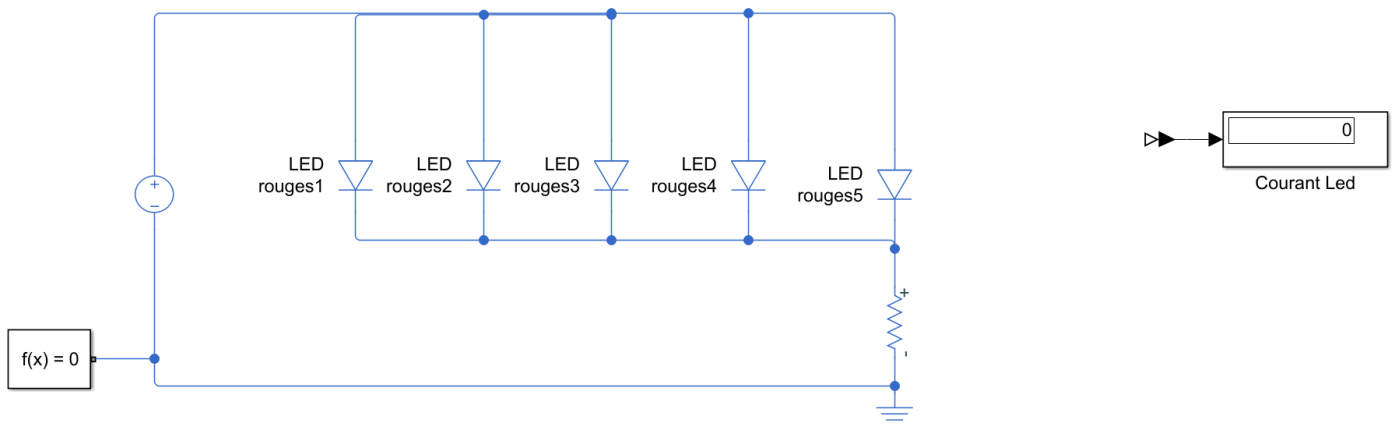
c- $R3 = V_r / I_r = 9,8 / 0,15 = 65,3 \Omega$

d- Avec $R3 = 75\Omega > 65,3$ le courant ne pourra pas dépasser la valeur maximale admissible.

En effet $I_r = U_r / R3 = 9,8 / 75 = 0,13 \text{ A}$

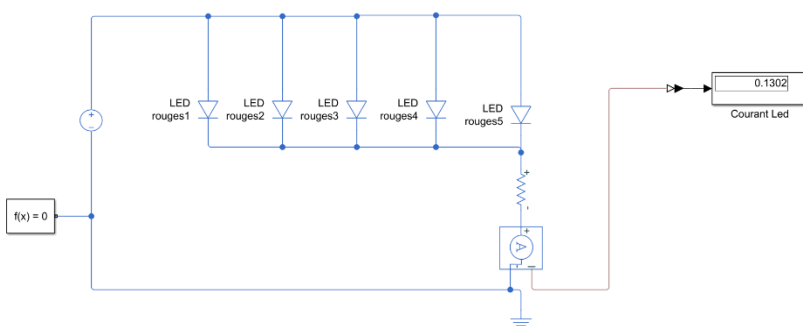
La valeur de $R3$ est donc correctement choisie.

- Ouvrir le modèle Matlab-Simulink « *hydrao_alim1_c_Rxxx.slx* ».



Question 12 : Validation du dimensionnement

- Paramétrer le modèle et ajouter un appareil de mesure permettant de valider le dimensionnement de la résistance.



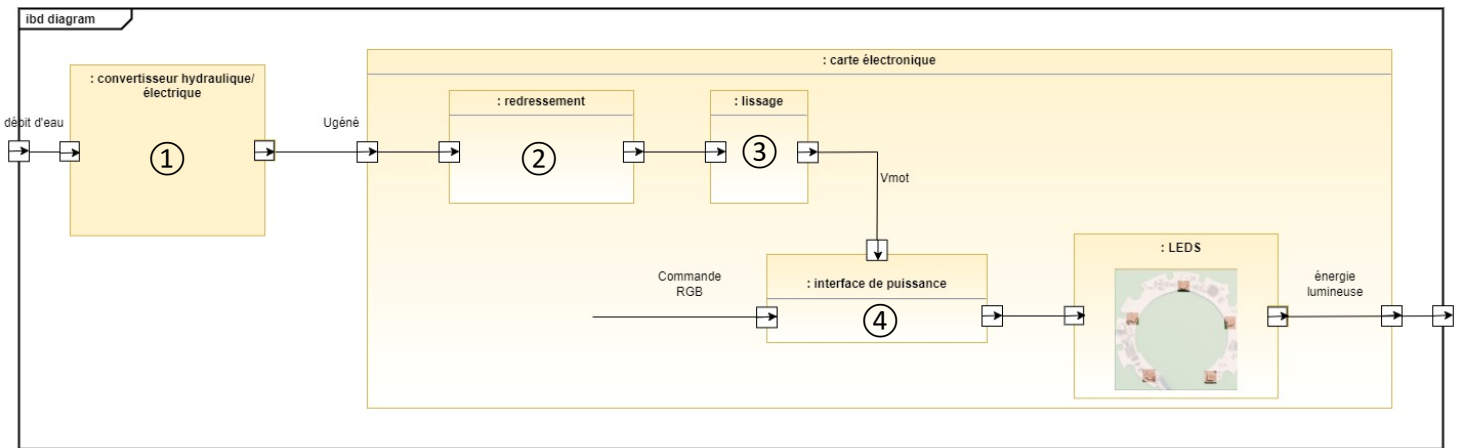
Corrigé

Le courant I_r obtenu par simulation est de 0,13 A. Cela induit un courant de 26 mA dans chaque Led inférieur à la valeur maximale admissible.



4^{ème} partie : Synthèse

A partir des activités précédentes, compléter le diagramme de blocs internes partiels du système en associant aux repères ① à ④ les solutions technologiques assurant chaque fonction.



- ① Micro turbine + Génératrice synchrone
- ② Pont de diodes (Pont de Graetze)
- ③ Condensateur
- ④ Résistance de protection

Pour aller plus loin...

- Ajoutez sur la carte de puissance, le shield LEDs.
- Connectez la broche de commande des LEDs rouge D5 à la broche V_{reg} de la carte de puissance.
- Mettez en fonctionnement le système et relevez à l'oscilloscope la tension $U_{génératrice}$ entre M1 et M2.

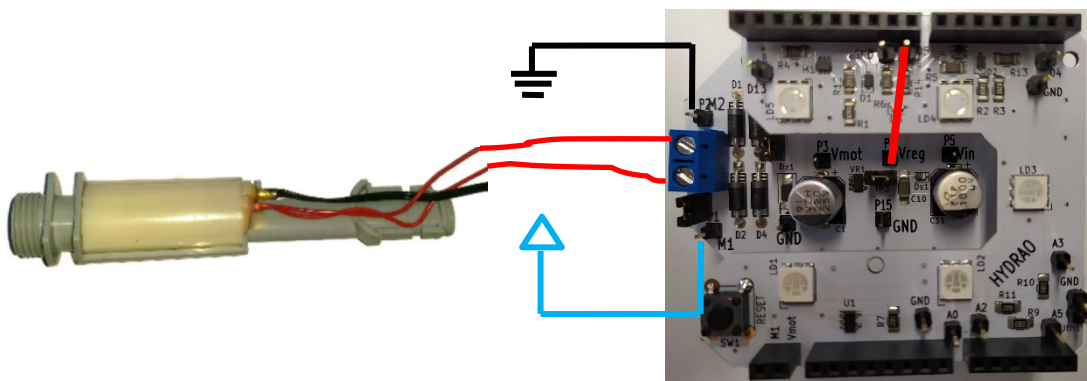


Figure 5 : Mesure de $U_{génératrice}$ en charge

- Déplacez la sonde de l'oscilloscope afin de visualiser la tension V_{mot} .

a- Déterminez dans ces conditions de fonctionnement typique, le courant traversant chaque LED rouge.

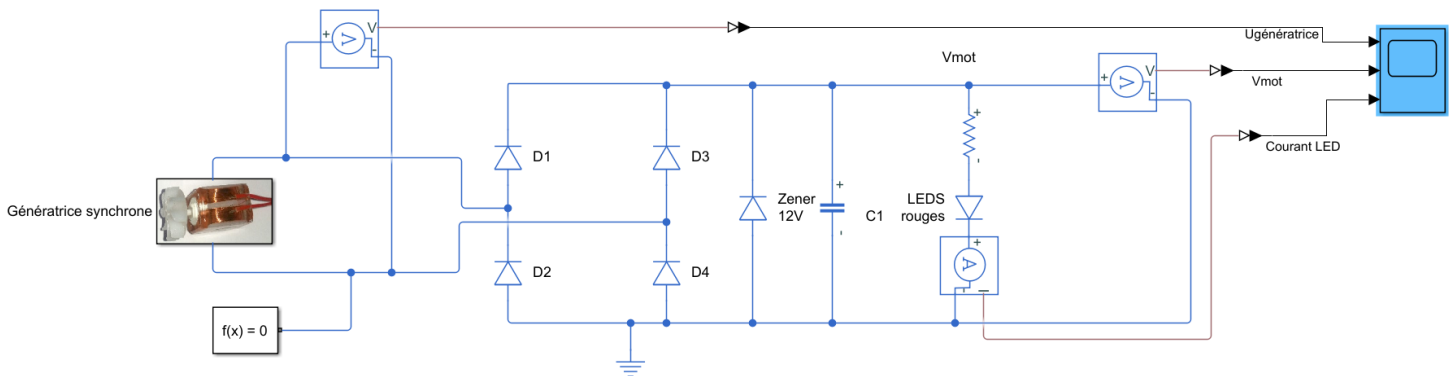


- b- Validez cette valeur à partir d'une mesure sur la maquette. (On pourra remplacer le cavalier TP2 par un ampèremètre)
- c- Donnez à partir de la documentation technique des LEDs (cf annexe 3), l'intensité lumineuse relative correspondant à ce courant.
- d- Cette intensité vous paraît-elle suffisante pour une alerte correcte du volume d'eau consommé par l'utilisateur ?

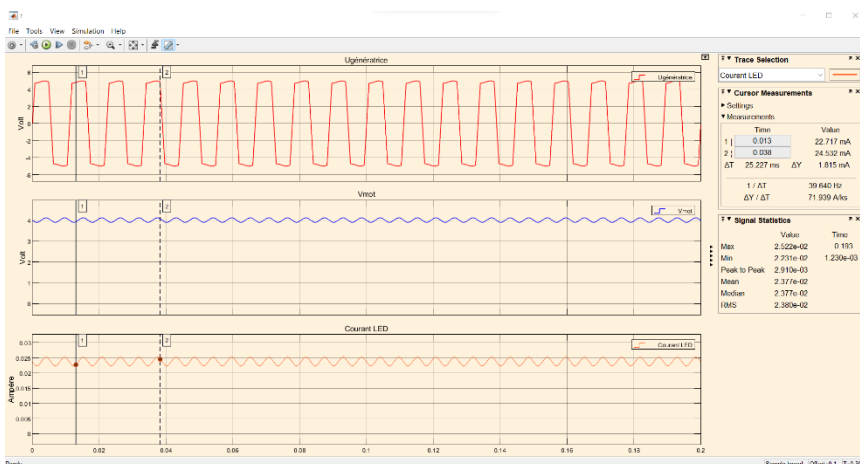
Corrigé

- a- On mesure dans ces conditions $V_{mot}=4V$
 $V_r = V_{mot} - V_f = 4 - 2.2 = 1.8V$
 $I_r = U_r / R_3 = 1.8 / 75 = 0.024 A = 24 mA$
 $I_l = I_r / 5 = 24 / 5 = 4.8 mA$
- b- A l'ampèremètre on mesure un courant $I_r = 23 mA$ validant la valeur attendue.
- c- Pour un courant de $4.8 mA$ l'intensité lumineuse relative est d'environ 20%.
- d- La luminosité apparente est néanmoins largement suffisante pour alerter efficacement les utilisateurs.

- Ouvrez le modèle Matlab-Simulink « *hydrao_alim1_d_Rxxx.slx* ».
- Lancez la simulation pour un fonctionnement typique du pommeau de douche.



- e- Comparer les valeurs de la simulation aux valeurs réelles ? Le modèle est-t-il valide ?



Corrigé

Le courant moyen I_r obtenu par simulation est de $23,7 mA$. Cette valeur correspond à la valeur mesurée ($23 mA$) et attendue ($24 mA$).

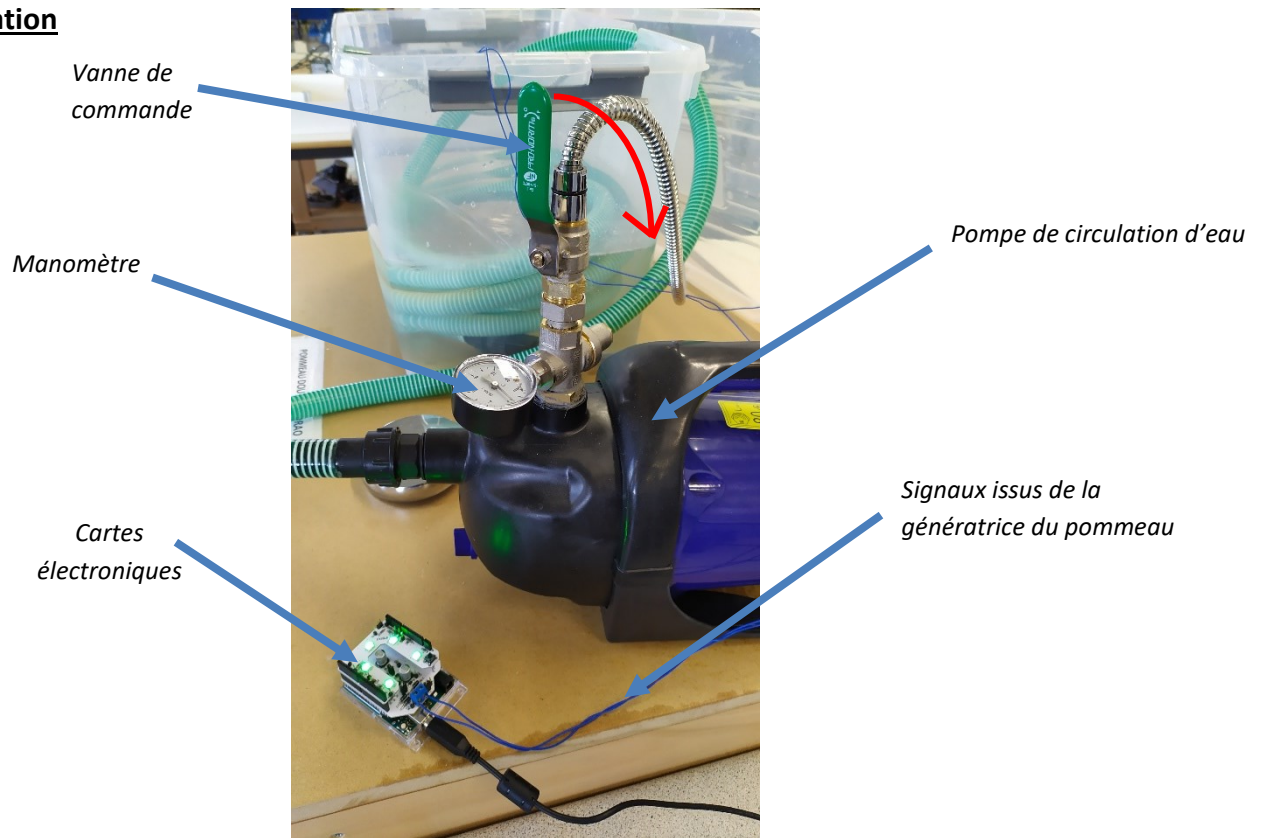
La tension V_{mot} moyen est de $4V$ est en accord avec la valeur mesurée.

Le modèle est donc valide aux vues de ces résultats.



Annexe 1 : Mise en œuvre du système didactisé

Présentation

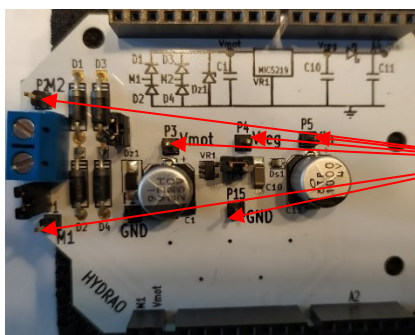


Mise en fonctionnement

- ① Connecter les câbles de la génératrice du pommeau didactisé à la carte de puissance
- ② Ouvrir complètement la vanne de commande (celle-ci ne doit jamais être totalement fermée lorsque la pompe est en marche !)
- ③ Mettre en marche la pompe de circulation

Mesures à vide

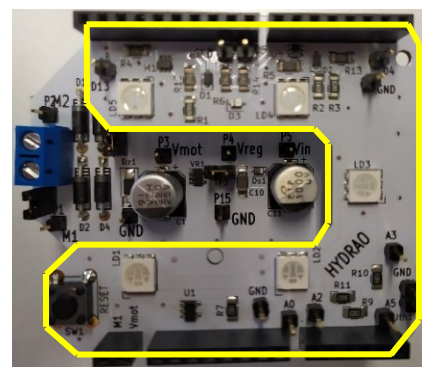
Seule la carte de puissance est utilisée



Broches de connexion pour effectuer les mesures

Mesures en charge

On fixe le shield LED sur la carte de puissance





Annexe 2 : Extrait de la documentation technique des composants électroniques

- Microcontrôleur STM32 : tension d'alimentation (V_{DD}) et valeurs de courant

Functional overview

STM32L051x6 STM32L051x8

**Table 5. Functionalities depending on the working mode
(from Run/active down to standby) (continued)⁽¹⁾**

IPs	Run/Active	Sleep	Low-power run	Low-power sleep	Stop	Standby
					Wakeup capability	Wakeup capability
Consumption $V_{DD}=1.8$ to 3.6 V (Typ)	Down to 140 μ A/MHz (from Flash memory)	Down to 37 μ A/MHz (from Flash memory)	Down to 8 μ A	Down to 4.5 μ A	0.4 μ A (No RTC) $V_{DD}=1.8$ V	0.28 μ A (No RTC) $V_{DD}=1.8$ V
					0.8 μ A (with RTC) $V_{DD}=1.8$ V	0.65 μ A (with RTC) $V_{DD}=1.8$ V
					0.4 μ A (No RTC) $V_{DD}=3.0$ V	0.29 μ A (No RTC) $V_{DD}=3.0$ V
					1 μ A (with RTC) $V_{DD}=3.0$ V	0.85 μ A (with RTC) $V_{DD}=3.0$ V

- Caractéristiques des LEDs

HARVATEK



Top View Chip LED

4. Absolute Maximum Ratings At $T_a=25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Symbol	Rating		Unit
Power Dissipation	Pd	R	70	mW
		G	90	
		B	90	
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	I _{FP}	R	70	mA
		G	100	
		B	100	
DC Forward Current	I _F	R	30	mA
		G	30	
		B	30	

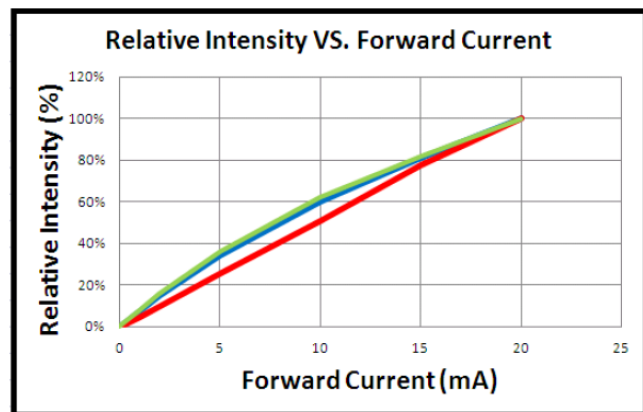
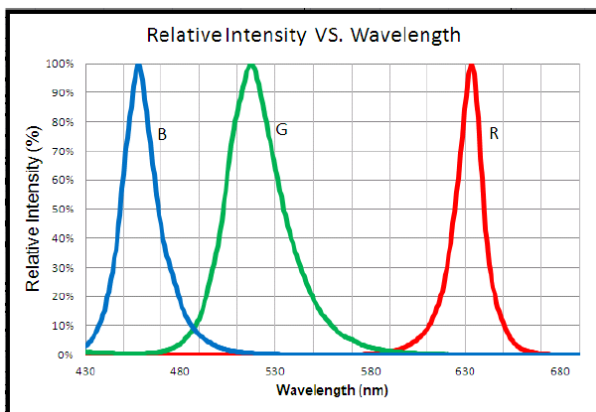


5 Electrical Optical Characteristics At Ta=25°C

Parameter	Symbol	Color	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Condition
Luminous Intensity	IV	R	---	285	---	mcd	IF = 20mA
		G	---	1150	---		
		B	---	350	---		
Forward Voltage	VF	R	1.8	---	2.6	V	IF=20mA
		G	2.8	---	3.6		
		B	2.8	---	3.6		

Nota : les LEDs tricolores intègrent 3 LEDs dans le même boîtier : une rouge, une verte et une bleue, d'où l'appellation RGB pour Red-Green-Blue.

L'intensité lumineuse (en candela [Cd]) émise par chaque LED dépend de l'intensité du courant électrique qui la traverse. La valeur typique de l'intensité lumineuse indiquée dans le tableau ci-dessus est donnée pour la valeur de courant continu direct IF indiquée dans le tableau (IF → Forward current)

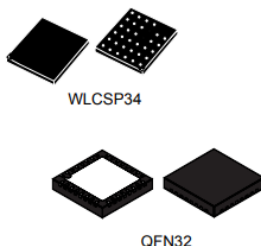


- Caractéristiques du Processeur Bluetooth LE BLENRG-MS



BlueNRG-MS

Upgradable Bluetooth® low energy network processor



Features

- Bluetooth specification v4.2 compliant master and slave single-mode Bluetooth low energy network processor
- Embedded Bluetooth low energy protocol stack: GAP, GATT, SM, L2CAP, LL, RF-PHY
- Bluetooth low energy profiles provided separately
- Operating supply voltage: from 1.7 to 3.6 V
- 8.2 mA maximum TX current (@0 dBm, 3.0 V)
- Down to 1.7 µA current consumption with active BLE stack



Annexe 3 : Schéma de la carte de puissance du kit didactique Hydrao

