



Sciences de l'Ingénieur	Compétences travaillées :	Connaissances associées :
Durée : 2 h	- Caractériser la puissance et l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système	- Outils d'ingénierie-système : diagrammes fonctionnels, définition des exigences et des critères associés, cas d'utilisations, analyse structurelle
Référence : Hydrao_Alimentation_2	- Analyser des résultats d'expérimentation et de simulation	- Grandeurs physiques (mécanique, électrique, thermique, etc.) mobilisées par le fonctionnement d'un produit
Matériel : Système didactique HYDRAO DIDACT Oscilloscope Multimètre	-Caractériser les grandeurs physiques en entrées/sorties d'un modèle multi-physique traduisant la transmission de puissance	- Lois physiques associées au fonctionnement d'un produit
Logiciel : Matlab Simulink 2019b pour la simulation	-Associer un modèle aux composants d'une chaîne de puissance	Description qualitative et quantitative des grandeurs physiques caractéristiques du fonctionnement d'un produit
	-Déterminer les grandeurs flux (courant) et effort (tension) dans un circuit électrique	-Grandeur effort, grandeur flux
	-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	-Sources parfaites de flux et d'effort
	Pré-requis :	Interrupteur parfait
	- Premiers éléments sur les diagrammes SysML	Modèle associé aux composants élémentaires de transformation, de modulation, de conversion ou de stockage de l'énergie
	- Lois de Kirschhoff, fonctionnement d'une LED	-Lois de Kirchhoff
	- Caractérisation des signaux et utilisation d'un oscilloscope	Lois de comportement
		-Paramètres de simulation : durée, incrément temporel, choix des grandeurs affichées, échelles adaptées à l'amplitude et la dynamique des grandeurs simulées

Problème scientifique et technologique :

Dans cette activité nous nous intéresserons dans un premier temps à l'alimentation du microcontrôleur et du processeur BLE. En l'absence d'écoulement d'eau, la turbine-génératrice ne tourne pas et ne produit donc pas d'énergie électrique. Nous étudierons donc dans un second temps une solution pour maintenir l'alimentation de l'électronique de traitement de l'information (microcontrôleur) pendant au moins deux minutes 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 : Alimentation de l'électronique en phase de fonctionnement

L'activité Hydrao_Alimentation_1 a permis d'étudier les solutions technologiques permettant de convertir la tension alternative produite par l'hydrogénérateur en une tension quasi-continue mais variable en fonction du débit de l'écoulement.



Si cette tension permet d'alimenter les LEDs RGB du pommeau de douche, elle n'est en revanche pas adaptée au microcontrôleur et au processeur BLE équipant le système.

En effet, ces composants ont des contraintes d'alimentation strictes en tension qu'il faut respecter pour assurer un fonctionnement durable.

Question 1 : Contraintes d'alimentation des composants

a- Rappelez, à l'aide de la documentation technique (cf Annexe 1), les conditions d'alimentation limites et fonctionnelles des composants.

Composants électroniques	Tension maximale (V)	Tension d'alimentation (V)
Processeur Bluetooth LE BLENRG-MG	3,9	1,7 à 3,6
Microcontrôleur STM32	4	1,65 à 3,6

b- La diode Zener Dz1, placée en sortie du Pont de redressement à diodes, permet de limiter la tension à 12V. Cette précaution est-elle suffisante pour protéger efficacement ces composants ?

Corrigé

Cette valeur est largement supérieure aux tensions admises par ces composants. Une solution de protection supplémentaire est donc nécessaire.

En observant la carte de puissance du système on constate la présence d'un composant électronique (ref MIC5219) en aval du montage de redressement et de lissage. Voir figure 1 ci-dessous.

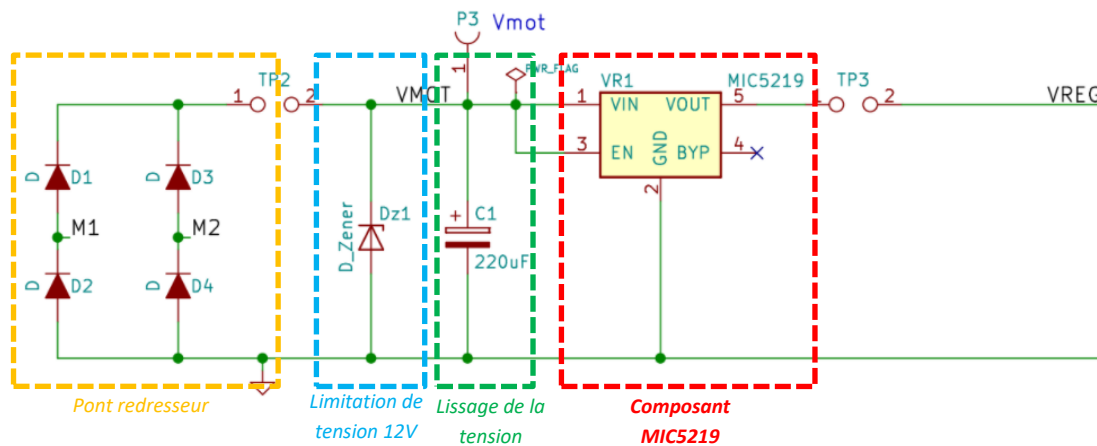


Figure 1 : Extrait du schéma électrique de la carte de puissance

Question 2 : Relevés des tensions en amont et aval du MIC5219

- Mettez en œuvre le système didactisé en démarrant la pompe de circulation d'eau. La vanne d'arrivée d'eau est en position ouverte au départ pour obtenir un débit maximal.
- Connectez les sondes d'un oscilloscope afin de mesurer les tensions V_{mot} (tension d'entrée) et V_{reg} (tension de sortie). Voir le montage en figure 2.
- Réglez l'affichage de l'oscilloscope.
- Relevez les tensions V_{mot} et V_{reg} pour des débits d'écoulement différents à travers le pommeau didactisé. Pour faire varier le débit et donc V_{mot} , vous agirez sur la vanne en sortie de la pompe.
- Complétez le tableau de mesure puis tracez, à l'aide d'un logiciel type tableur, la caractéristique $V_{reg}=f(V_{mot})$



V_{mot} (V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
V_{reg} (V)	0	0,87	1,99	3	3,38	3,38	3,39	3,39	3,39

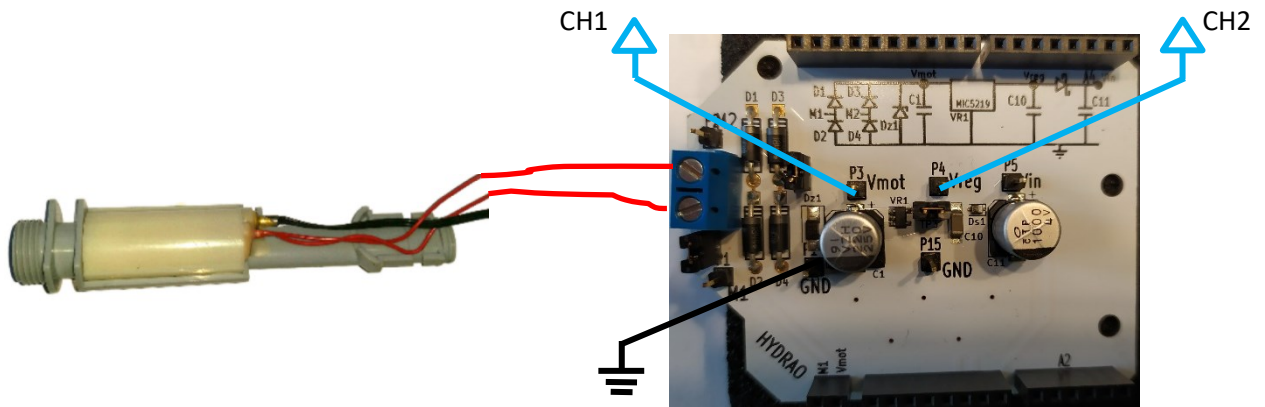
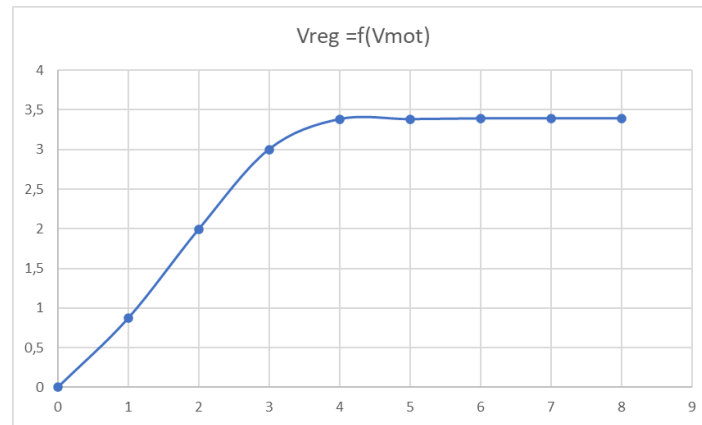


Figure 2 : Montage pour mesurer V_{mot} et V_{reg}

Question 3 : Rôle du MIC5219

- Déduisez, à partir des mesures précédentes, le rôle du composant.
- La tension de sortie est-elle adaptée à l'alimentation du microcontrôleur et du processeur BLE ?

Corrigé

- Le composant MIC5219 permet de réguler la tension à une valeur de 3,39 V. Cette tension en sortie du composant est assurée seulement si cette valeur est atteinte en entrée.
- Cette tension est comprise entre 1,7 et 3,6 V. Elle est donc tout à fait adaptée à l'alimentation des 2 composants.

On donne ci-dessous les caractéristiques électriques du MIC5219 :

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

Supply Input Voltage (V_{IN}).....-20V to +20V

Operating Ratings⁽²⁾

Supply Input Voltage (V_{IN})..... +2.5V to +12V

- Ces caractéristiques sont-elles compatibles avec la tension V_{mot} d'entrée ?

Corrigé

Le régulateur de tension peut fonctionner jusqu'à une tension de 12V. Cette valeur correspond à la tension maximale en entrée (limitée à 12V par la diode Zéner).



2^{ème} Partie : Alimentation du microcontrôleur pendant l'état de pause

La 1^{ère} partie a permis de valider la solution d'alimentation en phase de fonctionnement. Cependant, le diagramme des exigences du système Hydrao (cf Annexe 2) impose une mémorisation de l'information lors d'un court arrêt de la douche. Cette fonctionnalité est nécessaire pour permettre à l'utilisateur de se savonner, par exemple, sans considérer une nouvelle douche à la reprise du débit avant la fin du temps imparti à la pause.

Le pommeau Hydrao doit donc intégrer une solution de stockage d'énergie pour assurer la continuité dans l'alimentation du microcontrôleur STM32 réalisant cette tâche. La présence du MIC5219 en amont de la solution de stockage engendrera la consommation d'une partie de l'énergie stockée sous forme de pertes thermiques (Voir Figure 3).

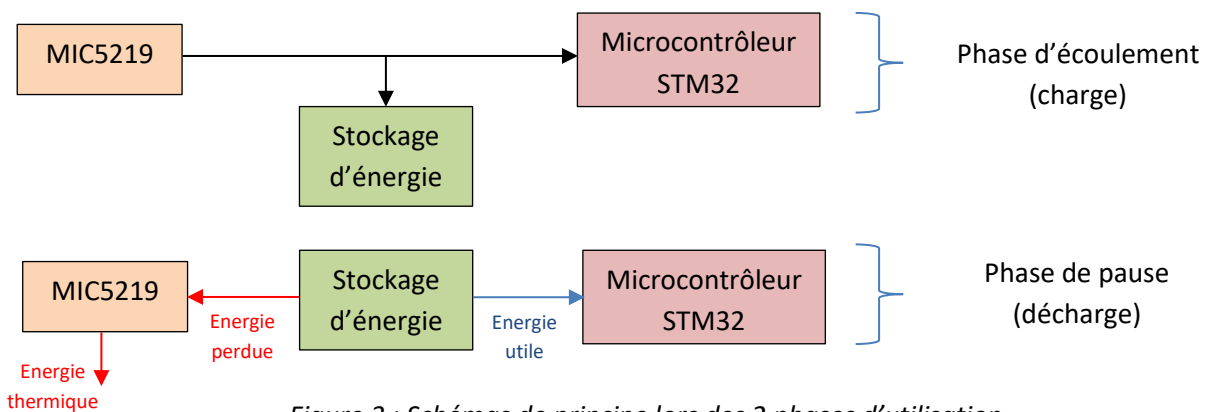


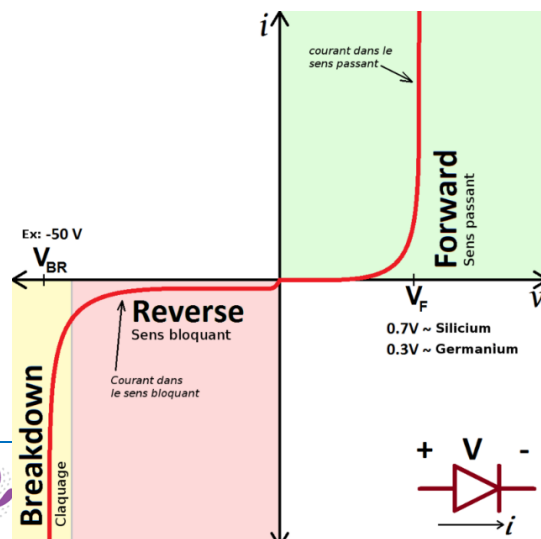
Figure 3 : Schémas de principe lors des 2 phases d'utilisation

Une solution matérielle doit donc être mise en œuvre pour limiter le transfert d'énergie de l'élément de stockage vers le MIC5219.

Question 4 : Limitation des pertes d'énergie

- a- Rappelez le nom du composant électrique permettant le passage du courant électrique dans un seul sens. Expliquez de quelle manière utiliser ce composant pour limiter les pertes d'énergie à travers le MIC5219.

On donne ci-dessous l'allure de la caractéristique courant-tension de ce type de composant :





Le modèle utilisé de type « Schottky » admet une tension inverse V_{BR} (breakdown) de plusieurs dizaines de volts et une faible chute de tension due à sa tension directe V_f .

b- Existera-t-il un risque de claquage du composant sous la tension délivrée par la solution de stockage?

c- En vous aidant de la figure 4, donnez l'expression de cette tension directe V_f en fonction de V_{reg} et V_{in} .

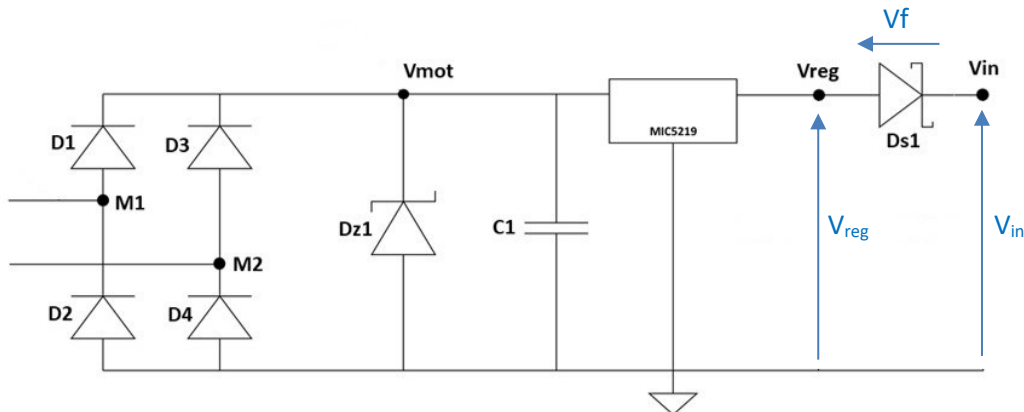


Figure 4 : Extrait du schéma électrique de la carte de puissance

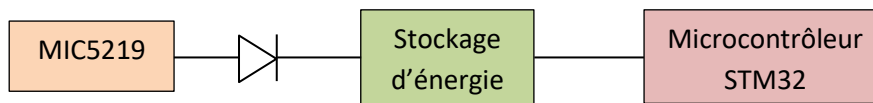
d- Quel appareil de mesure peut-on utiliser pour mesurer les tensions V_{reg} et V_{in} . Justifiez.

e- Effectuez leur mesure lors d'un essai (vanne de la pompe ouverte) puis déduisez la chute de tension V_f .

f- La tension V_{in} reste-t-elle suffisante pour alimenter le microcontrôleur et le processeur BLE ?

Corrigé

a- Il s'agit de la diode. Elle comporte un sens dit passant et un sens bloqué. Pour limiter les pertes énergétiques, la diode doit être placée dans le sens passant entre le MIC5219 et la solution de stockage.



b- Non, il n'y aura aucun risque de claquage avec une tension utile comprise entre 1,7V et 3,6V.

c- $V_f = V_{reg} - V_{in}$

d- Un voltmètre en mode DC peut être utilisé pour mesurer ces tensions puisque celle-ci sont continues.

e- On mesure $V_{reg}=3,3V$ et $V_{in}=3V$

f- La chute de tension est due à la tension directe de la diode Schottky (0,3V). Une tension de 3V reste utilisable pour alimenter les 2 composants (comprise entre 1,7 et 3,6V).

Pour déterminer la solution de stockage à utiliser, il est avant tout nécessaire d'estimer les besoins énergétiques lors cet état de pause.

Question 5 : Evaluation des besoins



a- Donnez, à partir du diagramme des exigences, la durée Δt pendant laquelle la solution de stockage doit alimenter le microcontrôleur.

b- Donnez le courant absorbé I_{abs} par le microcontrôleur en utilisant son mode « Low Power Run » pendant l'état de pause. Voir la documentation en Annexe 3.

c- Calculez la quantité d'électricité Q_{abs} nécessaire pour alimenter le microcontrôleur pendant l'état de pause en Coulomb (C).

Corrigé

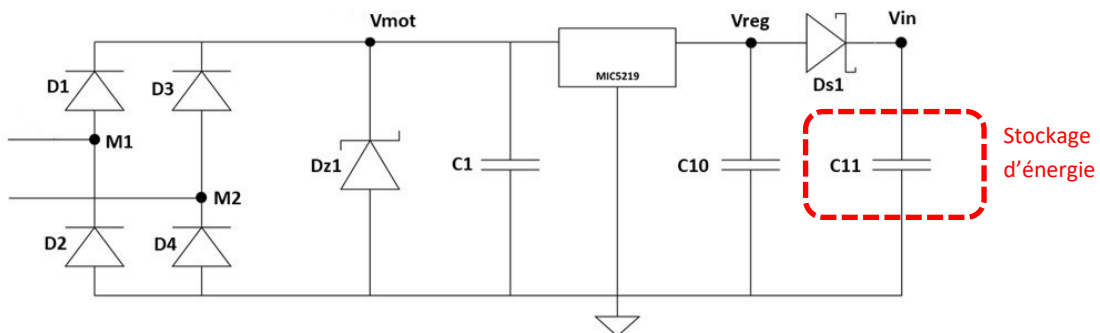
a- La durée Δt pendant laquelle la solution de stockage doit alimenter le microcontrôleur est de 2 minutes.

b- Le mode « Low Power Run » du microcontrôleur permet de limiter le courant consommé I_{abs} à une intensité de $8 \mu A$ pendant l'état de pause.

c- Quantité d'électricité nécessaire pour alimenter le microcontrôleur pendant l'état de pause :

$$Q_{abs} = I_{abs} \times \Delta t = 8 \times 10^{-6} \times 120 = 9,6 \times 10^{-4} C = 0,96 mC$$

Compte tenu de la faible quantité d'énergie à stocker, un simple condensateur chimique peut assurer cette fonction. Un condensateur C11 est donc présent pour se charger lors de la phase de fonctionnement du pompage et se décharger lors de la phase de pause pour fournir l'énergie nécessaire au microcontrôleur.



Question 6 : Evaluation de la quantité d'électricité stockée

a- Donnez la valeur de la capacité C du condensateur choisie dans le pompage à partir du diagramme de définition de blocs (cf Annexe 4).

b- Déduisez-en la quantité d'électricité stockable Q_{stock} dans ce condensateur en C.

Corrigé

a- D'après la documentation $C=1000 \mu F$.

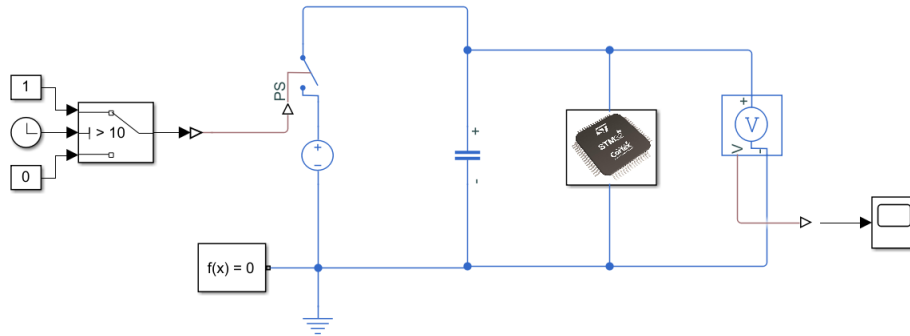
b- Calcul de la quantité d'électricité stockable: $Q_{stock} = C \times U = 1000 \times 10^{-6} \times 3 = 0,003 C = 3mC$

Question 7 : Validation de la solution

a- Le condensateur choisi peut-il stocker une quantité d'électricité suffisante pour alimenter le microcontrôleur pendant la phase de pause et la tension disponible à la fin de la pause est-elle suffisante ?

Pour permettre au microcontrôleur STM32 de fonctionner, le condensateur doit fournir une tension minimale de 1,65 V (cf Annexe 1). Il faut donc vérifier que lors de la décharge du condensateur, la tension à ses bornes soit suffisante durant la durée totale de pause.

- Ouvrez le modèle Matlab-Simulink « [Hydrao_Alim2_Rxxx.slx](#) ».



- Paramétrez le modèle permettant de simuler la décharge du condensateur à travers le microcontrôleur (tension V_{in} , capacité C du condensateur, durée de simulation).
- Lancez la simulation et affichez l'évolution de la tension aux bornes du STM32.

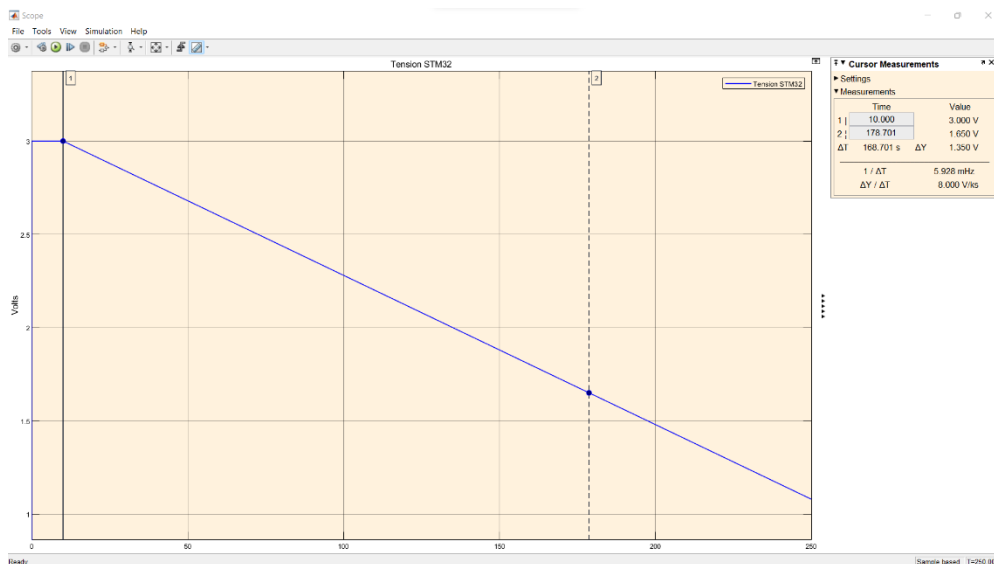
- b- Déterminez à l'aide des curseurs la durée permettant d'alimenter le microcontrôleur sous une tension supérieure à 1.65V.
- c- Cette durée est-elle conforme à l'exigence du cahier des charges ?
- d- Vérifiez par le calcul la durée au bout de laquelle la tension atteint 1,65V.

Corrigé

a- La quantité d'électricité stockable dans le condensateur est supérieure à celle nécessaire pour alimenter le microcontrôleur.

En effet $3 \text{ mC} > 0,96 \text{ mC}$

b-



D'après la courbe de décharge obtenue, le condensateur peut délivrer une tension supérieure à 1,65V pendant 168 secondes soit 2 minutes et 48 secondes.

c- Cette durée est conforme à l'exigence du cahier des charges qui impose 2 minutes de fonctionnement de pause. Cette solution et le dimensionnement du composant sont donc valides.

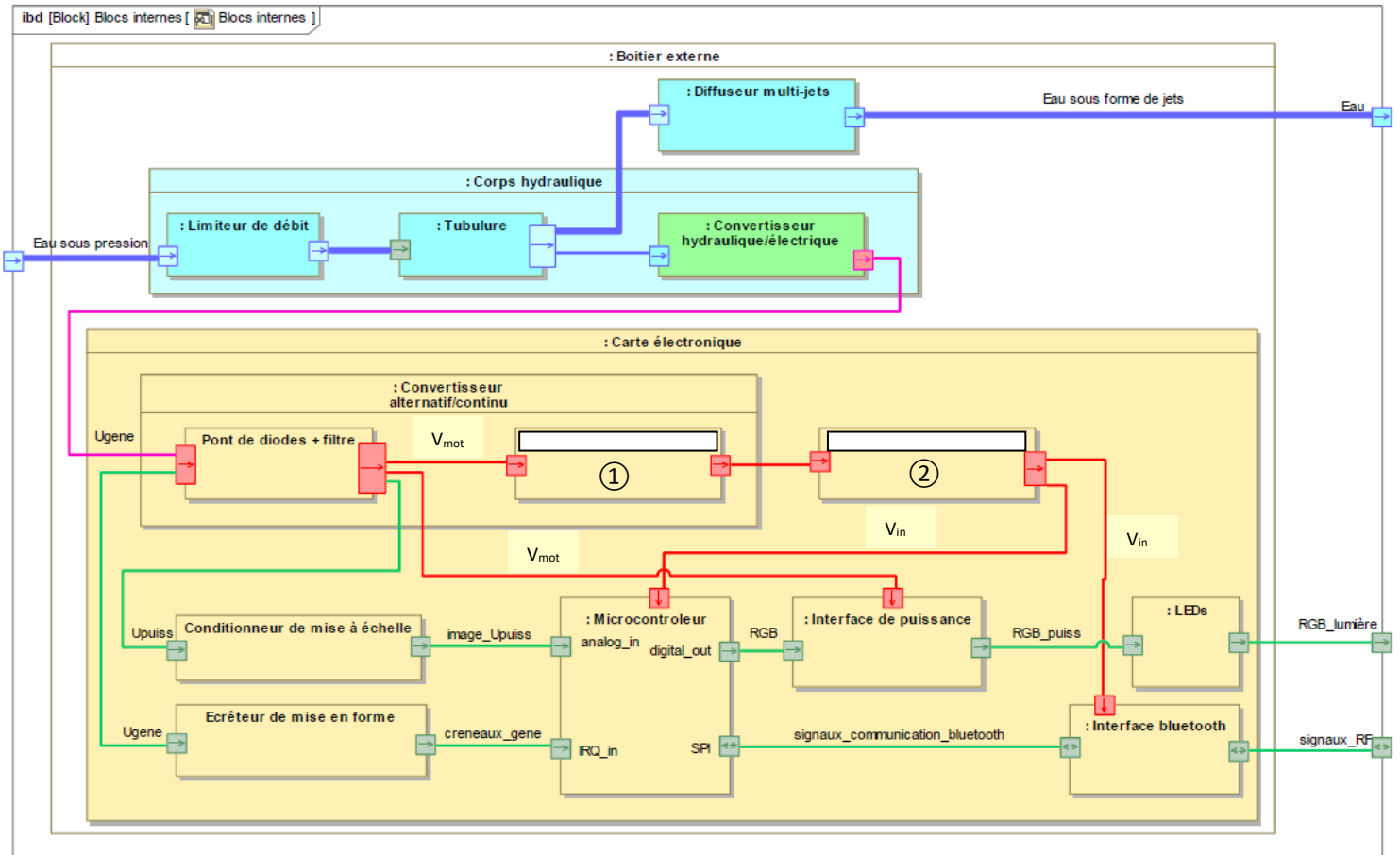
d- La quantité d'électricité restante dans le condensateur lorsque sa tension vaut 1,65V est égale à $Q = C \times U = 0,001 \times 1,65 = 1,65 \text{ mC}$

Le condensateur aura donc fourni $3 - 1,65 = 1,35 \text{ mC}$ pendant sa décharge à courant constant de $8 \mu\text{A}$. La durée de décharge est donc égale à $\Delta t = Q/I = 1,35 \times 10^{-3} / 8 \times 10^{-6} = 168,7\text{s}$. Valeur identique à celle du modèle.



Synthèse de l'activité

A partir des activités précédentes, compléter le diagramme de blocs internes du système en associant aux repères ① et ② les solutions technologiques assurant les fonctions à compléter.



① Régulateur de tension : MIC5219

② Stockage d'énergie : Condensateur



Annexe 1 : Extrait de la documentation technique des composants électroniques

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

Table 18. Voltage characteristics

Symbol	Definition	Min	Max	Unit
$V_{DD}-V_{SS}$	External main supply voltage (including V_{DDA} , V_{DDIO2} , V_{DD}) ⁽¹⁾	-0.3	4.0	V
V_{IN} ⁽²⁾	Input voltage on FT and FTf pins	$V_{SS}-0.3$	$V_{DD}+4.0$	
	Input voltage on TC pins	$V_{SS}-0.3$	4.0	
	Input voltage on BOOT0	V_{SS}	$V_{DD}+4.0$	
	Input voltage on any other pin	$V_{SS}-0.3$	4.0	

Table 21. General operating conditions

V_{DD}	Standard operating voltage	BOR detector disabled	1.65	3.6	V
		BOR detector enabled, at power-on	1.8	3.6	
		BOR detector disabled, after power-on	1.65	3.6	

- Processeur Bluetooth LE BLENRG-MS : tension d'alimentation et valeurs limites

Table 6. Absolute maximum ratings

Pin	Parameter	Value	Unit
5, 19, 24, 26, 28	DC-DC converter supply voltage input and output	-0.3 to +3.9	V
12, 29	DC voltage on linear voltage regulator	-0.3 to +3.9	V
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 25, 27, 30, 31, 32	DC voltage on digital input/output pins	-0.3 to +3.9	V
13, 14, 15, 16	DC voltage on analog pins	-0.3 to +3.9	V
17, 18, 22, 23	DC voltage on XTAL pins	-0.3 to +1.4	V
20, 21 ⁽¹⁾	DC voltage on RF pins	-0.3 to +1.4	V
T_{STG}	Storage temperature range	-40 to +125	°C
$V_{ESD-HBM}$	Electrostatic discharge voltage	±2.0	kV

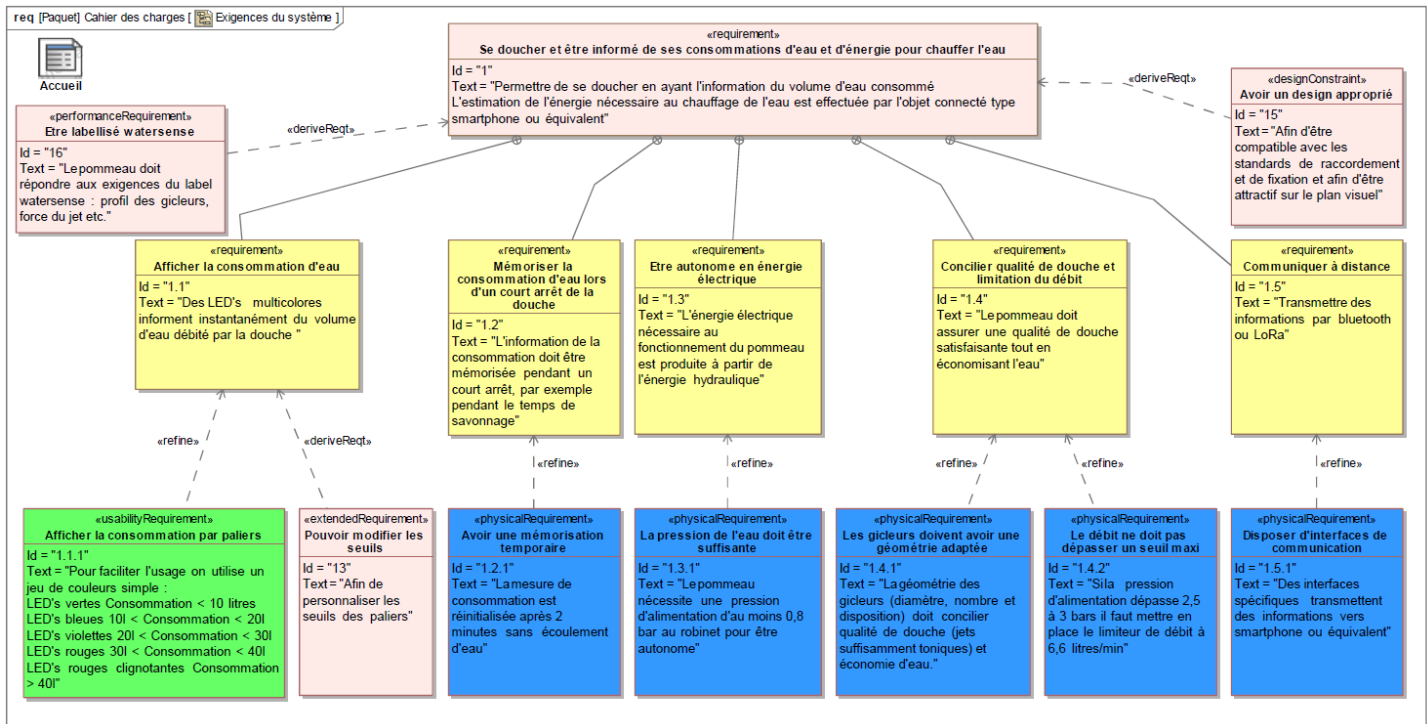
1. +8 dBm input power at antenna connector in standard mode, +11 dBm in high power mode, with given reference design.

Table 8. Recommended operating conditions

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{BAT}	Operating battery supply voltage	1.7	—	3.6	V
T_A	Operating ambient temperature range	-40	—	+85	°C



Annexe 2 : Diagramme des exigences du pommeau de douche Hydrao



Annexe 3 : Consommation du microcontrôleur STM32L051

**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 $140 \mu A/MHz$ (from Flash memory)	Down to $37 \mu A/MHz$ (from Flash memory)	Down to $8 \mu A$	Down to $4.5 \mu A$	$0.4 \mu A$ (No RTC) $V_{DD}=1.8$ V	$0.28 \mu A$ (No RTC) $V_{DD}=1.8$ V
					$0.8 \mu A$ (with RTC) $V_{DD}=1.8$ V	$0.65 \mu A$ (with RTC) $V_{DD}=1.8$ V
					$0.4 \mu A$ (No RTC) $V_{DD}=3.0$ V	$0.29 \mu A$ (No RTC) $V_{DD}=3.0$ V
					$1 \mu A$ (with RTC) $V_{DD}=3.0$ V	$0.85 \mu A$ (with RTC) $V_{DD}=3.0$ V



Annexe 4 : Diagramme de définition de blocs du pommeau de douche Hydrao

