

UN PRODUIT TECHNOLOGIQUE RÉEL

Le kit Hydrao-didact est construit autour du pommeau de douche Hydrao Aloé. Ce pommeau innovant est porteur d'un enjeu environnemental important car il vise à la diminution de la consommation d'eau sanitaire et, ce faisant, de l'énergie de chauffage cette eau.

Son principe, grâce à un microcontrôleur, est d'allumer des LEDs changeant de couleur en fonction du volume d'eau consommé. Il peut également transmettre les données de consommation d'eau à un smartphone par liaison Bluetooth. Une microturbine hydraulique entraîne un générateur qui le rend autonome en énergie électrique.

ADAPTÉ AUX ENSEIGNEMENTS DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR EN BACCALAURÉAT GÉNÉRAL ET AUX ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES ET SCIENTIFIQUES EN BACCALAURÉAT STI2D.

Le kit permet d'explorer la chaîne de mesure du débit de l'eau, de la microturbine jusqu'aux LEDs et au microcontrôleur. Il permet également d'étudier la chaîne de l'alimentation électrique de l'électronique.

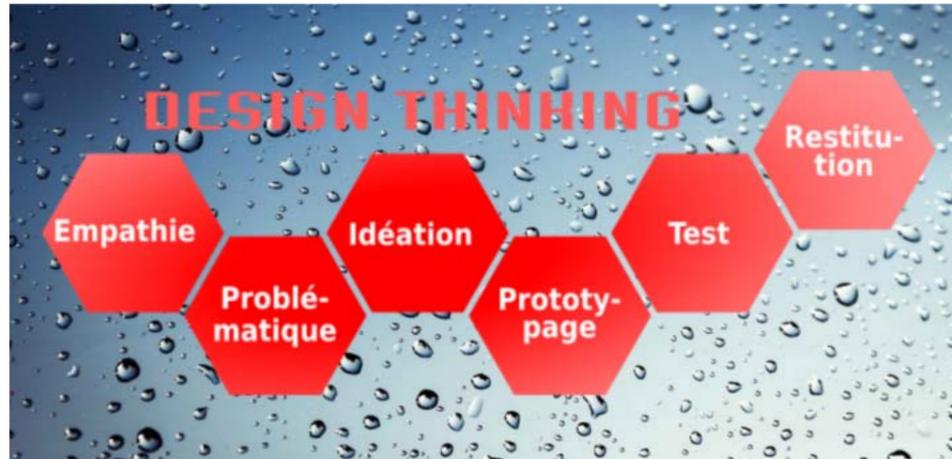
Un kit hydraulique, fourni en option, permet par ailleurs de mener des expérimentations "en eau" avec le pommeau ou la microturbine du kit de base.

Ce livret, afin de donner un aperçu des potentialités pédagogiques du système didactique "Hydrao Didact", présente des extraits des activités pratiques ou dirigées incluses dans la fourniture du kit. Les corrigés, ainsi que les modèles et applicatifs logiciels liés aux activités, sont joints.

Ces activités sont des propositions que chaque professeur peut exploiter en tout ou partie dans la construction de sa progression pédagogique.



Extraits d'activités pédagogiques



Problématique

La planète se dirige vers une importante pénurie d'eau, s'alarment les chercheurs du World Resources Institute.

À l'horizon 2030, environ 470 millions de personnes seront en proie à un manque d'eau avec, dans la foulée, des répercussions sur la santé publique et des troubles sociaux.

Comment réduire la consommation d'eau ?

Interview

Votre mission : **Immergez-vous dans l'expérience choisie du point de vue de l'utilisateur. Faites preuve d'empathie.**

Je note ici ma problématique

1 Interviewez

10 minutes (2 sessions x 5 minutes chacune)

Notes de votre première interview

2 Approfondissez

10 minutes (2 sessions x 5 minutes chacune)

Notes de votre seconde interview

Reformulez la problématique

3 Synthétisez les connaissances

3 minutes

Besoins : qu'est-ce que l'utilisateur souhaite faire ? (utilisez des verbes)

4 Reformulez la problématique

3 minutes

☺

Empathie

L'évolution des utilisations domestiques
À la fin du 18^e siècle les hygiénistes estimaient qu'une personne utilisait, pour l'ensemble de ses besoins, 15 à 20 litres d'eau. En France, au début du siècle dernier, ...



93 % de l'eau que nous utilisons à la maison est dédiée à l'hygiène et au nettoyage et 7% à l'alimentation

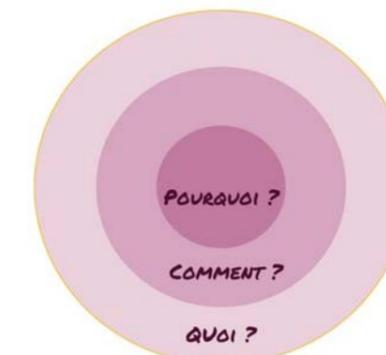
Idéation

Créativité : générez des idées alternatives à valider

5 Dessinez au moins 5 idées innovantes répondant aux besoins

10 minutes

LE CERCLE DORÉ



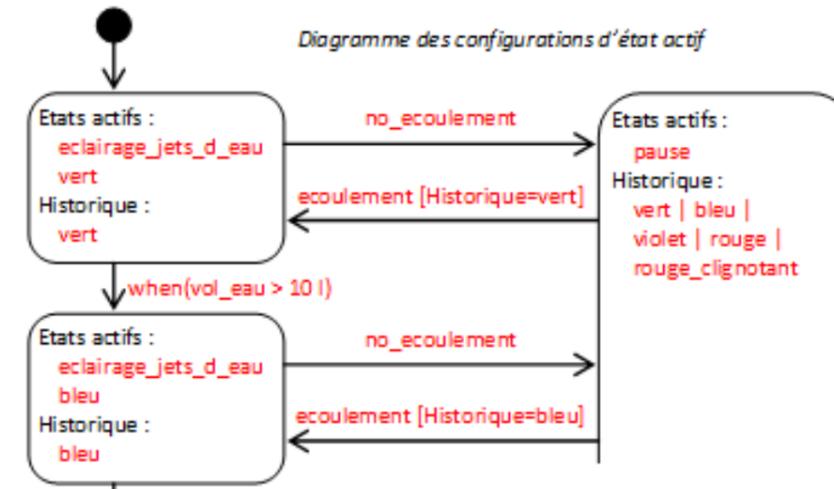
Vivre une expérience d'innovation "pensée design" (DESIGN THINKING)

Démarche globale d'ingénierie-design

Extraits d'activités pédagogiques

Comportement attendu pour l'utilisateur

Question 3 : diagramme états-transitions (statechart diagram) – comportement attendu choix technologiques non encore faits
-3.2- Complétez le diagramme des configurations d'état actif (Etats actifs dans le graphe). Pour chacune de ces configurations, indiquez aussi les états hiérarchisés tracés par le pseudo-état historique (Historique dans le graphe). Ce diagramme décrit-il correctement le comportement attendu ?



Evaluer/investiguer la solution technique retenue par le fabricant en relation avec la description SysML du produit

Principaux choix technologiques et architecture structurelle

Question 1 : principaux choix technologiques pour le pommeau Aloé
Le schéma synoptique, les diagrammes de définitions de blocs et de blocs internes montrent les principaux choix technologiques et l'architecture structurelle. Le diagramme des exigences spécifie les principales exigences à satisfaire.
-1.1- Nommez et décrivez succinctement le rôle de chaque élément du tableau ci-dessous. Indiquez dans quel bloc interne : corps hydraulique (colonne H) ou carte électronique (colonne E), et sous-blocs internes, se situe chaque élément, et à quelles exigences il satisfait ou participe à satisfaire significativement.

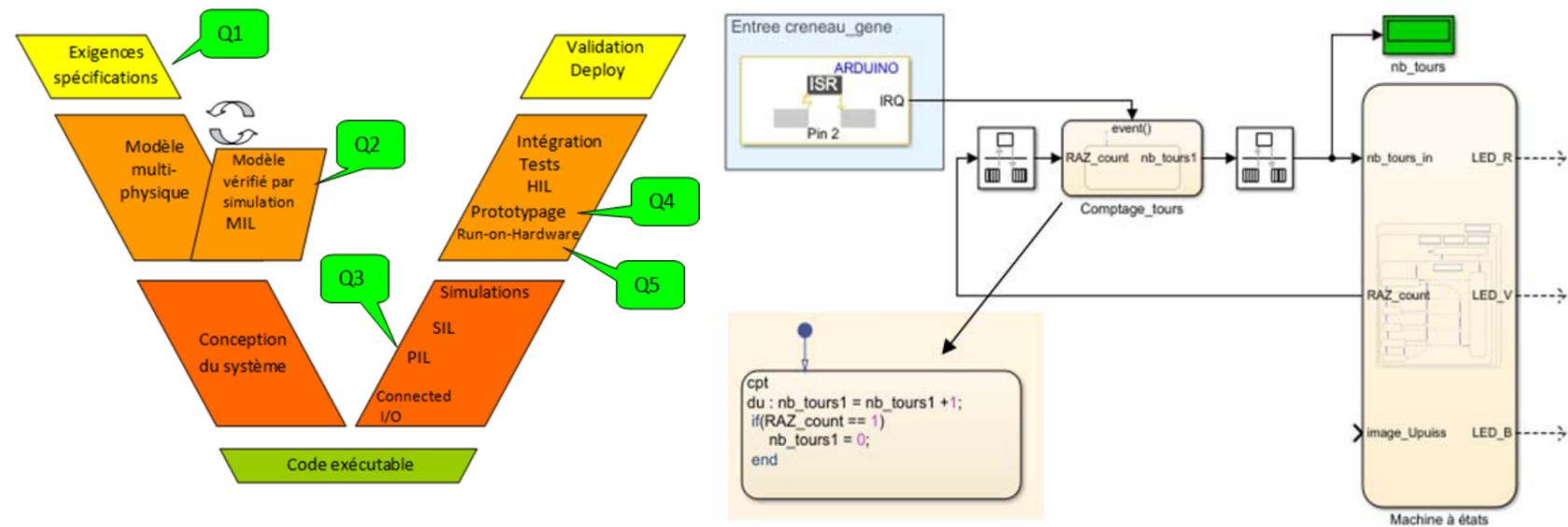
Eléments du synoptique	Désignations et rôles	H	E	Sous-blocs internes	Exigences
	Le limiteur de débit doit être installé pour réduire le débit d'eau si la pression dépasse 2,5 à 3 bar. En dessous de 2,5 bar il ne peut pas être installé car il nuit à la qualité de la douche.		X	Limiteur de débit	1.4 Concilier qualité de douche et limitation du débit
	La turbine convertit l'énergie hydraulique en énergie mécanique.	X		Convertisseur hydraulique/électrique	1.3 être autonome en énergie

Matérialiser une solution virtuelle

Valider une(des) solution(s) en prototypage rapide

On se propose dans cette activité de prototyper rapidement une partie du traitement dans une carte cible à microcontrôleur (qui n'est pas la carte définitive du produit) en implémentant directement le diagramme états-transitions de la machine d'état « technologique » retenue pour l'écriture du programme.

Cette activité s'appuie sur une démarche innovante appelée **Ingénierie des systèmes basée sur le modèle** (en anglais **Model-Based Systems Engineering** ou MBSE).

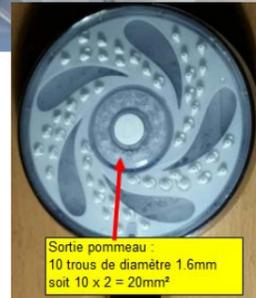


Expérimenter en mettant en œuvre un protocole d'essais-mesures

TP avec pompe hydraulique à vitesse réglable

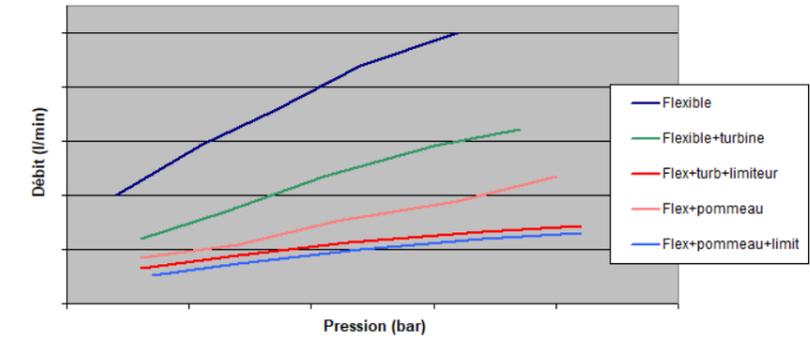
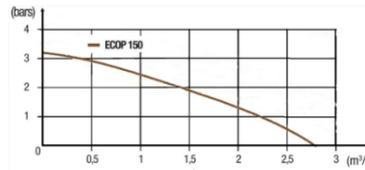
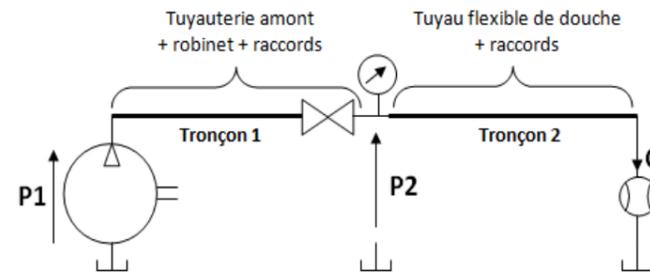


Tubulure pour turbine
2 orifices en demi-ellipse de section totale $3,14 \times 3 \times (3,85/2) = 12,7\text{mm}^2$



Sortie pommeau : 10 trous de diamètre 1,6mm soit $10 \times 2 = 20\text{mm}^2$

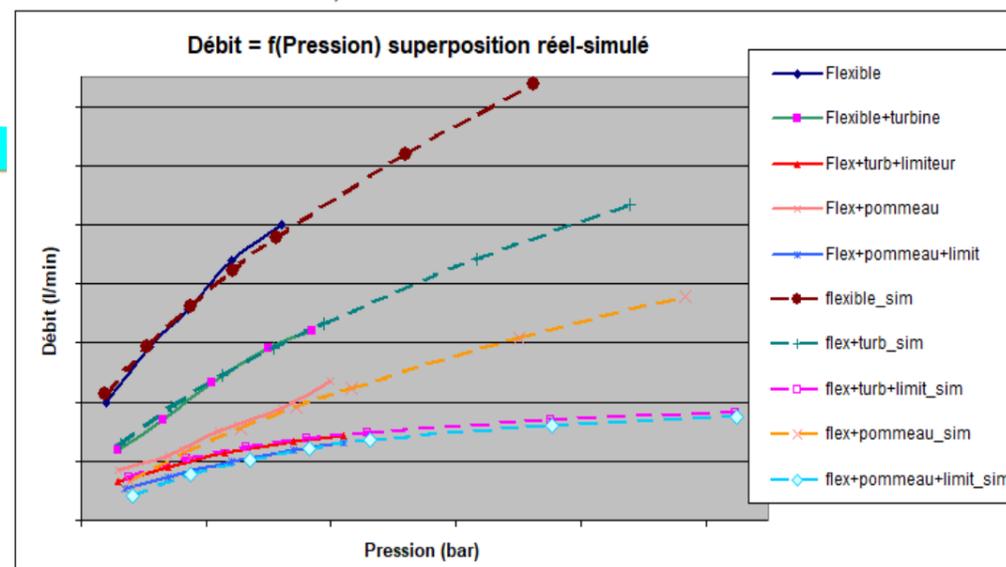
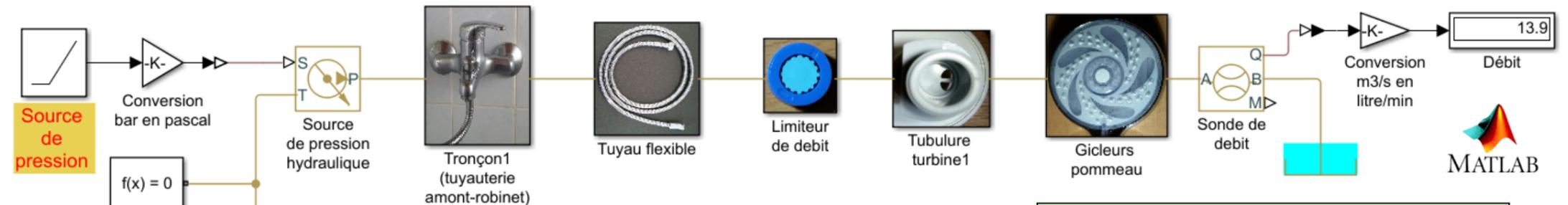
Extraits d'activités pédagogiques



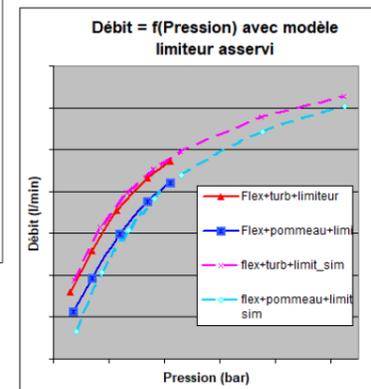
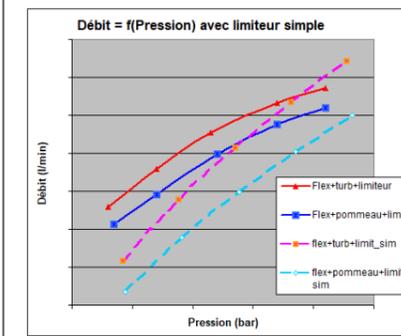
	Pression P2 (bar)	Débit Q (l/min)	Pression P2 (bar)	Debit	Pression P2 (bar)	Débit Q (l/min)	Pression P2 (bar)	Débit Q (l/min)	Pression P2 (bar)	Débit Q (l/min)
Pression d'alimentation (pression statique)	1		1.5		2		2.5		3	
Tronçon1 + flexible										
Tronçon1 + flexible + limiteur										
Tronçon1 + flexible + tubulure turbine										
Tronçon1 + flexible + tubulure turbine + limiteur										
Robinet + flexible + pommeau sans limiteur										
Robinet + flexible + pommeau avec limiteur										

Construire/compléter un modèle multi-physique

Valider le modèle à partir des résultats d'expérimentations



Le débit doit être limité à 6,6 litres/min
Analyse de l'écart réel-modèle, recherche des causes et test d'une modification corrigeant l'écart





Extraits d'activités pédagogiques

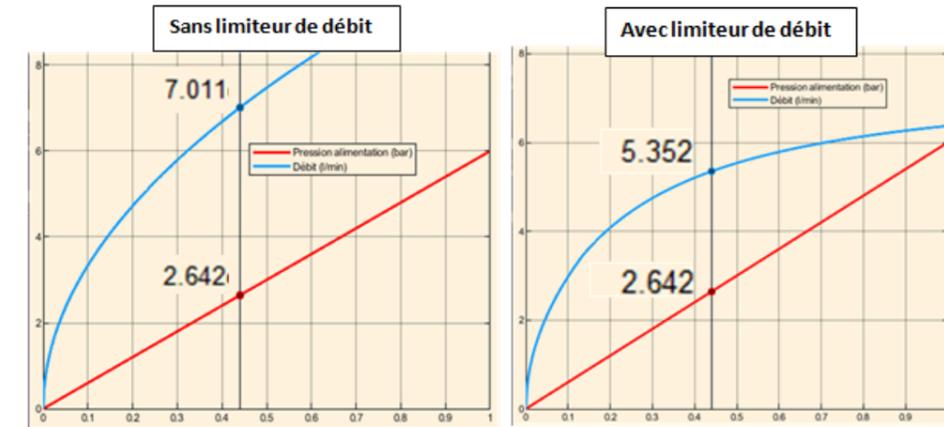
Évaluation de la résolution de la problématique (réponse aux critères de qualité d'une douche)

Question 4 : Vérification des conditions techniques permettant d'atteindre le critère de qualité principal

- Ouvrez sous Matlab le modèle simulink Hydrao_mod2_b_rxxx.slx
- Ce modèle permet de visualiser le débit dans le pommeau avec une source de pression variable de 0 à 6 bars
- Effectuez les essais permettant de déterminer les conditions de pression, avec ou sans limiteur de débit, permettant de répondre au critère de qualité décrit plus haut.

- Sans limiteur de débit on observe qu'il faut une pression d'alimentation minimale de **2.642** bar pour avoir au moins **5.713** litres/min. Lorsque la pression dépasse **7.011** bars le débit devient supérieur à **1.754** litres/min donc il faut donc absolument **7.011** le limiteur.
- Avec le limiteur de débit on vérifie qu'il faut au moins **5.352** bars pour avoir au moins 5 litres/min et le débit ne dépasse pas les **6** litres/min lorsque la pression atteint **6** bars.

Conclusion : pour répondre au critère de qualité, à savoir que le débit doit être compris entre 5 litres/min, il faut une pression d'alimentation minimale de **2.642** bar et, à partir de **7.011** bars, il faut utiliser le limiteur de débit. Une solution alternative au limiteur de débit est la mise en place d'un limiteur de pression, réglé à **7.011** bars) en tête d'installation, l'avantage étant qu'il limite la consommation au niveau de **1.754** litres/min.



Question 5 : Vérification d'une donnée fabricant

La notice du limiteur de débit fourni par Hydrao indique que si les jets du pommeau (petits jets a priori) dépassent la hauteur de 70cm, il faut mettre en place le limiteur de débit. On se propose de vérifier à quelle pression d'alimentation correspond cette hauteur des jets.

L'application de l'équation de Bernoulli (cf annexe 2) permet de calculer la vitesse V_0 de sortie de l'eau des gicleurs du pommeau.

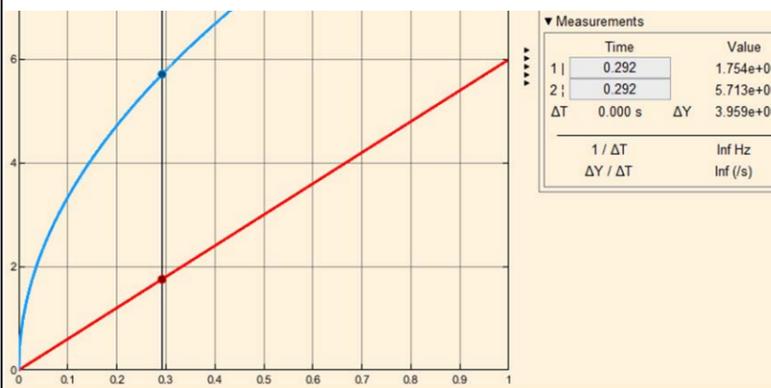
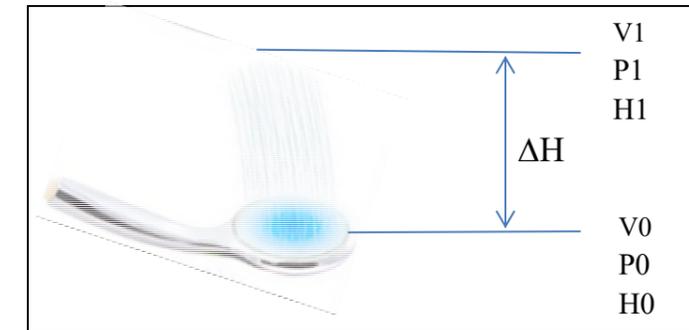
On a les hypothèses suivantes :

- $P_0 = P_1 = 0$ (l'eau est à l'air libre) - $V_1 = 0$

- Calculez la vitesse V_0 et le débit Q correspondant en sortie du pommeau. Afin de prendre en compte certains phénomènes particuliers, notamment les frottements de l'eau dans l'air, on multiplie V_0 par 1,3.

- En utilisant le modèle simulink *Hydrao_mod2_b_r19b.slx* déterminez la pression correspondant au débit corrigé précédent.

- Analysez, commentez les résultats.



En appliquant l'équation de Bernoulli avec les hypothèses spécifiées, il vient :
 $V_0^2/2 = g \cdot H_1 \Rightarrow V_0 = \text{racine}(2 * g * H_1) = 3,7 \text{ m/s}$ $V_0\text{corrigé} = 3,7 * 1,3 = 4,8 \text{ m/s}$
 $Q = V_0 * \text{section} = 4,8 * 20e-6 = 96e-6 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 96e-6 * 6e4 = 5,7 \text{ litres/min}$
 À l'aide du modèle simulink on observe un débit de 5,7 litres/min avec une pression d'alimentation de **2.642** bar (sans limiteur de débit).
 Il semble donc que le fabricant du limiteur a une position privilégiant l'économie puisque, d'après les résultats de la question précédente, le limiteur de débit s'impose à partir de **5.352** bars pour ne pas dépasser les **6** litres/min généralement préconisés.

Exploiter un modèle multiphysique pour valider les performances d'un produit



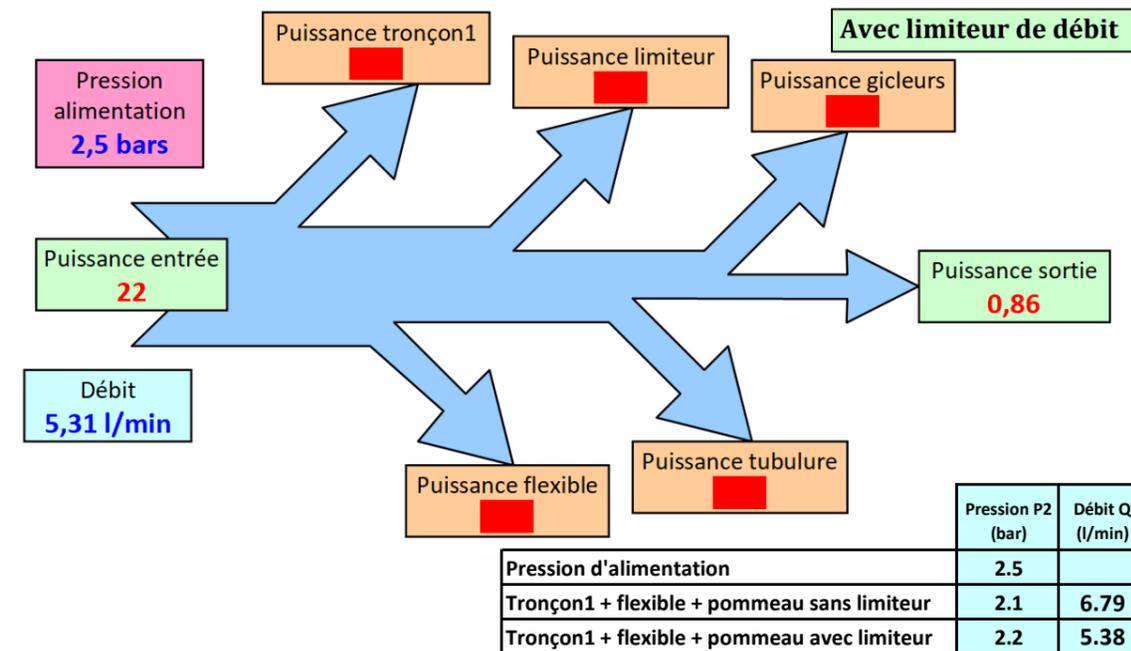
Extraits d'activités pédagogiques

Bilan des puissances de la chaîne hydraulique de la douche seule :
 Sous Alimentation = 2,5 bars*, en négligeant la puissance hydraulique convertie en puissance mécanique par la turbine, sans limiteur puis avec limiteur de débit, calculez :

- la puissance utile en sortie de pommeau (puissance cinétique de l'eau sortant du pommeau) (Rappel : section totale des gicleurs = 20mm²)
- la puissance hydraulique en entrée en négligeant la puissance cinétique
- la puissance perdue due aux pertes de charge singulières

(*) On donne ci-dessous les essais sous cette pression

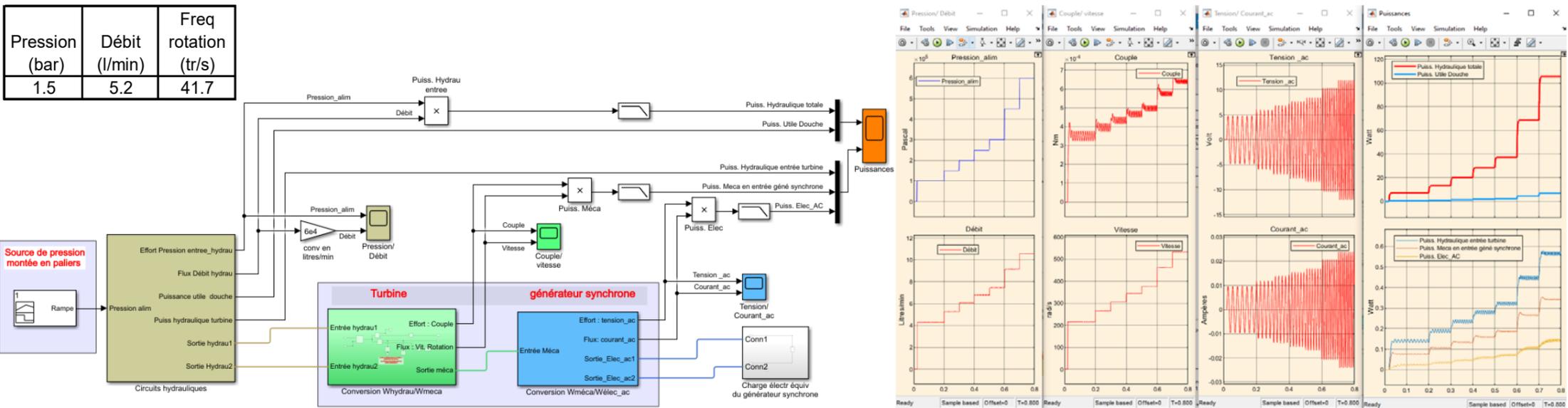
- Ouvrez sous Matlab-Simulink le modèle multiphysique **Hydrao_puiss1.slx**
- complétez l'instrumentation du modèle afin de mesurer la puissance totale en entrée, la puissance en sortie et la puissance consommée par les différents éléments
- complétez les diagrammes de puissances (avec/sans limiteur de débit)
- Effectuez les simulations, commentez les diagrammes, vérifiez/analysez les écarts liés aux hypothèses simplificatrices précédentes
- Expliquez ce que devient l'énergie des pertes hydrauliques



Effectuer le bilan des puissances et/ou énergétique
 Simuler la chaîne de puissance d'un produit

Bilan des puissances du système complet :
 Ouvrez sous Matlab-Simulink le modèle multiphysique **Hydrao_puiss1.slx**

- turbine : on a mesuré la fréquence de rotation de la turbine avec une pression d'alimentation de 1,5 bar (voir ci-dessous). Calculez le paramètre "déplacement" de la turbine (en m³/rad).
- générateur de tension alternative : en appliquant une tension de 2V aux bornes de l'enroulement de sortie on a mesuré un courant égal à 14mA. Complétez la valeur du paramètre que l'essai à permis de déterminer.
- récepteur final : la carte électronique alimentée par le générateur de tension consomme 45mW sous une tension de 4,7V sinus. Calculez le résistor équivalent
- complétez le modèle avec les valeurs calculées précédemment. Complétez l'instrumentation du modèle afin de mesurer la puissance hydraulique en entrée, la puissance hydraulique en entrée de la turbine, la puissance mécanique fournie au générateur électrique et la puissance consommée par la charge équivalente à la carte électronique.
- branchez le scope aux différents points de mesures des puissances
- Effectuez la simulation avec les pressions d'alimentation prééglées
- Analysez-commentez les oscillogrammes. Justifiez la non-prise en compte de la conversion hydraulique/mécanique de la turbine lors de l'étude précédente



Extraits d'activités pédagogiques

Caractériser les échanges d'informations

Analyser le traitement de l'information

Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet

Traduire un algorithme en un programme exécutable

Programme de configuration d'une broche en sortie

La broche D2 sera configurée en sortie, reliée à une LED, et un programme de clignotement de la LED sera écrit. La LED permettra simplement ici de visualiser facilement l'état de la broche.

- Donnez la ligne de code microPython pour une configuration de la sortie en push-pull.
- Complétez le script ci-après pour changer l'état de la broche toutes les 500 ms.
- Testez le programme et visualisez ces changements d'état en branchant une LED sur la broche D2.

```
import pyb # importation du module pyb pour gérer les GPIO
import time # importation du module time pour faire des pauses

# Broche D2 configurée en sortie push-pull (OUT_PP)
# Tirage PULL_NONE : absence de résistance de tirage
# LED visualisant l'état de la broche D2
D2 = pyb.Pin.cpu.C6 # Equivalence broche ARDUINO broche STM32 WB55
etat_broche = pyb.Pin(D2, pyb.Pin.OUT_PP, pyb.Pin.PULL_NONE)
etat_broche.value(0) # Initialisation à 0 de la broche

# programme principal
while True : # boucle permanente
    etat_broche.value(1) # la broche passe à 1 : la LED s'allume
    time.sleep_ms(500) # temporisation de 500 ms
    etat_broche.value(0) # la broche passe à 0 : la LED s'éteint
    time.sleep_ms(500)
```

Communication sans fil (BLE)

Dans cette partie nous allons voir comment communiquer en bluetooth low power avec l'application STBLESensor et la carte de développement WB55. Une fois le script lancé, le kit de développement WB55 se met à émettre des trames BLE, appelé "advertising". Ces messages permettent d'identifier l'objet Bluetooth et de signifier que le périphérique est prêt à être connecté.

Le nom du périphérique est : "WB55-MPY", nous allons le vérifier avec l'application smartphone si la carte WB55 est en émission bluetooth .

➤ Lancez l'application STBLESensor sur votre SmartPhone

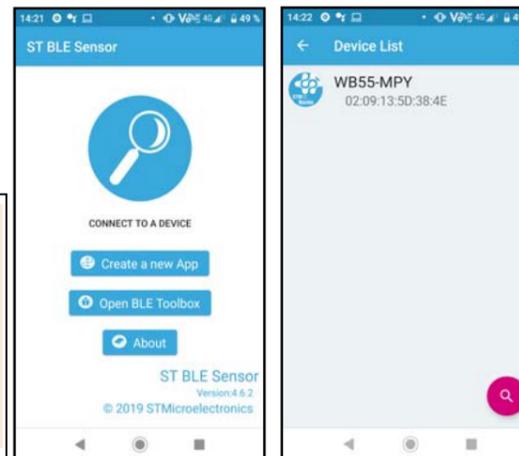
.../...



Dans cet exemple, le profil BLE que nous avons choisi nous permet de simuler un thermomètre et d'allumer ou d'éteindre une LED. La valeur du thermomètre est générée aléatoirement toutes les secondes.

➤ Connectez-vous à la carte de développement en appuyant sur "WB55-MPY"

.../...



Programme de configuration d'une broche en entrée

La broche D4 sera configurée en entrée, reliée à un bouton poussoir. La configuration de la broche D2 en sortie reliée à une LED sera reprise de l'exemple précédent, puis un programme de visualisation par la LED (allumée/éteinte) de l'état du bouton poussoir (on/off) sera écrit.

- Donnez la ligne de code microPython pour une configuration de la broche D4 en entrée avec une résistance de pull-up.
- Branchez un bouton-poussoir sur la broche D4.
- Complétez le script ci-après pour visualiser avec la LED (allumée/éteinte) l'état du bouton poussoir (on/off). On reprendra pour D2 la configuration de l'exemple précédent.

```
import pyb # importation du module pyb pour gérer les GPIO

# Bouton poussoir branché sur broche D4 configurée en entrée
# Tirage PULL UP : résistance de tirage reliée à + 3.3 V
D4 = pyb.Pin.cpu.C10 # Equivalence broche ARDUINO broche STM32 WB55
bouton_in = pyb.Pin(D4, pyb.Pin.IN, pyb.Pin.PULL_UP)

# LED branchée sur broche D2 configurée en sortie push-pull.
# Tirage PULL_NONE : absence de résistance de tirage.
D2 = pyb.Pin.cpu.C6 # Equivalence broche ARDUINO broche STM32 WB55
led_out = pyb.Pin(D2, pyb.Pin.OUT_PP, pyb.Pin.PULL_NONE)

etat_bp = 0 # Mémoire de l'état du bouton poussoir
led_out.value(etat_bp) # Affectation de la sortie
.../...
```

Lecture d'une valeur analogique (ADC)

Nous voulons convertir la valeur analogique (0-3.3V) d'un signal en valeur numérique (0-4095). Vous pourrez brancher sur A0-5 une valeur analogique comprise entre 0-3.3V. Ce connecteur est directement branché à l'ADC du microcontrôleur. Le signal peut donc être converti en signal numérique.

Pour cette démonstration nous utiliserons le potentiomètre de 10 kOhms que nous branchons sur A0, comme indiqué sur le schéma :

.../...

```
import pyb
import time

# Initialisation de l'ADC sur la broche A0
adc_A0 = pyb.ADC(pyb.Pin('A0'))
while True:
    valeur_numerique = adc_A0.read()
    # Il faut maintenant convertir la valeur numérique par rapport à la
    # tension de référence (3.3V) et
    # au nombre de bits du convertisseur (12 bits → 4096 valeurs)
    valeur_analogique = (valeur_numerique * 3.3) / 4095
    print("La valeur de la tension est :", valeur_analogique, "V")
    # le système se met en pause pendant 500ms puis reprend l'exécution
    # de la boucle
    time.sleep_ms(500)
```

Extraits d'activités pédagogiques

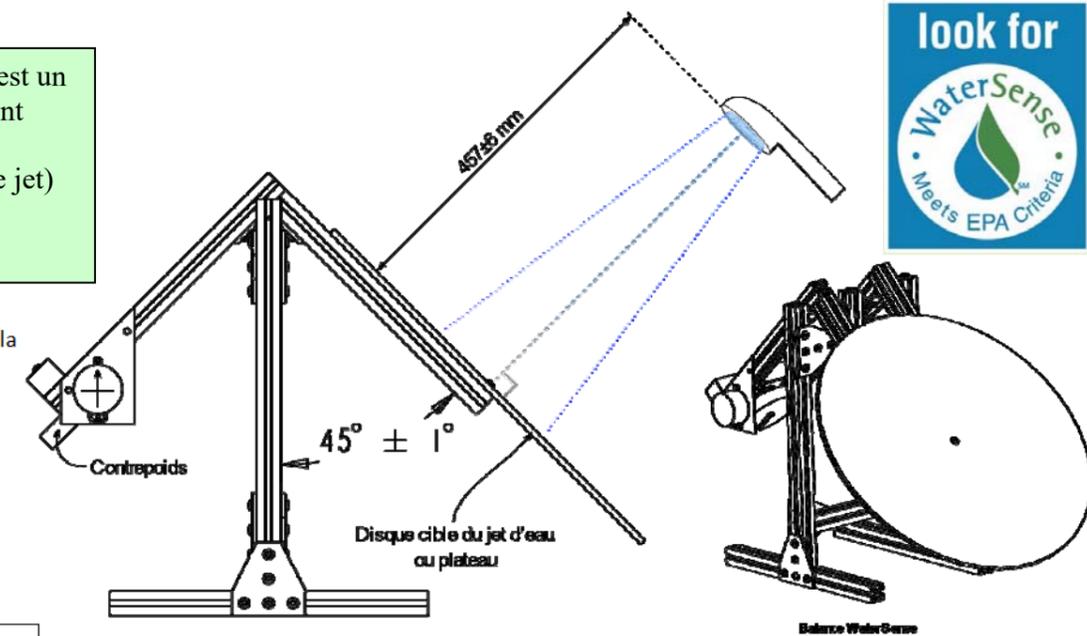
Problème scientifique et technologique

Le pommeau de douche « Aloé » de Hydrao est labellisé « WaterSense ». « WaterSense » est un programme de partenariat parrainé par l'Agence américaine de protection de l'environnement (E.P.A).
Différents critères sont définis pour le pommeau de douche comme la distribution (forme de jet) et l'efficacité. L'efficacité du jet est caractérisée par une force mesurée sur un appareil spécialement conçu. L'analyse de cet appareil est l'objectif de l'étude.

Modélisation du système

- 1.1- Faites l'inventaire des actions mécaniques extérieures au balancier ajoutées ou modifiées par rapport à la configuration étalonnée.
 - Action du jet sur le balancier, modélisable par une force dans le plan de la figure.
 - L'action de pesanteur du contrepois est modélisable par une force dans le plan de la figure.
 - L'action de la liaison pivot sur le balancier est modélisable par une force dans le plan de la figure.
- 1.2- La modélisation par un problème plan vous semble-t-elle envisageable ? Justifiez votre réponse.
Les trois actions peuvent être modélisées par des forces dans le plan de la figure. Le problème est plan.
- 1.3- Indiquez les inconnues (directions, intensités) des actions considérées dans le tableau ci-dessous.

Forces sur le balancier	\vec{F}_1 : force du jet d'eau sur le balancier	\vec{F}_2 : force de pesanteur des contrepois sur le balancier	\vec{F}_3 : force de la liaison pivot sur le balancier
Point d'application	B centre du plateau	A centre de gravité du contrepois	O centre de rotation de la liaison pivot
Direction	Droite BB', orthogonale au plateau passant par B	Verticale	Inconnue



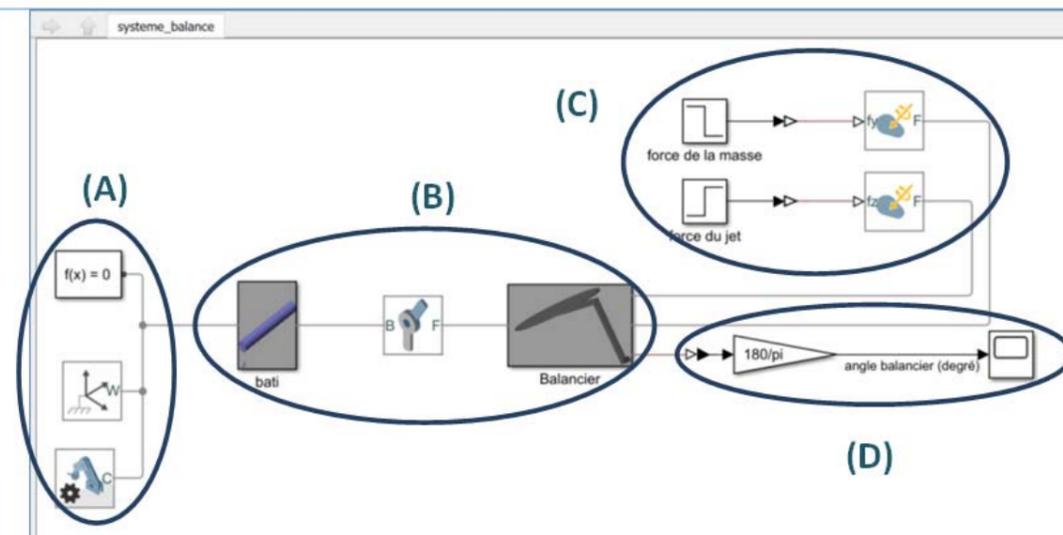
Analyser le besoin, l'organisation matérielle et fonctionnelle d'un produit par une démarche d'ingénierie système

Valider les modèles établis pour décrire le comportement d'un objet

Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet

2ème partie : Dimensionnement optimisé – Méthode simulation mécanique Matlab Simulink Simscape MultiBody

Objectif : avec les logiciels Matlab Simulink Simscape MultiBody, déterminer la masse du contrepois à mettre en place pour que la balance soit en position de mesure : 45° pendant l'écoulement du jet à 0,56 N

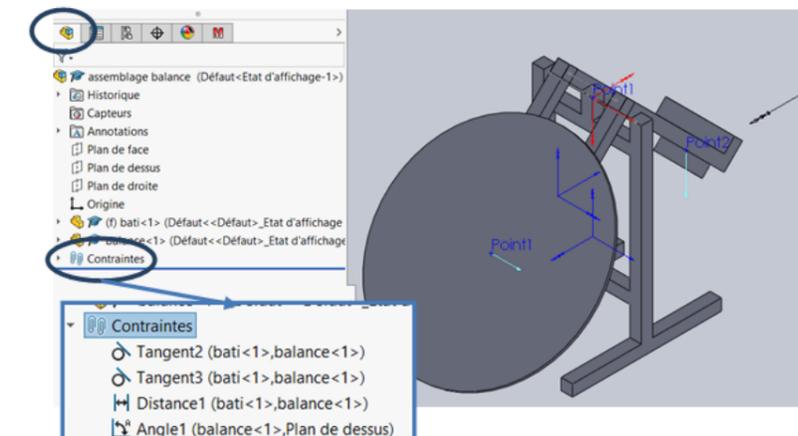


3ème partie : Application métier – Méthode simulation mécanique SolidWorks et Méca 3D

Objectif : avec les logiciels SolidWorks et Méca 3D, à partir de la position d'équilibre du balancier étalonné, déterminer la masse du contrepois à mettre en place pour que la balance soit en position de mesure : 45° pendant l'écoulement du jet à 0,56N (Cf. schéma ci-dessous).

Analyse de la liaison entre le bâti et la balance sous SolidWorks.

- 3.1- Sous l'onglet assemblage ouvrez l'onglet contrainte.
 - Caractériser les trois premières contraintes en définissant par une phrase ces dernières.
 - A quoi correspond la liaison équivalente construite par ces contraintes ?
 - Caractériser la quatrième contrainte en la définissant par une phrase et précisez le rôle de cette dernière.



.../...

HYDRAO
SMART SOLUTIONS FOR WATER CONSERVATION

www.hydrao.com

www.setdidact.com