|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sciences de**  **l’Ingénieur** | **Compétences travaillées :**  - Analyser le besoin, l’organisation matérielle et fonctionnelle d’un produit par une démarche d’ingénierie système  - Analyser le traitement de l’information  - Analyser le comportement d’un objet à partir d’une description à événements discrets  - Valider les modèles établis pour décrire le comportement d’un objet  - Traduire le comportement attendu ou observé d’un objet  - 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 :**  - Outils d’ingénierie-système : diagrammes fonctionnels, définition des exigences et des critères associés, cas d’utilisations, analyse structurelle  - Algorithme, programme, langage informatique  - Diagramme états-transitions, algorithme  - Analyse des écarts de performances  - Structures algorithmiques (variables, fonctions, structures séquentielles, itératives, répétitives, conditionnelles), diagramme d’états-transitions  - 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\_Solution\_2 |
| **Matériel :**  Système didactique HYDRAO DIDACT |
| **Logiciel :**  MatLab Stateflow 2019b pour la simulation |
| **Documents :**  Dossier technique du système |
| **Pré-requis :**  - Premiers éléments sur les diagrammes SysML  - Premiers éléments sur les machines à états | |

# Problème scientifique et technologique :

Le système de douche intelligent imaginé 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 l’implication de l’utilisateur en l’informant de ses consommations.

On se propose dans cette deuxième activité (Hydrao\_Solution\_2) d’étudier plusieurs aspects et conséquences des choix technologiques toujours au niveau système.

# Travail à effectuer :

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

Vous disposez des diagrammes SysML et du schéma synoptique du pommeau Aloé (fichier « Hydrao\_Aloe\_SysML.pdf »). Si besoin, des informations sur les diagrammes SysML figurent dans la ressource : éléments sur quelques diagrammes SysML (fichier « Ressource\_Elements\_sur\_Diagrammes\_SysML »)

## 1ème partie : 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** |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **GS** |  |  |  |  |  |
| **~**  **=** |  |  |  |  |  |
| **=**  **=** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| k |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Micro-contrôleur  STM32 |  |  |  |  |  |
| Interface Bluetooth  Low Energy |  |  |  |  |  |
| Interface de puissance |  |  |  |  |  |
| LED RGB |  |  |  |  |  |

-1.2- Pour chaque flux du diagramme de bloc interne, indiquez la grandeur physique principale (puissance ou tension) et son domaine (hydraulique, électrique ou électromagnétique) dans le tableau ci-dessous.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nom du flux** | **Grandeur principale** | **Domaine** |
| « eau » |  |  |
| « Ugene » (vers pont de diodes + filtre) |  |  |
| « Upuiss » (vers régulateur de tension) |  |  |
| « Ualim » |  |  |
| « Ugene » (vers écrêteur de mise en forme) |  |  |
| « creneaux\_gene » |  |  |
| « Upuiss » (vers conditionneur de mise à l’échelle) |  |  |
| « image\_Upuiss » |  |  |
| « RGB » |  |  |
| « RGBpuiss » |  |  |
| « RGBlumiere » |  |  |
| « signaux communication » |  |  |
| « signaux RF » |  |  |

-1.3- L’exigence « Afficher la consommation d'eau » est d’une part reliée avec un stéréotype « refine » à l’exigence « Afficher la consommation par paliers », et d’autre part avec un stéréotype « deriveReqt » à l’exigence « Pouvoir modifier les seuils ». Expliquez le choix de ces deux stéréotypes.

-1.4- La tension « Ualim » est à 3 V lorsque des LED sont éclairées (état composite « eclairage\_jet\_d\_eau »). Le microcontrôleur STM32 peut fonctionner jusqu’à une tension basse de 1,65 V. En l’absence de rotation de la turbine-génératrice, sachant que le condensateur a une capacité de 1000 μF, estimez grossièrement le courant maximum pouvant être débité afin de maintenir une tension « Ualim » supérieure à 1,65 V pendant 2 minutes.

-1.5- Indiquez le nombre de tours effectués par la turbine-génératrice du pommeau « Aloé » pour un écoulement d’un litre. Puis, complétez le tableau ci-dessous. Quel format (nombre de bits) choisir pour la variable comptant le nombre de tours ?

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Volume d’eau écoulé en litres | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 120 | 150 |
| Nombre de tours effectués |  |  |  |  |  |  |  |

-1.6- Le nombre de tours de la turbine-génératrice est l’image du volume d’eau écoulé selon la relation :

nb\_tours = nb\_tours\_par\_litre ⨯ vol\_eau\_en\_litres

La fonction réalisée correspond à une conversion analogique numérique. Calculez le quantum (voir si besoin la définition dans la partie « ce qu’il faut retenir ») correspondant au plus petit écart théorique de volume d’eau mesurable qui est de un tour.

-1.7- La génératrice possédant une seule paire de pôles, la période de la tension « Ugene » est égale au temps mis pour que la turbine-génératrice effectue un tour. Exprimez la fréquence des interruptions provoquées par le signal rectangulaire « creneaux\_gene » en fonction du débit d’eau. Calculez cette fréquence pour un débit de 10 litres par minute. Que pensez-vous de cette valeur pour une exécution en temps réel ?

## 2ème partie : conséquence des choix technologiques sur le diagramme états-transitions

**Question 2 : diagramme états-transitions (statechart diagram) – comportement attendu tenant compte des choix technologiques**

Le diagramme états-transitions SysML intitulé « machine d’état technologique » tient compte des principaux choix technologiques.

-2.1- Décrivez l’évolution de la machine à l’occurrence de l’événement « when(imageUpuiss > seuil\_haut) » en supposant l’état « pommeau\_off » actif.

-2.2- Décrivez l’évolution de la machine à l’occurrence de l’événement « creneaux\_gene » en supposant l’état « pommeau\_on » actif.

-2.3- Quel événement permet de passer de l’état composite « eclairage\_jets\_d\_eau » à l’état « pause » ? Quel événement permet de passer de l’état « pause » à l’état composite « eclairage\_jets\_d\_eau » ? Justifiez l’utilisation d’un seuil haut et d’un seuil bas.

-2.4- Décrivez l’évolution de la machine à l’occurrence de l’événement « after(duree\_max\_pause) » en supposant l’état « pause » actif. Quelle contrainte technologique limite la valeur de « duree\_max\_pause » ?

-2.5- L’état « rouge\_clignotant » est un état composite. Dessinez le diagramme états-transitions SysML interne à « rouge\_clignotant ».

## 3ème partie : ce qu’il faut retenir

**A) Notes SysML :** une **note** permet d’apporter un commentaire sur un élément ou un lien quelconque du modèle.

|  |  |
| --- | --- |
|  | • « stéréotype » = « rationale » : indique une justification.  • « stéréotype » = « problem » : indique un problème non résolu.  • sans stéréotype : autre note. |

**B) Exigences (requirement – req) SysML :** le diagramme des exigences spécifie ce qui est attendu du système. Diverses relations permettent de relier les exigences à d'autres exigences ainsi qu'à d'autres éléments du modèle.

|  |  |
| --- | --- |
|  | • Une exigence spécifie ce qui doit (ou devrait) être satisfait ; elle peut par exemple, spécifier une fonction qu'un système doit exécuter ou une condition de performance qu'un système doit atteindre.  • La partie texte décrit l’exigence (caractéristiques, qualités).  • Une priorité peut être associée à une exigence. |
|  | **Hiérarchisation d'exigences (contenance / inclusion) :** une exigence composite peut contenir des sous-exigences (hiérarchie). Cette relation permet à une exigence complexe d'être décomposée en ses exigences enfant.  • L’exigence A contient les exigences B et C ; les exigences B et C sont nécessaires à l’exigence A.  • Le cercle avec une croix est du côté de l’exigence de départ.  • Les exigences B et C peuvent être décomposées en sous-exigences, etc.  • Cela définit une hiérarchie des exigences. |
|  | **Dérivation d’exigence :** cette relation relie une exigence dérivée à son exigence source.  • L’exigence dérivée (origine de la flèche) est reliée à son exigence source : B est dérivée de A ; B peut étendre A.  • Les exigences dérivées correspondent généralement aux exigences du niveau suivant de la hiérarchie du système.  • L’exigence dérivée peut l’être de plusieurs autres exigences.  Exemple : soit l’exigence d'accélération d’un véhicule. Les exigences dérivées peuvent être les exigences de puissance du moteur, de poids du véhicule, … |
|  | **Raffinement (ou précision) d’exigence :** cette relation peut être utilisée pour décrire comment un élément de modèle ou un ensemble d'éléments peut être utilisé pour affiner/préciser davantage une exigence. Il peut également être utilisé pour montrer comment une exigence basée sur du texte affine un élément de modèle.  • Le raffinement est relié à l’origine de la flèche : B raffine/précise A.  • L’exigence précisée est reliée à la pointe de la flèche ; elle peut l’être par plusieurs précisions. |
|  | **Satisfaction d’exigence :** cette relation décrit la manière dont un modèle de conception ou de mise en œuvre satisfait une ou plusieurs exigences. Elle permet de spécifier les éléments de conception du système destinés à satisfaire des exigences.  • L’élément B, reliée à l’origine de la flèche, satisfait l’exigence A. |
|  | **Vérification d’exigence :** cette relation de vérification définit la manière dont un scénario de test ou un autre élément de modèle vérifie une exigence.  • L’élément B permet de vérifier A. |
|  | **Trace d’exigence :** cette relation générique fournit une relation à usage général entre une exigence et tout autre élément du modèle.  • B est à l’origine de A. |

**C) Blocs – Ports – Flux :**

• Les **blocs** permettent de modéliser des systèmes sous forme d'arbres de composants modulaires. Ils peuvent inclure à la fois des caractéristiques structurelles et comportementales.

• La spécification des **ports** et des **flux** permet une conception de blocs modulaires, réutilisables, avec des moyens clairement définis de connexion et d'interaction avec leur contexte d'utilisation.

**D) Diagramme de définition de bloc (block definition diagram – bdd) SysML :** le diagramme de définition de bloc définit la décomposition hiérarchique du système, les blocs qui sont utilisés dans le diagramme de bloc interne, et leurs relations.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Bloc (block) :** c’est l’élément de base du diagramme.  • Il permet de représenter tout élément matériel, logiciel, abstrait.  • Il peut comporter plusieurs compartiments : contraintes (constraints), parties/composants (parts), propriétés (properties), références (references), valeurs (values), opérations (operations), comportements (behavior), …  • Alternativement, des compartiments peuvent aussi être représentés graphiquement avec des relations qui les lient au bloc. |
| *Chemins graphiques définis dans les diagrammes de définition de bloc* | |
|  | **Association de parties/composants (part association) :** cette relation indique que le bloc de niveau supérieur (côté losange plein) est nécessairement composé des blocs de niveau inférieur.  • Le bloc A contient nécessairement les blocs B et C.  • Cette relation permet de représenter la décomposition d’un élément en sous-éléments.  • Cette relation peut être nommée et une multiplicité définie.  • Elle est aussi appelée relation de **contenance** ou de **composition** ou d’appartenance ou d’agrégation forte. |
|  | **Association partagée (shared association) :** cette relation indique que le bloc de niveau supérieur (côté losange vide) peut être composé des blocs de niveau inférieur mais pas obligatoirement.  • Le bloc A peut contenir le bloc B.  • Cette relation peut être nommée et une multiplicité définie.  • Elle est aussi appelée d’agrégation. |
|  | **Généralisation / spécialisation (generalization) :** cette relation indique que le bloc spécialisé (origine de la flèche) hérite de toutes les propriétés du bloc général (côté flèche) et peut éventuellement en posséder d’autres.  • Le bloc B hérite du bloc A. |
|  | **Association :** cette relation indique un lien entre deux blocs.  • Un lien bidirectionnel est représenté par un trait sans flèche.  • Un lien unidirectionnel est représenté par une flèche.  • Il n’y a pas de hiérarchie entre les blocs.  • Cette relation peut être nommée et une multiplicité définie. |

**E) Diagramme de bloc interne (internal block diagram – ibd) SysML :** le diagramme de bloc interne décrit la structure interne du système et les interactions entre les blocs du système. Les blocs sont définis dans le diagramme de définition de bloc.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Bloc (block) :** c’est l’élément de base du diagramme.  • Il est utilisé dans l’ibd et défini dans le bdd.  • Le bloc est désigné par nom : type où type est le nom du bloc défini dans le bdd. |
| *Chemins graphiques définis dans les diagrammes de bloc interne* | |
|  | **Connecteur (connector) :** un connecteur relie deux blocs.  • Il peut être nommé.  • Un connecteur bidirectionnel est représenté par un trait continu.  • Un connecteur unidirectionnel est représenté par une flèche.  • Il n’y a pas de hiérarchie entre les blocs.  • Une multiplicité peut être définie. |

**F) Ports et flux :** les mêmes notations sont utilisées pour le bdd et l’ibd.

• SysML identifie deux modèles d'utilisation pour les ports : les ports « proxy » et les ports « complets ».

• Les ports qui ne sont ni proxy ni complet sont simplement appelés « ports ».

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Port :** un port est un point de connexion auquel des entités externes peuvent se connecter et interagir avec le bloc.  • Les fonctionnalités disponibles pour les entités externes via des connecteurs aux ports sont spécifiées par des propriétés.  • Les fonctionnalités peuvent être des propriétés de flux, des fins d'association, des opérations, des réceptions, ... |
|  | **Ports avec propriétés de flux (flow properties) :** les propriétés de flux spécifient les types d'éléments qui peuvent circuler entre un bloc et son environnement, qu'il s'agisse de données, de matériaux ou d'énergie. |
|  | **Ports proxy (proxy port) :** les ports proxy agissent comme des proxys pour leurs propres blocs ou ses composants internes.  *(Un proxy joue le rôle d'intermédiaire en se plaçant entre deux hôtes pour faciliter ou surveiller leurs échanges.)*  • Les ports proxy définissent la frontière en spécifiant quelles caractéristiques du bloc propriétaire ou des composants internes sont visibles via des connecteurs externes.  • Les ports proxy sont toujours typés par des blocs d'interface (interface block), un type de bloc spécialisé qui n'a aucun comportement ni aucun composant interne. |
|  | **Port complet (full port) :** les ports complets définissent la frontière avec leurs propres caractéristiques. |
|  | **Flux d'éléments (item flow) :** les flux d'éléments spécifient ce qui « circule » entre les blocs et / ou les composants dans un contexte d'utilisation particulier, alors que les propriétés de flux spécifient ce qui « entre » ou « sort » d'un bloc.  • Un flux d'éléments est représenté par une pointe de flèche noire sur le connecteur ou l'association. La pointe de la flèche est dirigée vers la cible.  • Pour un flux d'éléments avec une propriété d'élément, l'étiquette affiche le nom et le type de la propriété d'élément (nom: type). Sinon, le flux est étiqueté avec le nom du classificateur des éléments.  • Lorsque plusieurs flux d'éléments ayant la même direction sont représentés, un seul triangle est affiché et la liste des flux d'éléments, séparés par une virgule, est présentée. |

**G) Condensateur – Relations entre les grandeurs physiques :**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Grandeurs* | *Unités* |  | *Relations* | *Unités* |
| Charge électrique | Coulomb  C |  |  |  |
| Tension | Volt  V |  |  |  |
| Intensité électrique | Ampère |  | si alors |  |
| Capacité | Farad |  | si alors, on en déduit : |  |

**H) Conversion analogique numérique :**

• La **résolution analogique** ou **quantum** est la plus petite variation du signal analogique qu’un CAN linéaire peut détecter ou qu’un CNA linéaire peut produire. A ce quantum de la grandeur analogue correspond le LSB du nombre.

• La **plage pleine échelle** et le quantum sont reliées par :

où est le nombre de valeurs représentables par un codage donné. Pour un codage binaire, où est le nombre de bits.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Abrév.* | *Signification anglaise* | *Signification française* |
| FSR (PPE) | Full Scale Range | Plage Pleine Echelle |
| LSB | Least Significant Bit | Bit le moins significatif |
| MSB | Most Significant Bit | Bit le plus significatif |
| ADC (CAN) | Analog to Digital Converter | Convertisseur Analogique Numérique |
| DAC (CNA) | Digital to Analog Converter | Convertisseur Numérique Analogique |

## 4ème partie : exercices

### Exercice 1 : diagramme sans état composite dans « gestion\_leds »

Le diagramme états-transitions SysML de la « Machine d’état technologique » est rappelé ci-après. On envisage de programmer le microcontrôleur STM32 à partir de ce diagramme mais sans transition d’achèvement , et sans les états composites « eclairage\_jets\_d\_eau » et « rouge\_clignotant ». Dessinez le diagramme états-transitions souhaité.

### Exercice 2 : ajout d’une séquence de couleur de début de douche

Hydrao a ajouté une séquence de couleurs de début de douche : bleu, blanc, rouge, chaque couleur durant environ une seconde. En cas d’arrêt d’écoulement d’eau pendant cette séquence de début de douche, puis d’une reprise de l’écoulement, la séquence de couleurs de début de douche est entièrement recommencée. Le reste du fonctionnement reste inchangé. Modifiez en conséquence le diagramme états-transitions SysML dessiné à l’exercice précédent.

Rappel du diagramme états-transitions SysML de la « Machine d’état technologique » :

