



HAL
open science

Spécification système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle

Frédérique Mayer, Jean-Marc Dupont, Fabien Bouffaron, Romain Lieber,
Gérard Morel

► **To cite this version:**

Frédérique Mayer, Jean-Marc Dupont, Fabien Bouffaron, Romain Lieber, Gérard Morel. Spécification système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle. 3e Journées de l'Automatique du GDR MACS, JAMACS 2018, Nov 2018, Nantes, France. hal-01954565

HAL Id: hal-01954565

<https://hal.science/hal-01954565v1>

Submitted on 13 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Spécification Système d'interactions physico- physiologiques de perception sensorielle

Mayer Frédérique, Maître de conférences, ERPI EA 3767, Université de Lorraine

Dupont Jean-Marc, Consultant, Maître de conférences associé, CRAN UMR 7039, Université de Lorraine

Bouffaron Fabien, Docteur de l'Université de Lorraine, Ingénieur Système R&D Airbus

Lieber Romain, Docteur d'Université de Lorraine, Ingénieur Amélioration Continue Airbus

Morel Gérard, Professeur des Universités, CRAN UMR 7039, Université de Lorraine

RESUME

Présentation orale du chapitre 2 de l'ouvrage « Défis de l'automatisation des systèmes sociotechniques » édité par Vanderhaegen Frédéric, Maaoui Choubeila, Sallak Mohamed, Berdjag Denis aux éditions ISTE, à paraître en 2019.

La capacité de résilience d'un système sociotechnique est un exemple d'exigence multi-domaines [VAN 17] [LEV 17] qui trouve sa justification dans le rôle de l'Humain dans la boucle de contrôle pour faire face à priori à l'inattendu en situation opérationnelle [GAL 06] [BOY 11]. Par ailleurs, le constat récurrent de défaillances systémiques à postériori [BOA 13] [BOY 14] interpelle sur ce qui rend tangible cette cohésion (*togetherness*, chapitre 7 de [BOA 08]) d'un « Tout » composé de « Parties » naturelles - Physiques et Humaines - et Artificielles. Il y a dès lors consensus quant à la nécessité de combiner à priori les domaines de connaissance multidisciplinaire d'ingénierie centrée respectivement Humain et Technique [RUA 15] pour satisfaire des exigences sociotechniques dans un système-projet. Nous postulons que la tangibilité de l'interaction « Artefact - Humain » doit être assurée physiquement pour que la fonctionnalité technique abordée soit bien perçue par un humain afin de bien agir par détour [BER 09] en situation opérationnelle. Le contexte de notre cas d'étude (Diapositive 32) illustre cette exigence-système en émulant de façon plausible une situation de conduite « Artefact-Humain » d'un procédé industriel critique par la nature « Physique » de la « matière-énergie circulante » à contrôler qui peut être source exogène de phénomènes « émergents ».

Plutôt que de proposer un cadre intégratif combinant les domaines concourants d'ingénierie avec leurs spécialistes associés, nous proposons, en section 2 de ce chapitre, l'orchestration simplexe [BER 09] d'une connaissance interdisciplinaire au jalonnement d'un système-projet. Nous limitons ce cadre général d'« Ingénierie centrée Système » à la spécification d'un système de réponse à la situation système ciblée. Les fondements scientifiques de la cohésion « système » visée s'appuie sur la nature physico-physiologique des interactions de perception sensorielle en tant que condition nécessaire, bien que non suffisante, d'action en situation opérationnelle. La formalisation de cette interaction fonctionnelle combine en section 3 des éléments de connaissances de physiologie intégrative [CHA 95] et de perception-action [BER 06] afin de spécifier les exigences de perception auditive de notre cas d'étude.

Le résultat de la spécification de l'interaction physico-physiologique de perception auditive ciblée est un modèle exécutable vérifié qui fait l'objet en section 4 d'une validation système par orchestration concourante avec un ensemble de modèles exécutés dans leurs

environnements de modélisation respectifs. Au-delà de perspectives exploratoires quant à la co-spécification exécutable de modèles centrés technique et humain en ingénierie-système [BOY 14], ces travaux mettent en évidence une condition nécessaire de tangibilité physique entre les objets hybrides constitutifs de systèmes cyber-physiques dont le déploiement ne doit pas se limiter comme couramment à la seule nature numérique des interactions.

La table des matières ainsi que les diapositives ci-dessous illustrent le contexte système de notre cas d'étude basé sur des modèles (exécutables) de la spécification d'une interaction physico-physiologique de perception sensorielle [BOU 16].

TABLE DES MATIERES

2.1. INTRODUCTION

2.2. SPECIFICATION D'UNE SITUATION-SYSTEME D'INTERACTION DE PERCEPTION SENSORIELLE

2.2.1. Eléments de connaissance multidisciplinaire en Ingénierie-Système

2.2.1.1. Ingénierie Centrée Technique

2.2.1.2. Ingénierie Centrée Humain

2.2.2. Eléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie-Système

2.2.2.1. Orchestration centrée système de la connaissance multidisciplinaire

2.2.2.2. Spécification centrée système basée sur des modèles

2.2.3. Spécification d'une situation-système d'intérêt

2.2.3.1. Eléments de compréhension multidisciplinaire d'une situation ciblée

2.2.3.2. Spécification descriptive de la situation ciblée

2.2.3.3. Spécification Prescriptive de la situation-système ciblée

2.2.3.3.1. Spécification multidisciplinaire

2.2.3.3.2. Spécification interdisciplinaire

2.3. SPECIFICATION CENTREE PHYSIOLOGIE D'UNE INTERACTION DE PERCEPTION SENSORIELLE

2.3.1. Eléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique

2.3.1.1. Théorie Mathématique de la Physiologie Intégrative

2.3.1.2. Représentation d'une interaction fonctionnelle de perception/action sensorielle

2.3.2. Spécification prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée

2.3.2.1. Eléments de compréhension multidisciplinaire physico-physiologique

2.3.2.2. Spécification interdisciplinaire d'exigences physico-physiologiques

2.4. SPECIFICATION CENTREE SYSTEME D'UNE INTERACTION DE PERCEPTION SENSORIELLE

2.4.1. Spécification du Système d'Intérêt ciblé

2.4.1.1. Eléments de connaissance multidisciplinaire de l'architecture système ciblée

2.4.1.2. Spécification interdisciplinaire de l'artefact de conduite ciblé

2.4.2. Spécification multidisciplinaire d'un modèle exécutable de l'interaction auditive ciblée

- 2.4.2.1. Spécification prescriptive
- 2.4.2.2. Vérification de la spécification

- 2.4.3. Spécification interdisciplinaire du modèle exécutable de l'interaction auditive ciblée
 - 2.4.3.1. Eléments de connaissance multidisciplinaire en spécification exécutable basée sur des modèles
 - 2.4.3.2. Validation-système de la spécification

2.5 Conclusion et perspectives

BIBLIOGRAPHIE

- [BER 06] BERTHOZ, A. *Phénoménologie et physiologie de l'action*, Paris, Odile Jacob, 2006
- [BER 09] BERTHOZ A. *La Simplexité*. Odile Jacob Editions
- [BOY 11] BOY, G. A., *The handbook of human-machine interaction: a human-centered design approach*. Ashgate Publishing, 2011
- [BOY 14] BOY, G. A., NARKEVICIUS, J. M. Unifying human centered design and systems engineering for human systems integration. *Complex Systems Design & Management*, Springer151-162, 2014.
- [BOA 08] BOARDMAN J., SAUSER B., *Systems thinking: Coping with 21st century problems*, CRC Press, 2008.
- [BOA 13] BOARDMAN, J., SAUSER, B. *Systemic thinking : building maps for worlds of systems*. John Wiley & Sons, 2013.
- [BOU 16] BOUFFARON F., *Co-spécification système exécutable basée sur des Modèles. Application à la conduite interactive d'un procédé industriel critique*. Doctorat de l'Université de Lorraine, 2016.
- [CHA 95] CHAUVET, G. *La Vie dans la Matière : le rôle de l'espace en biologie*. Nouvelle Bibliothèque Scientifique, Flammarion, Paris, 1995.
- [GAL 06] GALARA D., *Roadmap to master the complexity of process operation to help operators improve safety, productivity and reduce environmental impact*. *Annual Reviews in Control*, 30 (2), 215-222, 2006.
- [LEV 17] LEVALLE R.R., NOF S.Y. *Resilience in supply networks: definition, dimensions, and levels*. *Annual Reviews in Control*, 43, 224-236, 2017
- [LIE 13] LIEBER, R.. *Spécification d'exigences physico-physiologiques en ingénierie d'un système support de maintenance aéronautique*. Doctorat de l'Université de Lorraine, 2013 (confidentiel 5 ans).

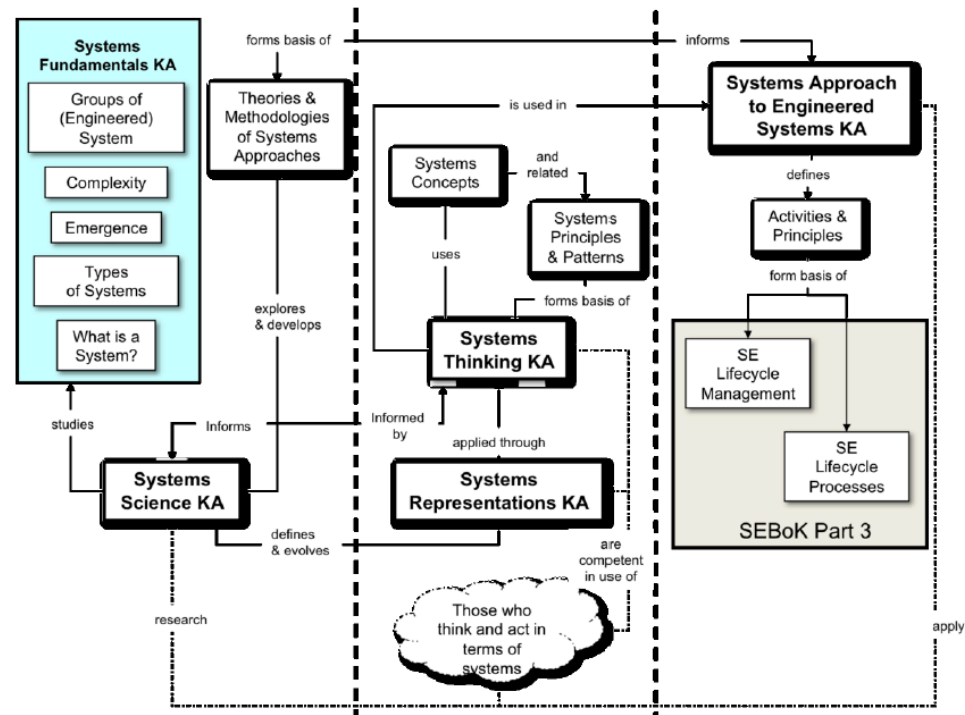
[RUA 15] RUAULT J.R. *Proposition d'architecture et de processus pour la résilience des systèmes : application aux systèmes critiques à longue durée de vie*. Doctorat de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2015.

[VAN 17] VANDERHAEGEN, F., *Towards increased systems resilience: New challenges based on dissonance control for human reliability in Cyber-Physical&Human Systems*, Annual Reviews in Control, 44, 316-322, 2017

DIAPORAMA

Corpus scientifique de l'Ingénierie Système

- International Council on Systems Engineering (INCOSE, www.incose.org)
 - Association Française d'Ingénierie Système (AFIS, www.afis.fr)



- Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)

Spécification centrée Système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle

La capacité de résilience d'un système sociotechnique est un exemple d'exigence multi-domaines qui trouve sa justification dans le rôle de l'Humain dans la boucle de contrôle pour faire face à priori à l'inattendu en situation opérationnelle.

- Les facteurs humains sont couramment partie prenante de l'ingénierie d'un système technique, principalement lors des études d'opérationnalité et en retour d'expériences.

Par ailleurs, le constat récurrent de défaillances systémiques à postériori interpelle sur ce qui rend tangible cette cohésion (togetherness) d'un « Tout » composé de « Parties » naturelles - Physiques et Humaines - et Artificielles.

- ⊙ **Il y a consensus quant à la nécessité de combiner à priori les domaines de connaissance multidisciplinaire d'ingénierie centrée respectivement Humain et Technique pour satisfaire des exigences sociotechniques dans un système-projet.**
- ◆ **Nous postulons que la tangibilité de l'interaction « Artefact - Humain » doit être assurée pour que la fonctionnalité technique affordée soit bien perçue par un humain pour bien agir par détour en situation opérationnelle.**

Éléments de connaissance multidisciplinaire

◆ **Nous postulons que la tangibilité de l'interaction « Artefact - Humain » doit être assurée pour que la fonctionnalité technique affordée soit bien perçue par un humain pour bien agir par détour en situation opérationnelle.**

– Centrée Humain :

- H. Rex Hartson : Affordance sensorielle comme condition nécessaire mais non suffisante
- Gilbert Chauvet : Théorie Mathématique de la Physiologie Intégrative (MTIP)
- Alain Berthoz : Simplicité et Physiologie de l'Action

– Centrée Technique :

- Harold "Bud" Lawson : Relation de couplage entre situation-système et système de réponse
- Michael Jackson : Approche des *Problem frames*

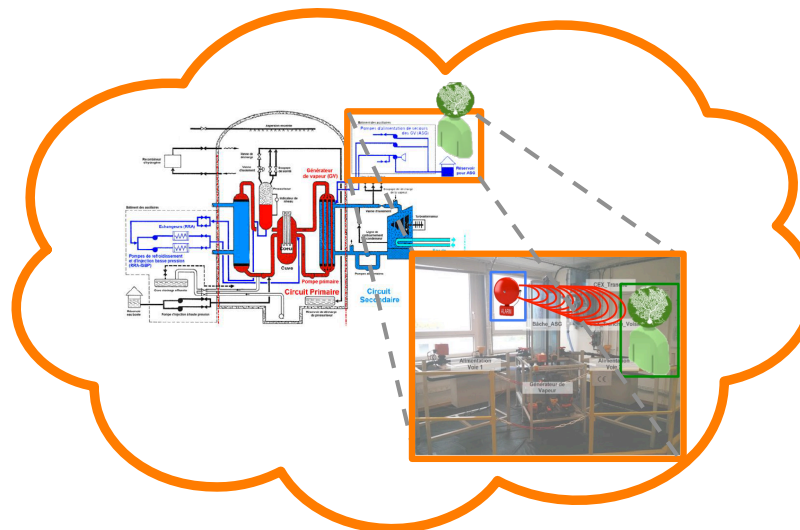
– Centrée Système :

- Joëlle Zask, Mica R. Endsley : Connaissance de la situation
- Robert Rosen : Décodage et encodage d'une situation-système

Situation d'intérêt de perception sensorielle

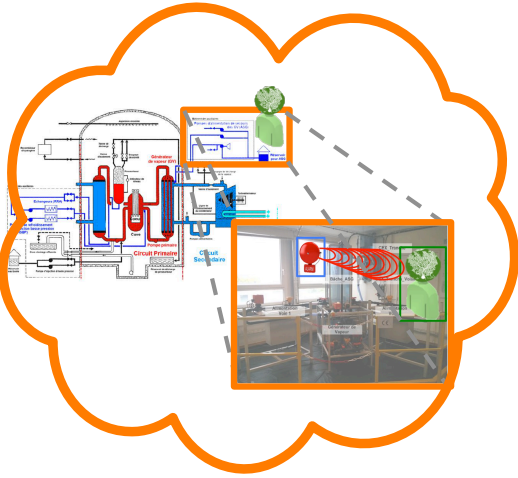

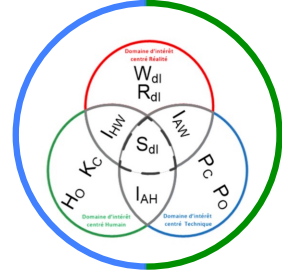
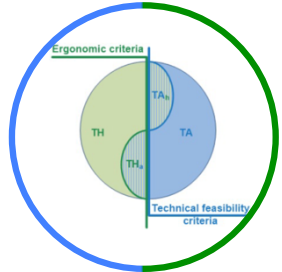
Nos travaux portent sur une situation **sociotechnique d'interaction « Artefact-Humain »** sollicitant la **perception auditive** d'une alarme sonore par un opérateur humain qui, bien que non suffisante, est une condition nécessaire **de la bonne perception de ce signal qualifié d'affordance sensorielle** pour assurer une fonction élémentaire de sûreté d'un procédé industriel critique.

Cette **situation d'intérêt** est **une situation de conduite d'Alimentation Secours des Générateurs de Vapeur (ASG)** est mise en service au déclenchement de l'alarme prévenant d'une situation d'exploitation dégradée du procédé industriel critique.



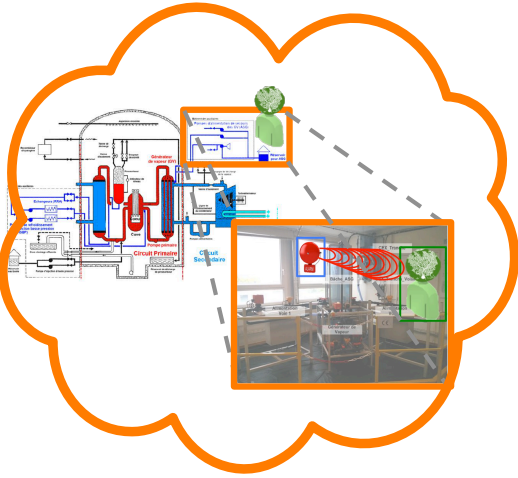

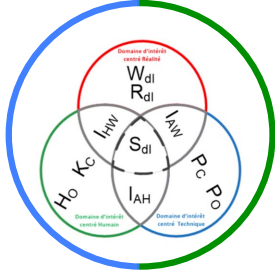
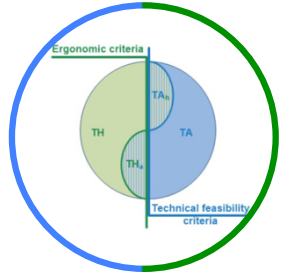
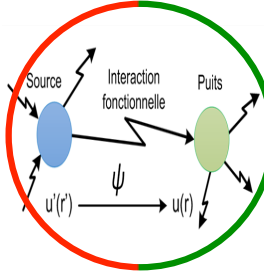
Éléments de connaissance multidisciplinaire

- Il y a consensus quant à la nécessité de combiner à priori les domaines de connaissance multidisciplinaire d'ingénierie centrée respectivement Humain et Technique pour satisfaire des exigences sociotechniques dans un système-projet.

Domaine de la réalité	{→ ←}	Domaine de la connaissance	
		Multidisciplinaire	
 <p style="text-align: center;"><i>Plate-forme d'expérimentation CISPI du CRAN - Emulation du procédé ASG</i></p>		 <p style="text-align: center;">Modèle AUTOS de G. Boy</p>	 <p style="text-align: center;">Modèle de référence d'un système socio-technique de J. Hall et L. Rapanotti</p>  <p style="text-align: center;">Modèle de décision de partage de tâches Homme-Machine de P. Millot, S. Debernard et F. Vanderhaegen</p>



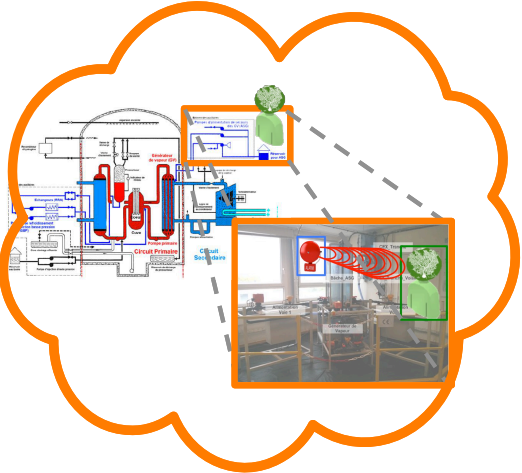
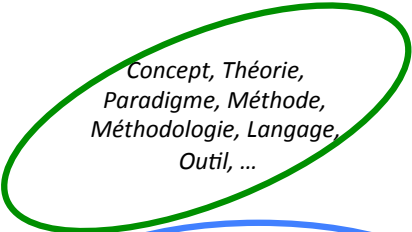
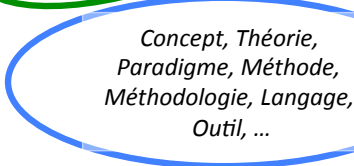
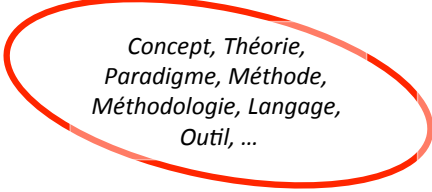
Éléments de connaissance multidisciplinaire

- Il y a consensus quant à la nécessité de combiner à priori les domaines de connaissance multidisciplinaire d'ingénierie centrée respectivement Humain et Technique pour satisfaire des exigences sociotechniques dans un système-projet.

Domaine de la réalité	{ → ← }	Domaine de la connaissance		
		Multidisciplinaire		
 <p data-bbox="322 1201 797 1265"><i>Plate-forme d'expérimentation CISPI du CRAN - Emulation du procédé ASG</i></p>		 <p data-bbox="981 959 1290 991">Modèle AUTOS de G. Boy</p>	 <p data-bbox="1368 959 1733 1058">Modèle de référence d'un système socio-technique de J. Hall et L. Rapanotti</p>	 <p data-bbox="1720 1166 2094 1300">Modèle de décision de partage des tâches Homme-Machine de P. Millot, S. Debernard et F. Vanderhaegen</p>
		 <p data-bbox="1249 1118 1576 1289">L'interaction fonctionnelle comme l'atome élémentaire d'un processus physiologique de G. Chauvet</p>		

Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

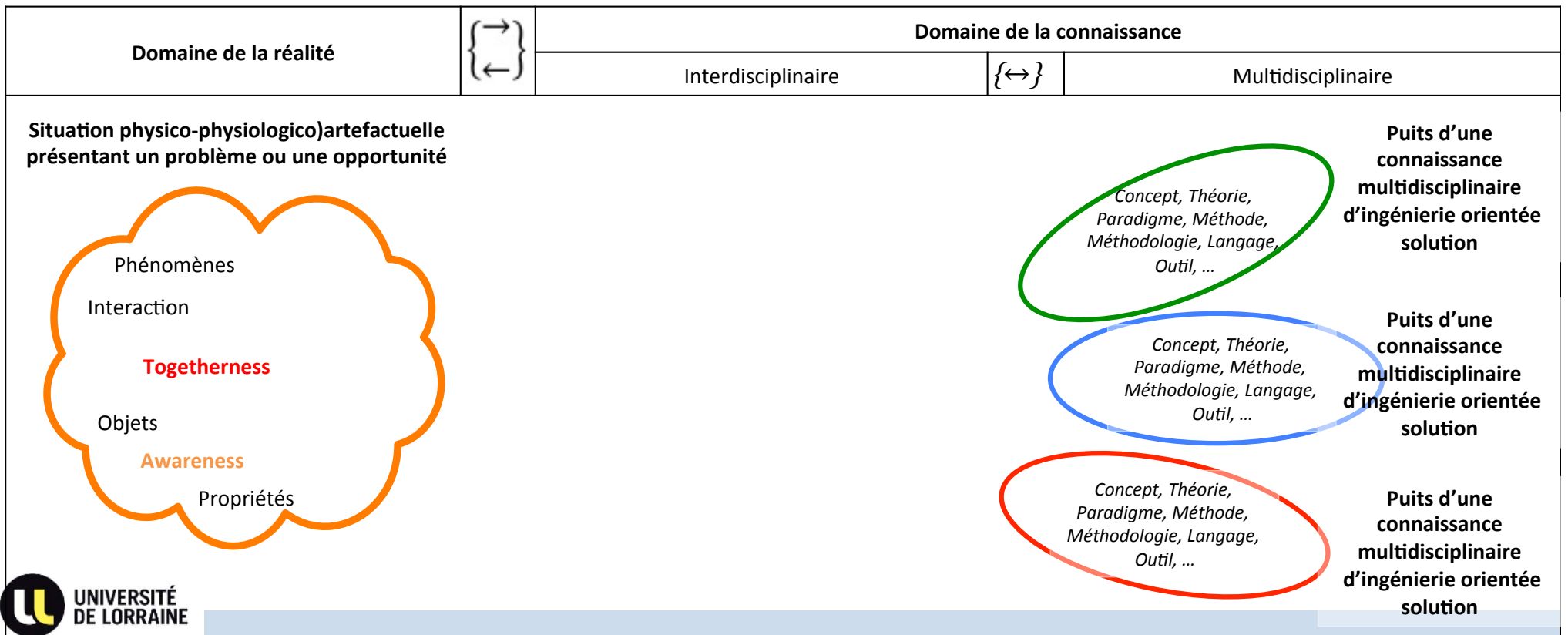
- Que doit on combiner ?

Domaine de la réalité		Domaine de la connaissance		
		Interdisciplinaire		Multidisciplinaire
 <p>Plate-forme d'expérimentation CISPI du CRAN - Emulation du procédé ASG</p>			 <p><i>Concept, Théorie, Paradigme, Méthode, Methodologie, Langage, Outil, ...</i></p>	Puits et source d'une connaissance multidisciplinaire d'ingénierie orientée solution
			 <p><i>Concept, Théorie, Paradigme, Méthode, Methodologie, Langage, Outil, ...</i></p>	Puits et source d'une connaissance multidisciplinaire d'ingénierie orientée solution
			 <p><i>Concept, Théorie, Paradigme, Méthode, Methodologie, Langage, Outil, ...</i></p>	Puits et source d'une connaissance multidisciplinaire d'ingénierie orientée solution

Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

- Comment combiner ?

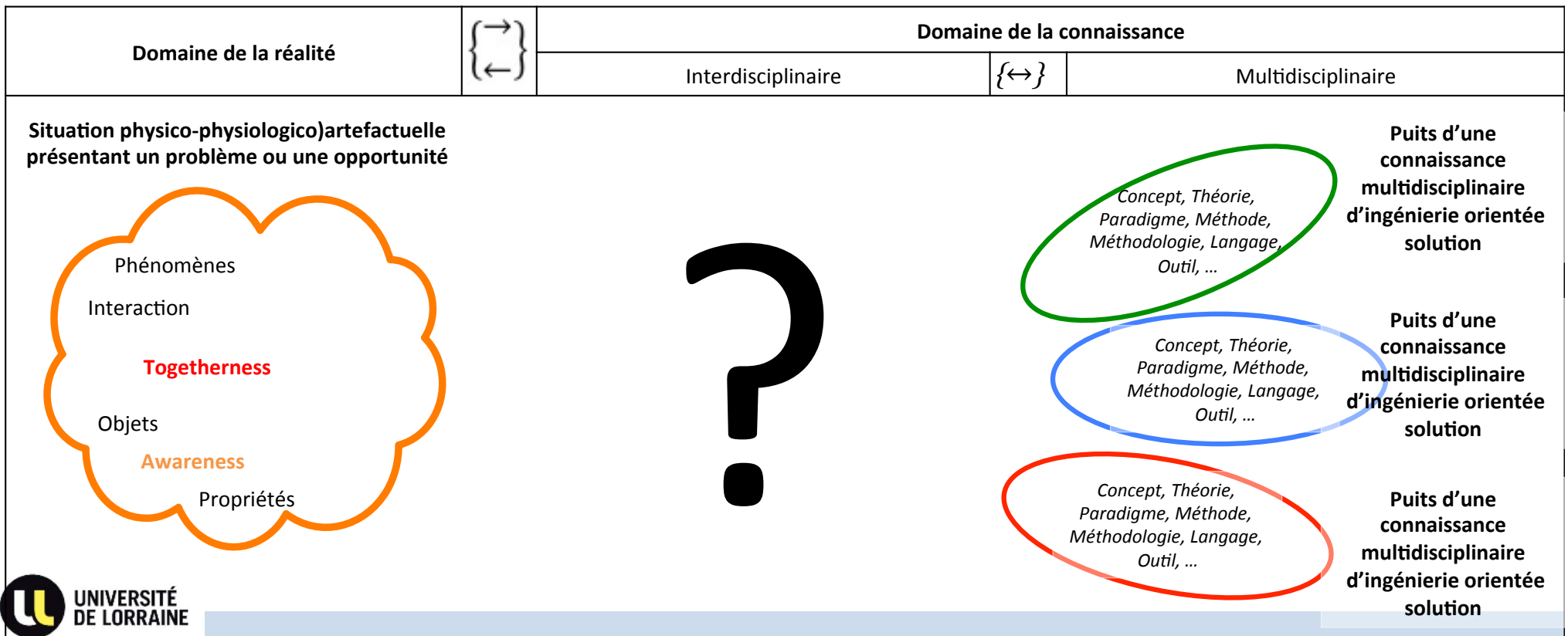
- En ayant conscience (awareness) de la tangibilité de la réalité d'une situation qui est intégrative de la non tangibilité des représentations multidisciplinaires.
- En nous appuyant sur la cohésion (togetherness) phénoménologique des interactions entre objets d'une situation d'intérêt.



Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

- Comment combiner ?

- En ayant conscience (awareness) de la tangibilité de la réalité d'une situation qui est intégrative de la non tangibilité des représentations multidisciplinaires.
- En nous appuyant sur la cohésion (togetherness) phénoménologique des interactions entre objets d'une situation d'intérêt.



Eléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

- « Why do we create man-made systems? » est la question pragmatique posée par H.B. Lawson qui va au delà de la question récurrente de « ce qu'est un système », posée depuis les premiers temps de la « systémologie générale » jusqu'aux travaux les plus récents de la communauté mondiale d'Ingénierie-Système.

Le diagramme de couplage proposé par met en évidence:

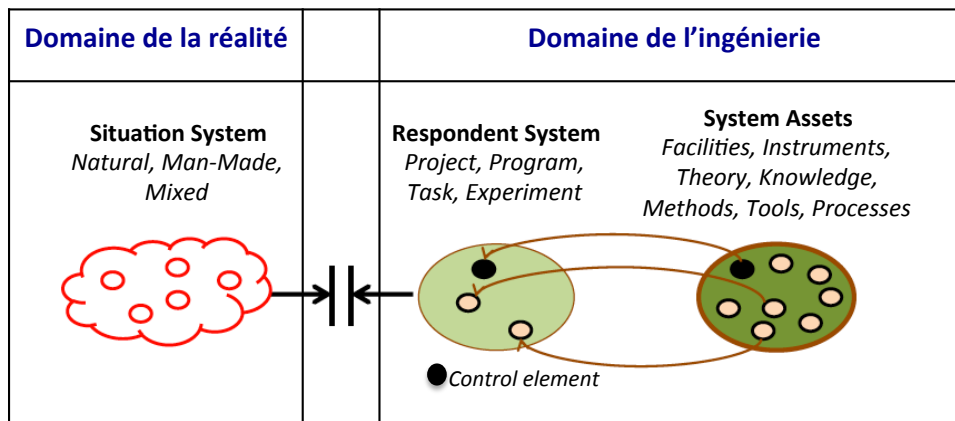
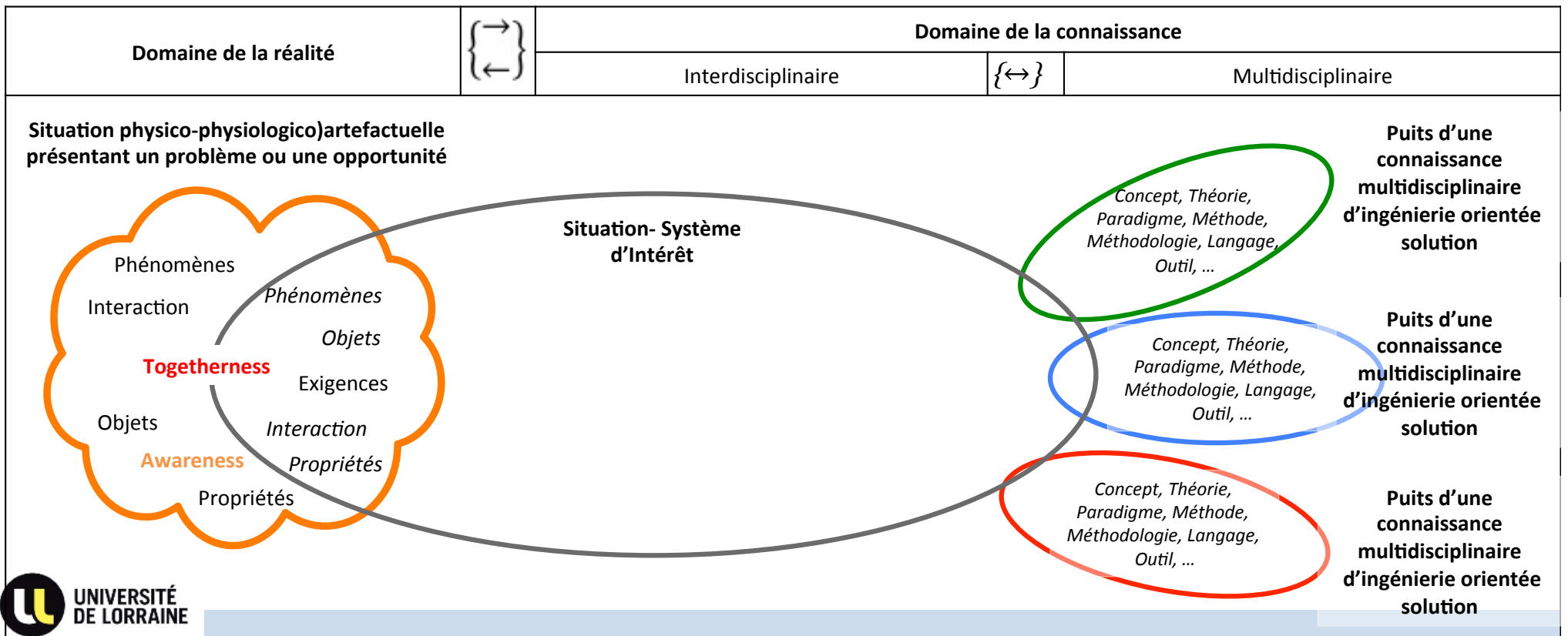


Diagramme de couplage [LAW 10]

- La **situation d'intérêt** justifiant la conception d'un système d'intérêt car présentant un problème requérant une solution ou une opportunité pouvant être exploitée à travers une solution.
- La **boucle de contrôle** qu'un système de réponse pour concevoir un système d'intérêt doit maintenir en regard d'une **situation-système**.
- Le processus récursif et itératif construisant le système de réponse par instanciation d'éléments pertinents de connaissances concernant le système-projet.
- Le « **control element** » organisant le système de réponse.

Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

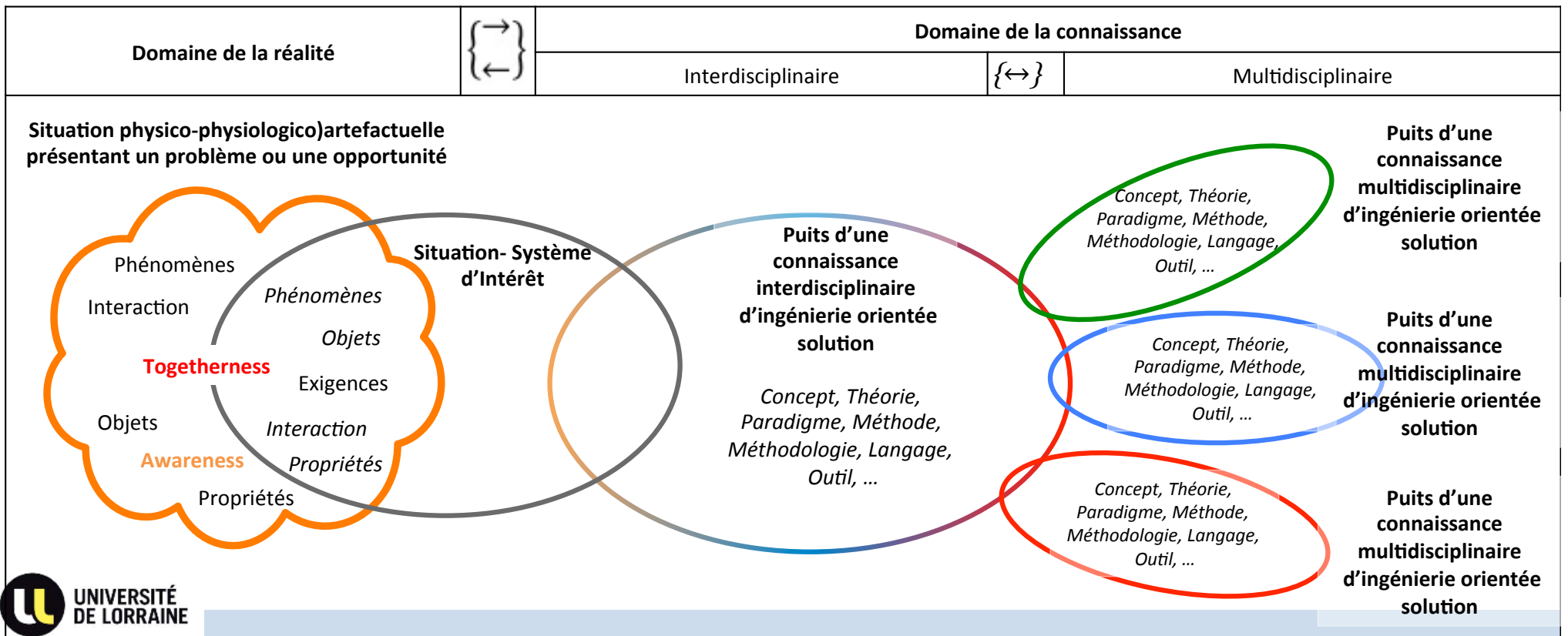
- Comment combiner ?
 - en examinant ce qui doit être contrôlé en « système » en regard de la situation
 - afin d'en conserver au mieux la cohésion



Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

- Comment combiner ?

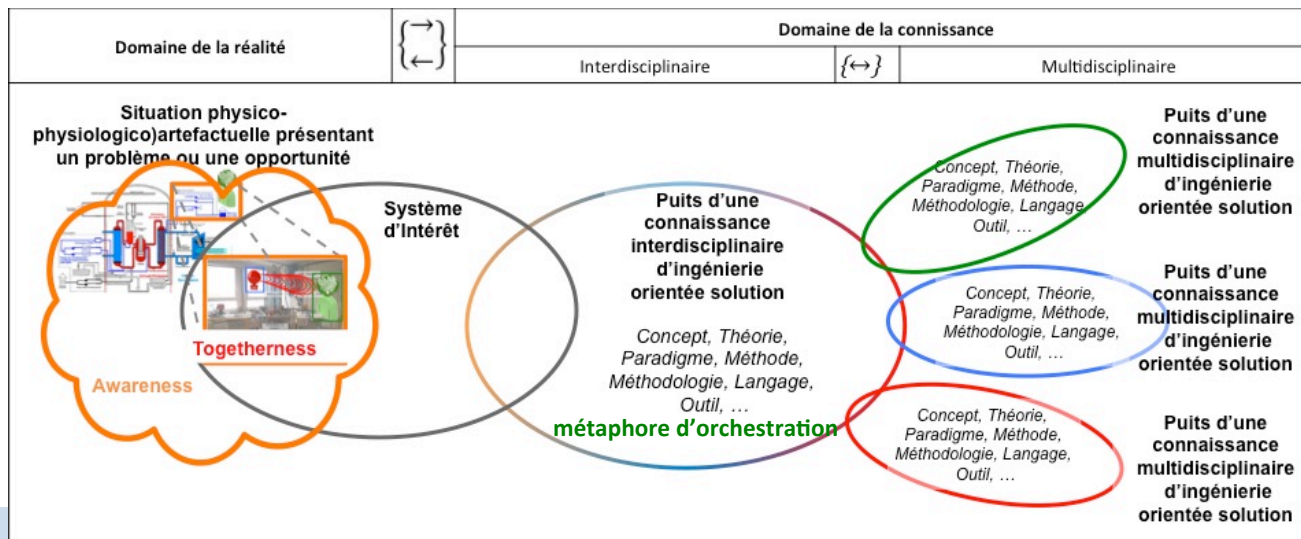
⇒ Par l'orchestration interdisciplinaire centré système en langage SysML de l'essentiel de chaque connaissance PARTIE multidisciplinaire dans son langage spécifique



Éléments de connaissance interdisciplinaire pour une spécification centrée Système de la situation d'intérêt

Postulats de Spécification centrée Système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle

- ◆ La **tangibilité physique de l'interaction sensorielle « Artefact-Humain »** est une condition nécessaire mais non suffisante de la cohésion (*togetherness*) de la situation d'intérêt
- ◆ La **situation-système d'intérêt est intégrative** des actifs de connaissance multidisciplinaire requis pour constituer dynamiquement la connaissance interdisciplinaire apte à satisfaire une spécification d'exigences ciblant la conduite interactive d'un procédé industriel critique.
- ◆ Le **processus cognitif d'orchestration** de la connaissance interdisciplinaire d'un système-projet permet d'assurer la cohésion du travail collaboratif de spécification d'une architecture-système d'aide à la conduite interactive du procédé industriel visé.



Éléments de connaissance interdisciplinaire pour une spécification centrée Système de la situation d'intérêt

⊙ Il y a couramment **confusion entre le processus et le résultat d'une spécification**, limitée le plus souvent à la seule description/prescription de ce qui est espéré à travers la déclinaison de cahiers des charges, par défaut de traduire suffisamment à priori l'encodage/décodage d'une situation-système.

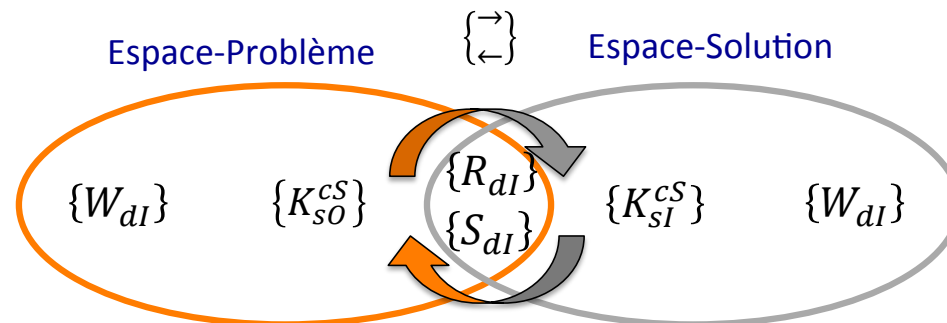
□ Notre exploration de l'approche des *problem frames appliquée* à la spécification en génie logiciel nous permet de poser que :

◆ Le résultat d'un processus d'ingénierie centrée système est une spécification dans un domaine d'intérêt $\{W_{dl}\}$ si une preuve est faite qu'une implémentation de cette solution $\{S_{dl}\}$:

- depuis un espace-solution répondant de connaissance centrée système $\{K_{SI}^{CS}\}$,
- dans l'espace-problème requérant de connaissance opérationnelle centrée situation $\{K_{SO}^{CS}\}$,

satisfait par itérations successives les exigences d'intérêt $\{R_{dl}\}$ selon la relation logique (*entailment*) :

$\{W_{dl}, S_{dl} \vdash R_{dl}\}$ de M. Jackson; $\{W_{dl}, S_{dl} \vdash R_{dl}\}$ de J. Hall *et al.*



Spécification centrée système basée sur des modèles exécutables

- ◆ Notre interprétation cognitive de ces travaux généralise un ensemble de prédicats de couplage entre un espace-problème requérant et un espace-solution répondant selon:
 - ⇒ Spécification descriptive d'exigences orientée-problème selon (3)
 - ⇒ Spécification vérifiée de modèles orientée-solution selon (4)
 - ⇒ Spécification prescriptive de modèles orientée-solution selon (5)
 - ⇒ Spécification validée de modèles orientée-problème selon (6)

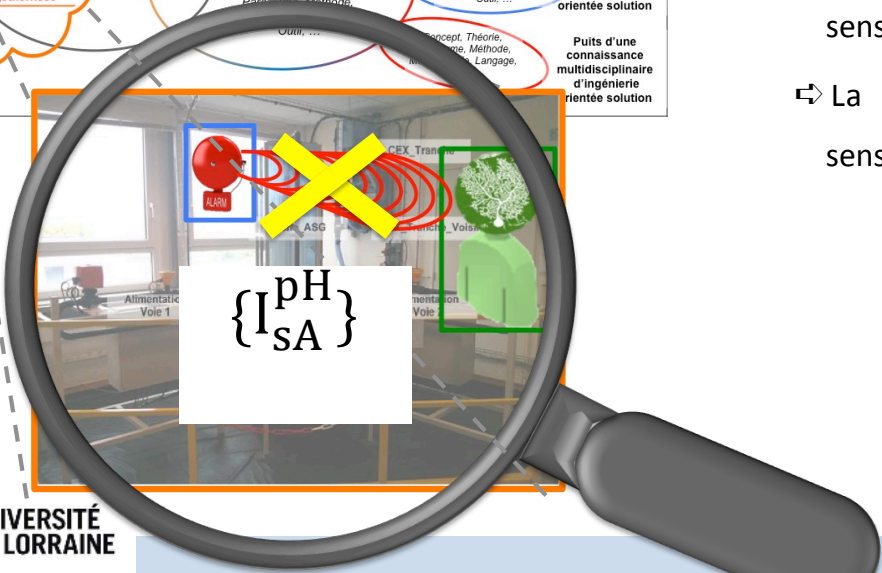
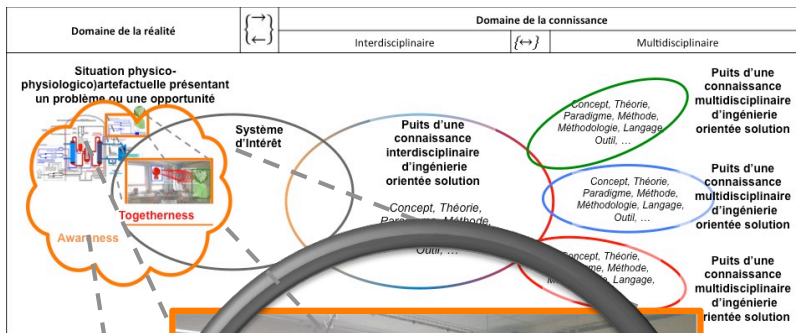
Domaine de la réalité	{ → ← }	Domaine de la connaissance		
		Interdisciplinaire	{↔}	Multidisciplinaire
(3) { $K_{source}^{requérante}$, $R_{Problème}^{descriptive}$ → $K_{puits}^{répondante}$ }		(3) { $K_{source}^{requérante}$, $R_{Problème}^{descriptive}$ → $K_{puits}^{répondante}$ }		(4) { $K_{source}^{répondante}$, $R_{Problème}^{descriptive}$ → $M_{solution}^{vérifiée}$ }
(6) { $K_{source}^{requérant}$, $M_{solution}^{prescriptif}$ ⊨ $R_{Problème}^{descriptive}$ }		(5) { $K_{puits}^{requérante}$ ← $M_{solution}^{prescriptif}$, $K_{source}^{répondant}$ }		

Scénario d'Orchestration interdisciplinaire d'une Spécification centrée Système Basée sur des Modèles multidisciplinaires

Spécification centrée Système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle

En réponse à la sollicitation de l'architecte système $(3) \{ K_{psl}^{cS}, I_{SA}^{pH} \rightarrow K_{psl}^{cSS} \}$ nous présentons :

- ⇒ La spécification de notre situation-système d'intérêt visée par cette étude
- ⇒ La spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle $\{ I_{SA}^{pH} \}$ ciblée par notre étude
- ⇒ La spécification centrée système d'une interaction de perception sensorielle $\{ I_{SA}^{pH} \}$ ciblée par notre étude

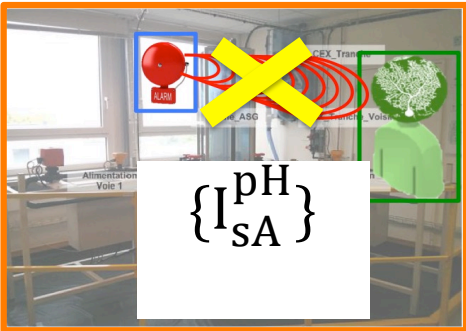




Spécification d'une situation-système d'intérêt

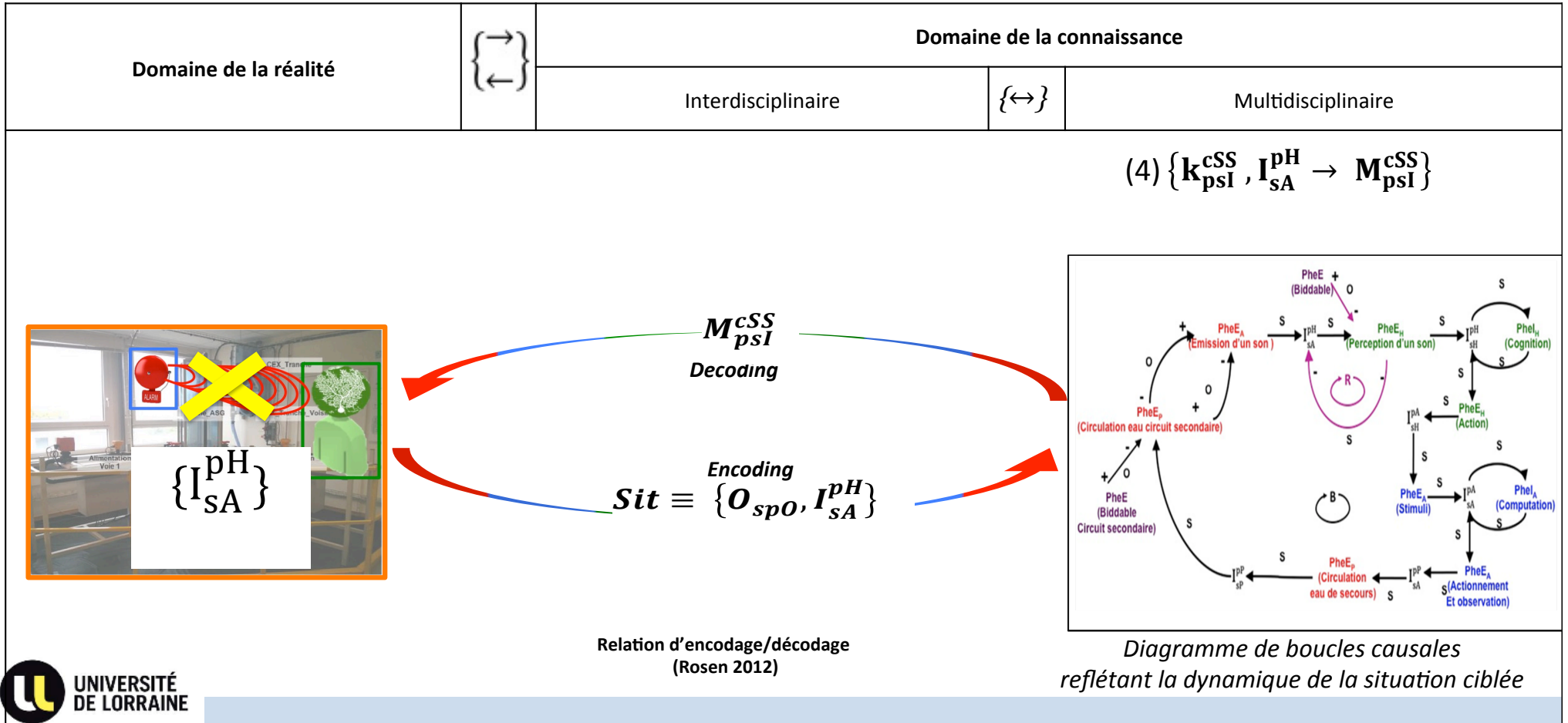
Spécification d'une situation-système d'intérêt

Éléments de compréhension multidisciplinaire d'une situation ciblée

Domaine de la réalité	{ → ← }	Domaine de la connaissance													
		Interdisciplinaire	{↔}	Multidisciplinaire											
$(3) \{K_{sp0}^{cSdl}, I_{SA}^{pH} \rightarrow K_{psi}^{cS}\}$ $(3) \{K_{psi}^{cS}, I_{SA}^{pH} \rightarrow K_{psi}^{cSS}\}$ $\{K_{psi}^{cSS}\} \{\leftrightarrow\} \{k_{psi}^{cSS}\}$															
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 15%;">Concept :</td> <td>Situation</td> </tr> <tr> <td>Théorie:</td> <td>Pensée système</td> </tr> <tr> <td>Modèle:</td> <td>Systemes dynamiques</td> </tr> <tr> <td>Méthode:</td> <td>Ingénierie système basée Sur les modèles</td> </tr> <tr> <td>Méthodologie/Langage :</td> <td>Naturel/boucle causale/ Stock Flux/SysML</td> </tr> <tr> <td>Outil:</td> <td>Stella / IBM Rhapsody</td> </tr> </table>			Concept :	Situation	Théorie:	Pensée système	Modèle:	Systemes dynamiques	Méthode:	Ingénierie système basée Sur les modèles	Méthodologie/Langage :	Naturel/boucle causale/ Stock Flux/SysML	Outil:	Stella / IBM Rhapsody
Concept :	Situation														
Théorie:	Pensée système														
Modèle:	Systemes dynamiques														
Méthode:	Ingénierie système basée Sur les modèles														
Méthodologie/Langage :	Naturel/boucle causale/ Stock Flux/SysML														
Outil:	Stella / IBM Rhapsody														

Spécification d'une situation-système d'intérêt

Spécification multidisciplinaire descriptive de la situation ciblée



Spécification d'une situation-système d'intérêt

Spécification multidisciplinaire prescriptive de la situation-système ciblée

Domaine de la réalité		Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire

$$(4) \{ k_{psi}^{CSS}, I_{SA}^{pH} \rightarrow M_{psi}^{CSS} \}$$

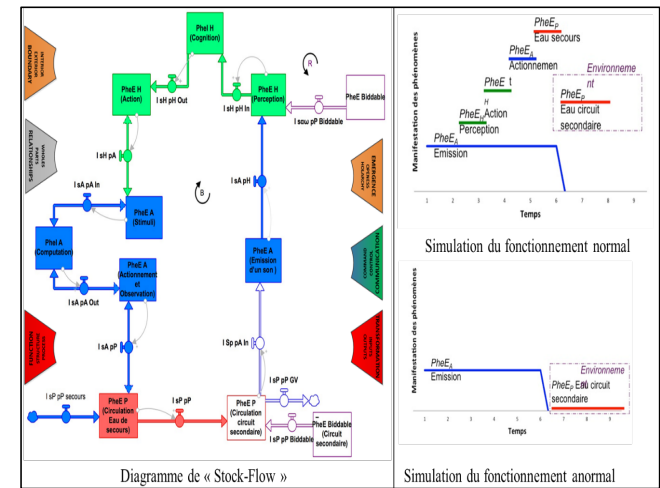
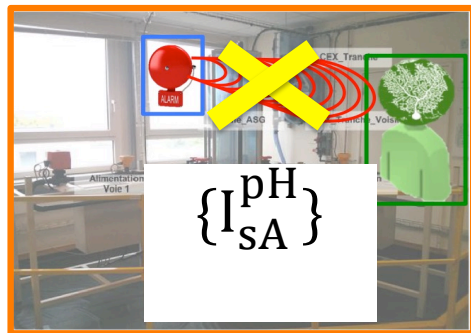


Diagramme stocks flux exécutable vérifiant la dynamique de la situation ciblée

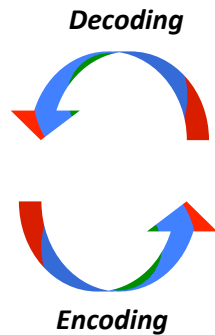
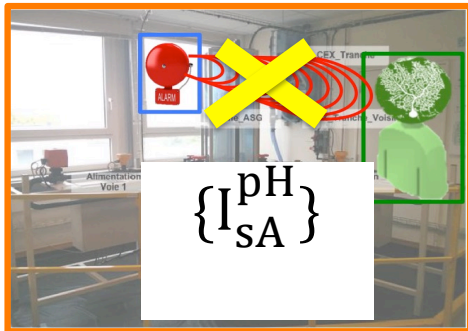
Spécification d'une situation-système d'intérêt

Orchestration interdisciplinaire de la Spécification multidisciplinaire prescriptive de la situation-système ciblée

Domaine de la réalité	$\left\{ \begin{array}{c} \rightarrow \\ \leftarrow \end{array} \right\}$	Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire

$$(6) \{ K_{psi}^{cS}, M_{psi}^{cSS} \Vdash I_{SA}^{pH} \}$$

$$(5) \{ K_{psi}^{cSS} \leftarrow M_{psi}^{cSS}, k_{psi}^{cSS} \}$$



ID	Nom
R _{sl_1} ^{cSS}	Emission d'un son

Spécification descriptive d'exigences physiologique orientée-problème

Le phénomène d'émission doit garantir un bon « écoulement » de l'interaction sensorielle afin de permettre aux opérateurs de terrain concernés de bien percevoir pour bien agir.

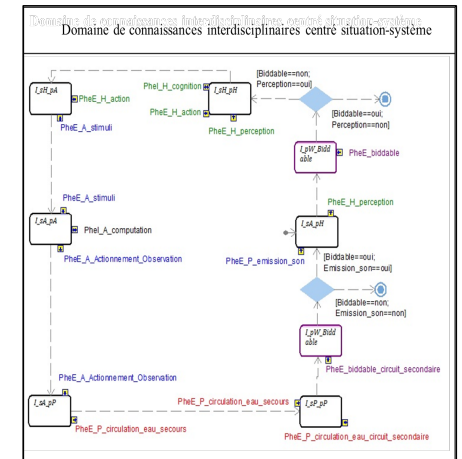



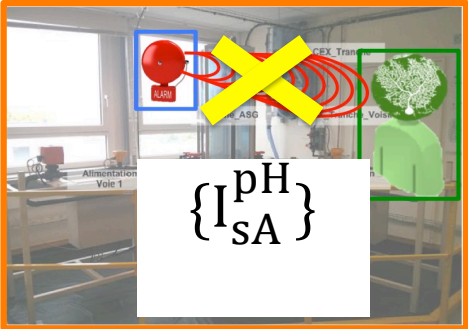
Diagramme d'activité SysML traduisant la dynamique de la situation ciblée



Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

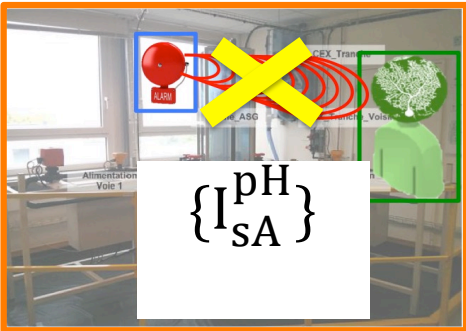
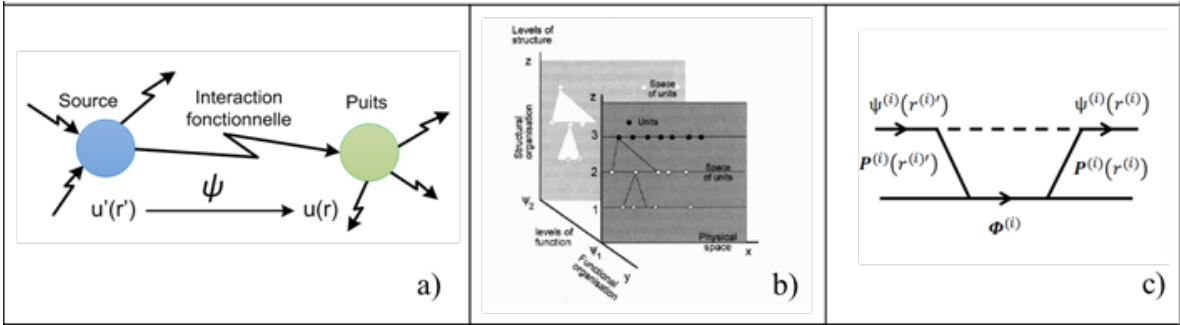
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Éléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique

Domaine de la réalité		Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire
$\{K_{psi}^{ch}\} \leftrightarrow \{K_{psi}^{ch}\}$			
	Affordance : bien percevoir pour bien agir		
	Type d'affordance	Description	Exemple
	Cognitive	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur à savoir quelque chose	Le timbre caractéristique d'une alarme sonore permet de prévenir l'opérateur d'une situation incidentelle ou accidentelle.
	Physique	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur à effectuer une action	Le rythme de l'alarme est le paramètre le plus pertinent pour décrire différentes catégories d'urgence allant de l'alerte à la confirmation d'un évènement [SUI 07]
	Sensorielle	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur à percevoir quelque chose	La puissance sonore d'une alarme permet de caractériser les conditions nécessaires mais non suffisantes de perception de l'alarme. (Section 2.3)
Fonctionnelle	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur à accomplir une procédure de conduite	En situation incidentelle, l'alarme sonore est déclenchée pour alerter l'opérateur de conduite (qui va suivre une procédure de conduite pour rétablir le système dans un état sûr de fonctionnement).	

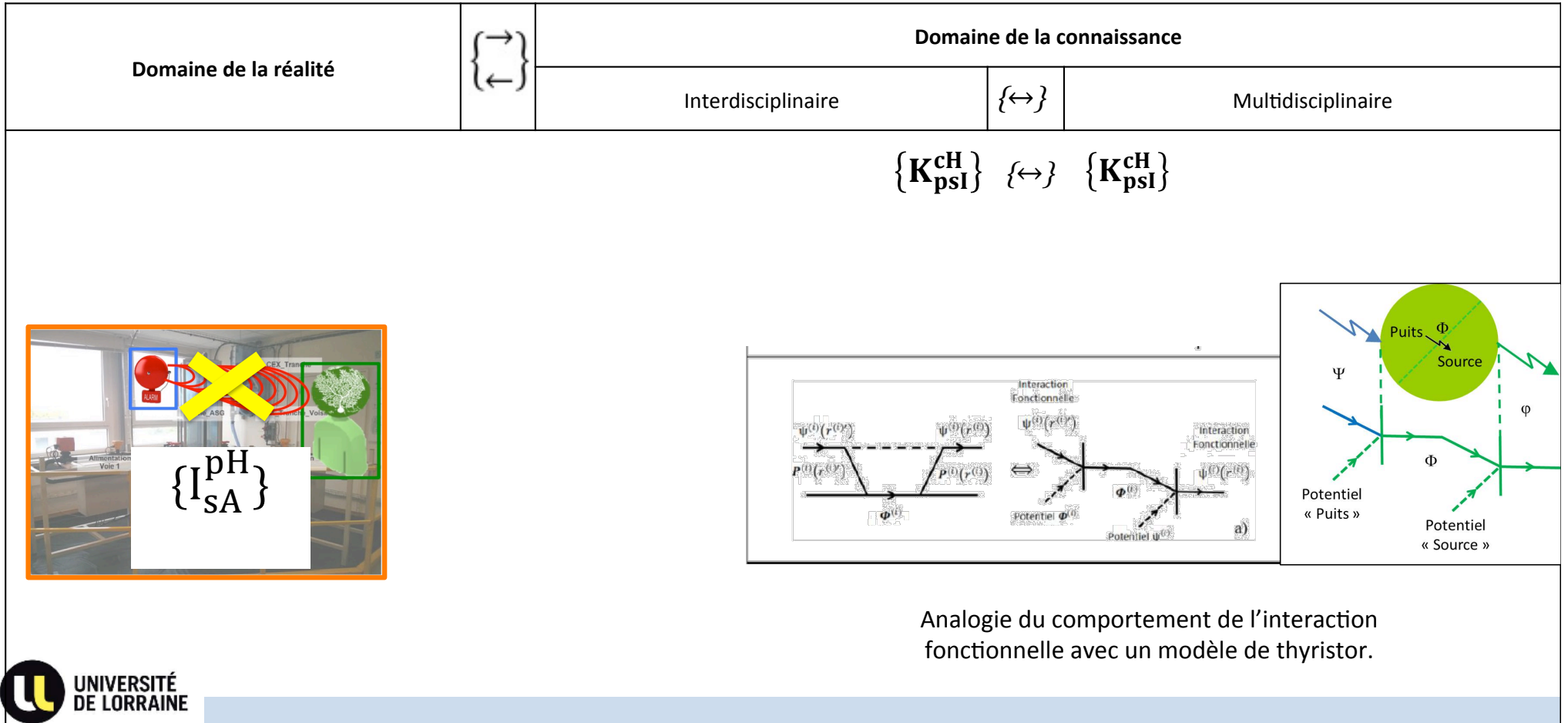
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Éléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique

Domaine de la réalité	$\left\{ \begin{array}{c} \rightarrow \\ \leftarrow \end{array} \right\}$	Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire
		$\{K_{psi}^{ch}\} \leftrightarrow \{K_{psi}^{ch}\}$	
			
			
<p>Éléments de connaissance multidisciplinaire de la Théorie Mathématique de la Physiologie Intégrative (MTIP).</p>			

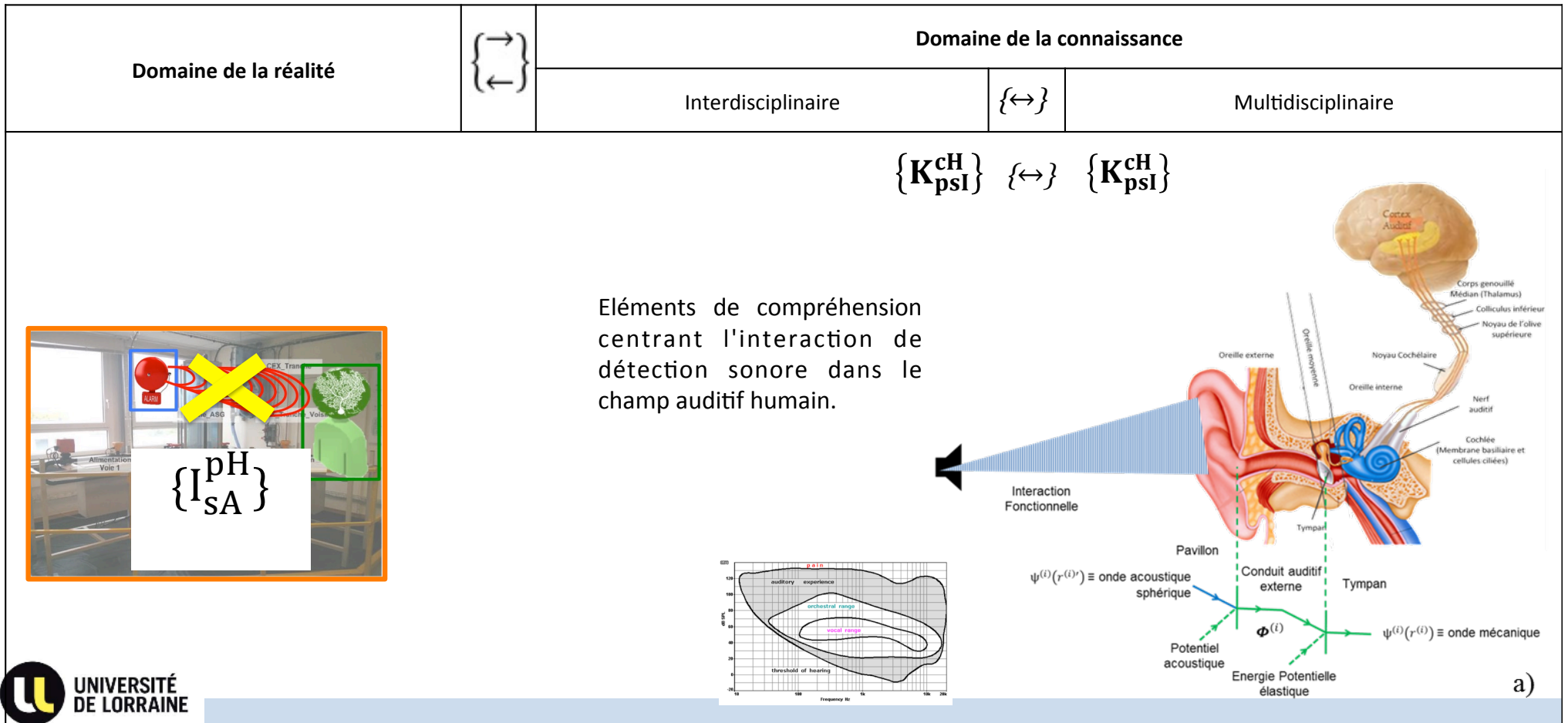
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Éléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique



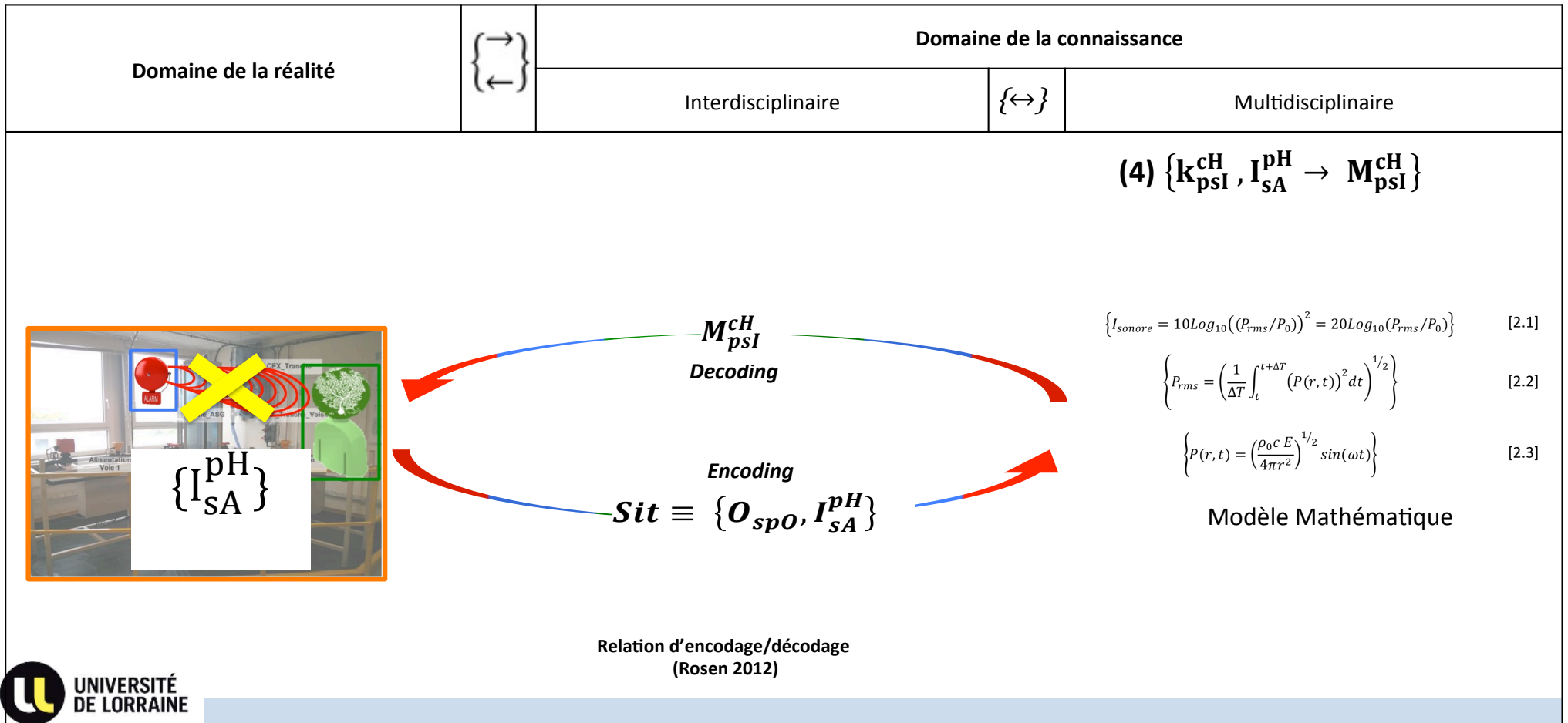
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Éléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique



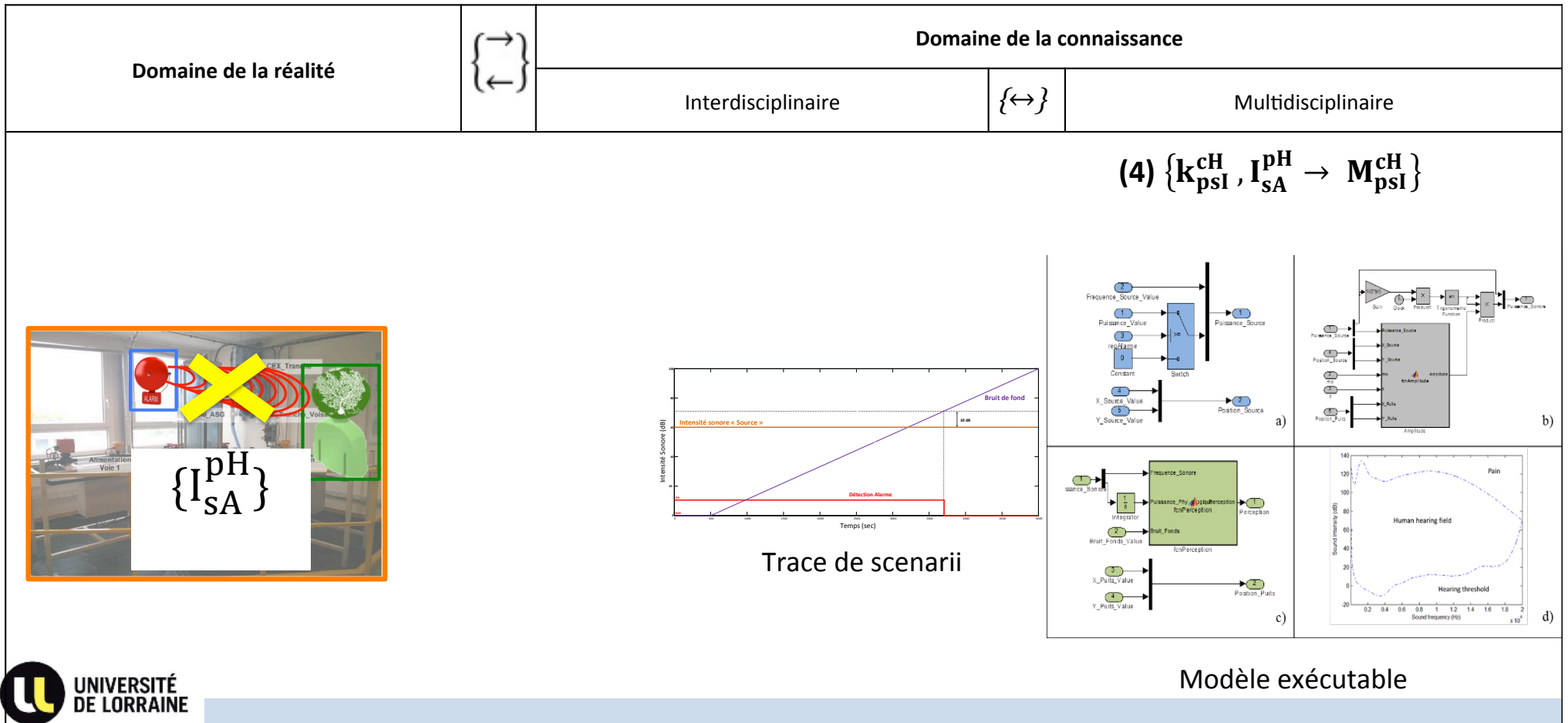
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Spécification multidisciplinaire prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée



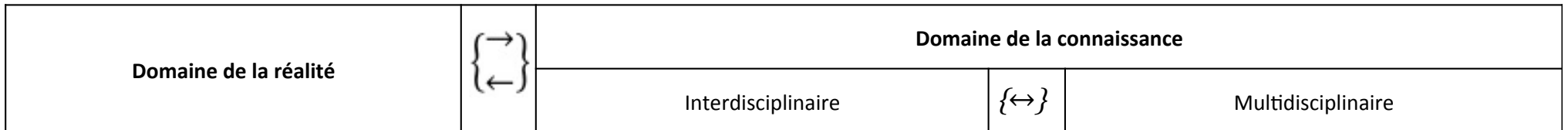
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Spécification multidisciplinaire prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée



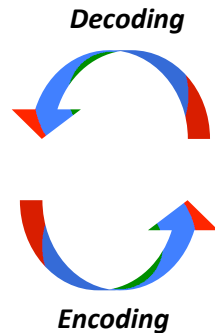
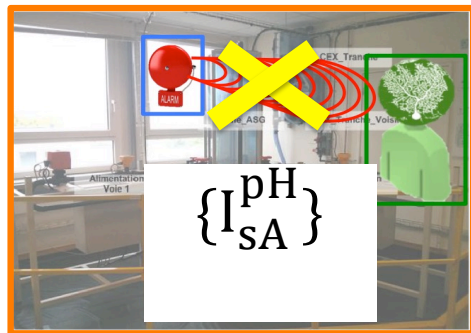
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Orchestration interdisciplinaire de la Spécification multidisciplinaire prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée



$$(6) \{ K_{psi}^{cS}, M_{psi}^{cH} \mid I_{SA}^{pH} \}$$

$$(5) \{ K_{psi}^{cH} \leftarrow M_{psi}^{cH}, k_{psi}^{cH} \}$$



Domaine de connaissance interdisciplinaire centré Humain		
ID	Nom	Spécification descriptive d'exigences physiologique orientée-problème
R _{psi,1} ^{cS}	Emission d'un son	Le phénomène d'émission doit garantir un bon « écoulement » de l'interaction sensorielle afin de permettre aux opérateurs de terrain concernés de bien percevoir pour bien agir.
ID	Nom	Spécification prescriptive d'exigences physiologiques orientée-solution
R _{psi,1.1} ^{cH}	Capacité Physiologique Humain	L'onde de pression reçue au niveau du canal auditif (Isonore) doit satisfaire par son intensité sonore résultante le champ auditif humain (courbe d'audibilité humaine) : HearingRangesMin(w) < Isonore < HearingRangesMax(w)
R _{psi,1.2} ^{cH}	Durée Alarme Sonore	La durée (Delta_T) du son entendu par l'opérateur humain doit être au moins égale à l'inverse de la fréquence (w) du son (considéré comme pur) : DeltaT > 1/w
R _{psi,1.3} ^{cH}	Alignement Anthropométrique Alarme	Les axes anthropométriques de l'opérateur doivent être alignés pour satisfaire le système binaural pour assurer la localisation de la source sonore
R _{psi,2} ^{cH}	Bruits fonds	L'intensité sonore Isonore doit être 10 dB supérieure au niveau sonore ambiant : Isonore-Ibruit > 10 dB
R _{psi,3} ^{cH}	Fréquence Alarme Sonore	La source sonore doit générer une onde sonore de fréquence (w) comprise entre 16 Hz et 20 kHz avec une puissance "sonore" dépendante de la fréquence suffisante

ID	Nom	Spécification prescriptive d'exigences physiologiques orientée-solution
R _{psi,1.1} ^{cH}	Capacité Physiologique Humain	L'onde de pression reçue au niveau du canal auditif (Isonore) doit satisfaire par son intensité sonore résultante le champ auditif humain (courbe d'audibilité humaine) : HearingRangesMin(w) < Isonore < HearingRangesMax(w)
R _{psi,1.2} ^{cH}	Durée Alarme Sonore	La durée (Delta_T) du son entendu par l'opérateur humain doit être au moins égale à l'inverse de la fréquence (w) du son (considéré comme pur) : DeltaT > 1/w
R _{psi,1.3} ^{cH}	Alignement Anthropométrique Alarme	Les axes anthropométriques de l'opérateur doivent être alignés pour satisfaire le système binaural pour assurer la localisation de la source sonore
R _{psi,2} ^{cH}	Bruits fonds	L'intensité sonore Isonore doit être 10 dB supérieure au niveau sonore ambiant : Isonore-Ibruit > 10 dB
R _{psi,3} ^{cH}	Fréquence Alarme Sonore	La source sonore doit générer une onde sonore de fréquence (w) comprise entre 16 Hz et 20 kHz avec une puissance "sonore" dépendante de la fréquence suffisante

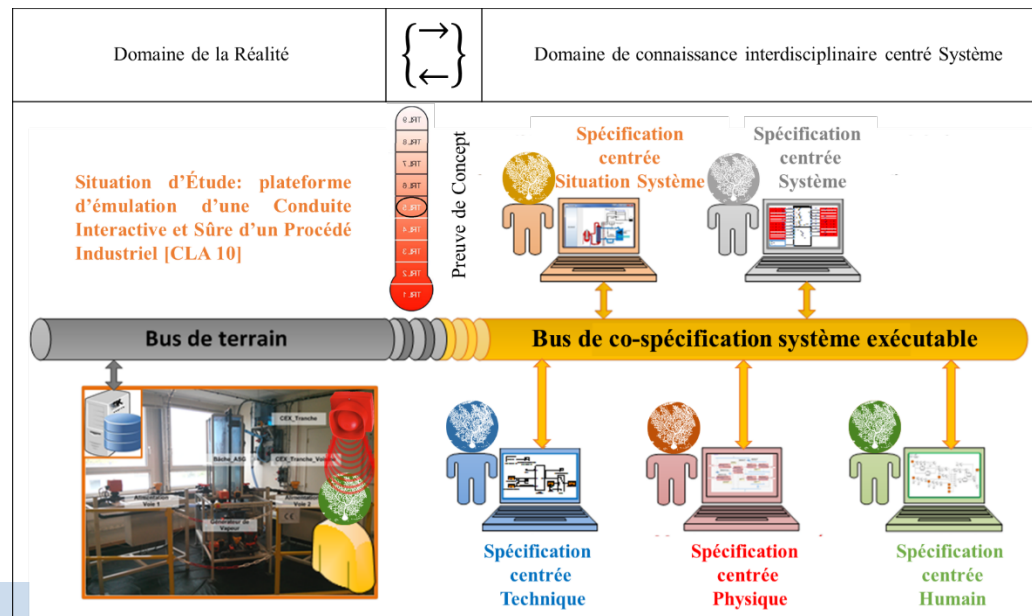


Validation-système de la spécification interdisciplinaire du modèle exécutable de l'interaction auditive ciblée

Co-spécification système exécutable basée sur des Modèles

En conclusion, ces travaux contribuent aux recommandations les plus récentes « ... *to provide Modelling and Simulation from the very beginning of a design project* » (G. Boy dans CSDM'14), y compris pour les facteurs humains.

Cette faisabilité vers l'architecture interactive ciblée se concrétise dans notre cas par l'orchestration d'un ensemble de modèles multidisciplinaires exécutables vérifiés *in silico* (Bus jaune) dans leurs environnements multidisciplinaires respectifs puis *in situ* en couplage avec notre plateforme d'expérimentation (Bus gris). Notons le rôle particulier d'un modèle d'orchestration en SysML qui traduit l'intention de l'architecte-système pour satisfaire la spécification de situation-système en regard des spécifications-métiers.

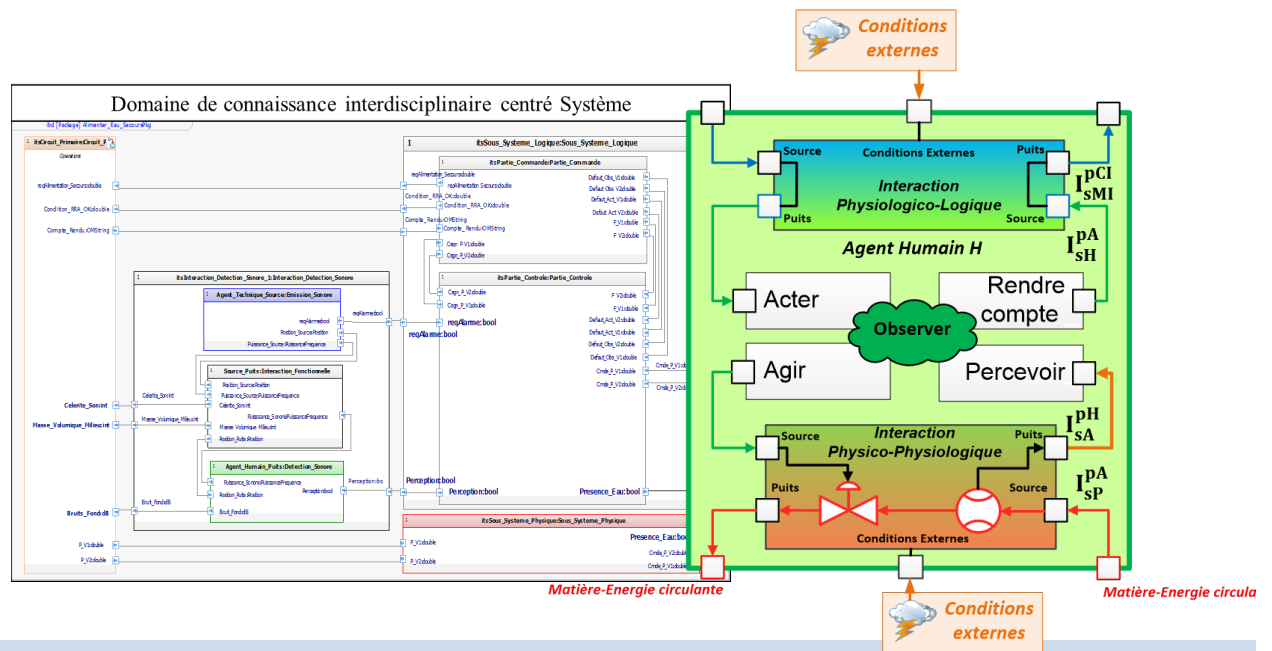


Co-spécification système exécutable basée sur des Modèles

L'architecture-système testée à une échelle de réalité plausible est un modèle multidisciplinaire de « Mesurage Intelligent centré Humain » résultant d'une spécification interdisciplinaire in silico et in situ centrée système satisfaisant la réponse à une situation critique.

Cette architecture-système est le produit de la projection du modèle exécutable centré Humain sur l'architecture logique ciblée.

Domaine de connaissance interdisciplinaire centré Système			
Scénario 1		Scénario 2	
Conditions initiales		Conditions initiales	
Distance Alarme Technique {Source} / Agent Humain {Puits} = 5 mètres	Masse volumique de l'air {Température = 20 °C} = 1,2 kg/m ³	Distance Alarme Technique {Source} / Agent Humain {Puits} = 5 mètres	Masse volumique de l'air {Température = 20 °C} = 1,2 kg/m ³
Célérité du son = 331,5 m/s	Bruit de fond = 90 dB	Célérité du son = 331,5 m/s	Bruit de fond = 90 dB
Puissance Alarme = 0.7 W	Bruit de fond = 90 dB	Puissance Alarme = 1.2 W	Bruit de fond = 90 dB



Conclusion et perspective

Spécification système centrée Humain

- ⇒ *Contribution* : **condition nécessaire mais non suffisante de « togetherness-system » machine-homme**
 - analogie avec un modèle du thyristor
 - Interprétation de travaux en physiologie intégrative de la perception-action
- ⇒ *Perspective* : **condition nécessaire mais non suffisante de tangibilité entre objets physiques, humains et techniques**
 - Cyberphysical system
 - Internet-of-things

Conclusion et perspective

Spécification interdisciplinaire de systèmes multidisciplinaires

⇒ *Contribution* : **métaphore d'orchestration**

- Pour encoder/décoder de façon multidisciplinaire une situation
- pour assurer la « togetherness » de sa représentation système
- Enseignement basée sur une situation de référence
 - Pédagogie inversée « située »
 - Organisation collaborative du système-projet supportée par des environnements dédiés

⇒ *Perspective* :

- Contribution à un chaînon manquant d'une ingénierie centrée système
 - Talon d'Achille de défaillance systémique, par exemple, panne du réseau européen du transport d'électricité de novembre 2006

Cas d'étude pédagogique

