

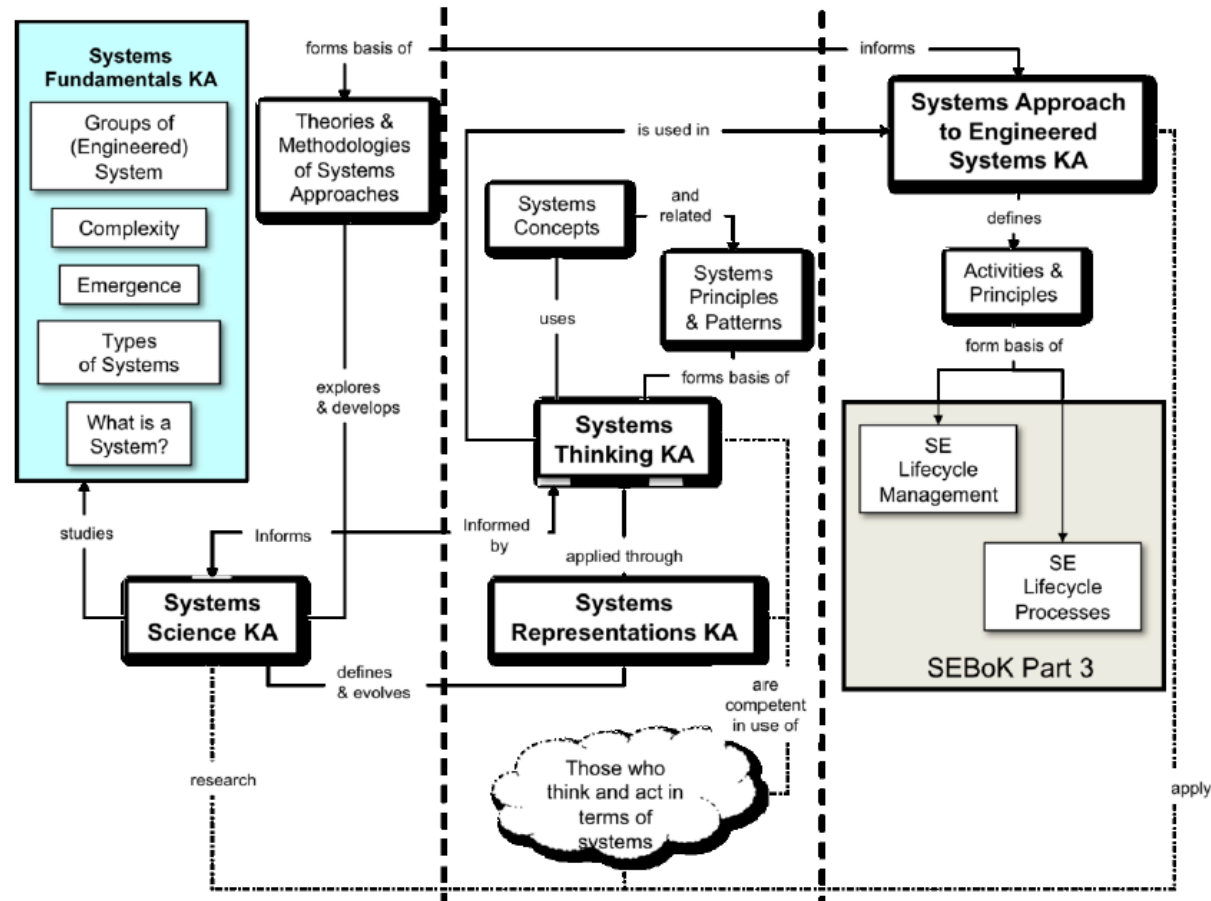
# Chapitre 2 : Spécification centrée Système d'interactions physico-physiologiques de perception sensorielle

## Défis de l'automatisation des systèmes sociotechniques

MAYER Frédérique	Maître de conférences, Université de Lorraine, ERPI EA 3767 Email : <a href="mailto:frederique.mayer@univ-lorraine.fr">frederique.mayer@univ-lorraine.fr</a>
DUPONT Jean-Marc	Maître de conférences Associé, Université de Lorraine, CRAN UMR 7039, <a href="mailto:jean-marc.dupont@univ-lorraine.fr">jean-marc.dupont@univ-lorraine.fr</a> Consultant, Dijon, 21000, France, Email : <a href="mailto:jeanmarcdupont@free.fr">jeanmarcdupont@free.fr</a>
BOUFFARON Fabien	Docteur, Université de Lorraine, CRAN UMR 7039 Ingénieur Système R&D Airbus, Email : <a href="mailto:fabien.bouffaron@airbus.com">fabien.bouffaron@airbus.com</a>
LIEBER Romain	Docteur, Université de Lorraine, CRAN UMR 7039 Ingénieur Amélioration Continue Airbus, Email : <a href="mailto:romain.lieber@airbus.com">romain.lieber@airbus.com</a>
MOREL Gérard	Professeur des Universités en retraite, Université de Lorraine, CRAN UMR 7039 Email : <a href="mailto:gerard.morel@univ-lorraine.fr">gerard.morel@univ-lorraine.fr</a>

# Corpus scientifique de l'Ingénierie Système

- International Council on Systems Engineering (INCOSE, [www.incose.org](http://www.incose.org))
  - Association Française d'Ingénierie Système (AFIS, [www.afis.fr](http://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 soit bien perçue par un humain pour bien agir par détournement en situation opérationnelle.**

◆ Nous postulons que la tangibilité de l'interaction « Artefact - Humain » doit être assurée pour que la fonctionnalité technique abordée 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 : Simplexité 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 :

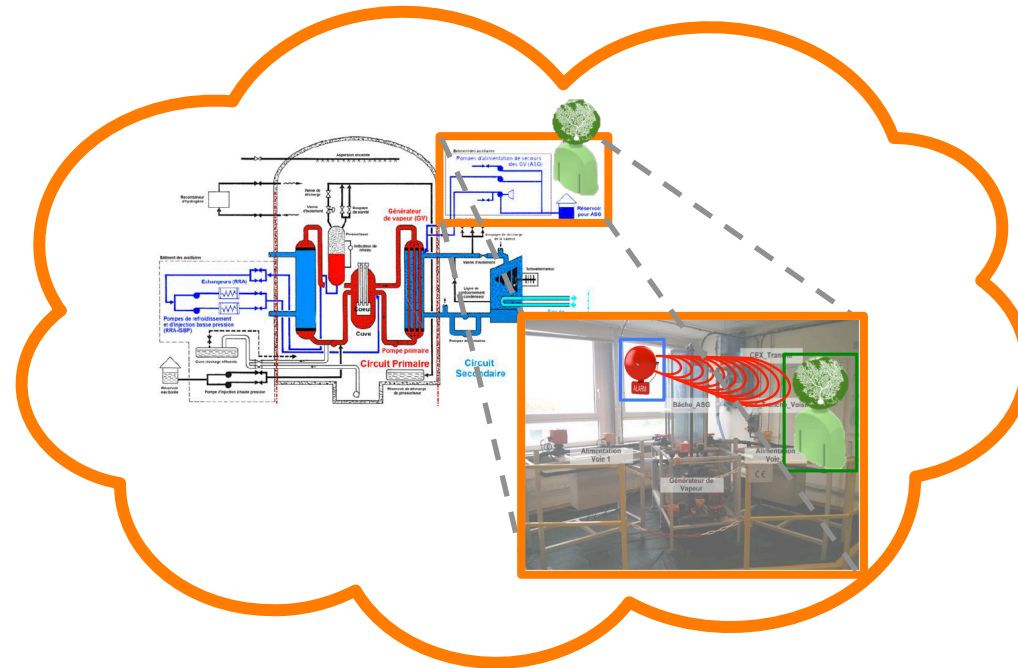
- Joëlle Zask, Mica R. Endsley : Connaissance de la situation
- Robert Rosen : Décodage et encodage d'une situation-système



## Situation d'intérêt de perception sensorielle

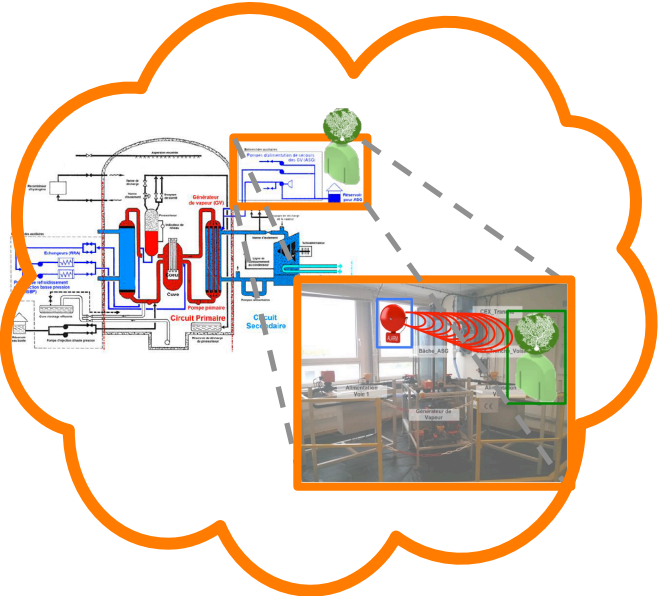

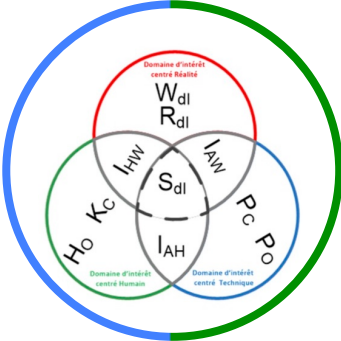
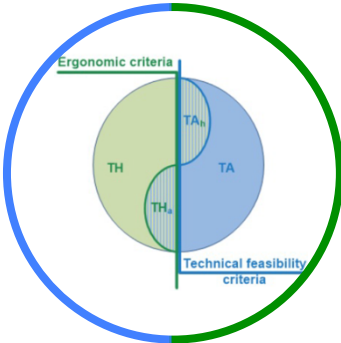
Nos travaux portent sur une situation **sociotechnique d'interaction « Artefact-Humain »** sollicitant la **perception auditive** d'une alarme sonore par un opérateur humain qui, bien que non suffisante, est une condition nécessaire **de la bonne perception de ce signal qualifié d'affordance sensorielle**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



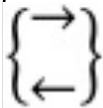
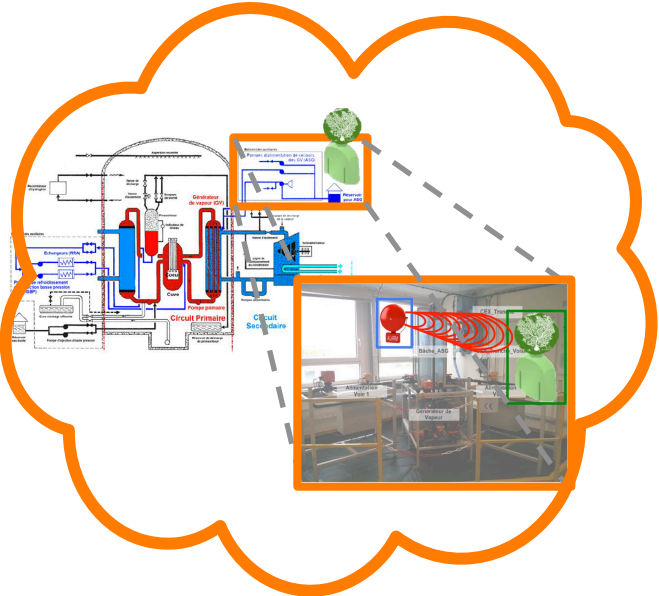

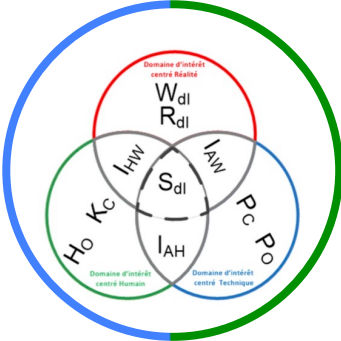
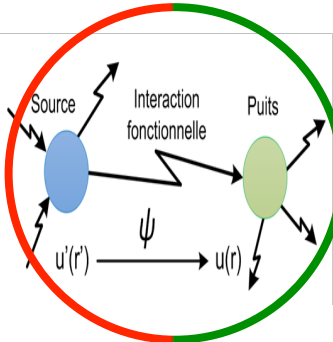
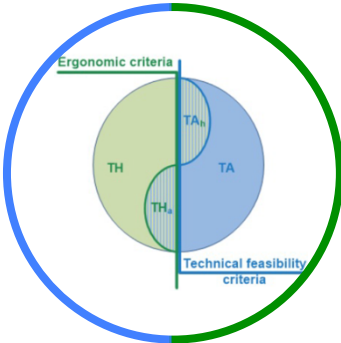
Eléments de connaissance multidisciplinaire

- 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>Plate-forme d'expérimentation CISPI du CRAN - Emulation du procédé ASG</p>		<div><p>Modèle AUTOS de G. Boy</p></div> <div><p>Modèle de référence d'un système socio-technique de J. Hall et L. Rapanotti</p></div> <div><p>Modèle de décision de partage des tâches Homme-Machine de P. Millot, S. Debernard et F. Vanderhaegen</p></div>

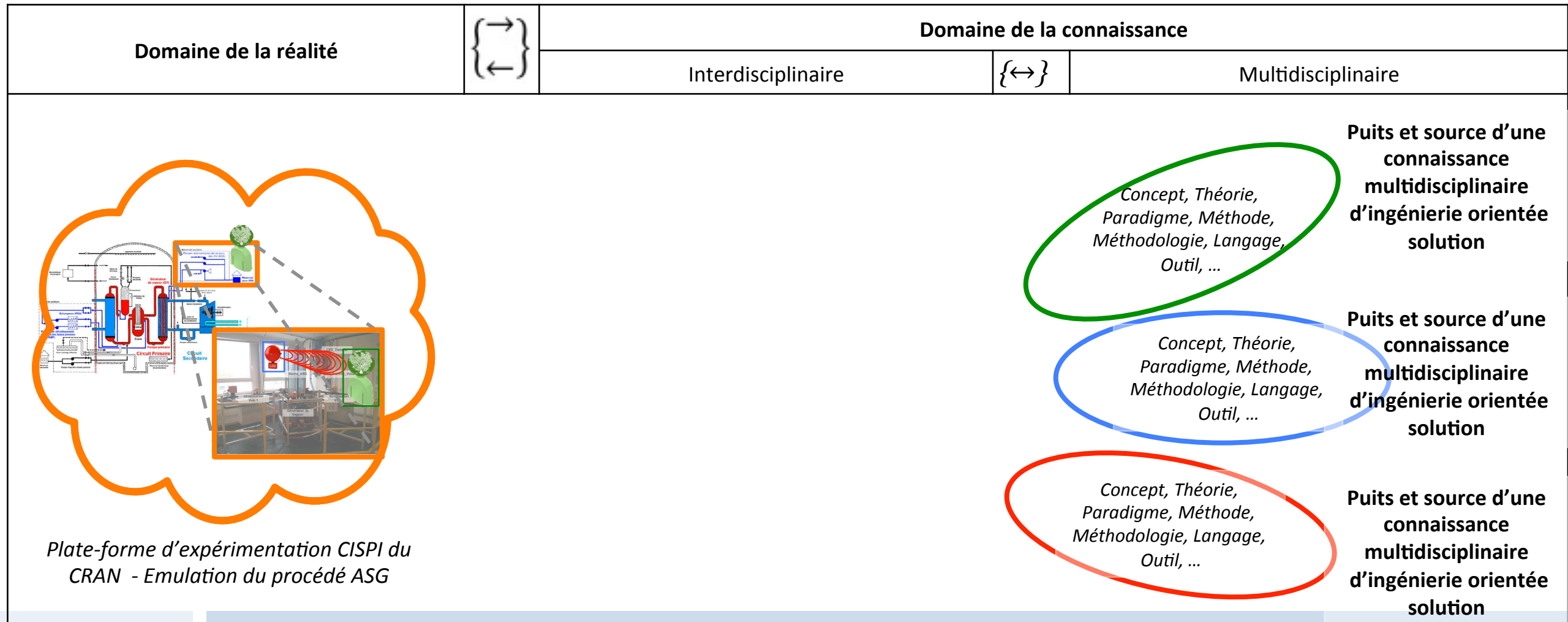
Eléments de connaissance multidisciplinaire

- 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>Plate-forme d'expérimentation CISPI du CRAN - Emulation du procédé ASG</p>		<div><p>Modèle AUTOS de G. Boy</p></div> <div><p>Modèle de référence d'un système socio-technique de J. Hall et L. Rapanotti</p></div> <div><p>L'interaction fonctionnelle comme l'atome élémentaire d'un processus physiologique de G. Chauvet</p></div> <div><p>Modèle de décision de partage des tâches Homme-Machine de P. Millot, S. Debernard et F. Vanderhaegen</p></div>

# Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

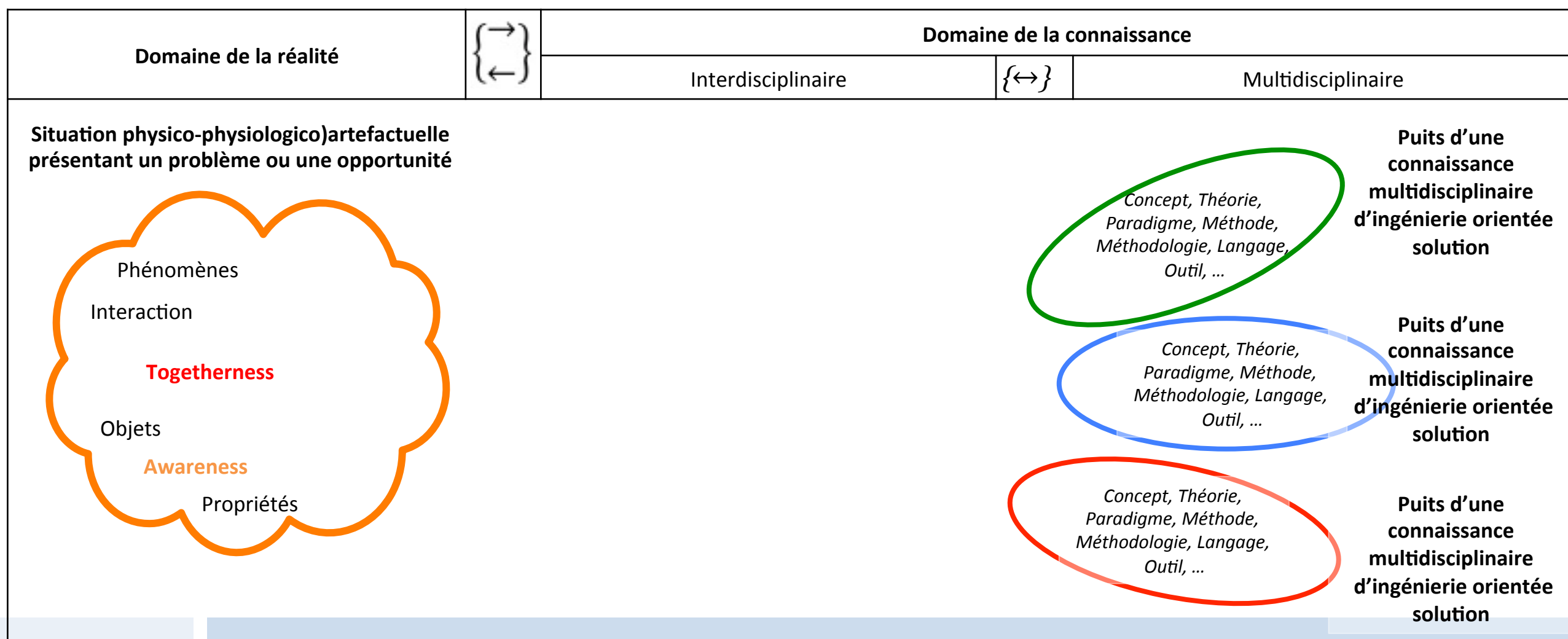
- Que doit on combiner ?



# Eléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

## - Comment combiner ?

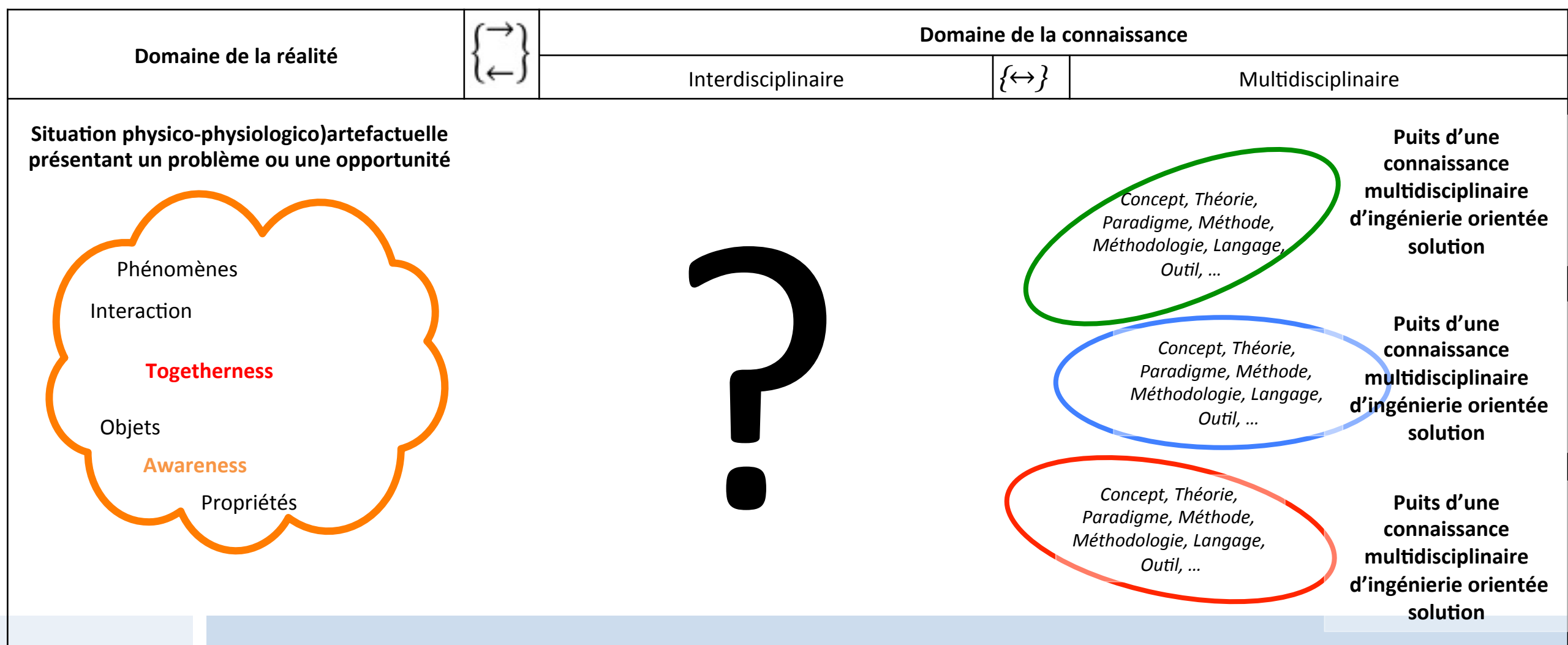
- En ayant conscience (awareness) de la tangibilité de la réalité d'une situation qui est intégrative de la non tangibilité des représentations multidisciplinaires.
- En nous appuyant sur la cohésion (togetherness) phénoménologique des interactions entre objets d'une situation d'intérêt.



# Eléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

## - 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

- ❑ « 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:**

- 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 instantiation d'éléments pertinents de connaissances concernant le système-projet.
- Le « **control element** » organisant le système de réponse.

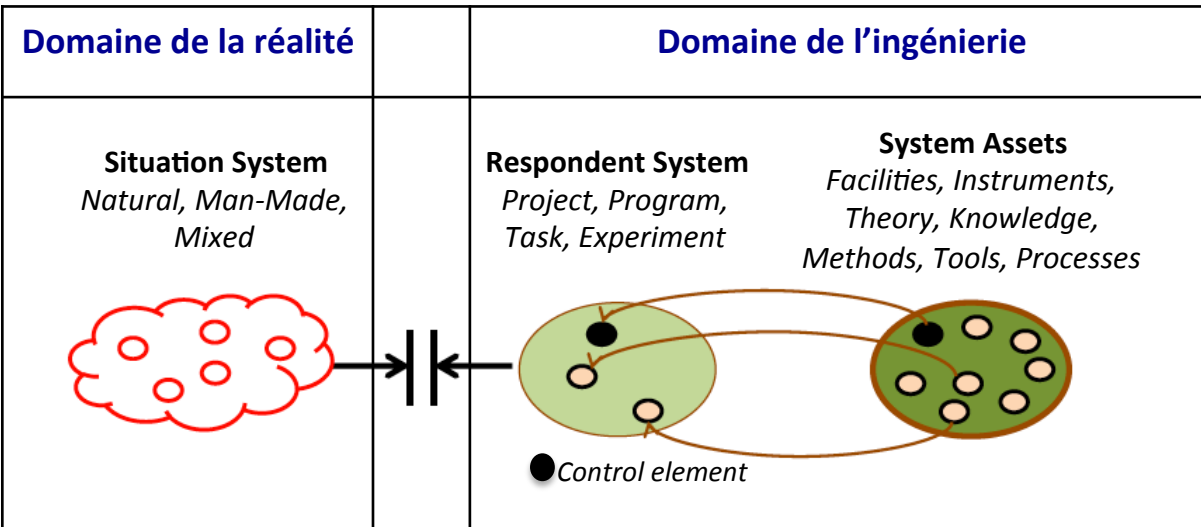


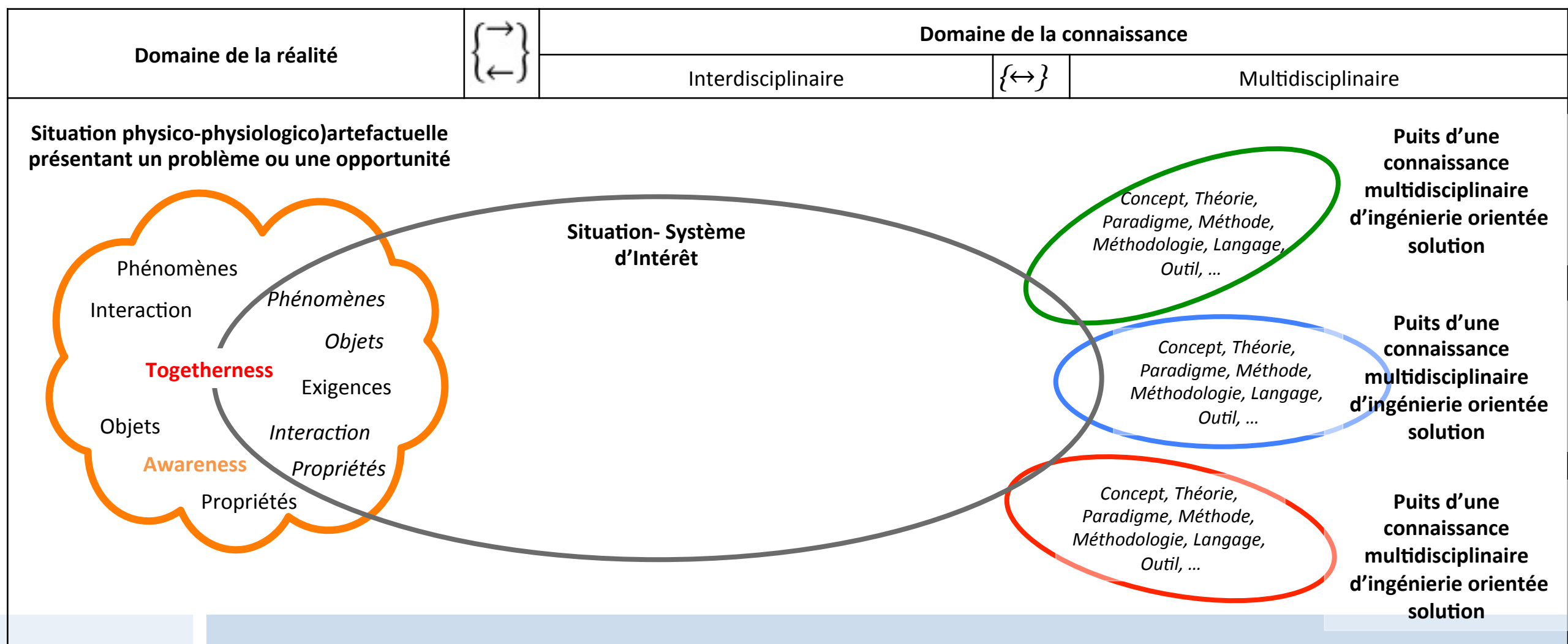
Diagramme de couplage [LAW 10]



# 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

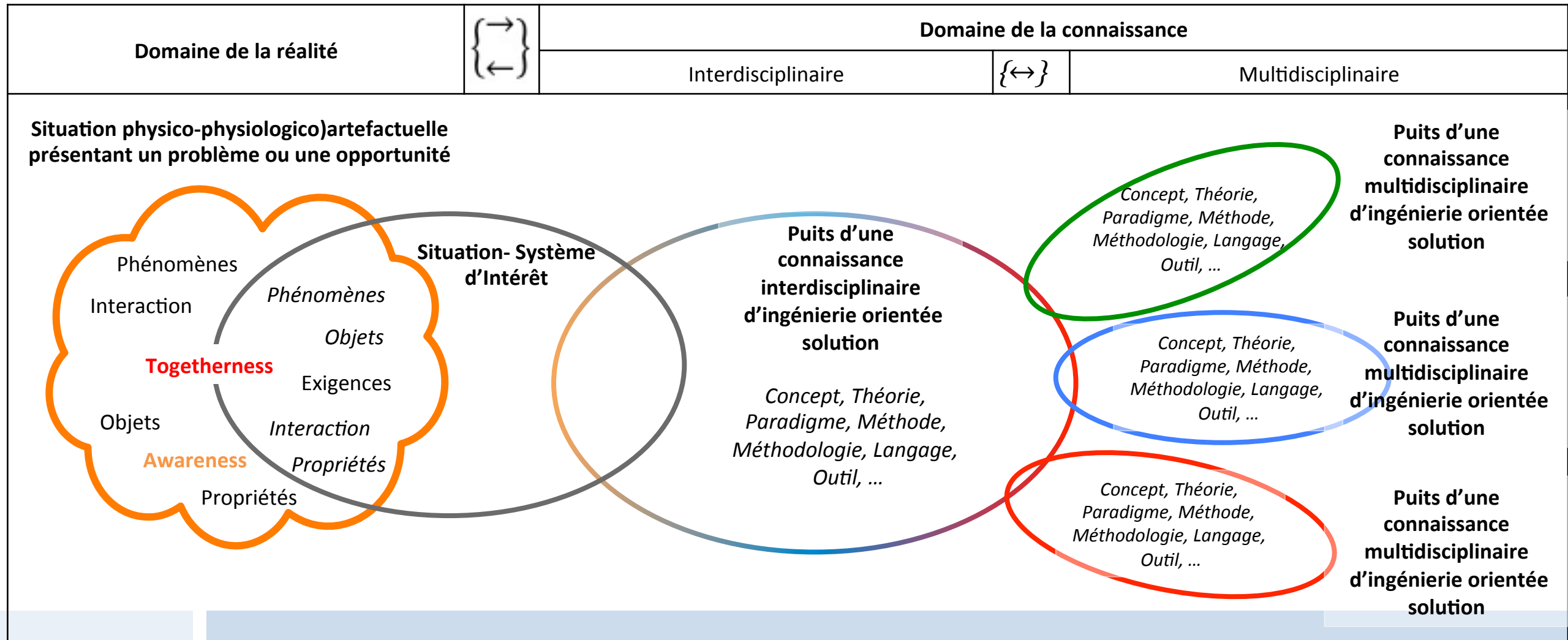




# Éléments de connaissance interdisciplinaire pour l'Ingénierie centrée Système

## - Comment combiner ?

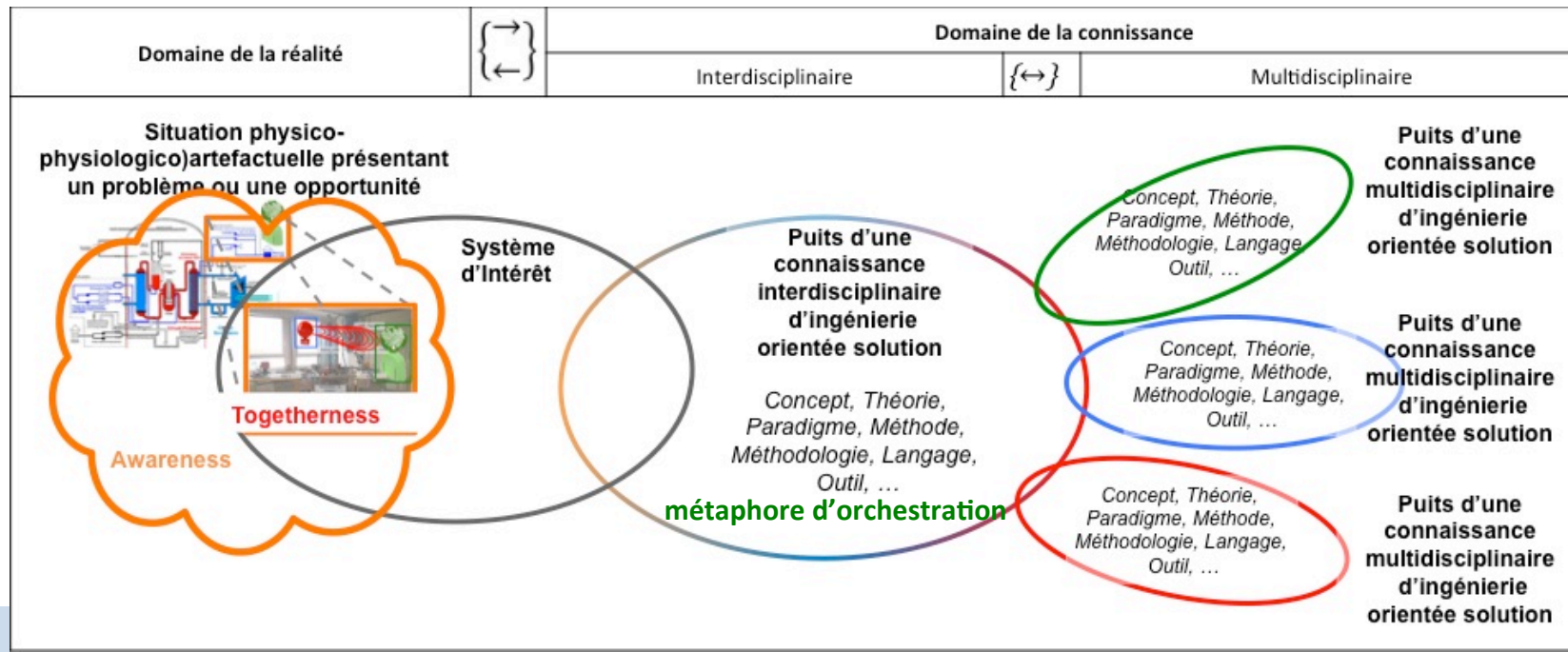
⇒ Par l'orchestration interdisciplinaire centré système en langage SysML de l'essentiel de chaque connaissance **PARTIE** multidisciplinaire dans son langage spécifique



# Eléments 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.

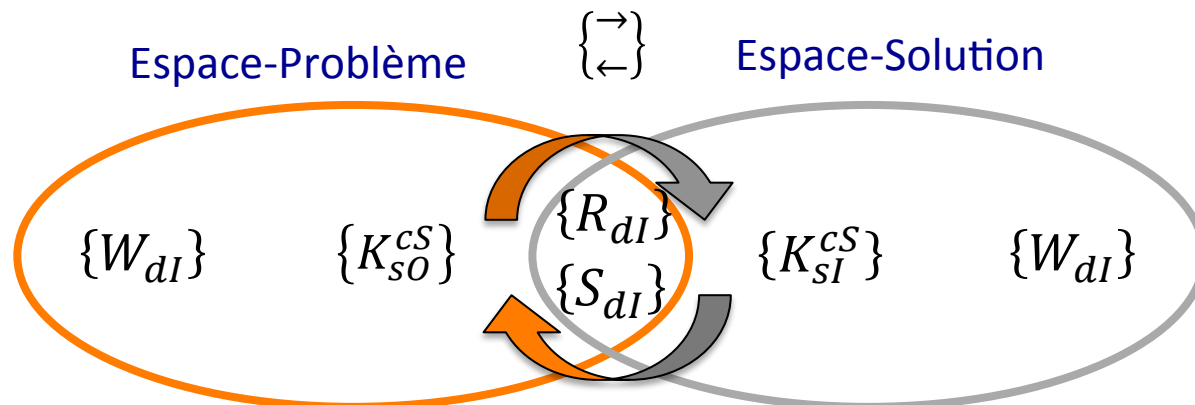
□ Notre exploration de l'approche des *problem frames appliquée à la* spécification en génie logiciel nous permet de poser que :

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

- 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  $\{R_{dI}\}$  selon la relation logique (*entailment*) :

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



# Spécification centrée système basée sur des modèles exécutables

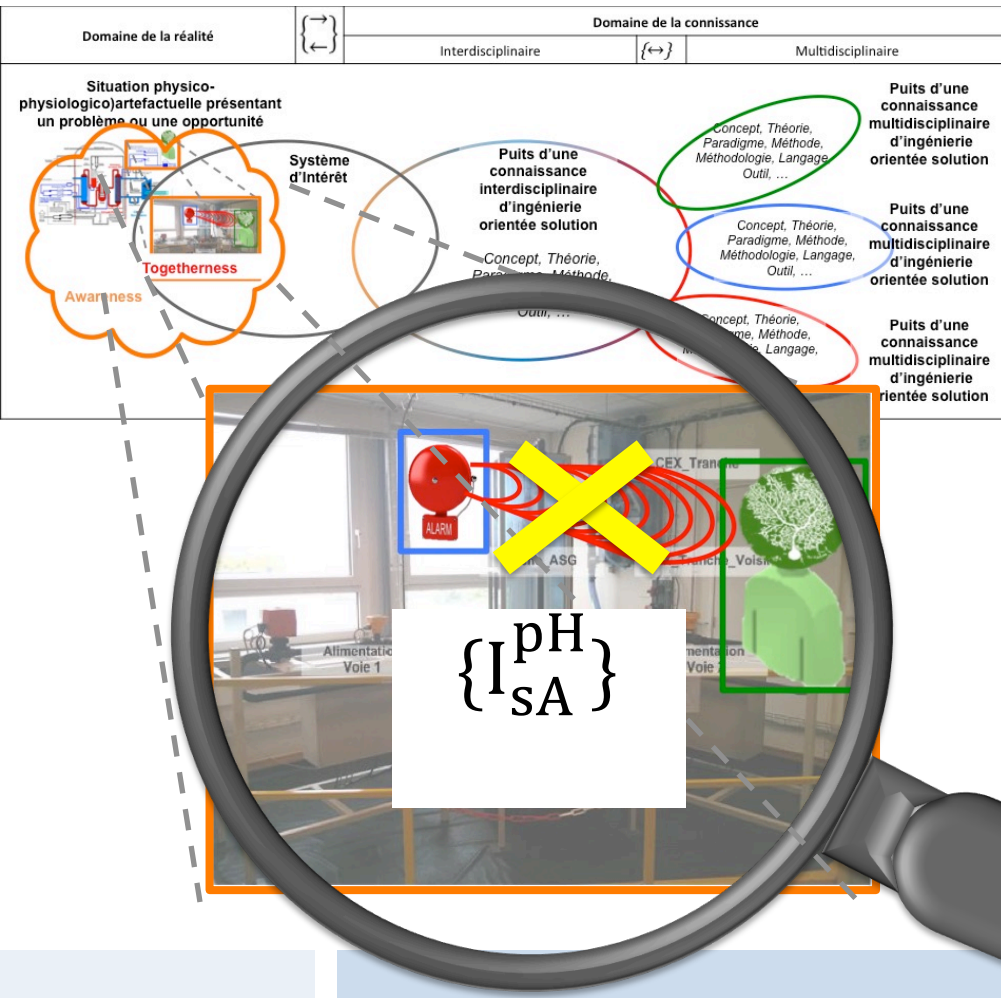
- ◆ Notre interprétation cognitive de ces travaux généralise un ensemble de prédicats de couplage entre un espace-problème requérant et un espace-solution répondant selon:
  - ⇒ Spécification descriptive d'exigences orientée-problème selon (3)
  - ⇒ Spécification vérifiée de modèles orientée-solution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

Domaine de la réalité	$\left\{ \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} \right\}$	Domaine de la connaissance		
		Interdisciplinaire	$\{\leftrightarrow\}$	Multidisciplinaire
<b>(3)</b> $\left\{ K_{source}^{requérante}, R_{Problème}^{descriptive} \rightarrow K_{puits}^{répondante} \right\}$		<b>(3)</b> $\left\{ K_{source}^{requérante}, R_{Problème}^{descriptive} \rightarrow K_{puits}^{répondante} \right\}$		
		<b>(4)</b> $\left\{ K_{source}^{répondante}, R_{Problème}^{descriptive} \rightarrow M_{solution}^{vérifiée} \right\}$		
<b>(6)</b> $\left\{ K_{source}^{requérant}, M_{solution}^{prescriptif} \Vdash R_{Problème}^{descriptive} \right\}$		<b>(5)</b> $\left\{ K_{puits}^{requérante} \leftarrow M_{solution}^{prescriptif}, K_{source}^{répondant} \right\}$		

## 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

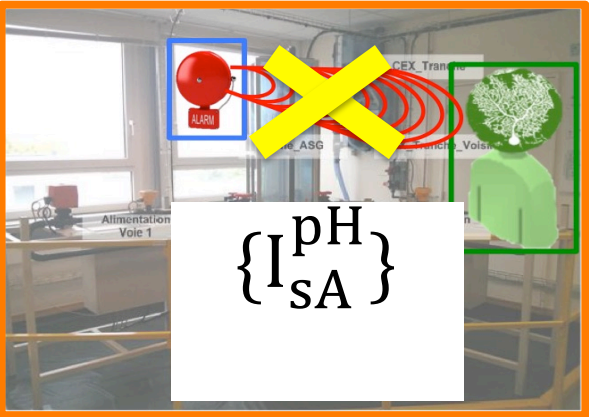
## Eléments de compréhension multidisciplinaire d'une situation ciblée

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

$(3) \{K_{sp0}^{cSdl}, I_{sA}^{pH} \rightarrow K_{psl}^{cS}\}$

$(3) \{K_{psl}^{cS}, I_{sA}^{pH} \rightarrow K_{psl}^{cSS}\}$

$\{K_{psl}^{cSS}\} \{\leftrightarrow\} \{k_{psl}^{cSS}\}$



Concept :	Situation
Théorie:	Pensée système
Modèle:	Systèmes dynamiques
Méthode:	Ingénierie système basée Sur les modèles
Méthodologie/Langage :	Naturel/boucle causale/ Stock Flux/SysML
Outil:	Stella / IBM Rhapsody

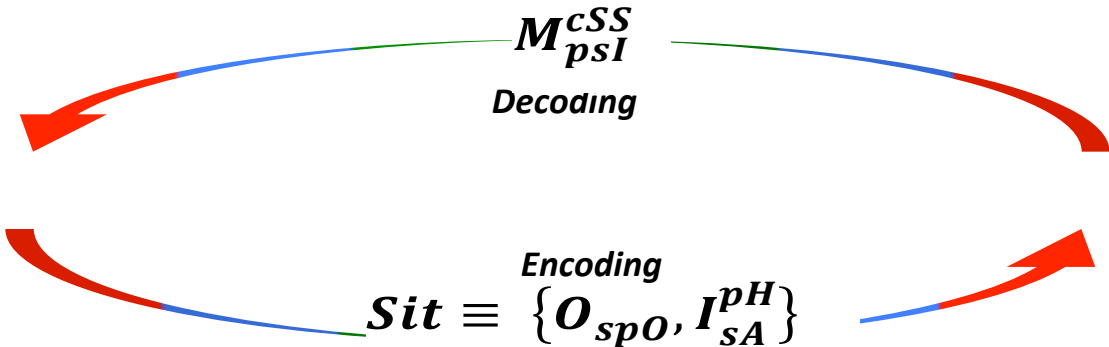
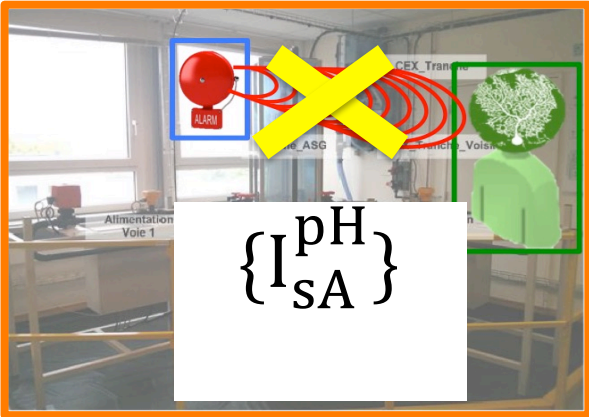


# Spécification d'une situation-système d'intérêt

## Spécification multidisciplinaire descriptive de la situation ciblée

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

$(4) \{ \mathbf{k}_{psl}^{cSS}, \mathbf{I}_{sA}^{pH} \rightarrow \mathbf{M}_{psl}^{cSS} \}$



Relation d'encodage/décodage  
(Rosen 2012)

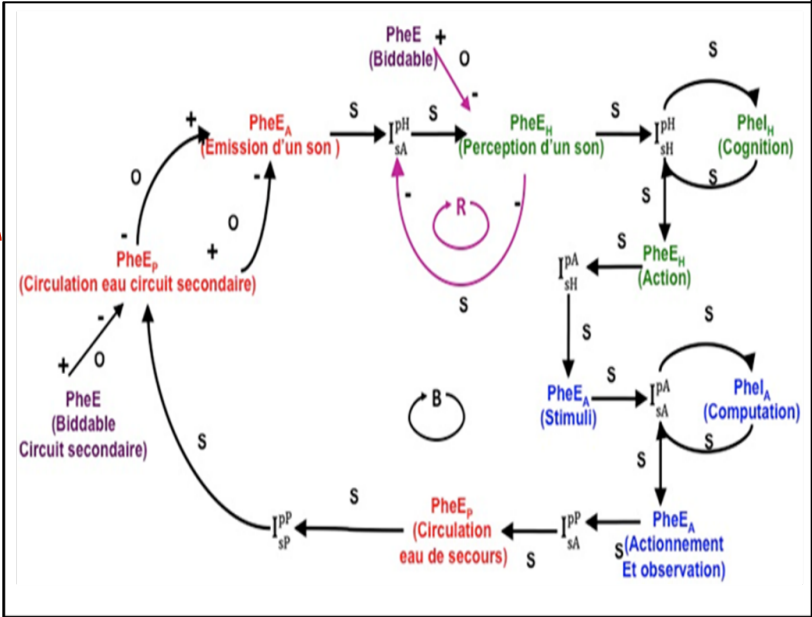


Diagramme de boucles causales  
reflétant la dynamique de la situation ciblée



# 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<sup>cSS</sup><sub>psi</sub>, I<sup>pH</sup><sub>SA</sub> → M<sup>cSS</sup><sub>psi</sub>}

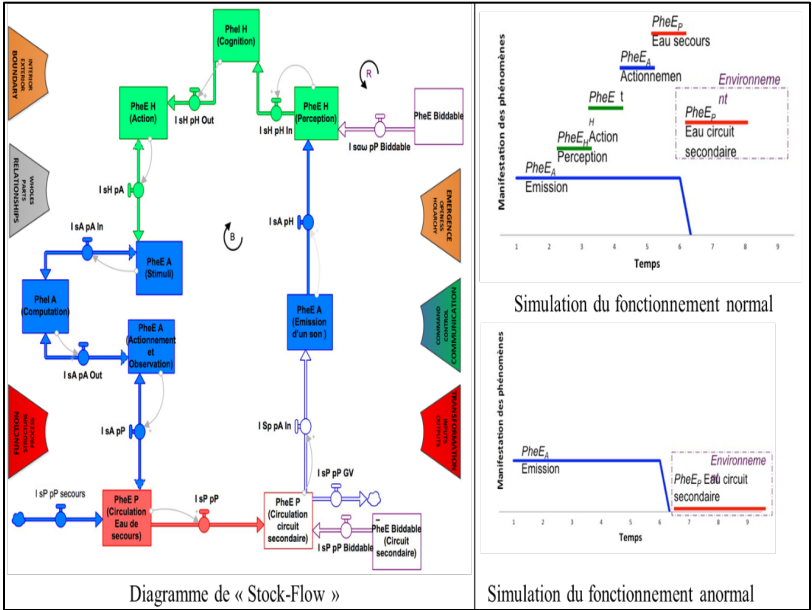
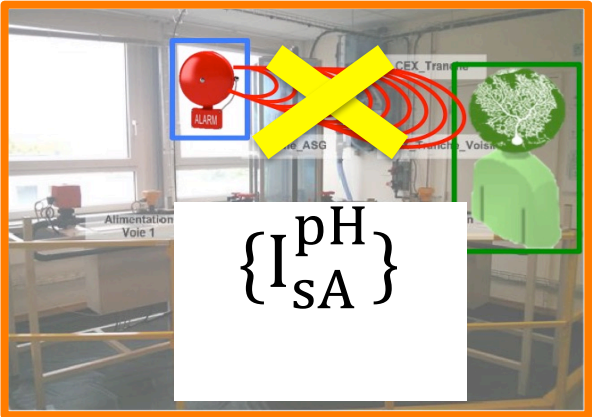


Diagramme stocks flux exécutable  
vérifiant la dynamique de la situation ciblée

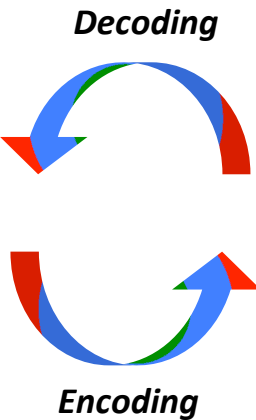
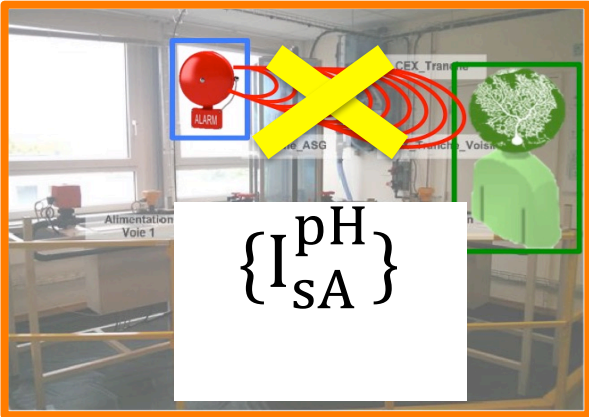
# Spécification d'une situation-système d'intérêt

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

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

$(6) \{ K_{psI}^{cS}, M_{psI}^{cSS} \models I_{sA}^{pH} \}$

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



ID	Nom
R <sub>sl</sub> <sup>cSS</sup> <sub>1</sub>	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.

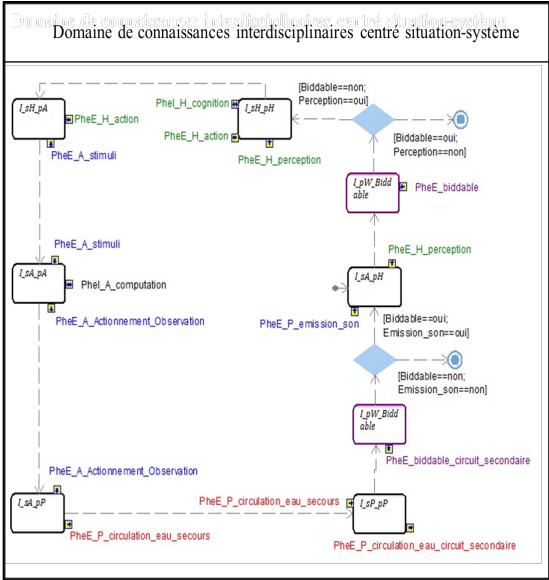


Diagramme d'activité SysML traduisant la dynamique de la situation ciblée

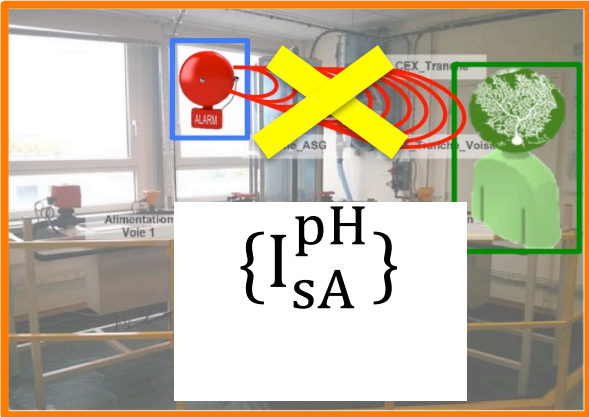
Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Spécification centrée physiologie d’une interaction de perception sensorielle

Eléments de connaissance multidisciplinaire d’une interaction physico-physiologique

Domaine de la réalité	<div>{↔}</div>	Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire

$$(3) \{K_{sp0}^{cSdI}, I_{SA}^{pH} \rightarrow K_{psl}^{cS}\}$$
$$(3) \{K_{psl}^{cS}, I_{SA}^{pH} \rightarrow K_{psl}^{cH}\} \quad \{K_{psl}^{cH}\} \quad \{\leftrightarrow\} \quad \{K_{psl}^{cH}\}$$



ID	Nom
R <sub>sl_1</sub> <sup>css</sup>	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.

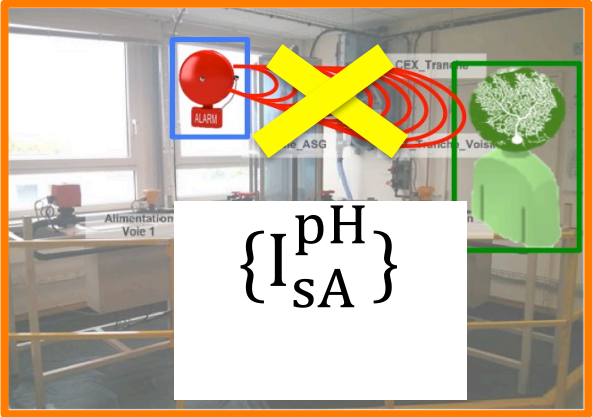
Concept :	Affordance
Théorie:	Théorie Mathématique de Physiologie Intégrative (MTIP)
Modèle:	Ingénierie système basée
Méthode:	Sur les modèles
Méthodologie/Langage :	Equations mathématiques, SysML
Outil:	Matlab® - Simulink® / IBM Rhapsody

# Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

## Eléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique

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

$$\left\{ K_{psl}^{ch} \right\} \quad \{\leftrightarrow\} \quad \left\{ K_{psl}^{ch} \right\}$$



Affordance : bien percevoir pour bien agir

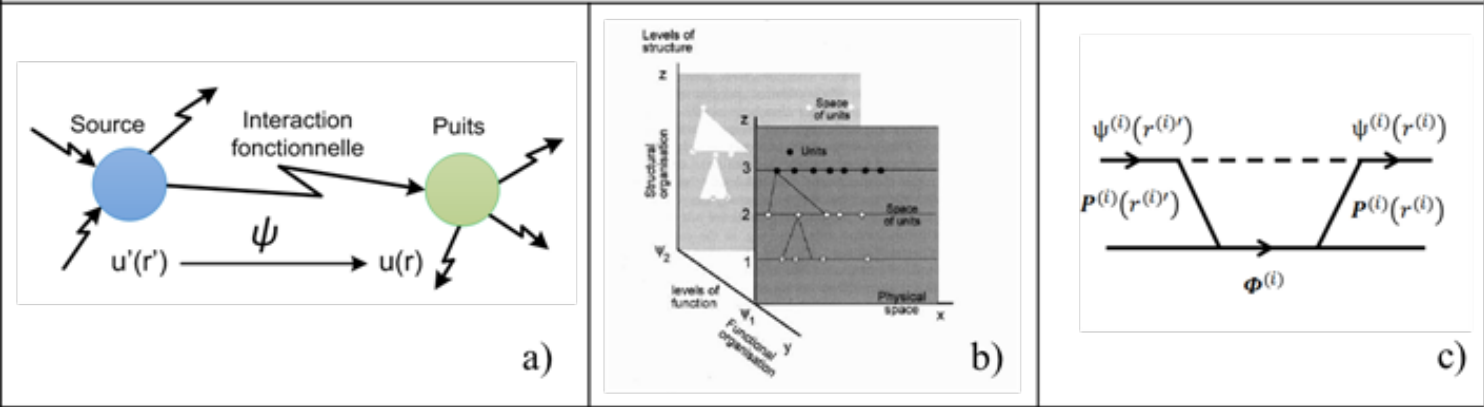
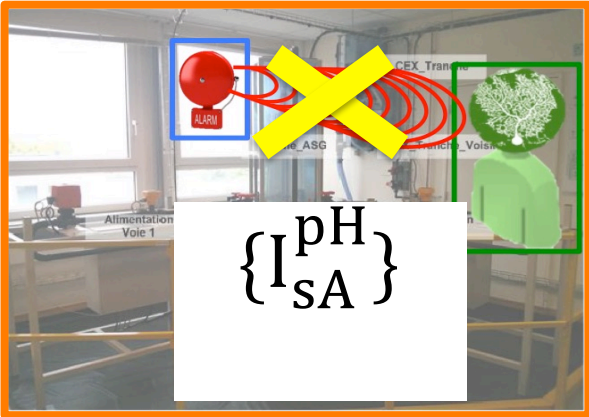
Type d'affordance	Description	Exemple
Cognitive	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur à savoir quelque chose	Le timbre caractéristique d'une alarme sonore permet de prévenir l'opérateur d'une situation incidentelle ou accidentelle.
Physique	Caractéristique de conception qui aide un utilisateur 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

## Eléments 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

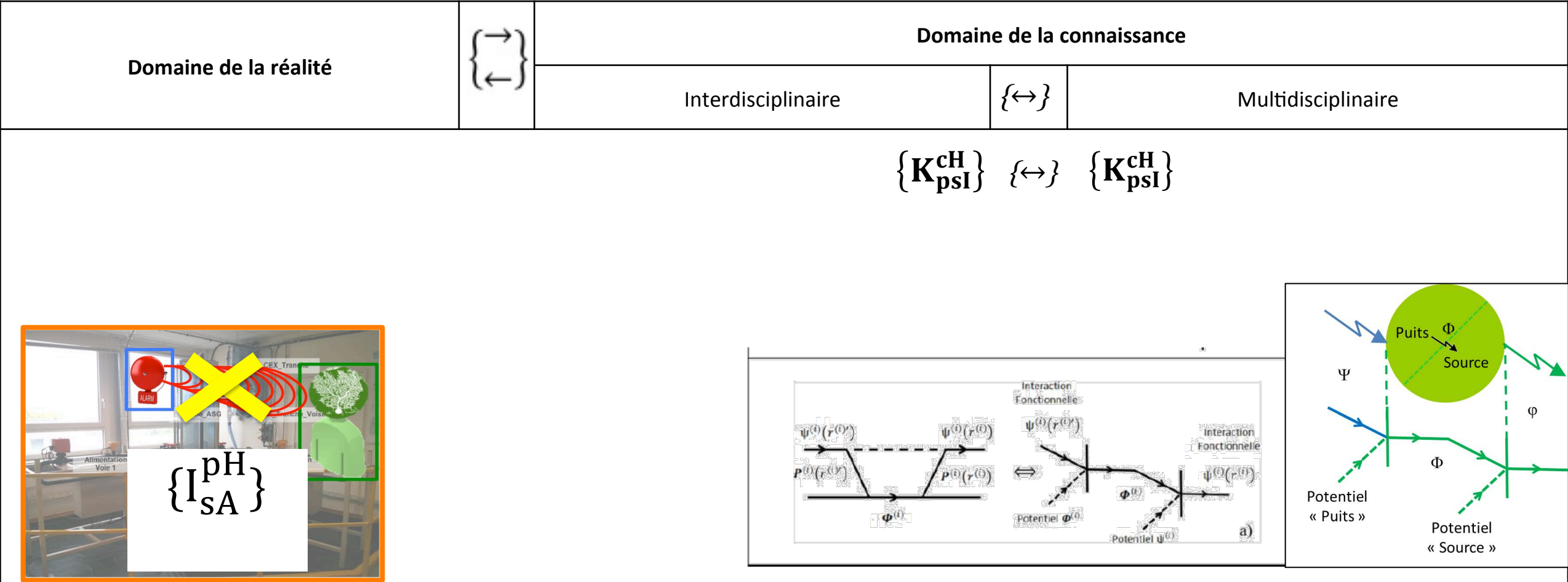
$$\left\{ K_{\text{psl}}^{\text{CH}} \right\} \quad \{\leftrightarrow\} \quad \left\{ K_{\text{psl}}^{\text{CH}} \right\}$$



Eléments de connaissance multidisciplinaire de la Théorie Mathématique de la Physiologie Intégrative (MTIP).

# Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

## Eléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique



Analogie du comportement de l'interaction fonctionnelle avec un modèle de thyristor.

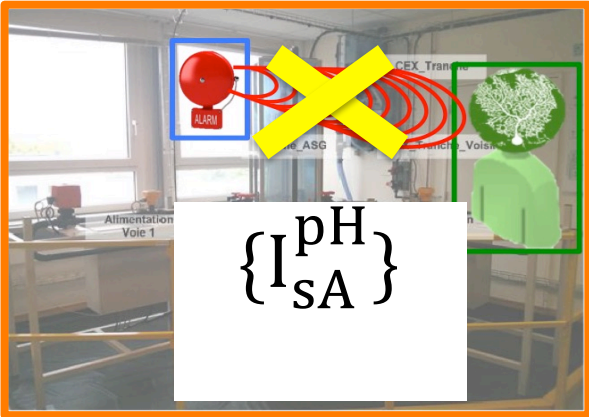


# Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

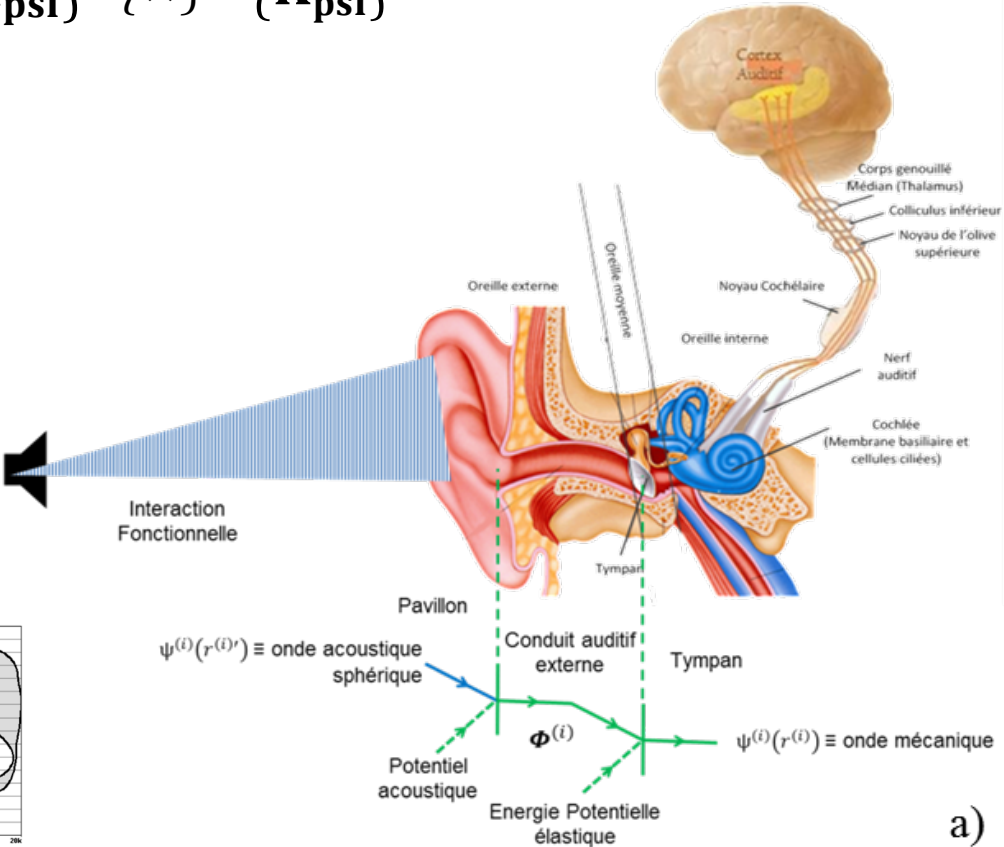
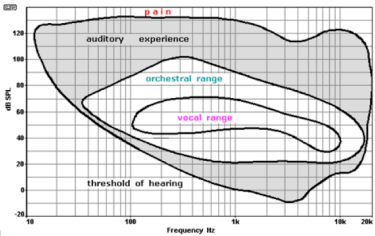
## Eléments de connaissance multidisciplinaire d'une interaction physico-physiologique

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

$$\{K_{psl}^{ch}\} \quad \{\leftrightarrow\} \quad \{K_{psl}^{ch}\}$$



Eléments de compréhension centrant l'interaction de détection sonore dans le champ auditif humain.



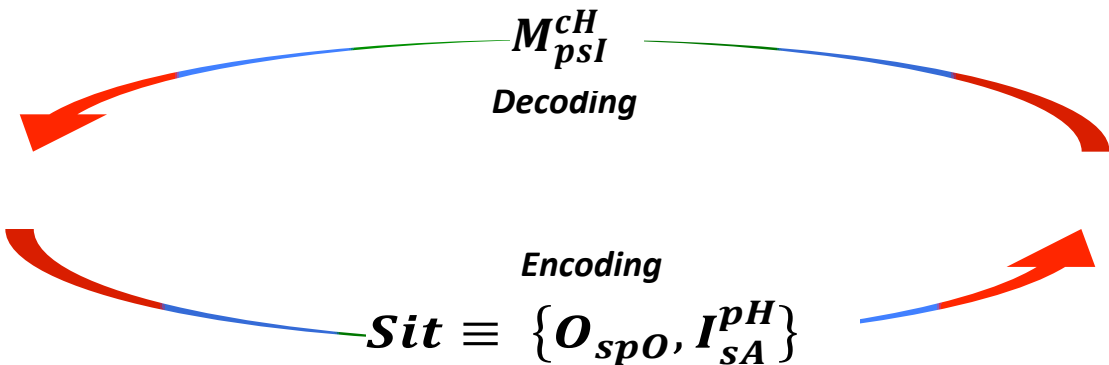
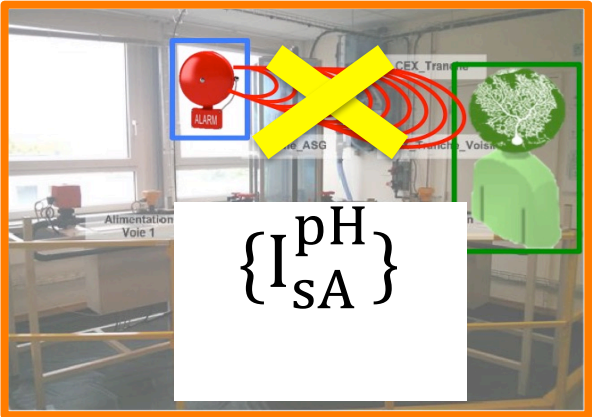


Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

Spécification multidisciplinaire prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée

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

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



$\{I_{sonore} = 10Log_{10}((P_{rms}/P_0))^2 = 20Log_{10}(P_{rms}/P_0)\}$  [2.1]

$\left\{P_{rms} = \left(\frac{1}{\Delta T} \int_t^{t+\Delta T} (P(r,t))^2 dt\right)^{1/2}\right\}$  [2.2]

$\left\{P(r,t) = \left(\frac{\rho_0 c E}{4\pi r^2}\right)^{1/2} sin(\omega t)\right\}$  [2.3]

Modèle Mathématique

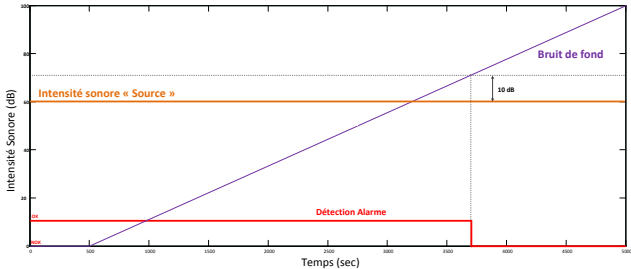
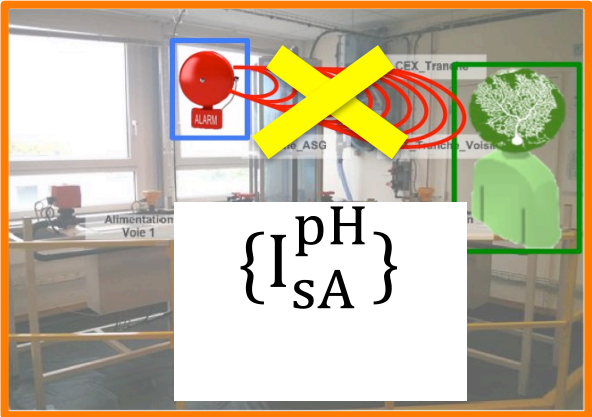
Relation d'encodage/décodage  
(Rosen 2012)

Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

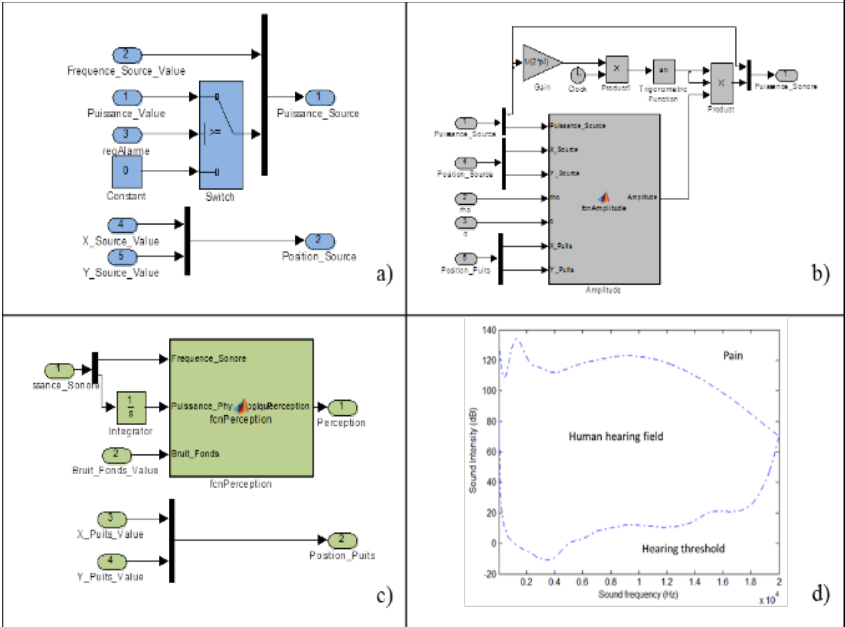
Spécification multidisciplinaire prescriptive de l'interaction de perception auditive ciblée

Domaine de la réalité	{↔}	Domaine de la connaissance	
		Interdisciplinaire	Multidisciplinaire

(4) {k<sup>CH</sup><sub>psl</sub> , I<sup>PH</sup><sub>SA</sub> → M<sup>CH</sup><sub>psl</sub>}



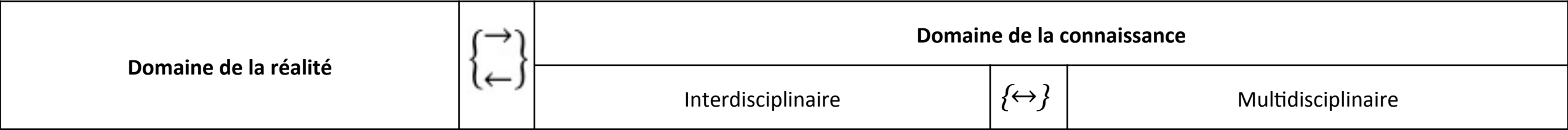
Trace de scenarii



Modèle exécutable

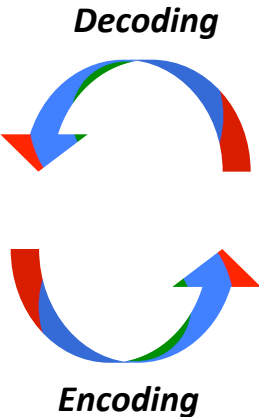
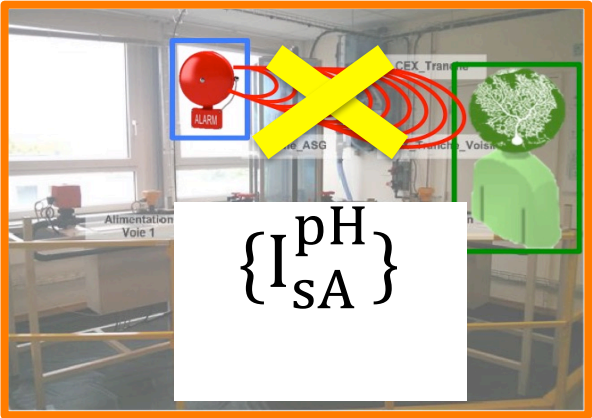
# Spécification centrée physiologie d'une interaction de perception sensorielle

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



(6) { K<sup>CS</sup><sub>psI</sub> , M<sup>CH</sup><sub>psI</sub> ⊢ I<sup>pH</sup><sub>SA</sub> }

(5) { K<sup>CH</sup><sub>psI</sub> ← M<sup>CH</sup><sub>psI</sub>, k<sup>CH</sup><sub>psI</sub> }



Domaine de connaissance interdisciplinaire centré Humain		
ID	Nom	Spécification descriptive d'exigences physiologique orientée-problème
R <sup>CS</sup> <sub>sl.1</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.1.1</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.1.2</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.1.3</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.2</sub>	Bruits fonds	L'intensité sonore Isonore doit être 10 dB supérieure au niveau sonore ambiant : Isonore-Ibruit > 10 dB
R <sup>CH</sup> <sub>pl.3</sub>	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

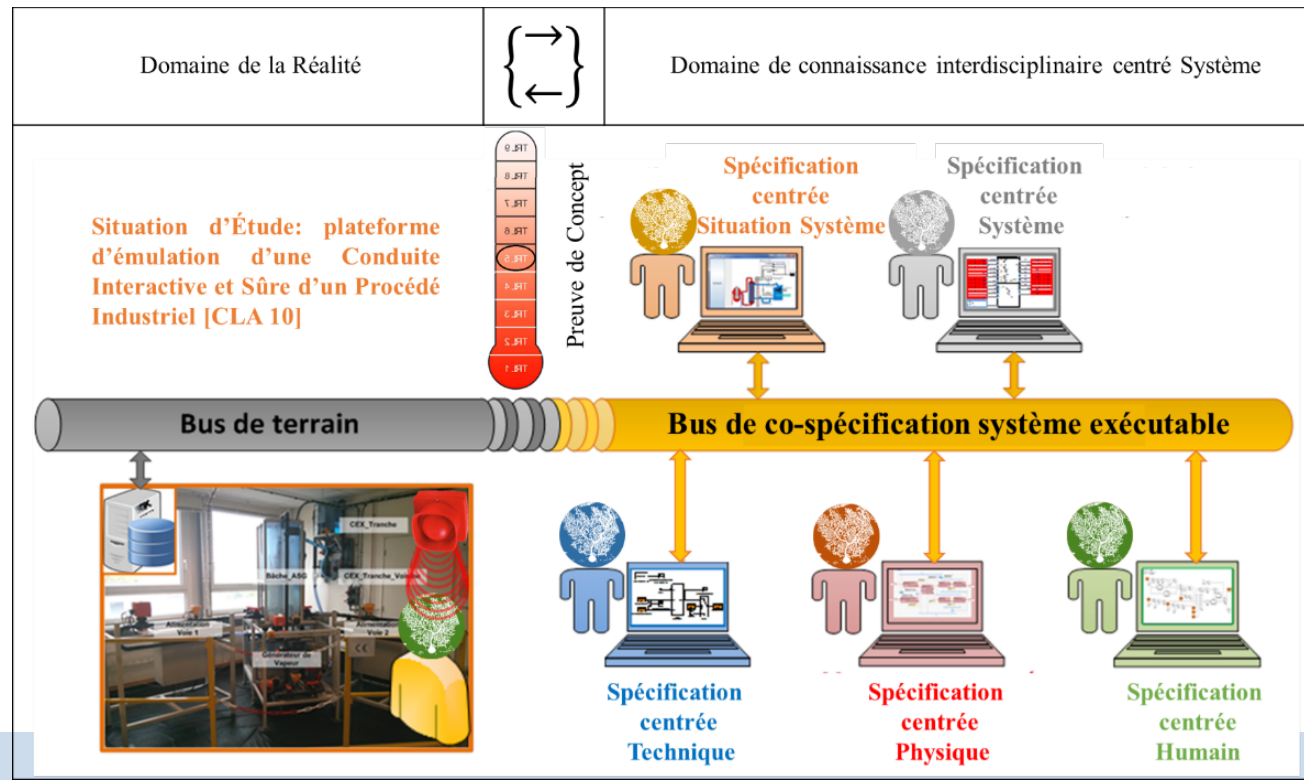
ID	Nom	Spécification prescriptive d'exigences physiologiques orientée-solution
R <sup>CH</sup> <sub>pl.1.1</sub>	Capacité Physiologique Humain	L'onde de pression reçue au niveau du canal auditif (Isonore) doit satisfaire par son intensité sonore résultante le champ auditif humain (courbe d'audibilité humaine) : HearingRangesMin(w) < Isonore < HearingRangesMax(w)
R <sup>CH</sup> <sub>pl.1.2</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.1.3</sub>	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 <sup>CH</sup> <sub>pl.2</sub>	Bruits fonds	L'intensité sonore Isonore doit être 10 dB supérieure au niveau sonore ambiant : Isonore-Ibruit > 10 dB
R <sup>CH</sup> <sub>pl.3</sub>	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.

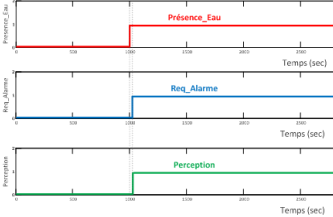
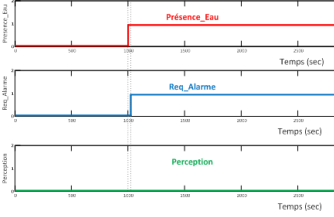
Cette faisabilité vers l'architecture interactive ciblée se concrétise dans notre cas par l'orchestration d'un ensemble de modèles multidisciplinaires exécutables vérifiés *in silico* (Bus jaune) dans leurs environnements multidisciplinaires respectifs puis *in situ* en couplage avec notre plateforme 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.

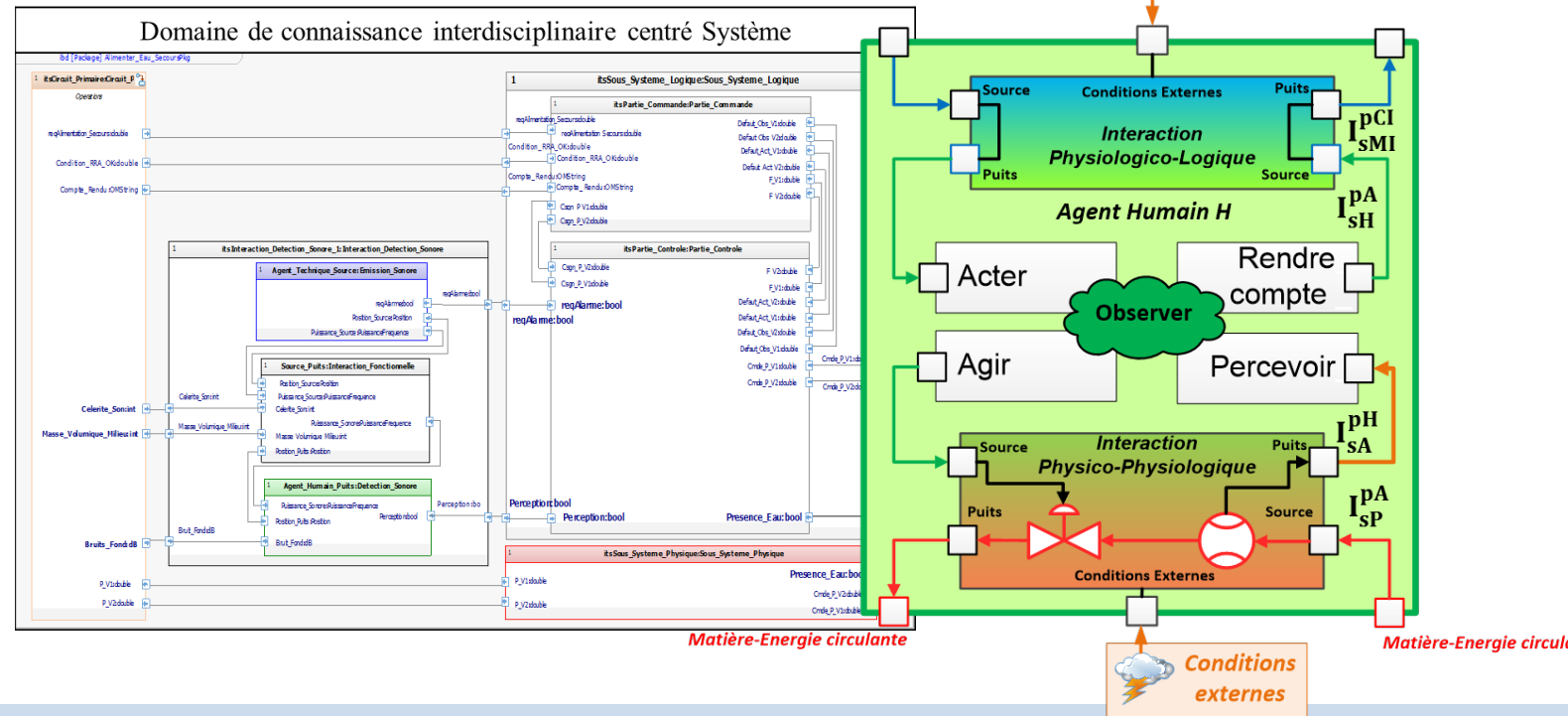


# Co-spécification système exécutable basée sur des Modèles

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/m³	Distance Alarme Technique {Source} / Agent Humain {Puits} = 5 mètres	Masse volumique de l'air {Température = 20 °C} = 1,2 kg/m³
Célérité du son = 331,5 m/s	Bruit de fond = 90 dB	Célérité du son = 331,5 m/s	Bruit de fond = 90 dB
<b>Puissance Alarme = 0.7 W</b>	Bruit de fond = 90 dB	<b>Puissance Alarme = 1.2 W</b>	Bruit de fond = 90 dB



## 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

## 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

