



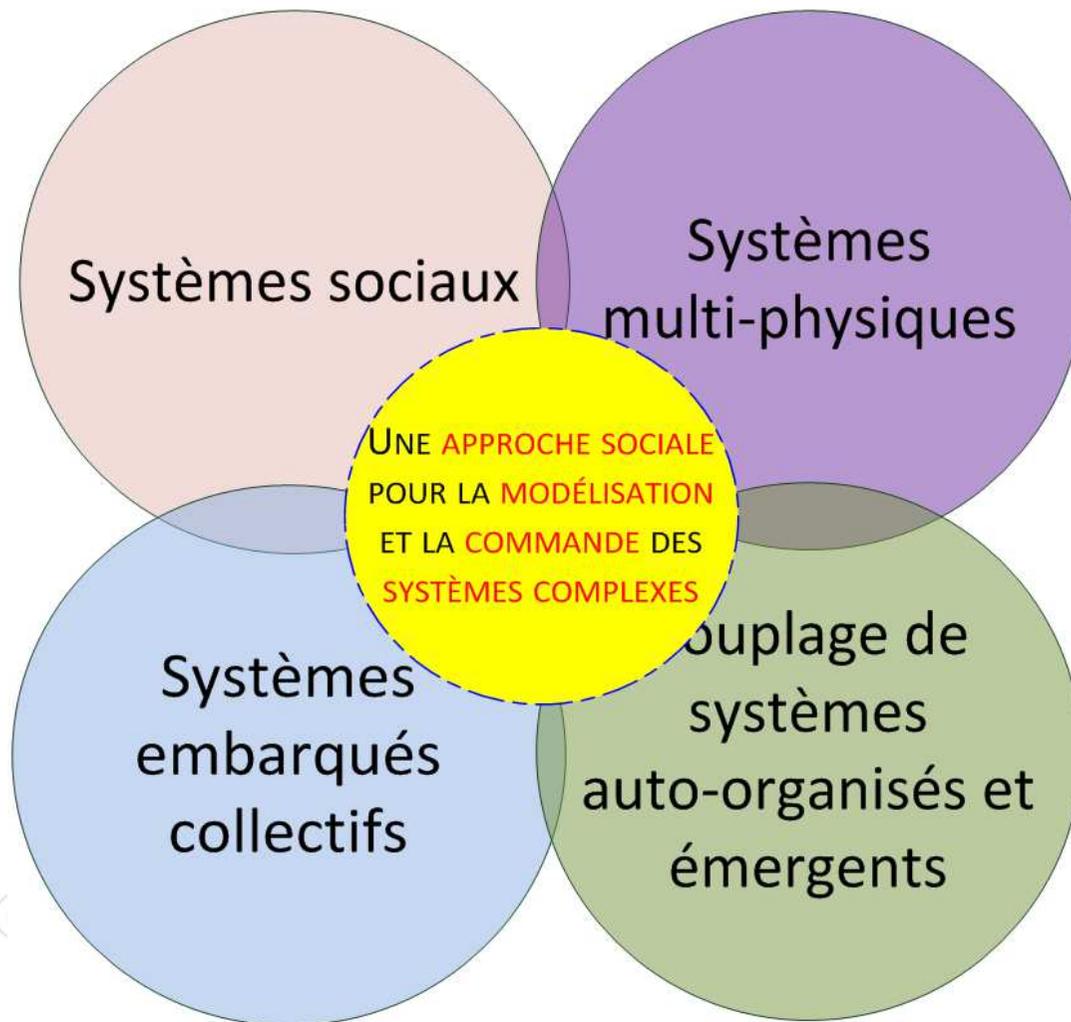
De l'ingénierie des collectifs cyber-physiques pour les Systèmes de Productions Distribués

Jean-Paul Jamont
Maître de Conférences - HDR
Université Grenoble Alpes – IUT de Valence
Laboratoire LCIS – G.INP – UGA



Equipe MACSY-COSY

Laboratoire LCIS/G.INP-UGA



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

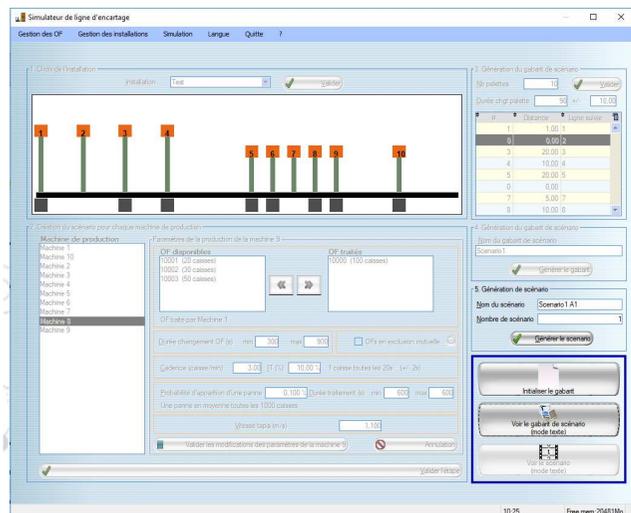
- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

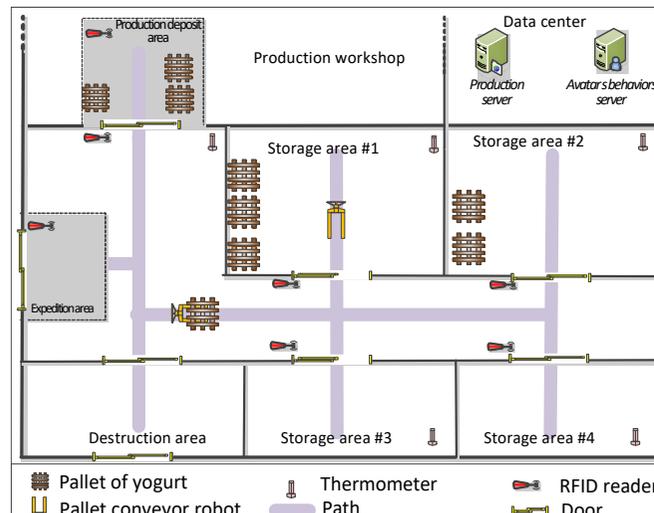
- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

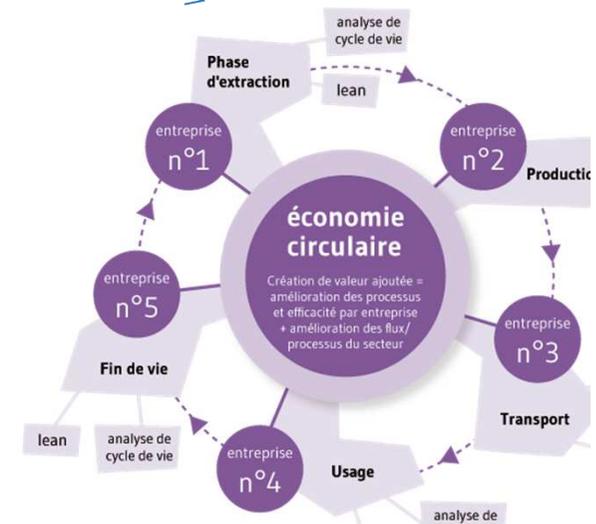
- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

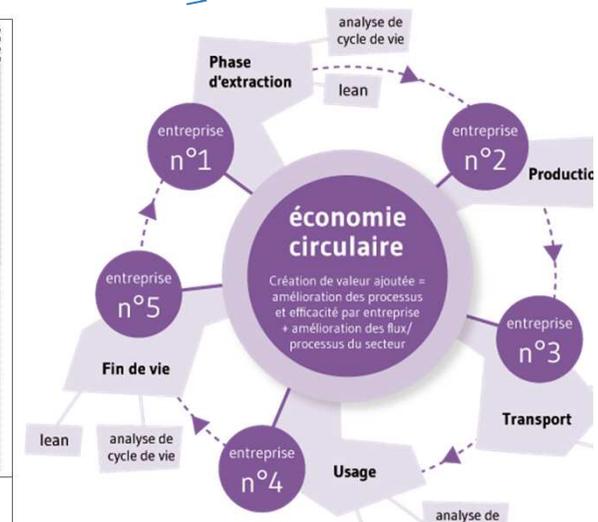
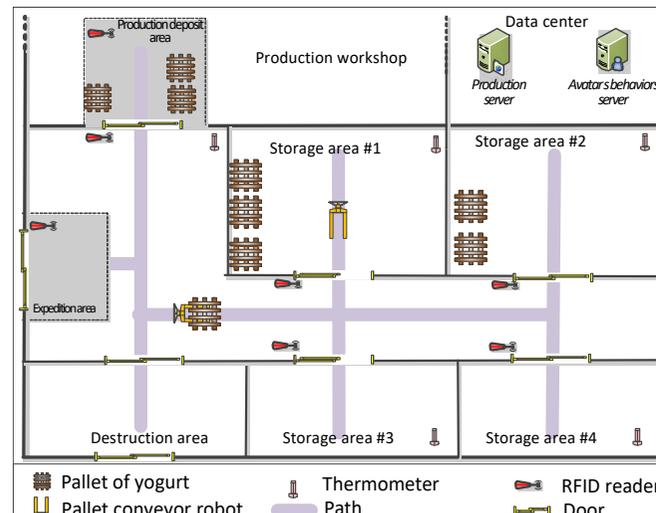
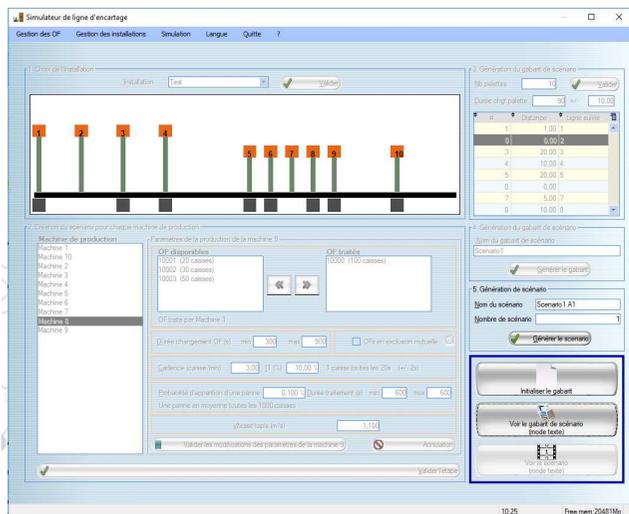
- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Table 1: IoT Units Installed Base by Category (Millions of Units)

Category	2016	2017	2018	2020
Consumer	3,963.0	5,244.3	7,036.3	12,863.0
Business: Cross-Industry	1,102.1	1,501.0	2,132.6	4,381.4
Business: Vertical-Specific	1,316.6	1,635.4	2,027.7	3,171.0
Grand Total	6,381.8	8,380.6	11,196.6	20,415.4

Source: Gartner (January 2017)

Evolution de la base installée des objets connectés dans le monde. (crédit : Gartner)

Equipe MACSY-COSY

Nos domaines d'applications

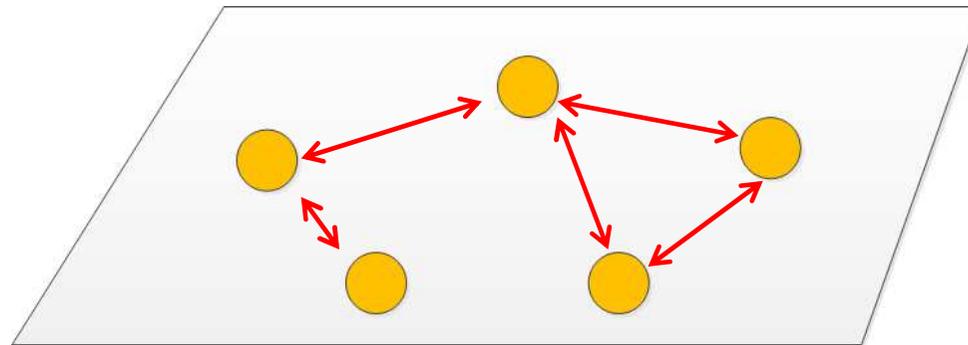
- SUPERVISION D'ENVIRONNEMENTS NATURELS:
Instrumentation sans fil, observation multi-niveaux, commande de canaux d'irrigation...
- DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS COMPLEXES À BASE D'OBJETS COMMUNICANTS:
IoT/WoT, robotique collective, domotique...
- SYSTÈMES DE PRODUCTIONS DISTRIBUÉS:
FITT RRA Palette, ANR ASAWoO, Circular



Problématique

Des systèmes cyber-physiques

[Sztipanovits 2007, Lee 2008-13, NI 2014]



Problématique

Les propriétés des systèmes cyber-physiques

[Lee02, Elmenreich03, Henzinger06, Lee08, Pottie09, Lee13]=>[IAOSE'15]



1. RÉACTIVITÉ,
2. TERMINAISON,
3. PONCTUALITÉ,
4. AUTONOMIE D'ÉNERGIE,
5. GESTION DE LA SÉCURITÉ.



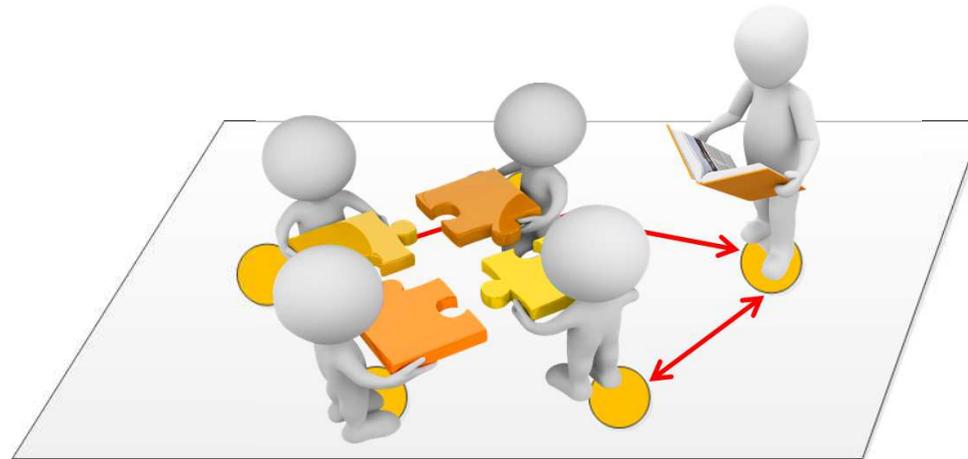
6. COMPLEXITÉ,
7. CONCURRENCE,
8. HÉTÉROGÉNÉITÉ MULTIPLE,
9. INTÉGRATION D'INTERFACES,
10. RECONFIGURATION ET AUTO-ORGANISATION,
11. MOBILITÉ,
12. INTÉGRITÉ.

Défis majeurs

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Problématique

Des collectifs cyber-physiques



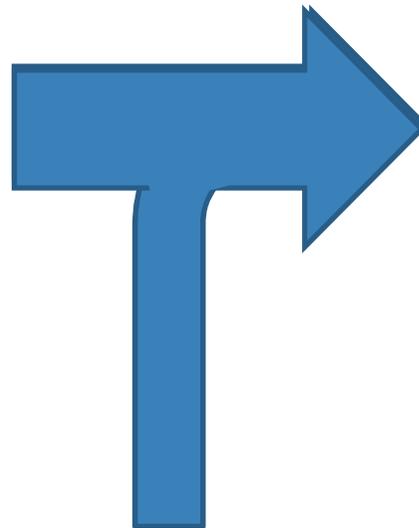
Problématique

Une ingénierie multi-agent des CCP



BESOINS APPLICATIFS

PROCESSUS GÉNIE LOGICIEL



SOLUTION
COLLECTIF CYBER-PHYSIQUE



Ingénierie multi-agent des collectifs cyber-physiques

Des modèles

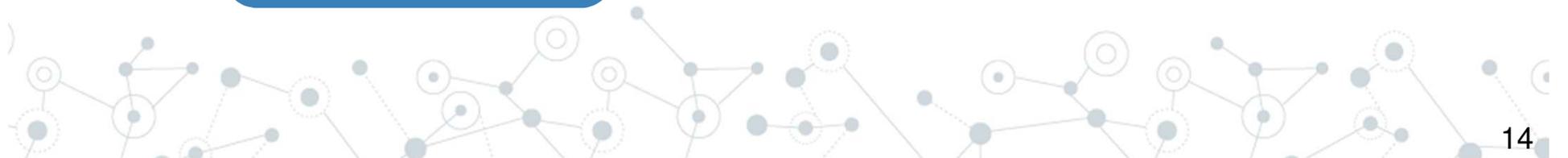
- **nature physique** de l'**environnement** et des **agents**;
- **contexte physique** des **interactions**.

Une démarche

- couvrir l'**ensemble des étapes** du cycle de vie;
- des **risques** spécifiques à la conception des systèmes embarqués.

Des outils

- pour **supporter ces nouvelles étapes** du cycle de vie.



Ingénierie multi-agent des collectifs cyber-physiques

Des modèles

- **nature physique** de l'**environnement** et des **agents**;
- **contexte physique** des **interactions**.

Une démarche

- couvrir l'ensemble des étapes du cycle de vie;
- des risques spécifiques à la conception des systèmes embarqués.

Des outils

- pour supporter ces nouvelles étapes du cycle de vie.



Modèles pour le collectif

Gestion adaptative des interactions (MWAC)

PROBLÈME

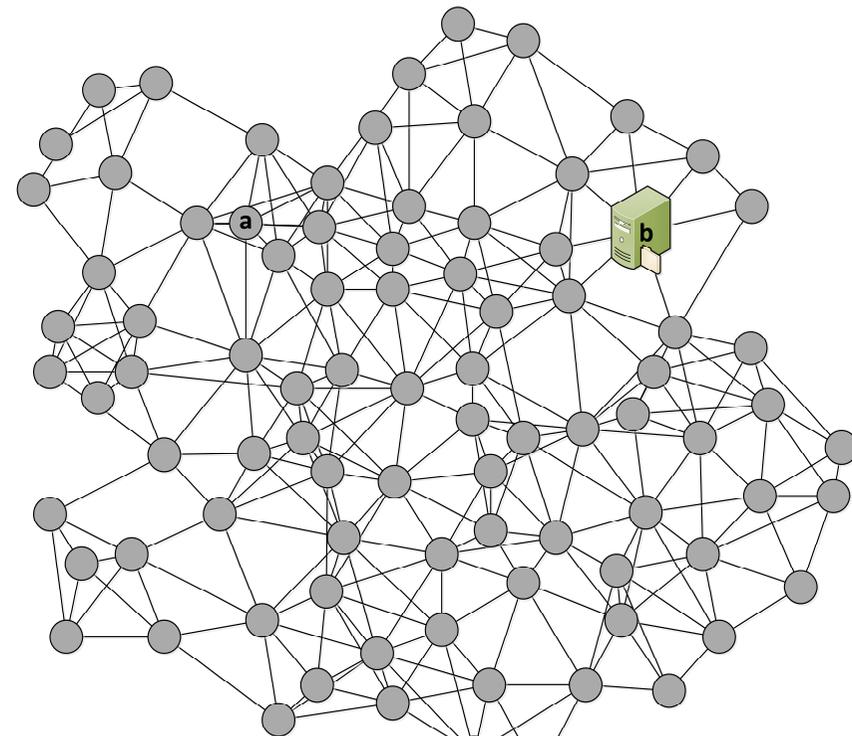
Permettre l'interaction indirecte

Préserver l'autonomie des agents

Tolérer les changements de topologie

Gérer les ressources avec parcimonie

CONTRIBUTION



PPRA France-Chine, FIT, PPRA EnvSys
 [EIS,2007] [Measurement, 2010] [WIAS,2012]

Défis majeurs

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

Modèles pour le collectif

Gestion adaptative des interactions (MWAC)

PROBLÈME

Permettre l'interaction indirecte



Préserver l'autonomie des agents

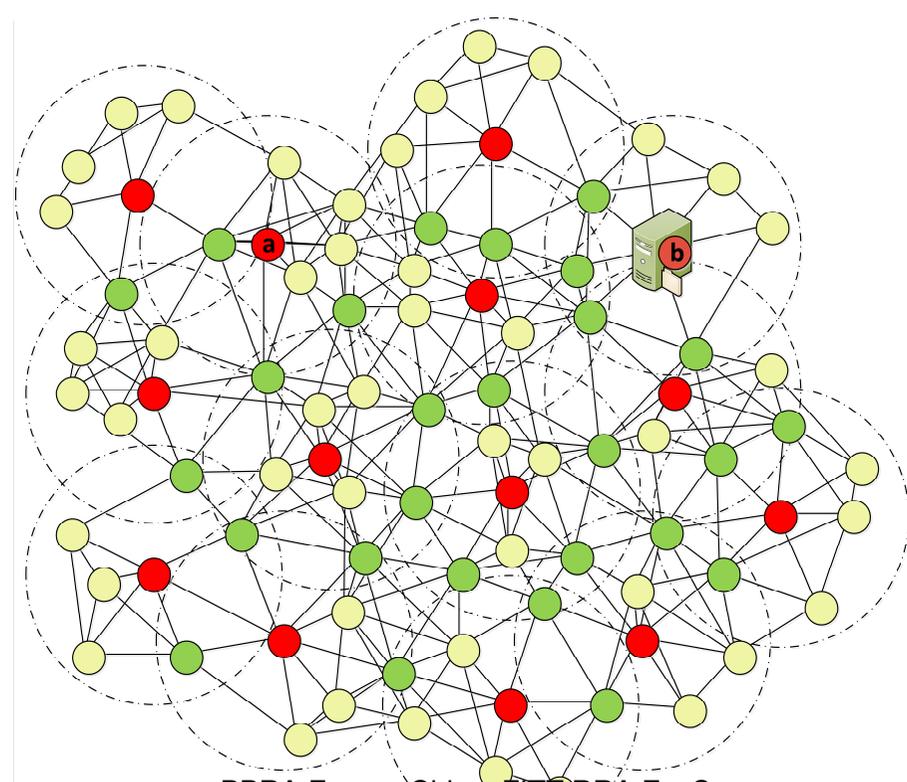


Tolérer les changements de topologie



Gérer les ressources avec parcimonie

CONTRIBUTION



PPRA France-Chine, FITT RRA EnvSys
 [EIS,2007] [Measurement, 2010] [WIAS,2012]

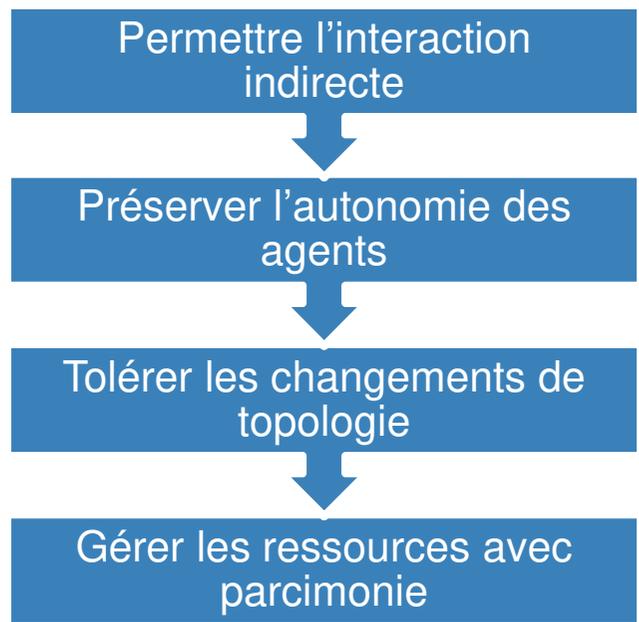
Défis majeurs

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

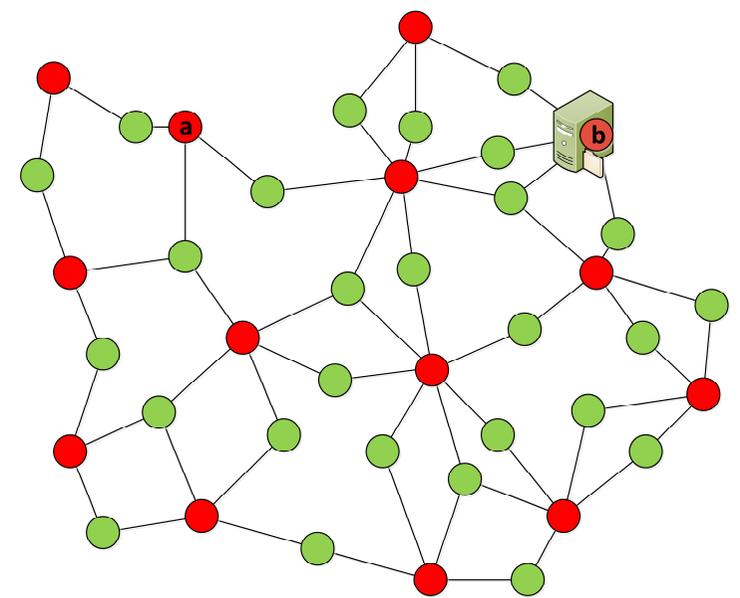
Modèles pour le collectif

Gestion adaptative des interactions (MWAC)

PROBLÈME



CONTRIBUTION



PPRA France-Chine, FITT RRA EnvSys
 [EIS,2007] [Measurement, 2010] [WIAS,2012]

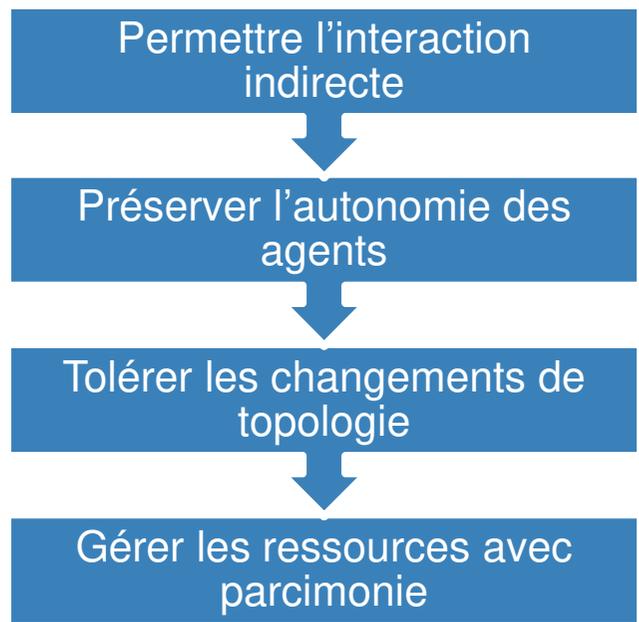
Défis majeurs

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

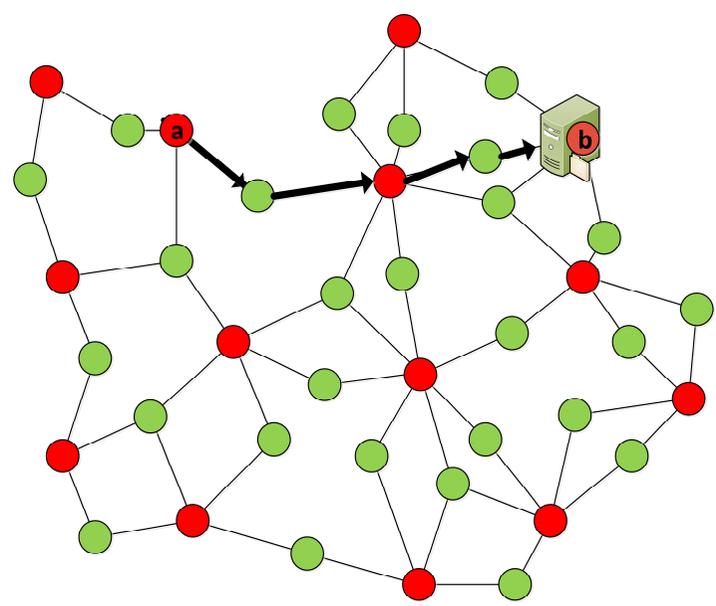
Modèles pour le collectif

Gestion adaptative des interactions (MWAC)

PROBLÈME



CONTRIBUTION



PPRA France-Chine, FITT RRA EnvSys
 [EIS,2007] [Measurement, 2010] [WIAS,2012]

Défis majeurs

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Modèles pour le collectif

Prise en compte des comportements déviants (TrustMWAC)

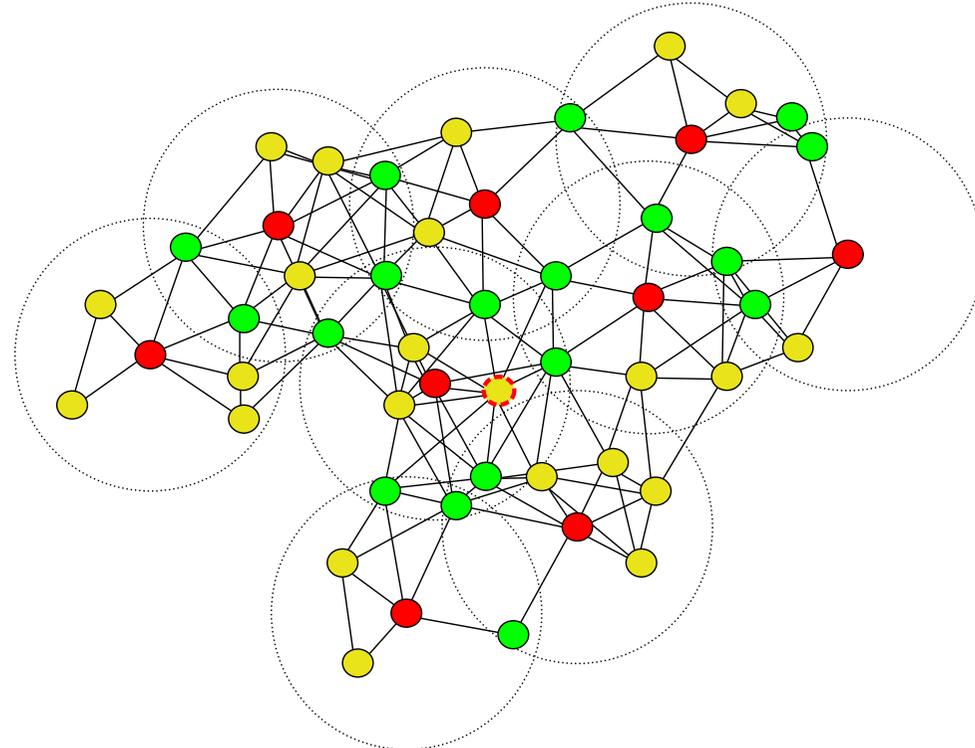
PROBLÈME

Pénaliser les comportements non coopératifs

Accepter l'absence d'authentification

Gérer les ressources avec parcimonie

PROPOSITION



[RIA 2012 ; Progress in Artificial Intelligence, 2012]

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Modèles pour le collectif

Prise en compte des comportements déviants (TrustMWAC)

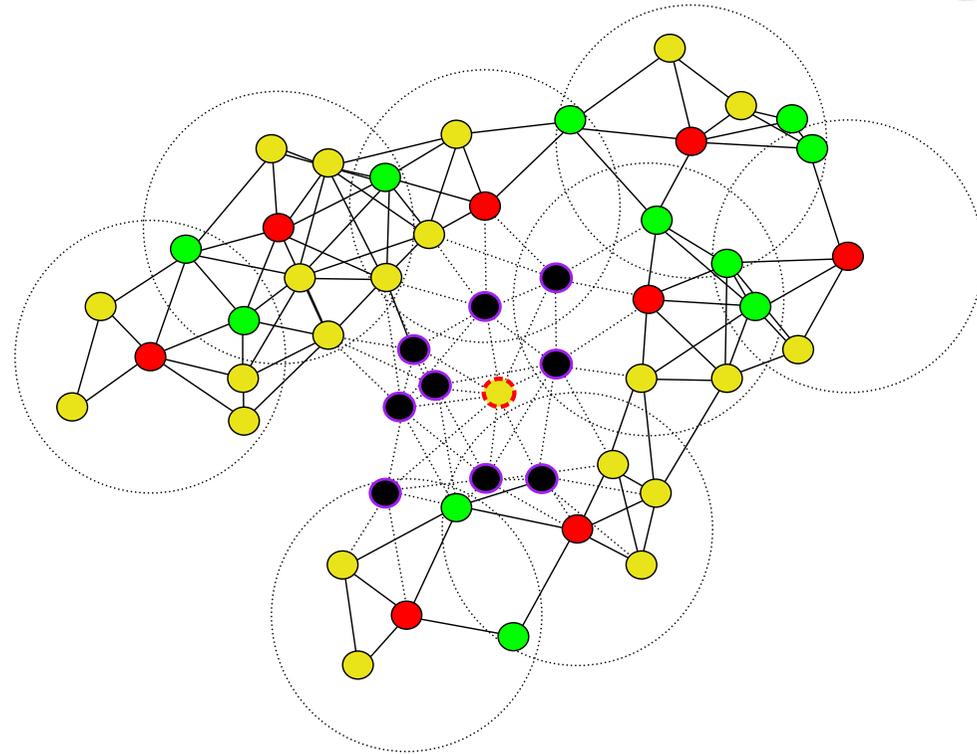
PROBLÈME

Pénaliser les comportements non coopératifs

Accepter l'absence d'authentification

Gérer les ressources avec parcimonie

PROPOSITION



Défis majeurs

- | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|

[RIA 2012 ; Progress in Artificial Intelligence, 2012]

Modèles pour le collectif

Anticipation des congestions (AntMWAC)

PROBLÈME

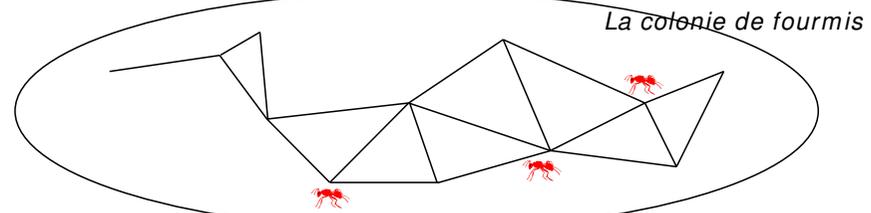
Permettre les interactions basées sur des flux

Proposer des routes alternatives à la demande

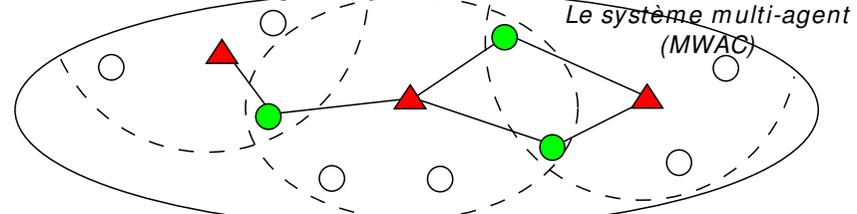
Définir des classes de services

PROPOSITION

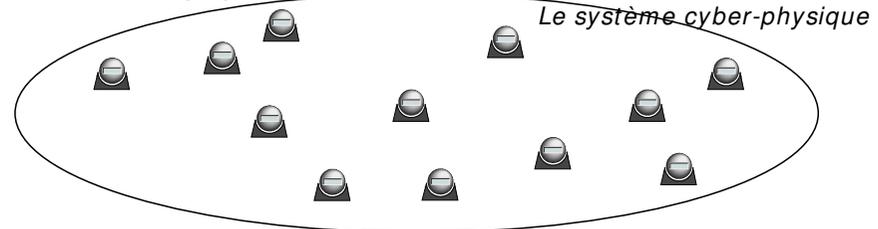
La couche fourmis



La couche auto-organisation



La couche physique



PHC Tassili - Alger, [IEEE Systems Journal, 2017]

Défis majeurs

- | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

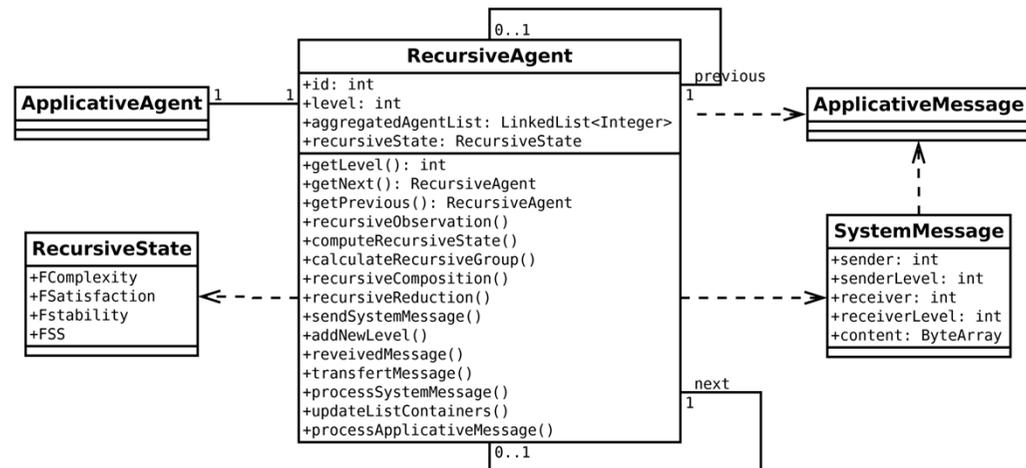
PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Défis majeurs

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

Des modèles	• OBSERVATION
Une démarche	
Des outils	

PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

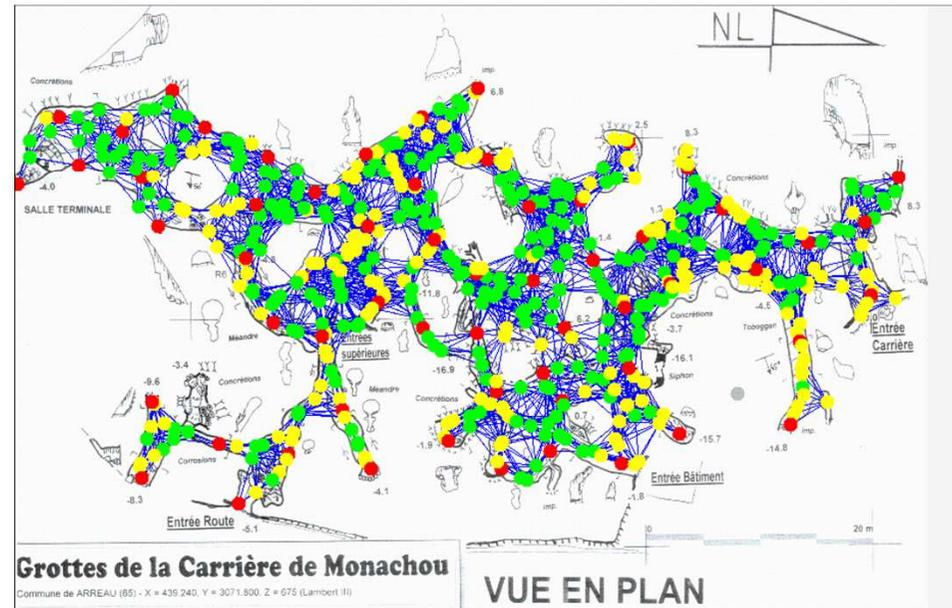
Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

Des modèles

• OBSERVATION

Une démarche

Des outils

PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

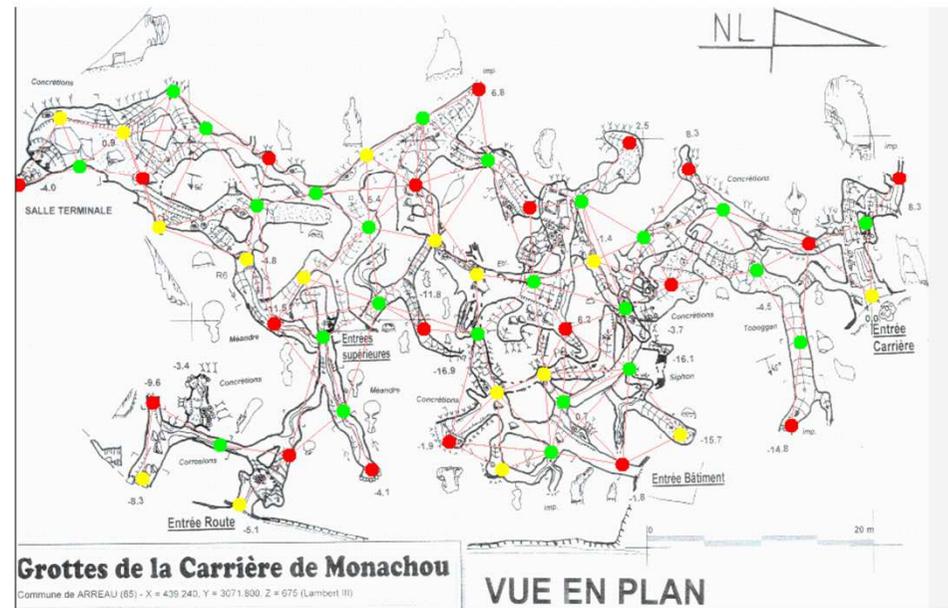
Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

Des modèles	• OBSERVATION
Une démarche	
Des outils	

PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

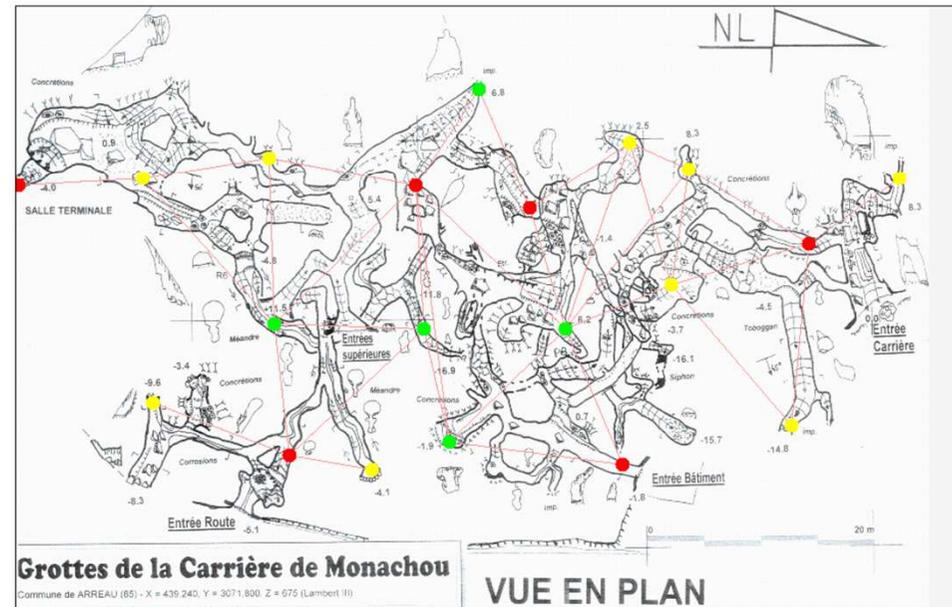
Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

Des modèles	• OBSERVATION
Une démarche	
Des outils	

PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

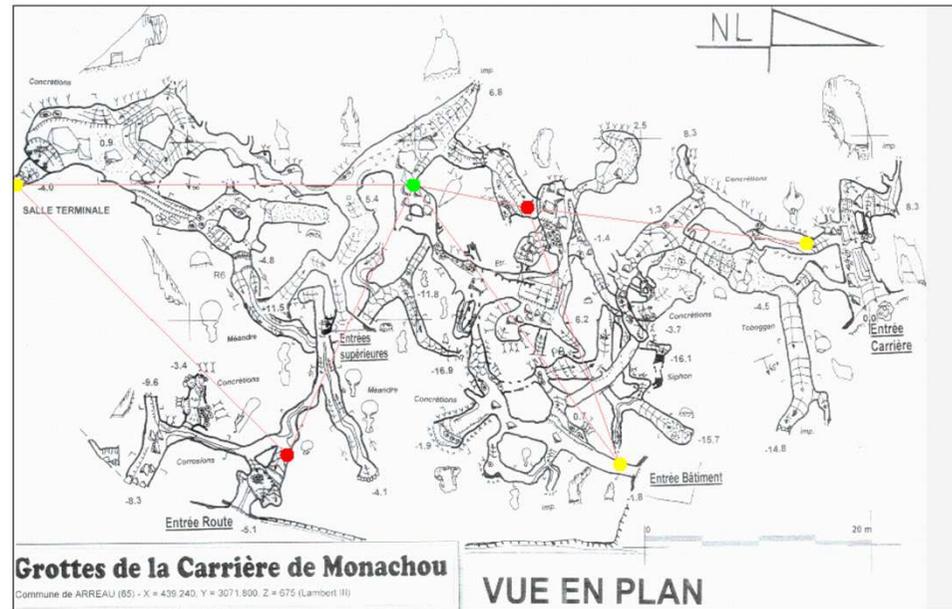
Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Modèles pour le collectif

Simplifier l'observation des CCP (\equiv MWAC)

Des modèles

• OBSERVATION

Une démarche

Des outils

PROBLÈME

Améliorer l'intelligibilité

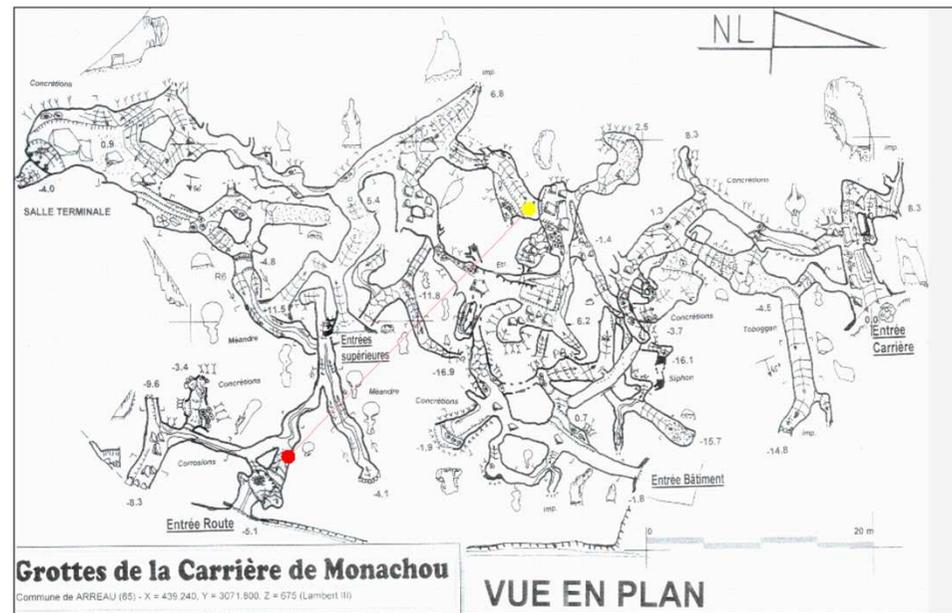
Respecter l'autonomie des nœuds

Sans ajouter des nœuds dédiés

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

PROPOSITION



[RIA, 2012][IJAACS,2017]

Modèles pour le collectif

Adapation aux environnements changeants

PROBLÈME

Fournir aux utilisateurs des compositions « mobiles »

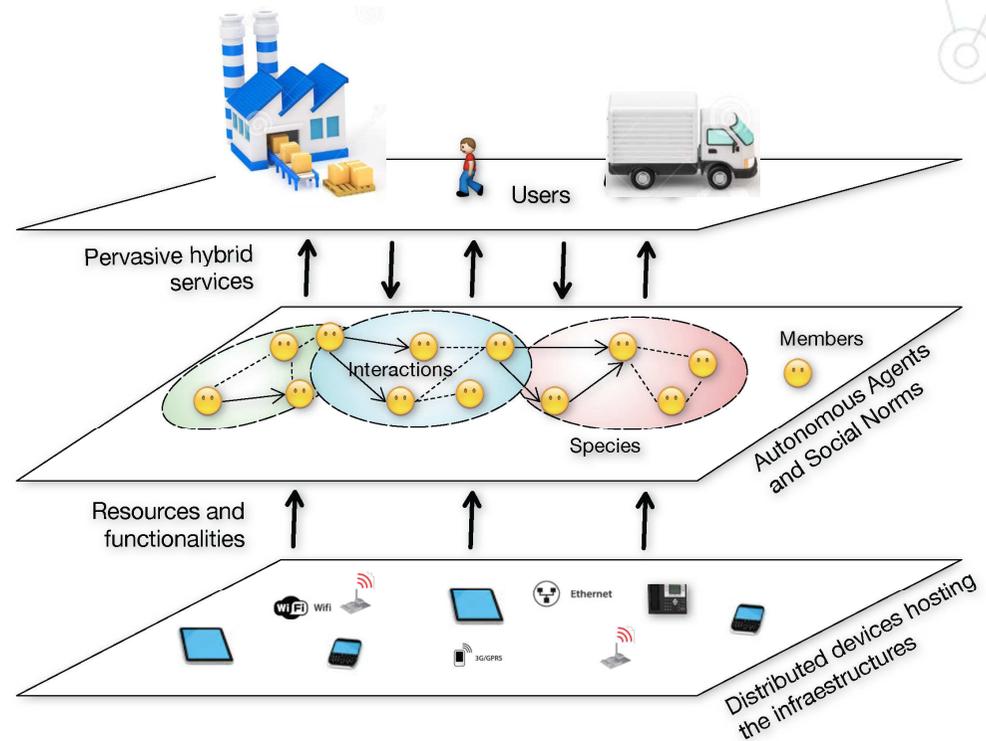
Adapter la composition aux changements d'environnement

Etre réactif

Défis majeurs

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

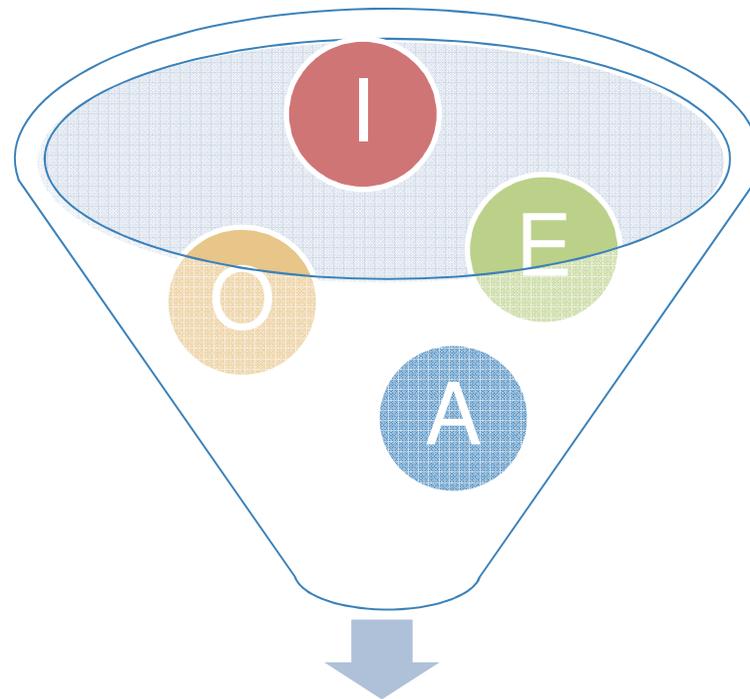
PROPOSITION



CINVESTAV-Mexique
[IEEE Systems Journal, 2017]

Modèles pour le collectif

Les architectures d'agents embarqués



Agent

Des modèles	• AGENT
Une démarche	
Des outils	

Modèles pour le collectif

Les architectures d'agents : eAstro



PROBLÈME

Intégration A,E,I,O
sur une plateforme contrainte

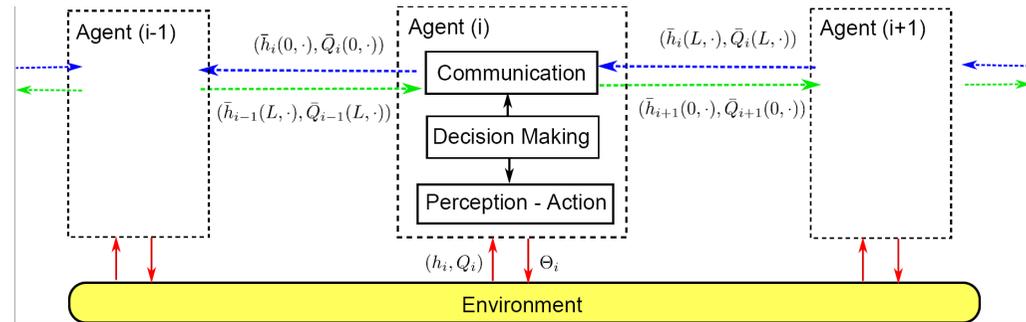
ASTRO [Occello, 1998]
(contexte applicatif : robotique)

Alléger l'architecture

Défis majeurs

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

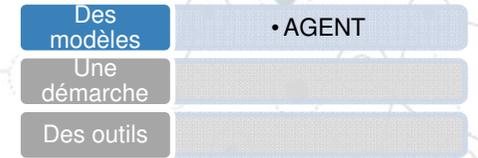
PROPOSITION



Action transversale *Commande sociale des systèmes complexes*
[MOSIM, 2014]

Modèles pour le collectif

Les architectures d'agents : avatar



PROBLÈME

Outrepasser les limitations physiques des objets

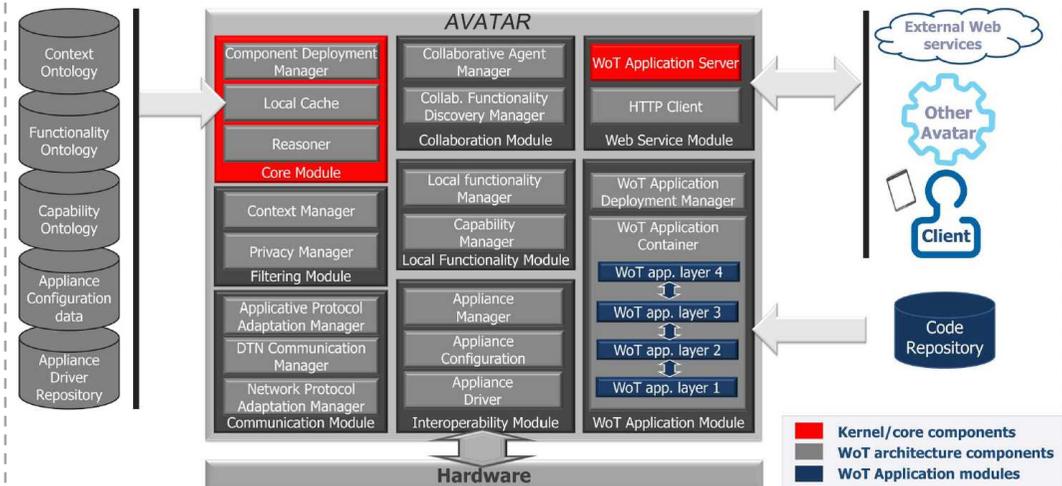
Incarner l'objet dans le monde virtuel

Exploiter ce nouvel environnement

Défis majeurs



PROPOSITION



ANR ASAWoO
[IEEE Internet Computing, 2015]

Ingénierie multi-agent des collectifs cyber-physiques

Des modèles

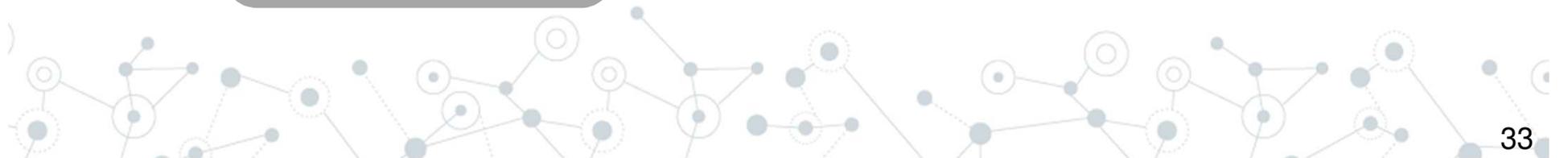
- nature physique de l'environnement et des agents;
- contexte physique des interactions.

Une démarche

- couvrir l'**ensemble des étapes** du cycle de vie;
- des **risques** spécifiques à la conception des systèmes embarqués.

Des outils

- pour supporter ces nouvelles étapes du cycle de vie.

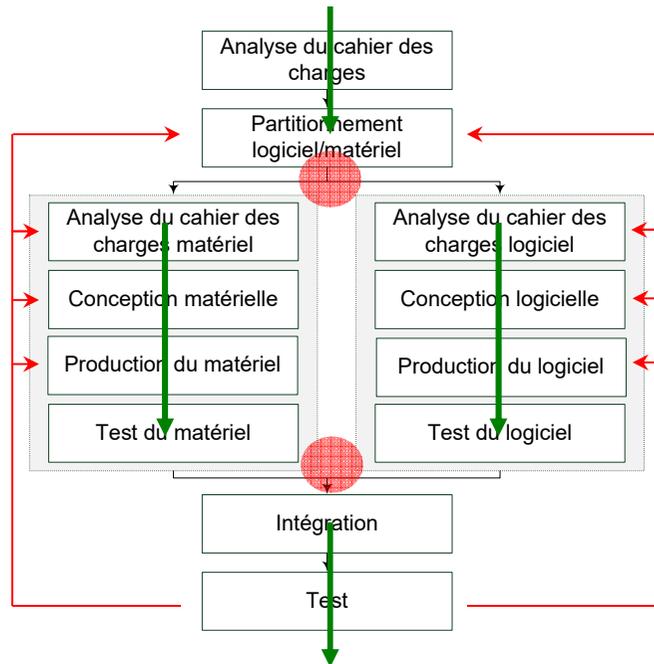


Approche méthodologique

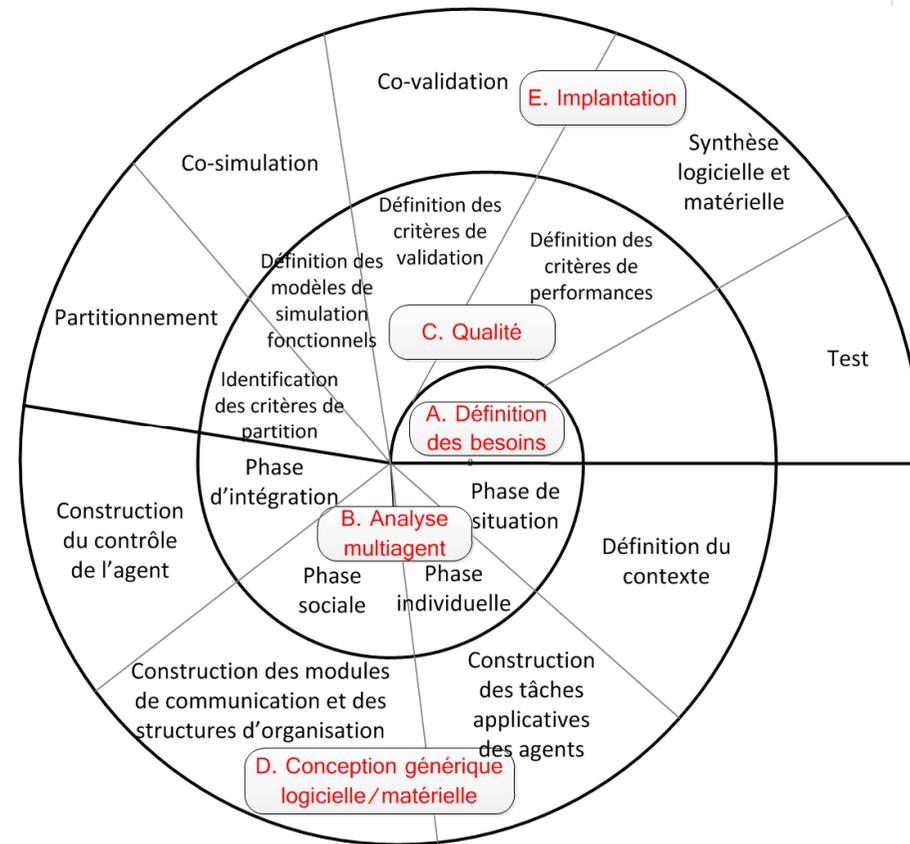
A propos du cycle de vie



PROBLÈME



PROPOSITION



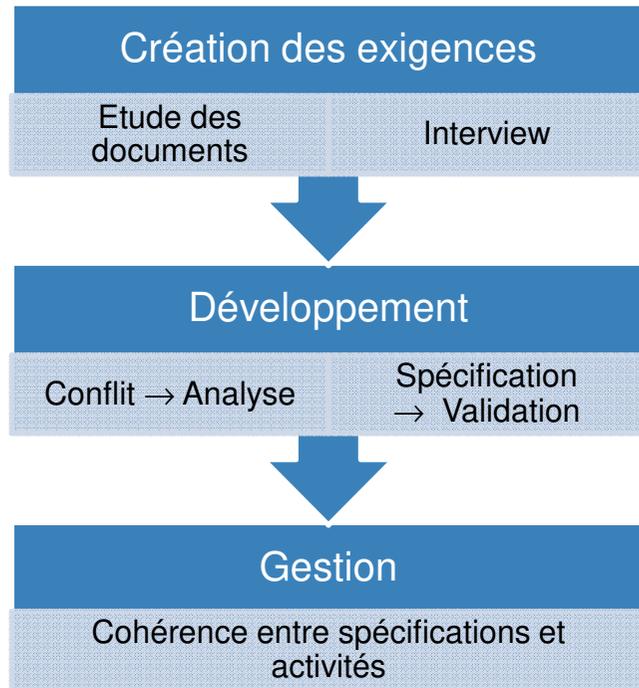
Projet Kurasu – CEA, DRT E. Jez
[IJAOSÉ, 2016]

Approche méthodologique

A propos des exigences liées à la sûreté



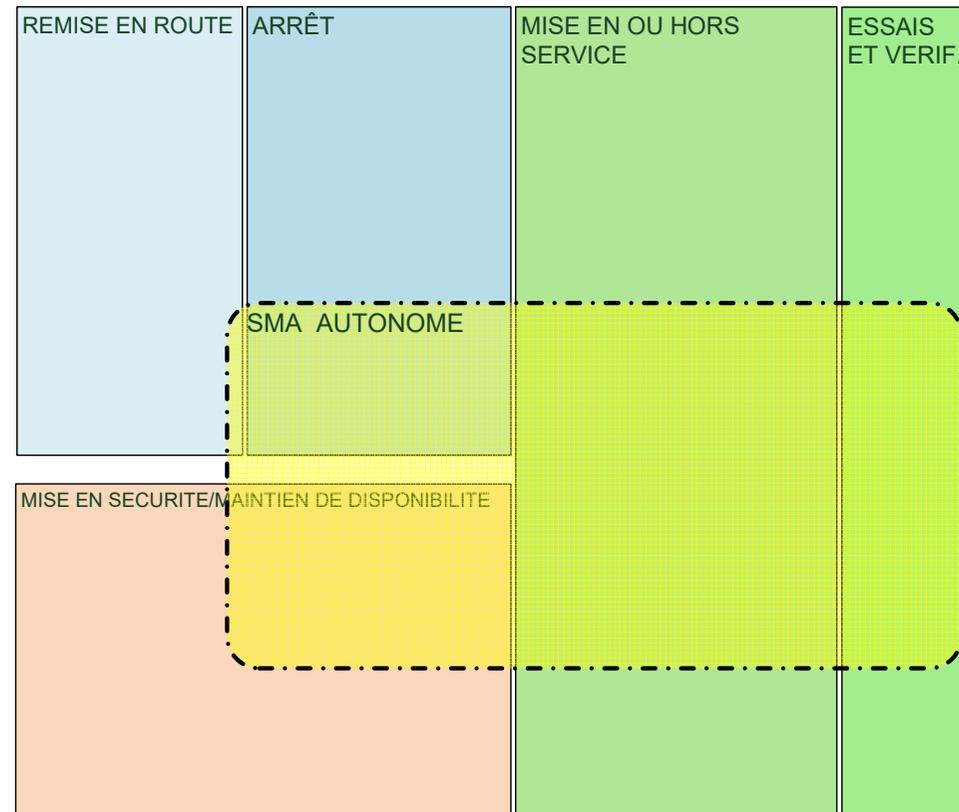
PROBLÈME



Défis majeurs

- | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|

PROPOSITION



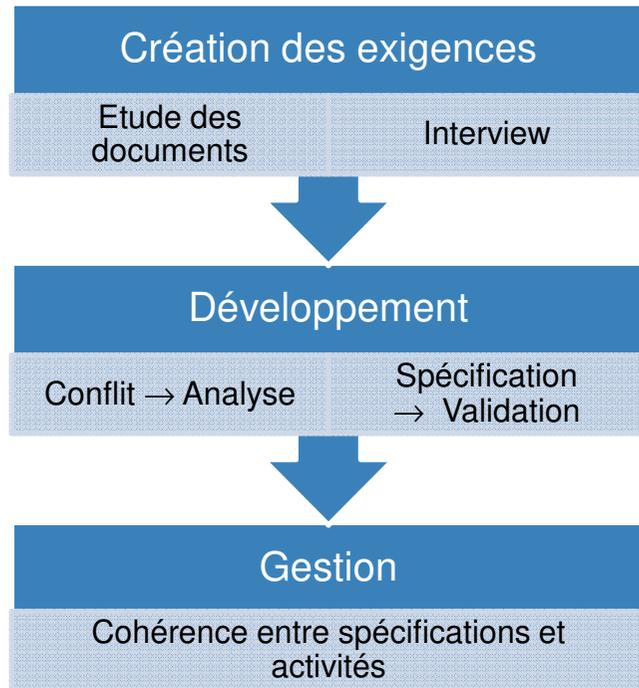
FITT-RRR PALETTE
 [PAAMS, 2013]

Approche méthodologique

A propos des exigences liées à la sûreté



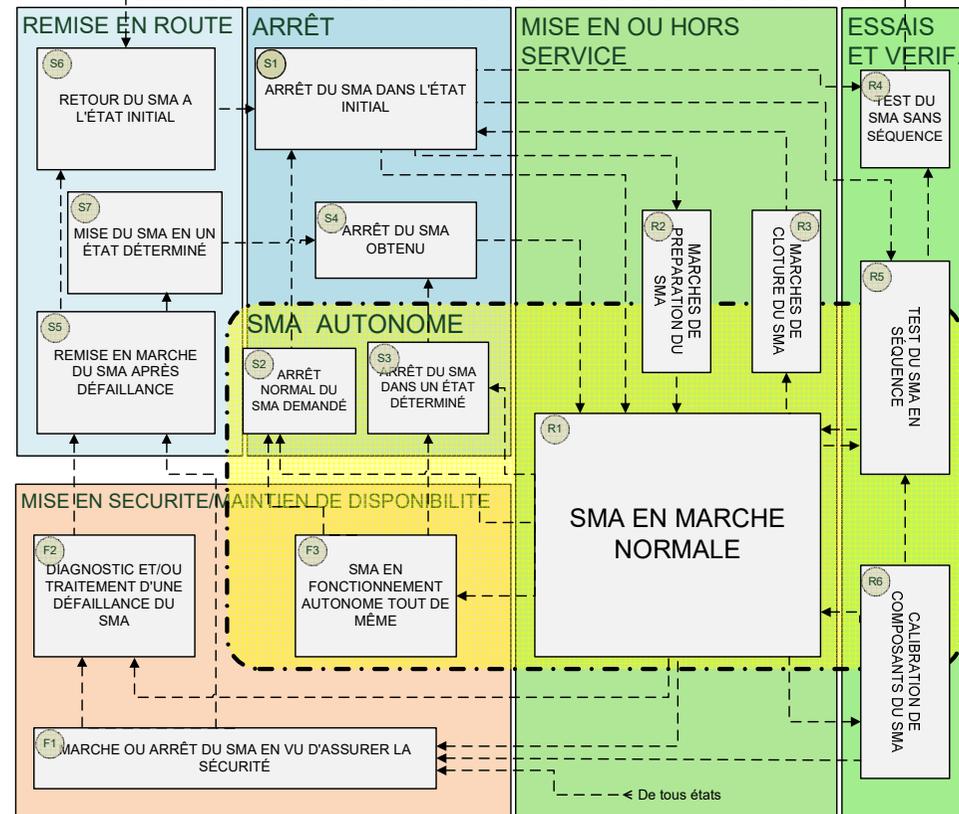
PROBLÈME



Défis majeurs

- | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|

PROPOSITION



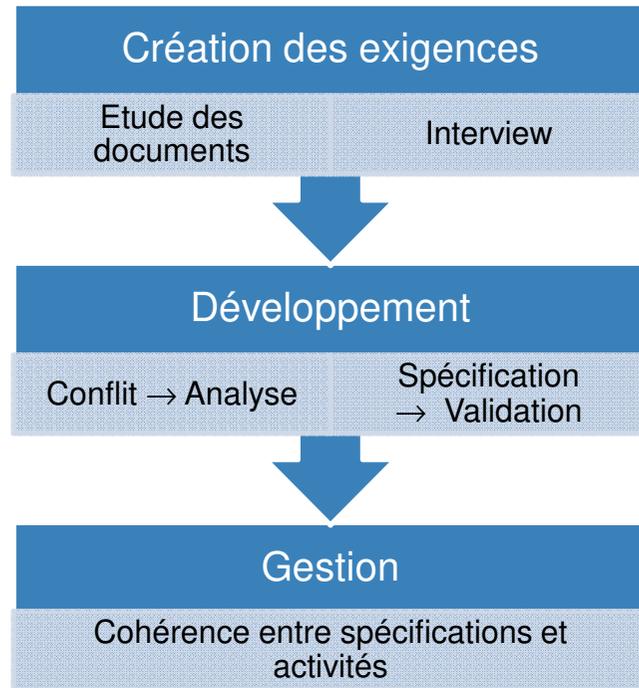
FITT-RRR PALETTE
[PAAMS, 2013]

Approche méthodologique

A propos des exigences liées à la sûreté

Des modèles	
Une démarche	• SURETE
Des outils	

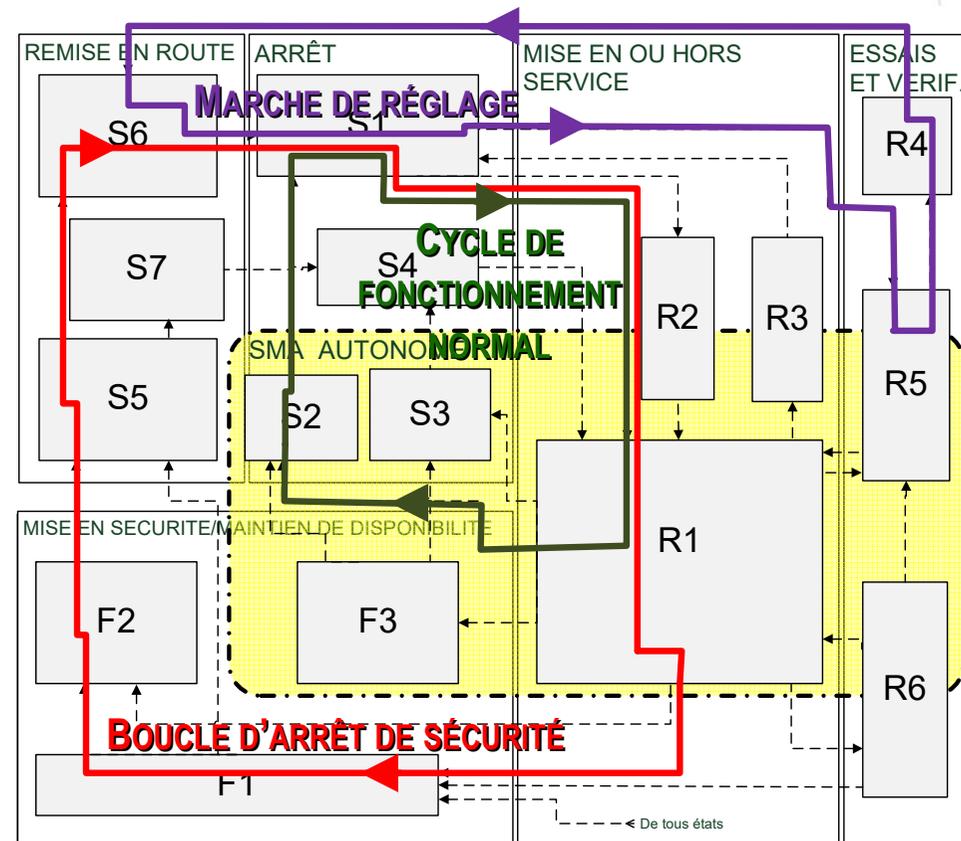
PROBLÈME



Défis majeurs

- | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|

PROPOSITION



FITT-RRR PALETTE
[PAAMS, 2013]

Ingénierie multi-agent des collectifs cyber-physiques

Des modèles

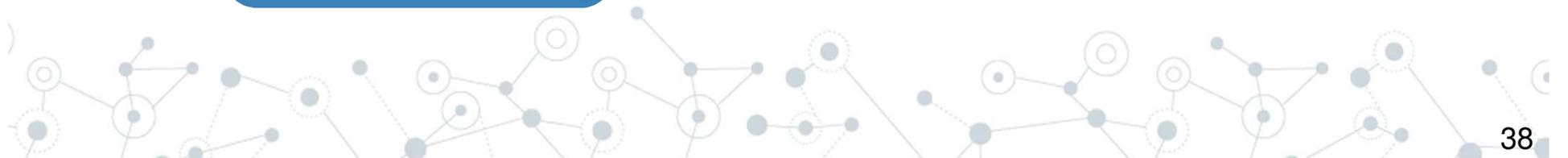
- nature physique de l'environnement et des agents;
- contexte physique des interactions.

Une démarche

- couvrir l'ensemble des étapes du cycle de vie;
- des risques spécifiques à la conception des systèmes embarqués.

Des outils

- pour **supporter ces nouvelles étapes** du cycle de vie.



L'outil MASH

Maîtriser la déviation fonctionnelle d'un agent

Des modèles	
Une démarche	
Des outils	• 1 ^{er} TYPE DE BIAIS

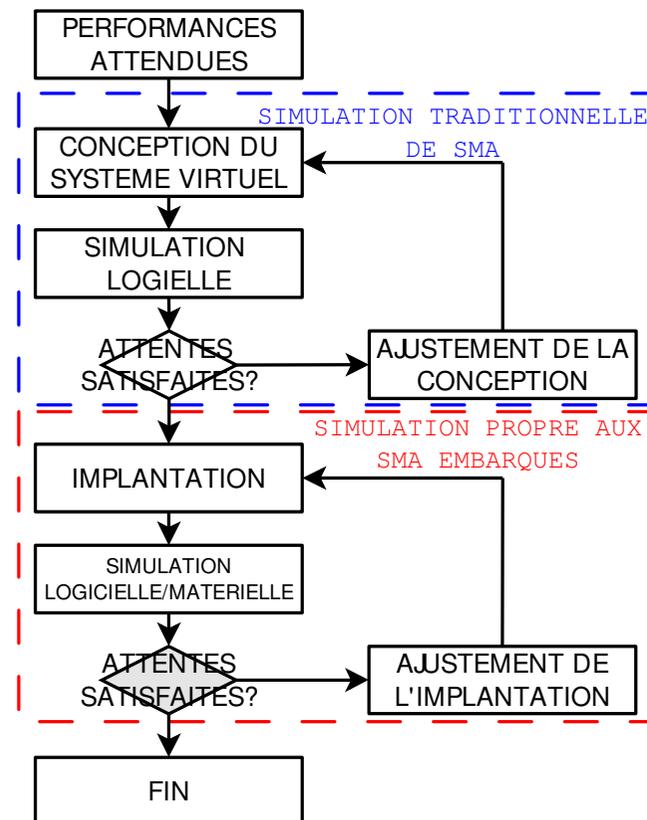
PROBLÈME

Mettre au point
le SMA embarqué

Maîtriser la déviation
fonctionnelle

Comparer comportements
virtuels et réels

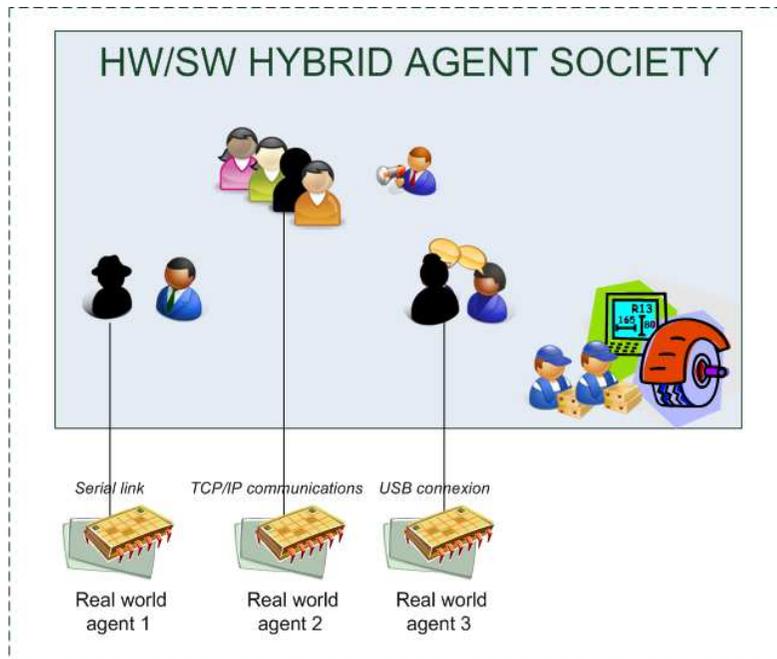
PROPOSITION



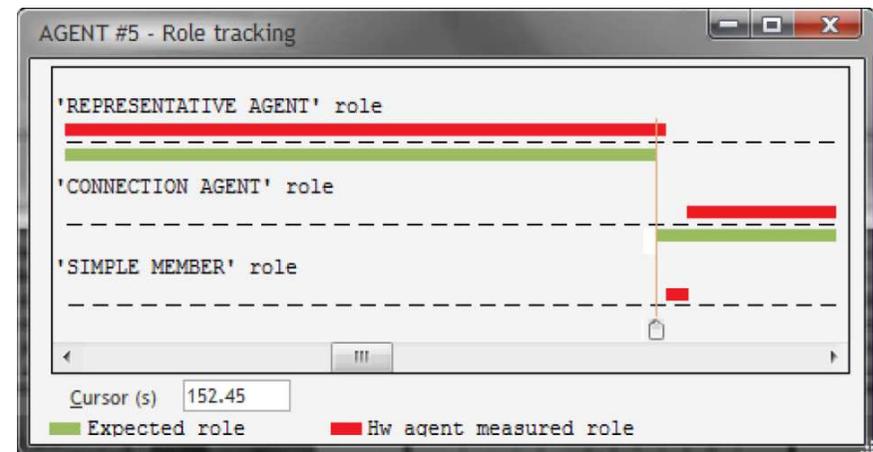
Master de Ł. Nocun et S. Gasior
[IEEE/WIC/ACM IAT, 2009]

L'outil MASH

Maîtriser la déviation fonctionnelle d'un agent



Avatar Sw agent Hw agent



L'outil MASH

Minimiser les approximations dans la décision

Des modèles
Une démarche
Des outils

• 2^{ème} TYPE DE BIAIS

PROBLÈME

Evaluer les règles de décision

De nombreux modèles

Criticité de ceux liés à la physique

PROPOSITION

MODELES IMPLIQUES DANS LA SIMULATION

Modèles liés aux aspects physiques



Modèles de l'environnement applicatif



Modèles de batteries et de consommation d'énergie



Modèles de propagation d'ondes

Modèles centrés individus



Comportements individuels



Modèles d'interaction



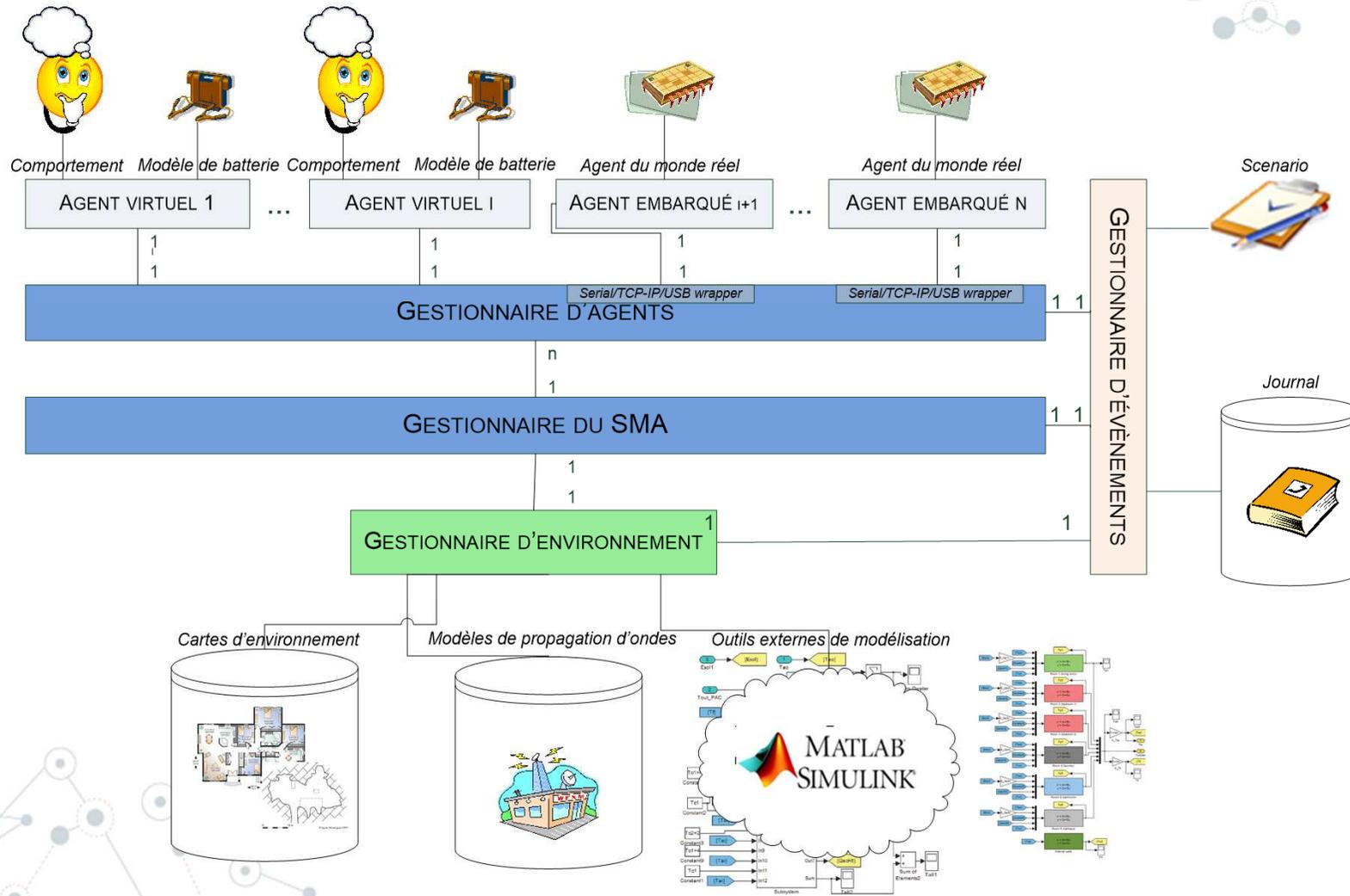
Modèles d'organisation

[IEEE/WIC/ACM IAT, 2011][PAAMS, 2013]

L'outil MASH

Minimiser les approximations dans la décision

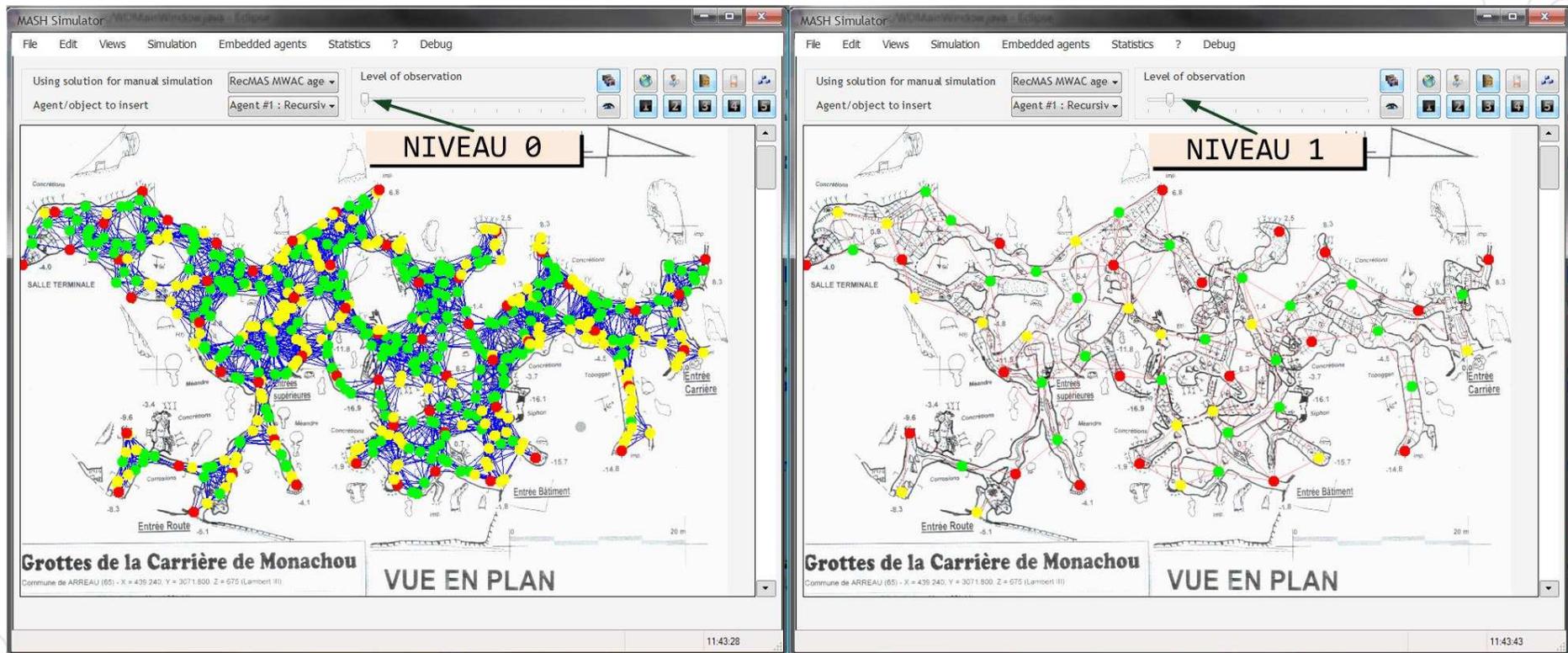
- Des modèles
- Une démarche
- Des outils
 - 2^{ème} TYPE DE BIAIS



L'outil MASH

Simulation des systèmes multi-niveaux

- Des modèles
 - Une démarche
 - Des outils
- ILLUSTRATION 1



L'outil MASH

Simulation d'un système mixte logiciel/matériel

- Des modèles
 - Une démarche
 - Des outils
- ILLUSTRATION 2

MASH Simulator

File Edit Views Simulation Embedded agents Statistics ? Debug

Using solution for manual simulation MWAC agent

Agent/object to insert Agent #1 : MWAC

100,000 %

Concrétions

SALLE TERMINALE

10:47:28

Spy agent #2 SPY_2

State and events Statistics Command

Id=2 Role=ROLE_LINK Group=39,50 Energy=100,00 Range=60

Neighbor list (4)

id	role	group
39	ROLE_REPRESENTATIVE	39
50	ROLE_REPRESENTATIVE	50
1	ROLE_SIMPLEMEMBER	39
53	ROLE_LINK	39,50

Date Event

00:00:00.000 Object #2: Range becomes 60

00:00:00.000 Unknown event Object #2 is created : sid=2 uid=2

00:00:00.579 Object 2: Received frame Frame from 1 to all surrounding neighbors. Message

00:00:00.579 Object 2: Received bytes [00 00 00 01 ff ff ff 00 00 01 ff ff ff 01]

00:00:00.689 Object 2: Received frame Frame from 39 to all surrounding neighbors. Message

00:00:00.689 Object 2: Received bytes [00 00 00 27 ff ff ff 00 00 27 ff ff ff 01]

00:00:00.720 Object 2: Received frame Frame from 50 to all surrounding neighbors. Message

Number of sent frames

Number of frames

1380

920

460

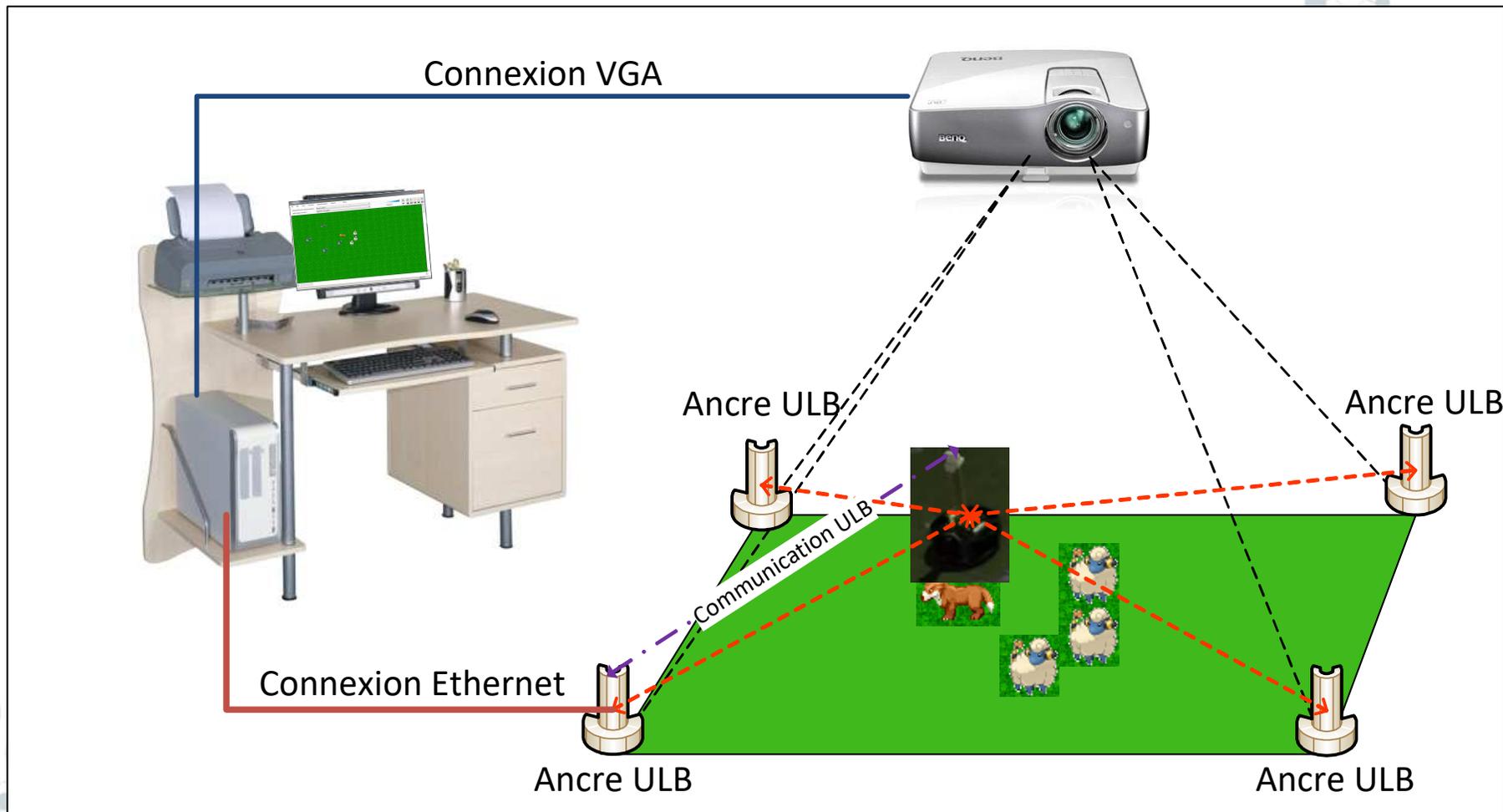
000-00.00 000-023.218 000-046.436 001-09.900 001-032.308 001-055.526 002-018.179

Time

L'outil MASH

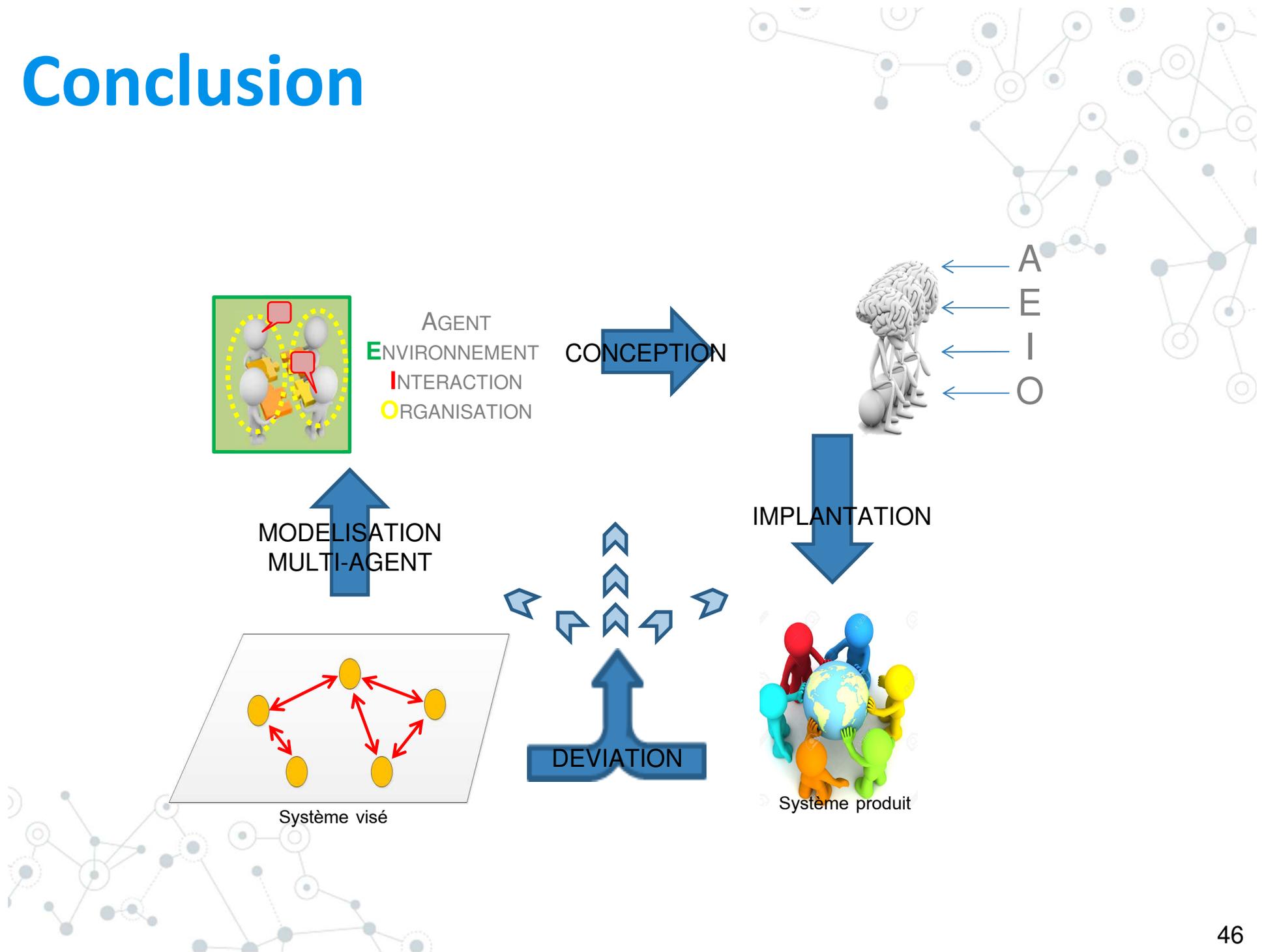
Des modèles	
Une démarche	
Des outils	• ILLUSTRATION 3

Un démonstrateur pour les collectifs cyber-physiques Plafond de la salle



Sol de la salle

Conclusion



Conclusion

- UNE DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE :
Cycle de vie en spirale, codesign, activités spécifiques
- DES MODÈLES MULTI-AGENTS OPÉRATIONNELS :
eASTRO, Avatar, Famille MWAC, Maintenance de fédérations
- DES CONTRIBUTIONS OUTILLÉES ET VALIDÉES PAR DES PROJETS :

Nom du projet	Financement	Partenaire privilégié	Thème	Publication liée
ACLIRSYS	ANR	MACSY	Domotique	{Jamont et al., 2011}
ASAWoO	ANR	LIRIS	Web des objets	{Mrissa et al., 2015}
ENVSYS	Industriel	CREATIME	Instrumentation	{Jamont et al., 2010}
KURASU	Industriel	CEA-LETI	Robotique	{Jez, 2011}
METALISM	ECOS	CINVESTAV	Ingénierie des SMA	{Razo et al., 2010}
PALETTE	Industriel	EREIMA	Robotique	{Jamont et al., 2014b}
SWANS	EU	CEA-LETI	Radiolocalisation	{Ocello et al., 2008}
SIET	Industriel	TMM Software	Soins à domicile	{Mercier et al., 2013a}
TASSILI	PHC	LMCS-Alger	Instrumentation	{Hamani et al., 2011}
VAICTEUR AIR2	Industriel	MACSY	Domotique	{Jamont et al., 2011}

Perspectives

Une ingénierie des collectifs cyber-physiques

A
P
P
R
O
C
H
E

- INTÉGRATION DES EXIGENCES NON FONCTIONNELLES DANS LES AGENTS
Projet interne au laboratoire LCIS

M
O
D
E
L
E
S

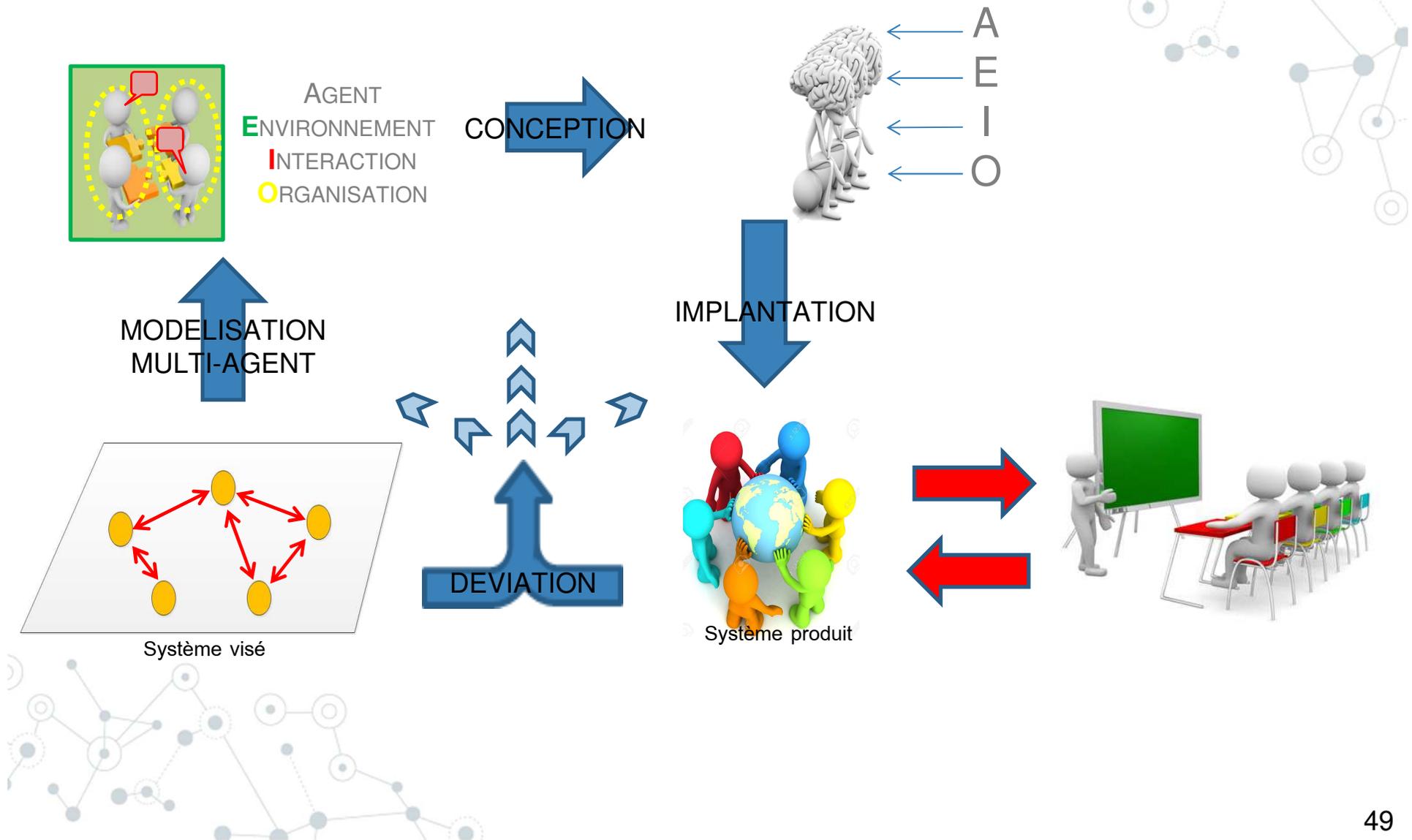
- ARCHITECTURE DE SMA ET D'AGENTS FORTEMENT CONTRAINTS
Collaboration avec LHC-Saint-Etienne, Université de Monastir-Tunisie
Thèse de Rym Skhiri
- SERVICE TRANSVERSAL DE LA GESTION DE LA CONFIANCE
Collaboration avec IRIT, LITIS
Financement de la Chaire Trust (Fondation GrenobleINP)
Financements de la Chaire Cyb'Air (GEM Armée de l'air, Thalès, Dassault)

O
U
T
I
L
S

- COMMANDE SOCIALE DES SYSTÈMES COMPLEXES
Animation axe transversal LCIS
- MUTUALISATION D'EXPERTISES OUTILLÉES
Collaboration avec LHC-Saint-Etienne
Thèse de Ndiaye Khadim

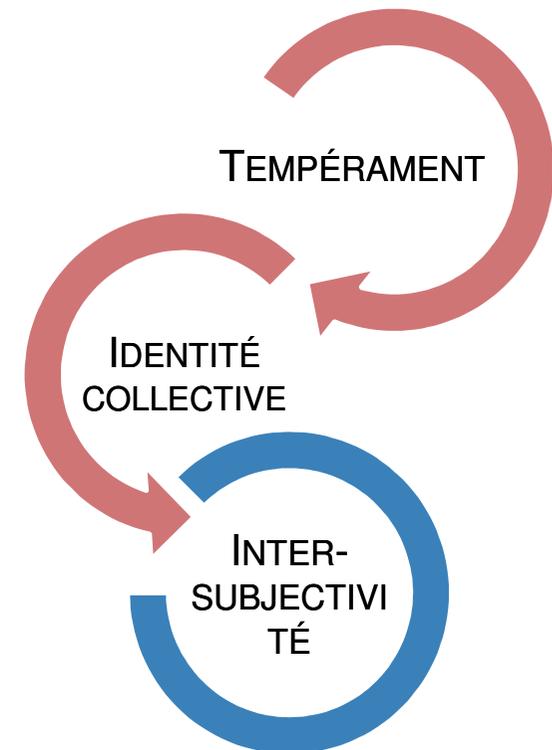
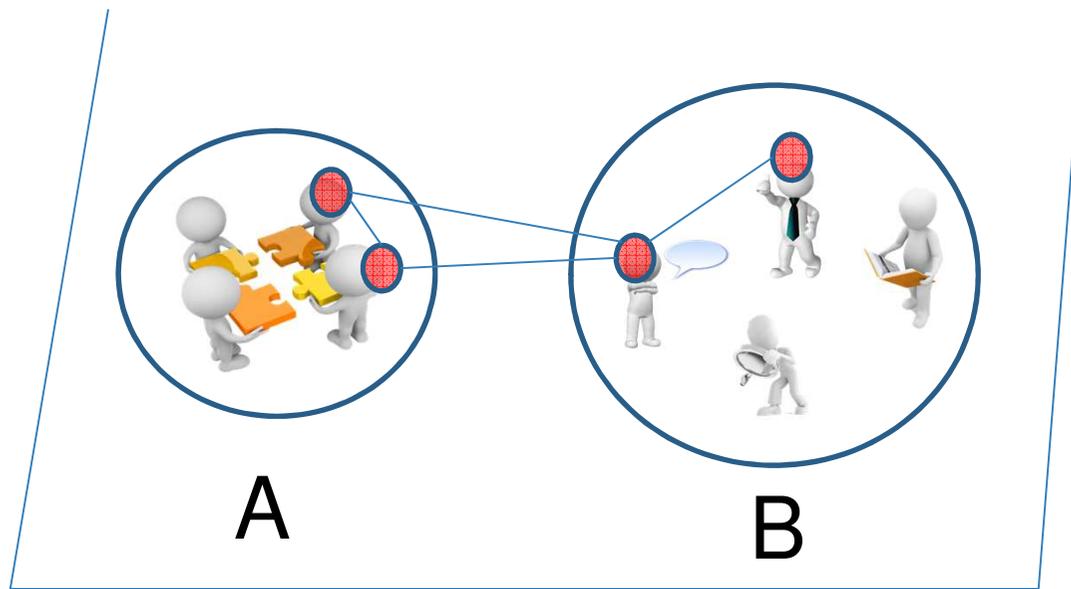
Perspectives

Une ingénierie du couplage des CCP



Perspectives

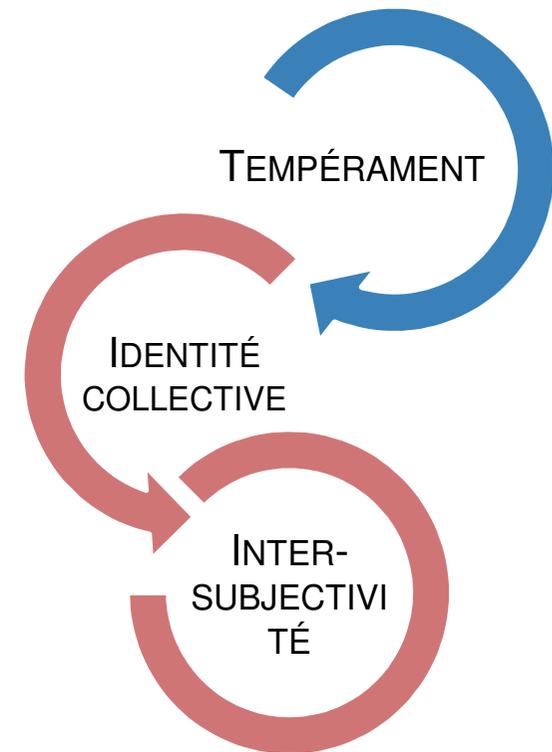
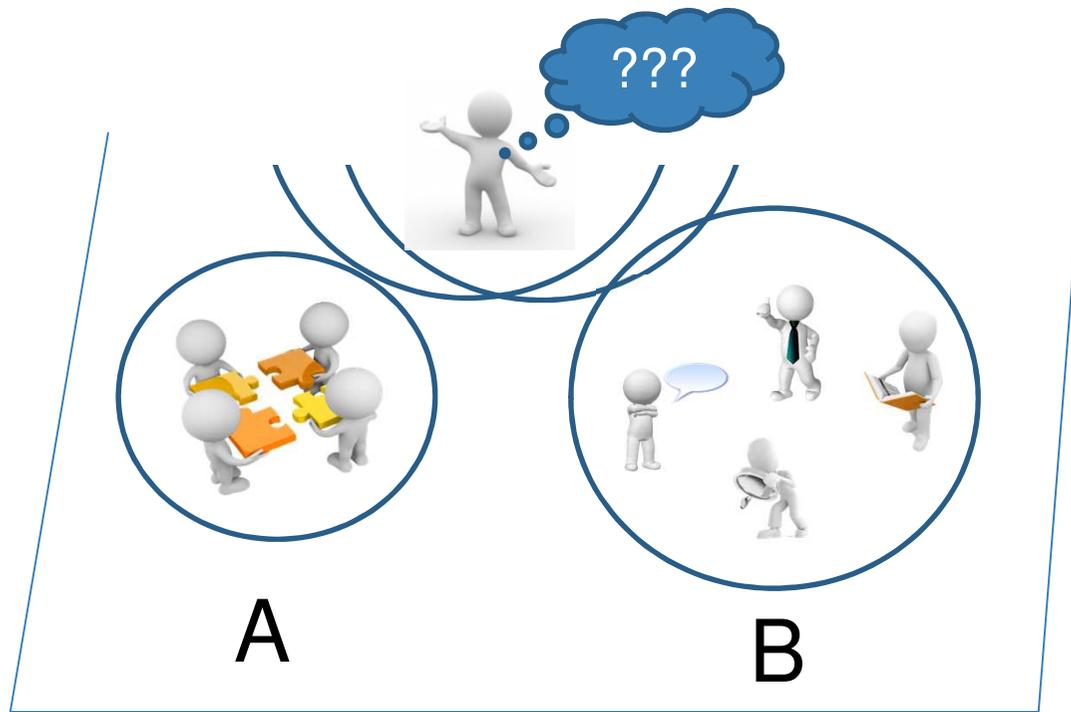
Une ingénierie du couplage des CCP



Thèse A. Kenifar
[RIA 2017]

Perspectives

Une ingénierie du couplage des CCP



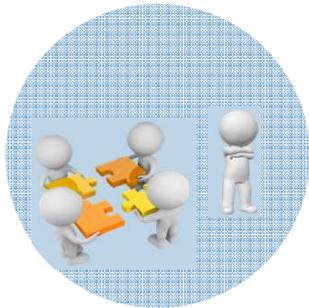
Thèse E.-M.. Khalfi
[Morgan Kaufman/Elsevier 2017]

Perspectives

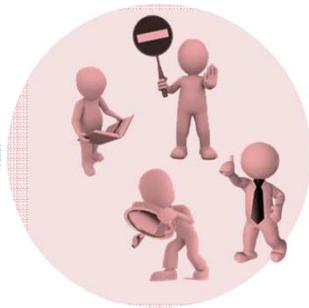
Une ingénierie du couplage des CCP



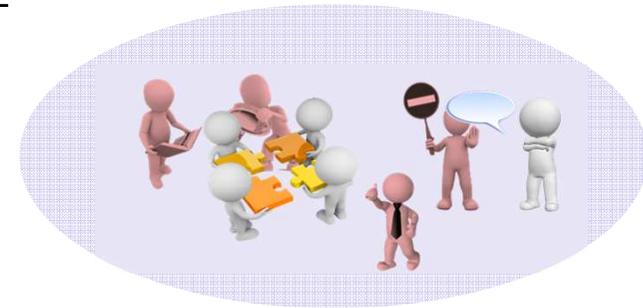
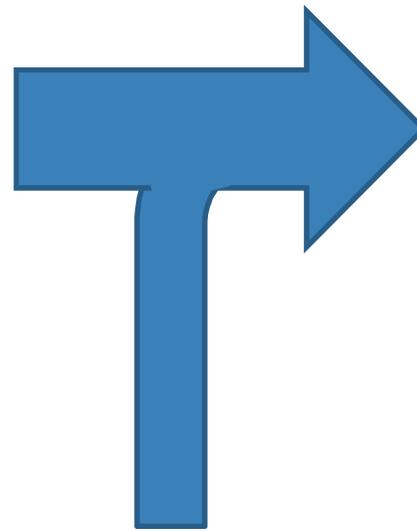
BESOINS APPLICATIFS



DES CCP PRÉEXISTANTS



PROCESSUS GÉNIE LOGICIEL



SOLUTION
COLLECTIFS CYBER-PHYSIQUES
COOPERANTS



SMA

Merci de votre attention

