

# Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

**Sébastien BRIOT**

École Doctorale SPIGA, Université de Nantes, IRCCyN

8 janvier 2016

Soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches

**Rapporteurs :**

M. ANDREFF Nicolas  
M. DOMBRE Étienne  
M. ZEGHLOUL Saïd

Professeur des universités  
Directeur de recherche émérite  
Professeur des universités

Univ. Franche Comté - FEMTO-ST  
CNRS - LIRMM  
Univ. Poitiers - PPRIME

**Examineurs :**

M. Aoustin Yannick  
M. Merlet Jean-Pierre

Professeur des universités  
Directeur de recherche

Univ. Nantes - IRCCyN  
INRIA Sophia-Antipolis

**Directeur de recherche :**

M. MARTINET Philippe

Professeur des universités

École Centrale Nantes - IRCCyN

# Plan de la présentation



- 1 Synthèse des activités
- 2 Travaux de recherche
- 3 Conclusions et perspectives de recherche

# Plan de la présentation



- 1 Synthèse des activités
- 2 Travaux de recherche
- 3 Conclusions et perspectives de recherche

## Bref historique

- 1999–2004** **Diplôme d'Ingénieur**, INSA de Rennes, spécialité Génie Mécanique et Automatique
- 2004** **DEA**, Univ. Rennes 1, spécialité Mécanique des Matériaux et des Fluides, Génie Mécanique et Génie Civil
- 2004–2007** **Thèse de Doctorat**, INSA de Rennes  
*Analyse et Optimisation d'une Nouvelle Famille de Manipulateurs Parallèles aux Mouvements Découplés*
- 2007–2008** **Post-doctorat**, ETS Montréal
- 2008–2009** **Post-doctorat**, IRCCyN, EMN
- 2009–...** **Chargé de recherche CNRS**, IRCCyN

## Thèmes de recherche

- Maîtrise de la dynamique des robots parallèles
- Conception et commande de nouveaux robots parallèles aux performances statiques et dynamiques améliorées

## Bref historique

- 1999–2004** **Diplôme d'Ingénieur**, INSA de Rennes, spécialité Génie Mécanique et Automatique
- 2004** **DEA**, Univ. Rennes 1, spécialité Mécanique des Matériaux et des Fluides, Génie Mécanique et Génie Civil
- 2004–2007** **Thèse de Doctorat**, INSA de Rennes  
*Analyse et Optimisation d'une Nouvelle Famille de Manipulateurs Parallèles aux Mouvements Découplés*
- 2007–2008** **Post-doctorat**, ETS Montréal
- 2008–2009** **Post-doctorat**, IRCCyN, EMN
- 2009–...** **Chargé de recherche CNRS**, IRCCyN

## Thèmes de recherche

- Maîtrise de la dynamique des robots parallèles
- Conception et commande de nouveaux robots parallèles aux performances statiques et dynamiques améliorées

## Encadrements



## Etudiants en thèse de doctorat

	Doctorant(e)	Début	Soutenance	% encadrement
1	Coralie GERMAIN	sep. 2010	9 déc. 2013	30
2	Georges PAGIS	oct. 2011	13 jan. 2015	30
3	Victor ROSENZVEIG	oct. 2012	25 sep. 2015	60
4	Vamshi Krishna VUNDEKODE	oct. 2014	arrêt en juin 2015	30
5*	Lila KACI	oct. 2015	prévue en 2018	40
6	Adrien KOESSLER	oct. 2015	prévue en 2018	25
7*	Damien SIX	oct. 2015	prévue en 2018	40

## Etudiants en thèse de master

	% encadrement
2 étudiants	100
2 étudiants	80
7 étudiants	50

## Encadrements



## Etudiants en thèse de doctorat

	Doctorant(e)	Début	Soutenance	% encadrement
1	Coralie GERMAIN	sep. 2010	9 déc. 2013	30
2	Georges PAGIS	oct. 2011	13 jan. 2015	30
3	Victor ROSENZVEIG	oct. 2012	25 sep. 2015	60
4	Vamshi Krishna VUNDEKODE	oct. 2014	arrêt en juin 2015	30
5*	Lila KACI	oct. 2015	prévue en 2018	40
6	Adrien KOESSLER	oct. 2015	prévue en 2018	25
7*	Damien SIX	oct. 2015	prévue en 2018	40

## Etudiants en thèse de master

	% encadrement
2 étudiants	100
2 étudiants	80
7 étudiants	50

## Coordination de projets

- **ANR ARROW** : “Accurate and rapid Robots with large operational workspace” (10/2011 à 04/2016)  
*Partenaires* : IRCCyN, LIRMM, Tecnalìa. *Budget* : 823 k€, IRCCyN 320 k€.
- Région PDL : “Banc d’essai pour la robotique rapide et précise” (10/2012 à 10/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 156 k€.
- Échange chercheurs CNRS France-Russie : “Optimal design and motion planning for parallel robots in the neighbourhood of singularities” (01/2012 à 12/2013)  
*Partenaire* : IRCCyN, Académie des Sciences de Russie. *Budget* : 7.4 k€.
- AtlanSTIC ARMOR-ROB : “Asservissement visuel des robots parallèles” (10/2014 à 12/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 10 k€.
- Région PDL RobEcolo : “Conception et Commande d’un robot industriel en bois” (10/2015 à 10/2018)  
*Partenaires* : IRCCyN, ESB. *Budget* : financement 243 k€, IRCCyN 213 k€.



## Coordination de projets

- **ANR ARROW** : “Accurate and rapid Robots with large operational workspace” (10/2011 à 04/2016)  
*Partenaires* : IRCCyN, LIRMM, Tecnalìa. *Budget* : 823 k€, IRCCyN 320 k€.
- **Région PDL** : “Banc d’essai pour la robotique rapide et précise” (10/2012 à 10/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 156 k€.
- **Échange chercheurs CNRS France-Russie** : “Optimal design and motion planning for parallel robots in the neighbourhood of singularities” (01/2012 à 12/2013)  
*Partenaire* : IRCCyN, Académie des Sciences de Russie. *Budget* : 7.4 k€.
- **AtlanSTIC ARMOR-ROB** : “Asservissement visuel des robots parallèles” (10/2014 à 12/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 10 k€.
- **Région PDL RobEcolo** : “Conception et Commande d’un robot industriel en bois” (10/2015 à 10/2018)  
*Partenaires* : IRCCyN, ESB. *Budget* : financement 243 k€, IRCCyN 213 k€.

## Coordination de projets

- **ANR ARROW** : “Accurate and rapid Robots with large operational workspace” (10/2011 à 04/2016)  
*Partenaires* : IRCCyN, LIRMM, Tecnalìa. *Budget* : 823 k€, IRCCyN 320 k€.
- **Région PDL** : “Banc d’essai pour la robotique rapide et précise” (10/2012 à 10/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 156 k€.
- **Échange chercheurs CNRS France-Russie** : “Optimal design and motion planning for parallel robots in the neighbourhood of singularities” (01/2012 à 12/2013)  
*Partenaire* : IRCCyN, Académie des Sciences de Russie. *Budget* : 7.4 k€.
- **AtlanSTIC ARMOR-ROB** : “Asservissement visuel des robots parallèles” (10/2014 à 12/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 10 k€.
- **Région PDL RobEcolo** : “Conception et Commande d’un robot industriel en bois” (10/2015 à 10/2018)  
*Partenaires* : IRCCyN, ESB. *Budget* : financement 243 k€, IRCCyN 213 k€.

## Coordination de projets

- **ANR ARROW** : “Accurate and rapid Robots with large operational workspace” (10/2011 à 04/2016)  
*Partenaires* : IRCCyN, LIRMM, Tecnalìa. *Budget* : 823 k€, IRCCyN 320 k€.
- **Région PDL** : “Banc d’essai pour la robotique rapide et précise” (10/2012 à 10/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 156 k€.
- **Échange chercheurs CNRS France-Russie** : “Optimal design and motion planning for parallel robots in the neighbourhood of singularities” (01/2012 à 12/2013)  
*Partenaire* : IRCCyN, Académie des Sciences de Russie. *Budget* : 7.4 k€.
- **AtlanSTIC ARMOR-ROB** : “Asservissement visuel des robots parallèles” (10/2014 à 12/2015)  
*Partenaire* : IRCCyN. *Budget* : 10 k€.
- **Région PDL RobEcolo** : “Conception et Commande d’un robot industriel en bois” (10/2015 à 10/2018)  
*Partenaires* : IRCCyN, ESB. *Budget* : financement 243 k€, IRCCyN 213 k€.

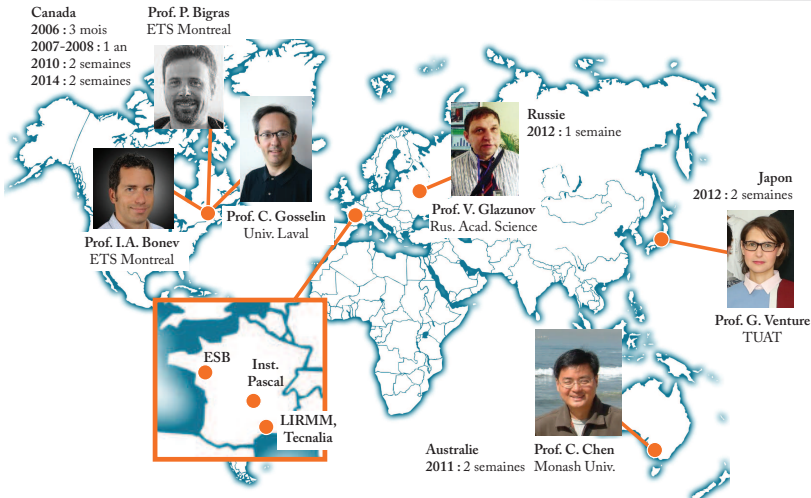
## Participation à projets en tant que membre

- **FUI IRIMI** : “Imageur Robotisé pour les Interventions Mini-Invasives” (2010–2012)  
*Tâche* : Identification dynamique du bras manipulateur.  
*Budget* : coût projet 12 M€, financement 5.6 M€, part IRCCyN 400 k€.
- **ANR COROUSSO** : “modélisation et COMmande de RObots d’USinage de pièces composites de grandes dimensions et de SOudage FSW” (2010–2014)  
*Tâche* : Identification dynamique du Kuka KR 270.  
*Budget* : 1.2 M€, part IRCCyN 333 k€.
- **Projet PHC FAST** : “Conception Optimale d’une Interface Haptique Dédiée à La Robotique Médicale” (2011–2012)  
*Tâche* : Modélisation et identification dynamique.  
*Budget* : 24 k€, part IRCCyN 12 k€.
- **IRT JV–DFP** : “Dry Fiber Placement” (2013–2016)  
*Tâche* : Identification dynamique. *Budget* : 1.9 M€, part IRCCyN 69.6 k€.
- **IA/Feder EquipEx RobotEx** : “Réseau national de plateformes robotiques d’excellence” (2011–2018)  
*Tâche* : Responsable scientifique de la plate-forme de robotique rapide et précise. *Budget* : IA 10.5 M€, part IRCCyN IA 962 k€, Feder 617 k€.

## Participation à projets en tant que membre

- **FUI IRIMI** : “Imageur Robotisé pour les Interventions Mini-Invasives” (2010–2012)  
*Tâche* : Identification dynamique du bras manipulateur.  
*Budget* : coût projet 12 M€, financement 5.6 M€, part IRCCyN 400 k€.
- **ANR COROUSSO** : “modélisation et COMmande de RObots d’USinage de pièces composites de grandes dimensions et de SOudage FSW” (2010–2014)  
*Tâche* : Identification dynamique du Kuka KR 270.  
*Budget* : 1.2 M€, part IRCCyN 333 k€.
- **Projet PHC FAST** : “Conception Optimale d’une Interface Haptique Dédiée à La Robotique Médicale” (2011–2012)  
*Tâche* : Modélisation et identification dynamique.  
*Budget* : 24 k€, part IRCCyN 12 k€.
- **IRT JV–DFP** : “Dry Fiber Placement” (2013–2016)  
*Tâche* : Identification dynamique. *Budget* : 1.9 M€, part IRCCyN 69.6 k€.
- **IA/Feder EquipEx RobotEx** : “Réseau national de plateformes robotiques d’excellence” (2011–2018)  
*Tâche* : Responsable scientifique de la plate-forme de robotique rapide et précise. *Budget* : IA 10.5 M€, part IRCCyN IA 962 k€, Feder 617 k€.

# Collaborations et Mobilités



## Activités d'intérêt général

- **Membre du comité de prospective** de l'IRCCyN depuis sep. 2014.
- **Chargé de mission AtlanSTIC** de sep. 2012 à sep. 2014.
- **Animateur scientifique** de l'axe **Robotique Industrielle** de l'équipe Robotique en 2012.

## Activités d'intérêt général


- **Membre du comité de prospective** de l'IRCCyN depuis sep. 2014.
- **Chargé de mission AtlanSTIC** de sep. 2012 à sep. 2014.
- **Animateur scientifique** de l'axe **Robotique Industrielle** de l'équipe Robotique en 2012.

## Responsabilités, comités, expertises

- **Membre du "Program Committee"** d'ICINCO depuis sep. 2015.
- **Expert scientifique** pour l'ANR, le FRQNT.
- **Relecture** d'articles pour MMT, JMR/JMD, IEEE-TRO, IJRR, etc.
- **Examineur** de la **thèse de Doctorat** d'Erol Özgür "*From Lines To Dynamics of Parallel Robots*", Univ. Blaise Pascal, juil. 2012.
- **Membre d'un comité de sélection** pour un poste MCF, Univ. Cergy-Pontoise (2011).



# Rayonnement



## Activités éditoriales

- **Co-rédacteur** de la collection de livres Springer “Parallel Robots: Theory and Applications” lancée en janvier 2015.
- **Associate Editor** pour la conférence ICRA “*International Conference on Robotics and Automation*” (depuis sep. 2015).

## Activités éditoriales

- **Co-rédacteur** de la collection de livres Springer “Parallel Robots: Theory and Applications” lancée en janvier 2015.
- **Associate Editor** pour la conférence ICRA “*International Conference on Robotics and Automation*” (depuis sep. 2015).

## Organisation de colloques et d'écoles thématiques

- **Co-chair** de l'école de printemps PKM 2016, Montpellier, 2016.
- **General chair** du “*European Workshop on Applications of Parallel and Cable-driven Robots*”, Innorobo 2014.
- **Membre** des comités d'organisation des JNRR 2011, JRA 2012 et EuCoMeS 2016.

## Distinctions honorifiques

- Prix de la **Section Française de l'ASME**, décerné le 12 mars 2012 à Paris.
- Prix **Bretagne Jeune Chercheur**, catégorie *Sciences, technologies et interdisciplinarités*, décerné le 6 décembre 2011 à Rennes.
- Premier **Prix de Thèse** pour les thèses soutenues en 2007, décerné par le GDR Robotique le 23 octobre 2008 à Paris.
- Nomination en 2012 en tant que "Reviewer that supplied outstanding and timely reviews" par *IEEE Transactions on Robotics*.

# Synthèse des publications

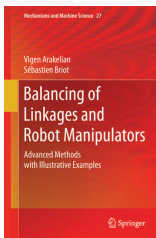
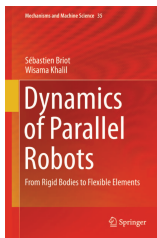


Type de publications	Nombre
Brevets	2
Livres	2
Chapitres d'ouvrages	3
Revue internationale à comité de lecture	31
Revue nationale à comité de lecture	3
Actes de colloques internationaux à comité de lecture	70
Actes de colloques nationaux à comité de lecture	6
Séminaires, workshops	14

# Synthèse des publications



Type de publications	Nombre
Brevets	2
<b>Livres</b>	<b>2</b>
Chapitres d'ouvrages	3
Revue internationale à comité de lecture	31
Revue nationale à comité de lecture	3
Actes de colloques internationaux à comité de lecture	70
Actes de colloques nationaux à comité de lecture	6
Séminaires, workshops	14



# Synthèse des publications



Type de publications	Nombre
Brevets	2
Livres	2
Chapitres d'ouvrages	3
<b>Reuves internationales à comité de lecture</b>	<b>31</b>
Reuves nationales à comité de lecture	3
Actes de colloques internationaux à comité de lecture	70
Actes de colloques nationaux à comité de lecture	6
Séminaires, workshops	14

24 articles dans des revues de rang A

- The International Journal of Robotics Research (3 articles)
- IEEE Transactions on Robotics (1 article)
- Multibody System Dynamics (2 articles)
- Mechanism and Machine Theory (8 articles)
- ASME JMR (4), JMD (2), DS (2), CND (1).
- Control Engineering Practice (1 article).

# Synthèse des publications



Type de publications	Nombre
Brevets	2
Livres	2
Chapitres d'ouvrages	3
Revue internationale à comité de lecture	31
Revue nationale à comité de lecture	3
<b>Actes de colloques internationaux à comité de lecture</b>	<b>70</b>
Actes de colloques nationaux à comité de lecture	6
Séminaires, workshops	14

37 articles dans des conférences de rang A

- IEEE ICRA (9 articles), IEEE IROS (4 articles)
- ASME IDETC/CIE (10 articles)
- Advanced Robot Kinematics – ARK (4 articles)
- Computational Kinematics – CK (2 articles)
- IEEE ECC/CDC (1 article)
- IFToMM World Congress (7 articles).

# Synthèse des activités d'enseignement depuis 2009

## École Centrale de Nantes, depuis 2014

- Advanced Modelling of Robots, Master EMARO+/ARIA M2, 12h cours, 4h TP.  
*En anglais, responsable du cours.*  
*Rédaction d'un support de cours de 200 pages.*
- Conception de Robots, Élèves-ingénieurs, Option robotique, 10h cours, 4h TP.  
*Responsable du cours.*

## École des Mines de Nantes, 2009–2014

- Principes Variationnels, Élèves-ingénieurs, 12h cours-TD.
- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 24h cours-TD en 2011.

## INSA de Rennes, 2013

- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 36h cours-TD.

## ENS de Rennes, à partir de 2016

- Robotique parallèle, préparation agreg., 9h cours-TD. *Responsable du cours.*



# Synthèse des activités d'enseignement depuis 2009

## École Centrale de Nantes, depuis 2014

- Advanced Modelling of Robots, Master EMARO+/ARIA M2, 12h cours, 4h TP.  
*En anglais, responsable du cours.*  
*Rédaction d'un support de cours de 200 pages.*
- Conception de Robots, Élèves-ingénieurs, Option robotique, 10h cours, 4h TP.  
*Responsable du cours.*

## École des Mines de Nantes, 2009–2014

- Principes Variationnels, Élèves-ingénieurs, 12h cours-TD.
- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 24h cours-TD en 2011.

## INSA de Rennes, 2013

- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 36h cours-TD.

## ENS de Rennes, à partir de 2016

- Robotique parallèle, préparation agreg., 9h cours-TD. *Responsable du cours.*

# Synthèse des activités d'enseignement depuis 2009

## École Centrale de Nantes, depuis 2014

- Advanced Modelling of Robots, Master EMARO+/ARIA M2, 12h cours, 4h TP.  
*En anglais, responsable du cours.*  
*Rédaction d'un support de cours de 200 pages.*
- Conception de Robots, Élèves-ingénieurs, Option robotique, 10h cours, 4h TP.  
*Responsable du cours.*

## École des Mines de Nantes, 2009–2014

- Principes Variationnels, Élèves-ingénieurs, 12h cours-TD.
- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 24h cours-TD en 2011.

## INSA de Rennes, 2013

- Mécanique générale, Élèves-ingénieurs, 36h cours-TD.

## ENS de Rennes, à partir de 2016

- Robotique parallèle, préparation agreg., 9h cours-TD. *Responsable du cours.*

# Plan de la présentation



- 1 Synthèse des activités
- 2 Travaux de recherche
- 3 Conclusions et perspectives de recherche

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées



Conception de robots  
pour le déplacement de  
lourdes charges

Conception et commande  
de robots rapides et précis

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées



Conception de robots  
pour le déplacement de  
lourdes charges

Conception et commande  
de robots rapides et précis



# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées

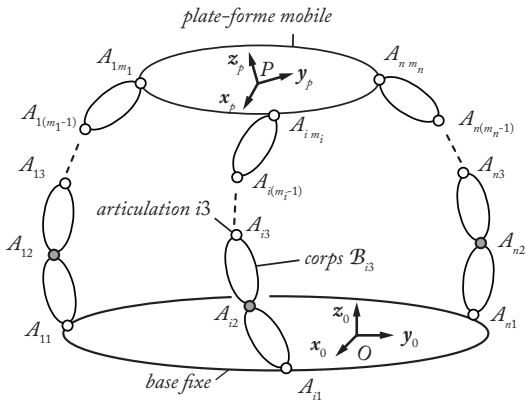


Conception de robots  
pour le déplacement de  
lourdes charges

Conception et commande  
de robots rapides et précis

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Robot parallèle générique



# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Expression du modèle dynamique inverse

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{w}_b - \mathbf{B}_p^T \mathbf{A}_p^{-T} \mathbf{w}_p, \quad \text{avec} \quad \mathbf{A}_p \mathbf{t}_r + \mathbf{B}_p \dot{\mathbf{q}}_a = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$\mathbf{t}_r$  : torseur cinématique réduit de la plate-forme

$\dot{\mathbf{q}}_a$  : vitesse des articulations actives

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Expression du modèle dynamique inverse

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{w}_b - \mathbf{B}_p^T \mathbf{A}_p^{-T} \mathbf{w}_p, \quad \text{avec} \quad \mathbf{A}_p \mathbf{t}_r + \mathbf{B}_p \dot{\mathbf{q}}_a = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$\mathbf{t}_r$  : torseur cinématique réduit de la plate-forme

$\dot{\mathbf{q}}_a$  : vitesse des articulations actives

Ainsi,

**Le modèle dynamique est proportionnel à  $\frac{1}{\det(\mathbf{A}_p)}$**

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Expression du modèle dynamique inverse

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{w}_b - \mathbf{B}_p^T \mathbf{A}_p^{-T} \mathbf{w}_p, \quad \text{avec} \quad \mathbf{A}_p \mathbf{t}_r + \mathbf{B}_p \dot{\mathbf{q}}_a = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$\mathbf{t}_r$  : torseur cinématique réduit de la plate-forme

$\dot{\mathbf{q}}_a$  : vitesse des articulations actives

Ainsi,

**Le modèle dynamique est proportionnel à  $\frac{1}{\det(\mathbf{A}_p)}$**

Donc, si  $\det(\mathbf{A}_p) = 0$ , (singularités de Type 2 [Gosselin & Angeles, 1990])

- **À proximité des singularités,  $\boldsymbol{\tau} \rightarrow \infty$**
- Modèle dynamique dégénéré = **Impossible de traverser**

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Modèle dynamique inverse

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{w}_b - \mathbf{B}_p^T \mathbf{A}_p^{-T} \mathbf{w}_p \quad (2)$$

### Contribution

La dynamique ne dégénère pas en singularités de Type 2 ssi

$$\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0, \quad (3)$$

$$\text{avec } \mathbf{t}_s \text{ défini par } \mathbf{A}_p \mathbf{t}_s = \mathbf{0}, \quad (4)$$

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Contribution

La dynamique ne dégénère pas en singularités de Type 2 ssi

$$\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0, \quad (2)$$

$$\text{avec } \mathbf{t}_s \text{ défini par } \mathbf{A}_p \mathbf{t}_s = \mathbf{0}, \quad (3)$$

⇒ Lorsque le manipulateur traverse une singularité de Type 2, la somme des torseurs des efforts appliqués sur la plate-forme (par les jambes, les effets d'inertie et de gravitation ainsi que les efforts extérieurs)  $\mathbf{w}_p$  doit être réciproque au mouvement incontrôlable de la plate-forme  $\mathbf{t}_s$

Dégénérescence du modèle dynamique en singularités LPJTS  
(1ère fois)

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Contribution

La dynamique ne dégénère pas en singularités de Type 2 ssi

$$\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0, \quad (2)$$

$$\text{avec } \mathbf{t}_s \text{ défini par } \mathbf{A}_p \mathbf{t}_s = \mathbf{0}, \quad (3)$$

⇒ Lorsque le manipulateur traverse une singularité de Type 2, la somme des torseurs des efforts appliqués sur la plate-forme (par les jambes, les effets d'inertie et de gravitation ainsi que les efforts extérieurs)  $\mathbf{w}_p$  doit être réciproque au mouvement incontrôlable de la plate-forme  $\mathbf{t}_s$

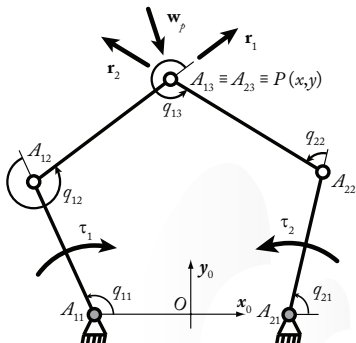
**Dégénérescence du modèle dynamique en singularités LPJTS  
(1ère fois)**



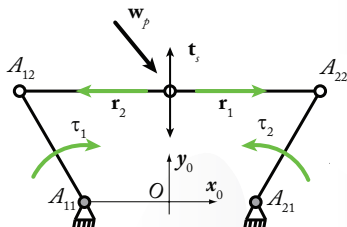
# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Un exemple illustratif

Dans une configuration quelconque

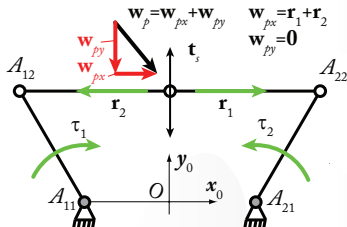


Équilibre si et seulement si  $\mathbf{w}_p = \mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2$

Conditions de dégénérescence du modèle dynamique Un exemple illustratif  
En singularité

$\mathbf{w}_p = \mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2$  avec

- $\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2 = \mathbf{0}$
- $\mathbf{t}_s^T \mathbf{r}_1 = \mathbf{t}_s^T \mathbf{r}_2 = 0$  ( $\mathbf{t}_s$  mvt. non contrôlé)

Conditions de dégénérescence du modèle dynamique Un exemple illustratif  
En singularité

$\mathbf{w}_p = \mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2$  avec

- $\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2 = 0$
- $\mathbf{t}_s^T \mathbf{r}_1 = \mathbf{t}_s^T \mathbf{r}_2 = 0$  ( $\mathbf{t}_s$  mvt. non contrôlé)

**Problème si  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p \neq 0$**



# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.

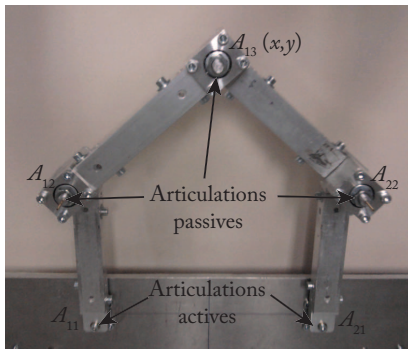
On notera que :

- $\mathbf{t}_s$  dépend de la configuration du robot
- $\mathbf{w}_p$  dépend de la configuration, de la vitesse et de l'accélération du robot

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Trajectoires à travers les singularités de Type 2

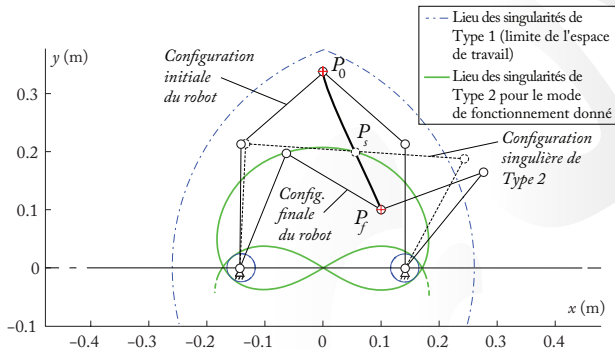
Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.



Conditions de dégénérescence du modèle dynamique 

## Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.

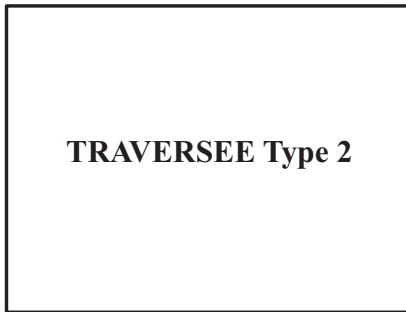




# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.

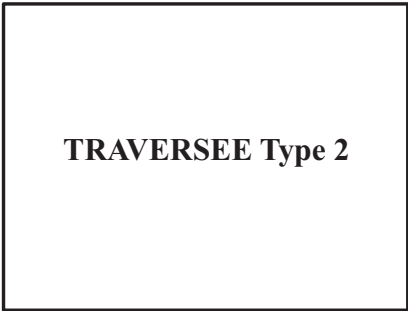


Critère non respecté pour la traversée

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.



Critère respecté pour la traversée

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Trajectoires à travers les singularités de Type 2

Nécessité de respecter le critère  $\mathbf{t}_s^T \mathbf{w}_p = 0$  lorsque le robot est en configuration singulière.

Trajectoires à travers les singularités LPJTS

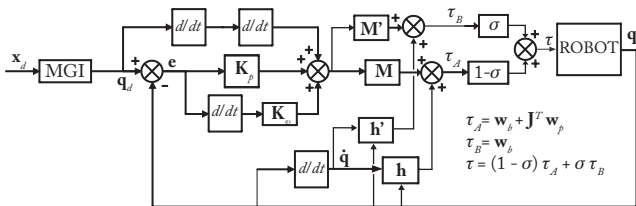
Résultats similaires obtenus :

- en simulation avec ADAMS
- expérimentalement (“émulation” sur mécanisme à cinq barres)

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Problèmes de robustesse

Traités dans le cas de la définition d'un contrôleur multi-modèle  
(collab. N. BOUTON)



G. Pagis, N. Bouton S. Briot and P. Martinet, "Enlarging Parallel Robot Workspace through Type-2 Singularity Crossing," Control Engineering Practice, 2015, Vol. 39, pp. 1-11.

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Problèmes de robustesse

Traités dans le cas de la définition d'un contrôleur multi-modèle  
(collab. N. BOUTON)

**TRAVERSEE Type 2**

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres / spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres / spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles



# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres / spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles

# Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

## Conclusions

- Étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles rigides
- Définition de critères physiques permettant d'éviter la dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles
- Définition de trajectoires permettant de traverser les singularités de Type 2 et LPTJS
- Définition d'un contrôleur dédié (collaboration IFMA)
- Validation sur plusieurs robots (plans : mécanismes à cinq barres / spatiaux : PAMINSA)
- Travaux étendus à l'étude des conditions de dégénérescence du modèle dynamique des robots parallèles flexibles

# Organisation du travail effectué



## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées



Conception de robots  
pour le déplacement de  
lourdes charges

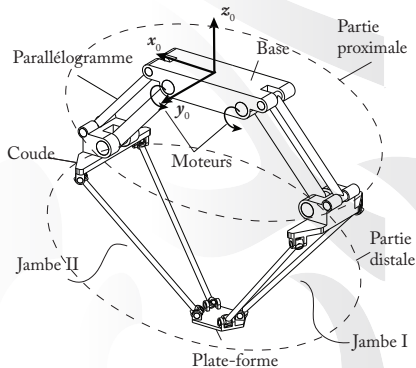
Conception et commande  
de robots rapides et précis

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conception d'un robot 2T pour des applications de *pick-and-place*

### Avantages :

- Raideur intrinsèque
- Moins de jambes que le Par2



# Conception / Commande de robots rapides et précis

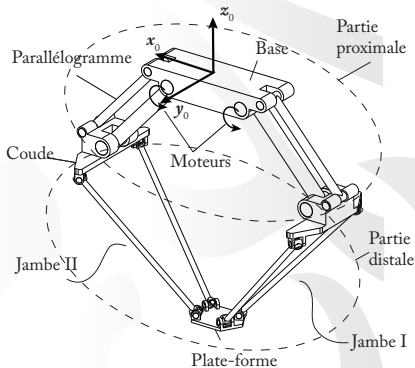
## Conception d'un robot 2T pour des applications de *pick-and-place*

### Avantages :

- Raideur intrinsèque
- Moins de jambes que le Par2

### Inconvénients :

- Complexité de l'architecture
- Singularités



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conception d'un robot 2T pour des applications de *pick-and-place*

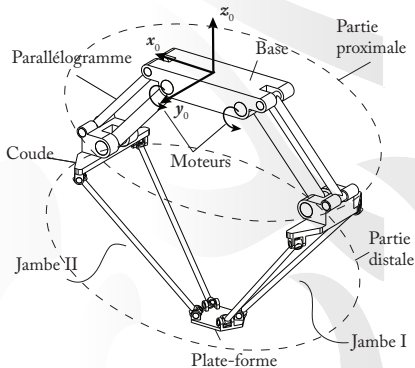
### Avantages :

- Raideur intrinsèque
- Moins de jambes que le Par2

### Inconvénients :

- Complexité de l'architecture
- Singularités

**Travail réalisé dans le cadre du projet ANR ARROW**  
(Collab. S. CARO et P. WENGER)



Conception / Commande de robots rapides et précis 

## Cahier des charges

---

---

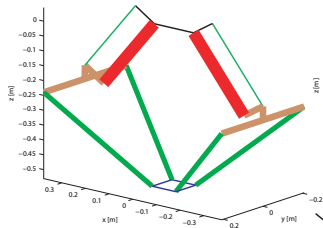
Type de mouvement	2T 1R
Répétabilité $\epsilon_{lim}$ dans ( $xOz$ )	20 $\mu\text{m}$
Résolution $r_{lim}$	2 $\mu\text{m}$
Accélération max.	20 G
Temps de cycle	200 ms
Dimension du chemin	25 mm $\times$ 300 mm $\times$ 25 mm
Taille de l'espace de travail régulier	800 mm $\times$ 100 mm
Déformation $\delta_{tlim}$ sous une force $\mathbf{f}_s = [0, 20, 0]$ N et un moment $\mathbf{m}_s = [1, 1, 1]$ N.m	[0.2, 0.2, 0.2] mm, [0.1, 0.1, 0.1] deg
Charge maximale (incluant le moteur embarqué)	1.5 kg

---

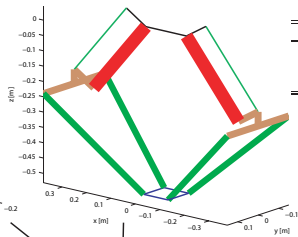
---



Conception Jaune

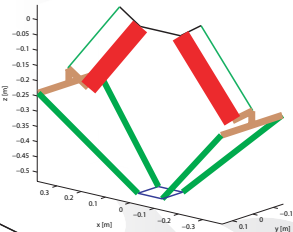


Conception Rose

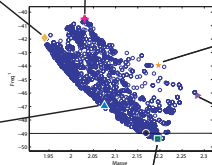
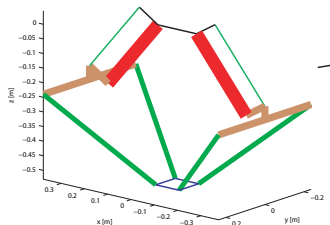


Conception	$bb_w$ [m]	$M_{IRS}$ [kg]	$F_{IRS}^1$ [Hz]
Jaune (◆)	0.20	1.94	41.9
Rose (+)	0.15	2.03	40.5
Orange (★)	0.15	2.19	43.9

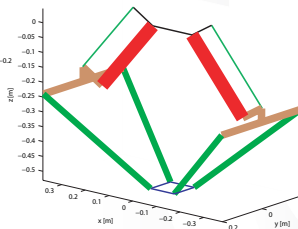
Conception Orange



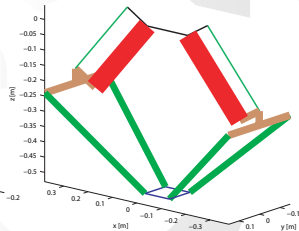
Conception Bleue



Conception Verte



Conception Violette

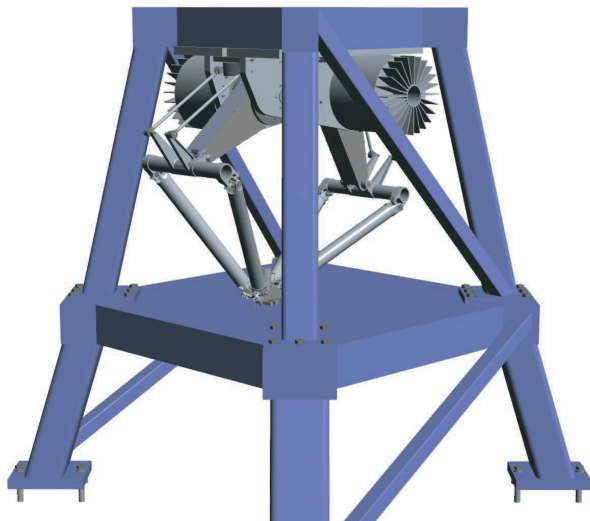


Conception	$bb_w$ [m]	$M_{IRS}$ [kg]	$F_{IRS}^1$ [Hz]
Violet (▶)	0.15	2.28	46.2
Vert (■)	0.2	2.19	49.4
bleu (▲)	0.23	2.07	46.9

# Résultats de l'optimisation



# Architecture retenue : prototype de l'IRSBot-2



## Tecnalia

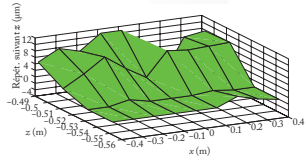
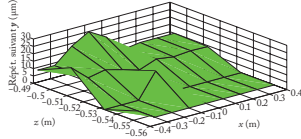
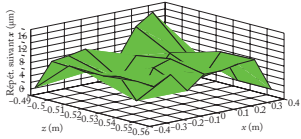
- $\delta_{ty} < 0.17$  mm
- $f_{IRS}^1 = 44.9$  Hz  
(dans le plan)
- $f_{IRS}^2 = 55$  Hz  
(hors plan)

# Architecture retenue : prototype de l'IRSBot-2



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Caractérisation des performances en répétabilité



**30 microns dans l'espace de travail dextre régulier**

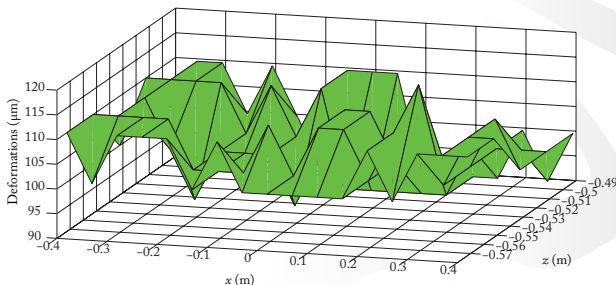
# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Caractérisation des performances en déformations statiques



# Conception / Commande de robots rapides et précis

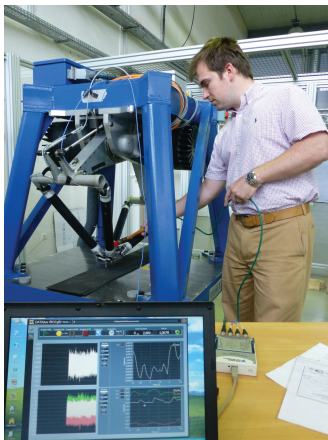
## Caractérisation des performances en déformations statiques



**120 microns dans l'espace de travail dextre régulier sous une charge de 20 N suivant  $y_0$**

# Conception / Commande de robots rapides et précis *IRCY*

## Caractérisation des fréquences naturelles





# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Caractérisation des fréquences naturelles

Calculées par CAO		Obtenues par sonnage	
Fréquence	Mode de déplacement	Fréquence	Mode de déplacement
45 Hz	Perp. au mouvement	$40 \pm 1$ Hz	Perp. au mouvement
53 Hz	Plan du mouvement	$40 \pm 1$ Hz	Plan du mouvement
60 Hz	Perp. au mouvement	$48 \pm 1$ Hz	Perp. au mouvement

# Conception / Commande de robots rapides et précis

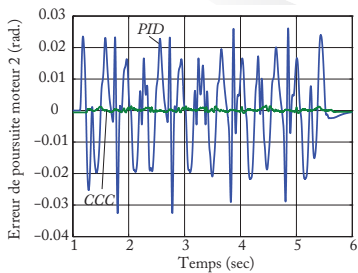
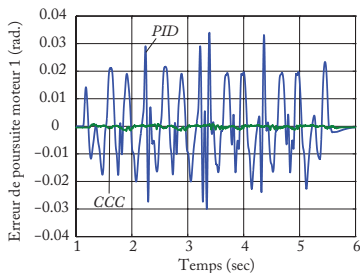
## Caractérisation des performances dynamiques

**TRAVERSEE Type 2**

20 G d'accélération, 6 m/s

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Caractérisation des performances dynamiques



**Erreur de poursuite divisée par 20 entre PID et CCC**

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Modèles et commande des robots à barres flexibles
- Commande de la position des bras
- Contrôle des vitesses

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe
- Modélisation de la dynamique des robots

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue
  - Cartographie de l'erreur en position puis recalage
  - Compensation de base

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue
  - Cartographie de l'erreur en position puis recalage
  - Asservissement basé capteurs extéroceptifs



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue
  - Cartographie de l'erreur en position puis recalage
  - Asservissement basé capteurs extéroceptifs

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue
  - Cartographie de l'erreur en position puis recalage
  - Asservissement basé capteurs extéroceptifs

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Ce qui est “caché”

- Étude des singularités
- Problèmes de modélisation / identification

## Travaux en cours

- Gestion des vibrations
- Mise en route du troisième axe embarqué
- Amélioration de la précision absolue
  - Cartographie de l'erreur en position puis recalage
  - **Asservissement basé capteurs extéroceptifs**

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée vision de robots rapides et précis

Différentes approches envisageables :

- observation directe de l'effecteur [Paccot et al., 2008]



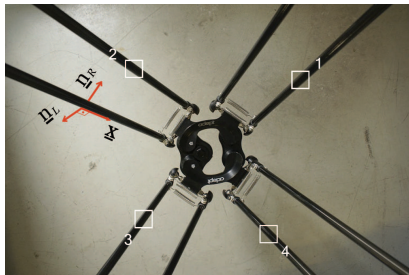
[Paccot et al., 2008] Paccot, Lemoine, Andreff, Chablat, Martinet "A Vision-based Computed Torque Control for PKM," Proc. ICRA 2008

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée vision de robots rapides et précis

Différentes approches envisageables :

- observation des jambes [Özgür et al., 2011]



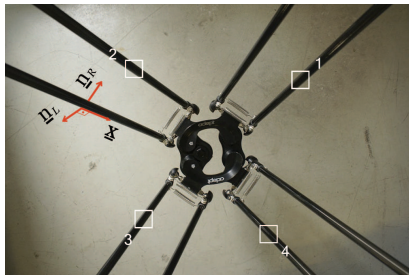
[Özgür et al., 2011] Özgür, Andreff, Martinet "Dynamic Control of the Quattro Robot by the Leg Edgels," Proc. ICRA 2011

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée vision de robots rapides et précis

Différentes approches envisageables :

- **observation des jambes** [Özgür et al., 2011]



[Özgür et al., 2011] Özgür, Andreff, Martinet "Dynamic Control of the Quattro Robot by the Leg Edgels," Proc. ICRA 2011

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Asservissement visuel basé observation des jambes

### Problèmes / Questions :

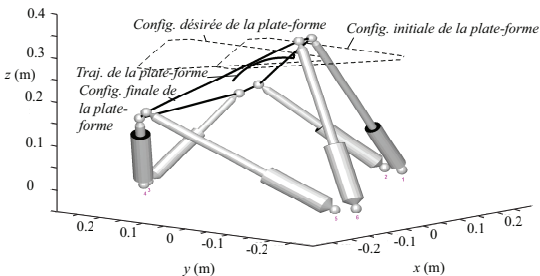
- l'observation  $m$  directions de jambes ( $m < n$ ) parmi les  $n$  jambes suffit,
- problèmes de convergence de l'effecteur, même si les directions des jambes convergent

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Asservissement visuel basé observation des jambes

### Problèmes / Questions :

- l'observation  $m$  directions de jambes ( $m < n$ ) parmi les  $n$  jambes suffit,
- problèmes de convergence de l'effecteur, même si les directions des jambes convergent





# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Asservissement visuel basé observation des jambes

### Problèmes / Questions :

- l'observation  $m$  directions de jambes ( $m < n$ ) parmi les  $n$  jambes suffit,
- problèmes de convergence de l'effecteur, même si les directions des jambes convergent
- existence de minima locaux
- singularités du modèle (espace des jambes / espace cartésien)

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Asservissement visuel basé observation des jambes

### Problèmes / Questions :

- l'observation  $m$  directions de jambes ( $m < n$ ) parmi les  $n$  jambes suffit,
- problèmes de convergence de l'effecteur, même si les directions des jambes convergent
- existence de minima locaux
- singularités du modèle (espace des jambes / espace cartésien)

# Conception / Commande de robots rapides et précis

Possibilité de répondre à ces questions grâce au concept du  
“Robot caché”

Développé en collaboration avec P. MARTINET

Idée

Comprendre qu'intrinsèquement, commander le robot en observant ses  
jambes revient à commander une autre cinématique

# Conception / Commande de robots rapides et précis

Possibilité de répondre à ces questions grâce au concept du  
“Robot caché”

Développé en collaboration avec P. MARTINET

Idée

Comprendre qu'intrinsèquement, commander le robot en observant ses  
jambes revient à commander une autre cinématique

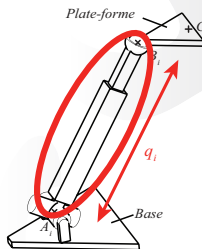
# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Idée

Comprendre qu'intrinsèquement, commander le robot en observant ses jambes revient à commander une autre cinématique

Commande usuelle basée codeurs

$\mathbf{q} \Rightarrow \mathbf{x}$  ( $\mathbf{q}$  : mesure correspondant aux moteurs réels)



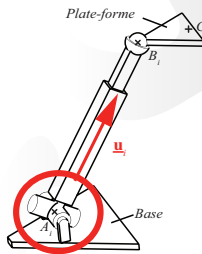
# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Idée

Comprendre qu'intrinsèquement, commander le robot en observant ses jambes revient à commander une autre cinématique

Commande basée observation des jambes

$\underline{u} \Rightarrow \mathbf{x}$  ( $\underline{u}$  : mesure correspondant aux moteurs virtuels du "robot caché")



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée observation des jambes

Plate-forme de Gough-Stewart :

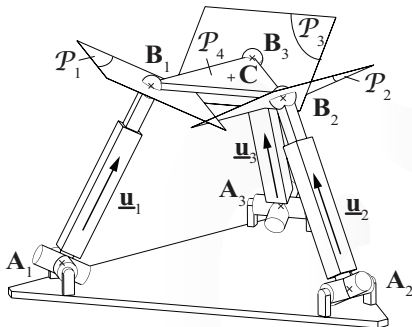
- Robot réel  $\Rightarrow$  6-UPS
- Robot caché (virtuel)  $\Rightarrow$  3-UPS (cas de l'observation minimale)

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée observation des jambes

Plate-forme de Gough-Stewart :

- Robot réel  $\Rightarrow$  6-UPS
- Robot caché (virtuel)  $\Rightarrow$  3-UPS (cas de l'observation minimale)



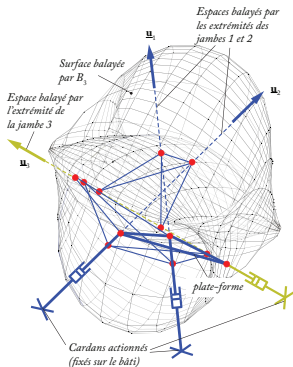


# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée observation des jambes

Plate-forme de Gough-Stewart :

- Robot réel  $\Rightarrow$  6-UPS
- Robot caché (virtuel)  $\Rightarrow$  3-UPS (cas de l'observation minimale)

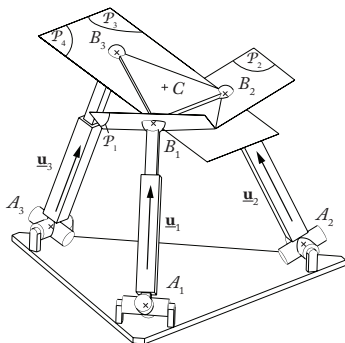


# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Commande basée observation des jambes

Plate-forme de Gough-Stewart :

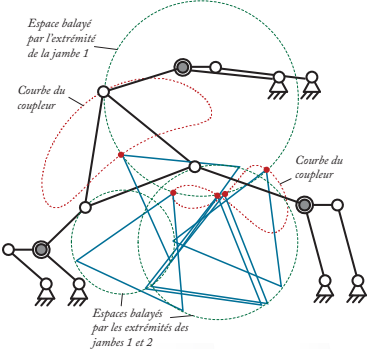
- Robot réel  $\Rightarrow$  6-UPS
- Robot caché (virtuel)  $\Rightarrow$  3-UPS (cas de l'observation minimale)



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Généralisation et application à des familles de robots

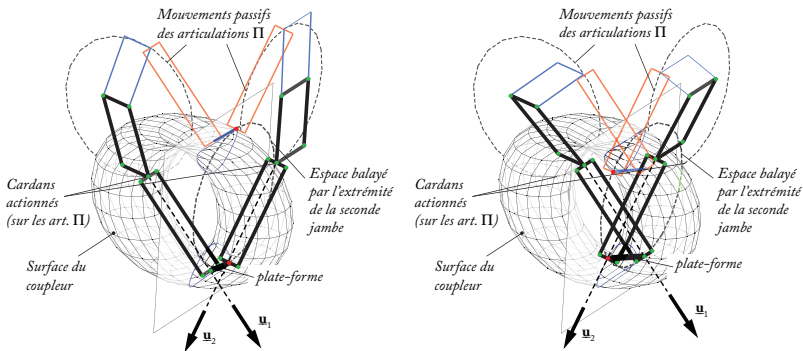
### Cas des robots plans : Exemple du 3-RRR



Conception / Commande de robots rapides et précis 

## Généralisation et application à des familles de robots

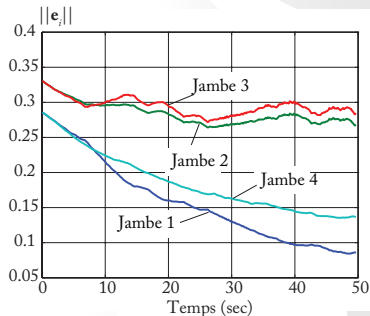
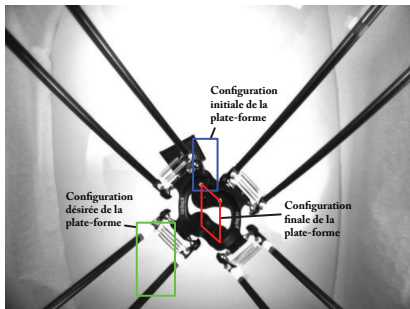
## Cas des robots spatiaux : Exemple du Quattro



# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Généralisation et application à des familles de robots

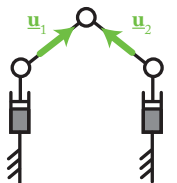
### Validation expérimentale



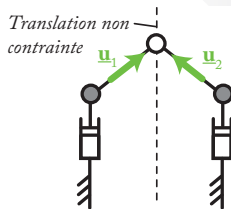
# Conception / Commande de robots rapides et précis

Utilisation des robots cachés pour analyser la contrôlabilité

**Classe 1** : Robots non contrôlables par l'observation de la direction des jambes



Un robot PRRRP

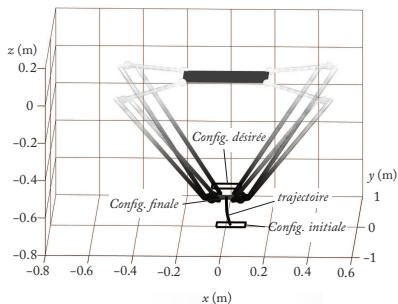


Robot caché :  
un robot PRRRP

Conception / Commande de robots rapides et précis 

Utilisation des robots cachés pour analyser la contrôlabilité

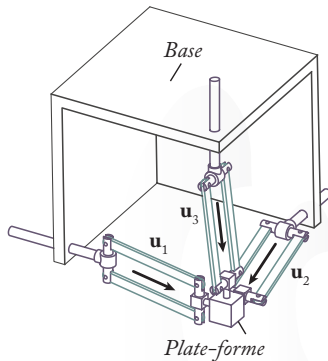
**Classe 2** : Robots partiellement contrôlables dans tout leur espace de travail par l'observation de la direction des jambes



# Conception / Commande de robots rapides et précis

Utilisation des robots cachés pour analyser la contrôlabilité

**Classe 3** : Robots contrôlables dans tout leur espace de travail par l'observation de la direction des jambes

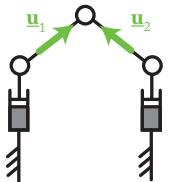




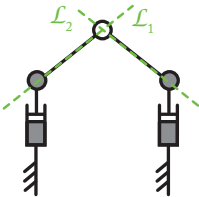
# Conception / Commande de robots rapides et précis

Utilisation des robots cachés pour analyser la contrôlabilité

**Classe 4** : Robots contrôlables dans tout leur espace de travail par l'utilisation d'informations additionnelles



Un robot PRRRP



Robot caché :  
un robot PRRRP

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conclusions

- **Nouvelle architecture de robot 2T “spatiale”**
- Méthodologie de conception optimale pour les robots rapides et précis
- Amélioration de la précision des robots rapides
- Définition d'un outil (concept de robots cachés) permettant d'étudier les performances de certains asservissements visuels
- Utilisation du concept de robots cachés pour l'analyse de la contrôlabilité

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conclusions

- Nouvelle architecture de robot 2T “spatiale”
- Méthodologie de conception optimale pour les robots rapides et précis
- Amélioration de la précision des robots rapides
- Définition d'un outil (concept de robots cachés) permettant d'étudier les performances de certains asservissements visuels
- Utilisation du concept de robots cachés pour l'analyse de la contrôlabilité

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conclusions

- Nouvelle architecture de robot 2T “spatiale”
- Méthodologie de conception optimale pour les robots rapides et précis
- Amélioration de la précision des robots rapides
- Définition d'un outil (concept de robots cachés) permettant d'étudier les performances de certains asservissements visuels
- Utilisation du concept de robots cachés pour l'analyse de la contrôlabilité

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conclusions

- Nouvelle architecture de robot 2T “spatiale”
- Méthodologie de conception optimale pour les robots rapides et précis
- Amélioration de la précision des robots rapides
- Définition d'un outil (concept de robots cachés) permettant d'étudier les performances de certains asservissements visuels
- Utilisation du concept de robots cachés pour l'analyse de la contrôlabilité

# Conception / Commande de robots rapides et précis

## Conclusions

- Nouvelle architecture de robot 2T “spatiale”
- Méthodologie de conception optimale pour les robots rapides et précis
- Amélioration de la précision des robots rapides
- Définition d'un outil (concept de robots cachés) permettant d'étudier les performances de certains asservissements visuels
- Utilisation du concept de robots cachés pour l'analyse de la contrôlabilité

# Plan de la présentation



- 1 Synthèse des activités
- 2 Travaux de recherche
- 3 Conclusions et perspectives de recherche

# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique des robots parallèles



Conditions de dégénérescence du modèle dynamique

Identification des paramètres dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de nouveaux robots parallèles aux performances statiques et dynamiques améliorées



Conception de robots pour le déplacement de lourdes charges

Conception et commande de robots rapides et précis



# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

## Contributions à la maîtrise de la dynamique des robots parallèles

Maîtrise de la dynamique  
des robots parallèles



Conditions de dégénérescence  
du modèle dynamique

Identification des paramètres  
dynamiques

Modélisation élastodynamique

Techniques d'équilibrage

Conception / commande de  
nouveaux robots parallèles  
aux performances statiques  
et dynamiques améliorées



Conception de robots  
pour le déplacement de  
lourdes charges

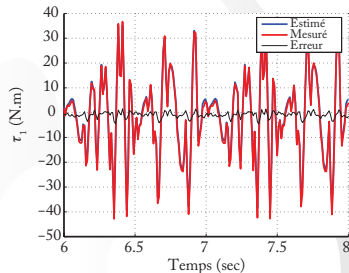
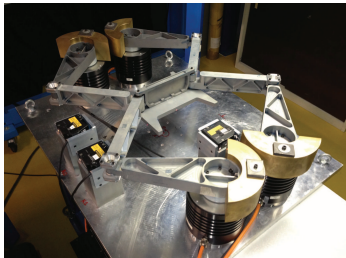
Conception et commande  
de robots rapides et précis

# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

## Identification des paramètres dynamiques

### Méthodologies d'identification des paramètres des modèles dynamiques

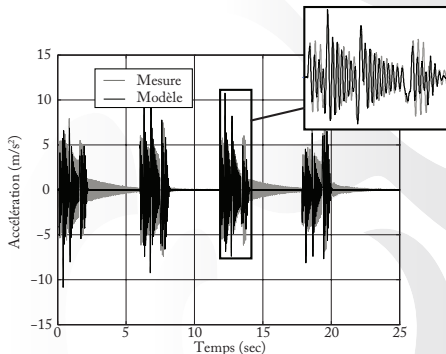
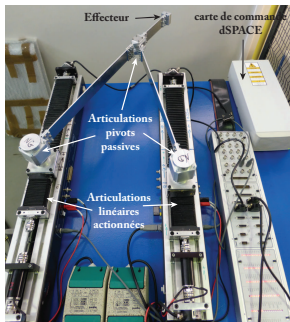
- incluant les gains d'actionnement
- pour les robots redondants en actionnement



# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

## Modélisation élastodynamique

Procédure systématique / automatique pour le calcul symbolique du modèle élastodynamique des robots parallèles

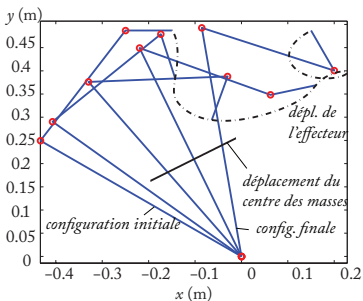


# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

## Techniques d'équilibrage

### Proposition de techniques d'équilibrage

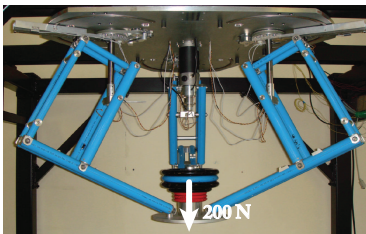
- dynamique (par ajouts de groupe d'Assur, par génération de trajectoires optimales, etc.)
- statique (pour les robots manipulant de lourdes charges)



# Conclusions sur mes travaux de recherche passés

Conception de robots pour le déplacement de lourdes charges  
Proposition d'une nouvelle famille de manipulateurs aux mouvements découplés entre

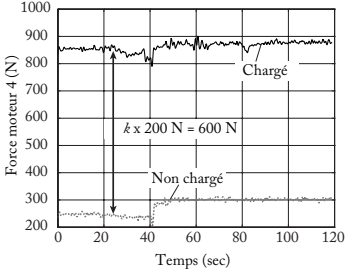
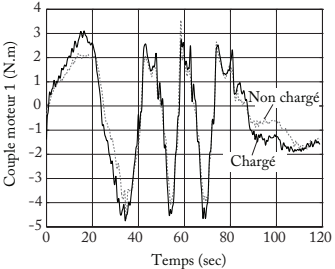
- les déplacements de la plate-forme dans le plan horizontal
- les translations de la plate-forme selon l'axe vertical




# Conclusions sur mes travaux de recherche passés


Conception de robots pour le déplacement de lourdes charges  
Proposition d'une nouvelle famille de manipulateurs aux mouvements découplés entre

- les déplacements de la plate-forme dans le plan horizontal
- les translations de la plate-forme selon l'axe vertical



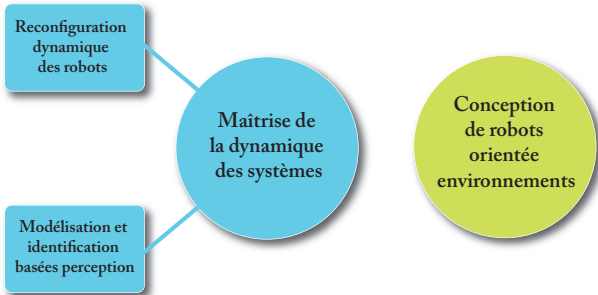


Maîtrise de  
la dynamique  
des systèmes



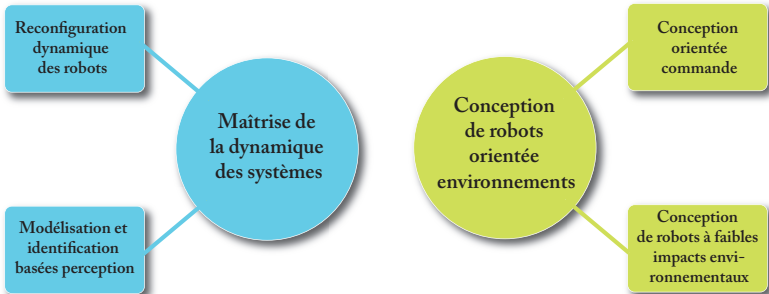
Conception  
de robots  
orientée  
environnements

# Perspectives

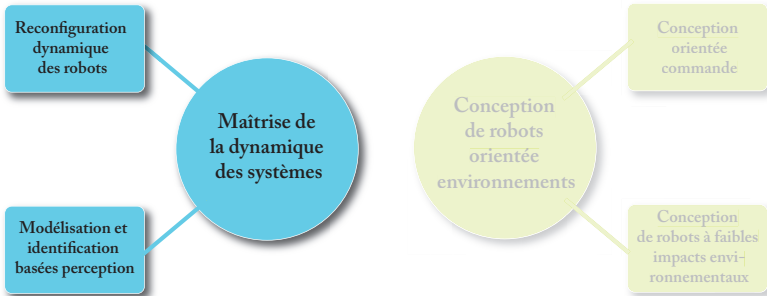




# Perspectives



# Perspectives

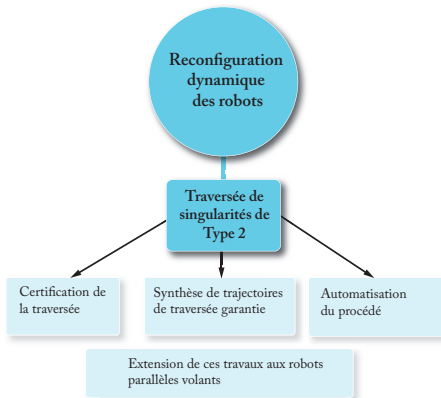


# Perspectives en reconfiguration dynamique

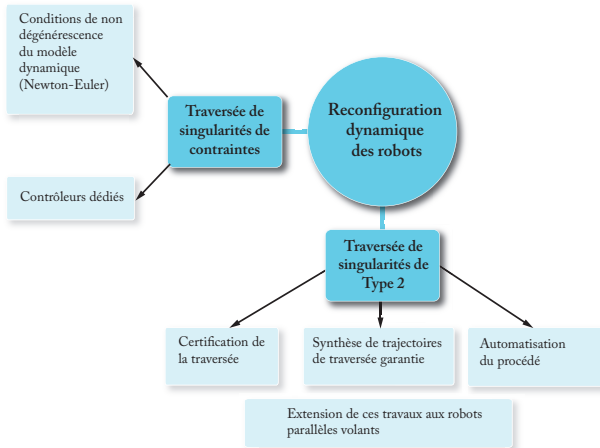


Reconfiguration  
dynamique  
des robots

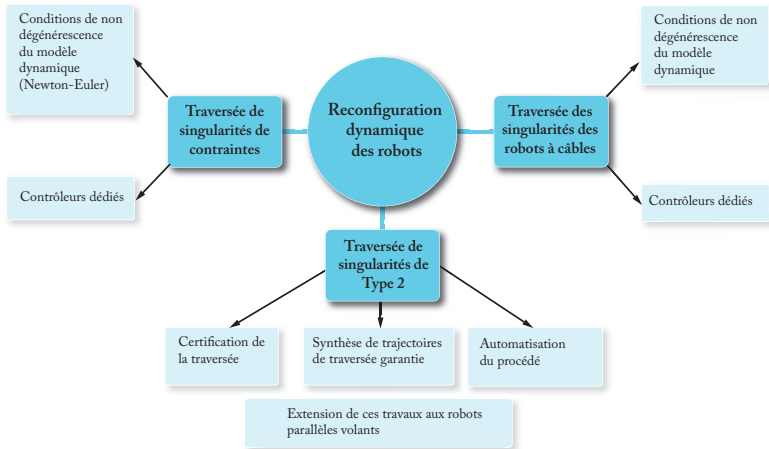
# Perspectives en reconfiguration dynamique



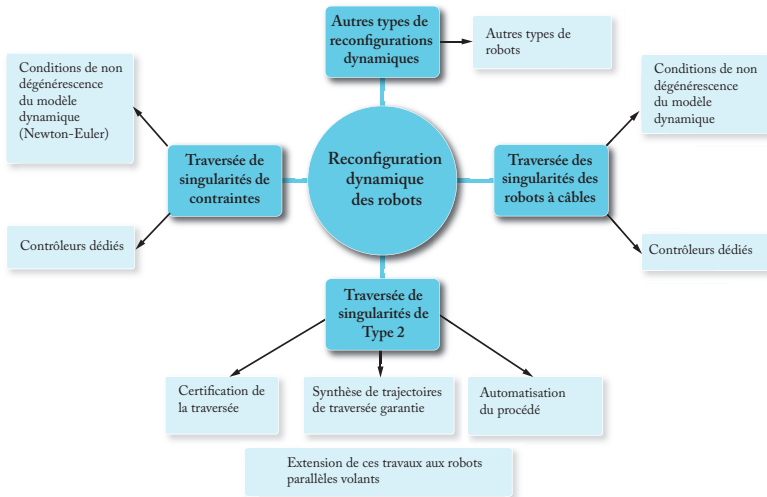
# Perspectives en reconfiguration dynamique



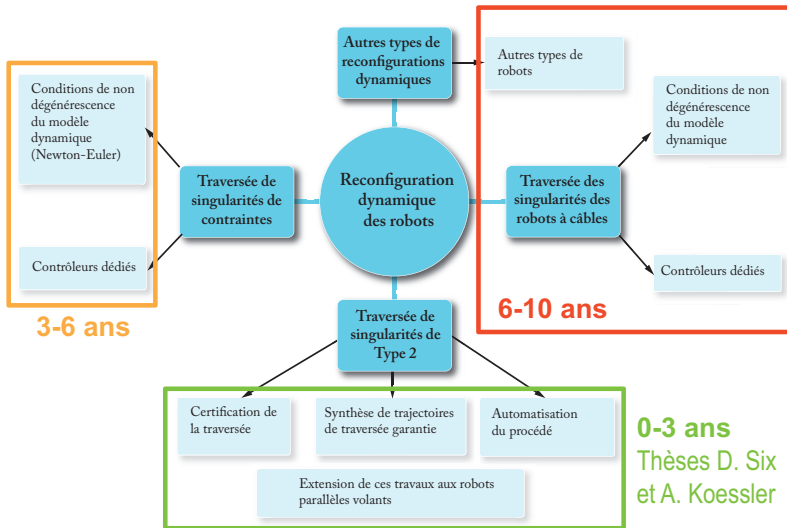
# Perspectives en reconfiguration dynamique



# Perspectives en reconfiguration dynamique



# Perspectives en reconfiguration dynamique



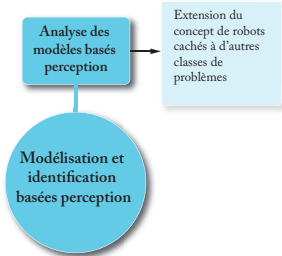
**0-3 ans**  
Thèses D. Six  
et A. Koessler



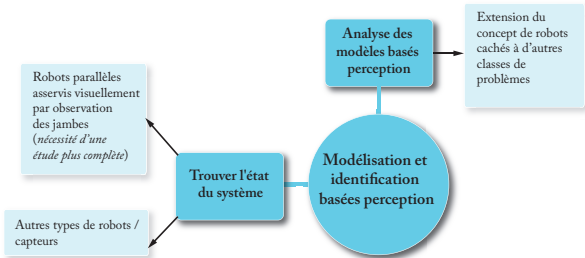
# Perspectives en modélisation / identif. basées perception

Modélisation et  
identification  
basées perception

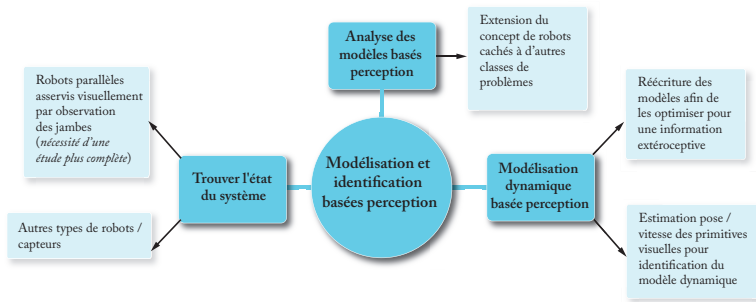
# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



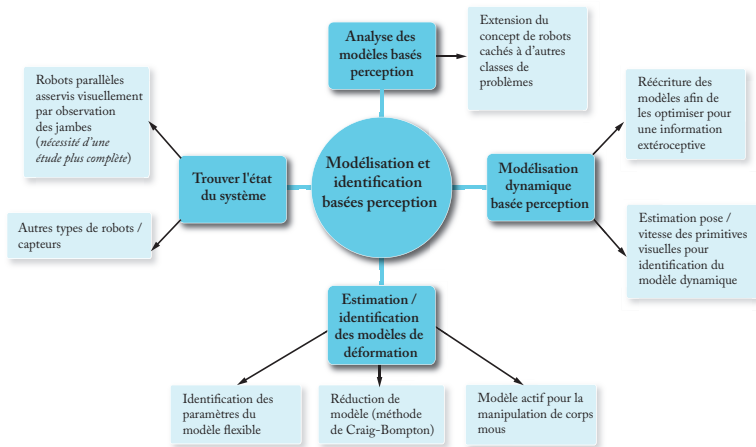
# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



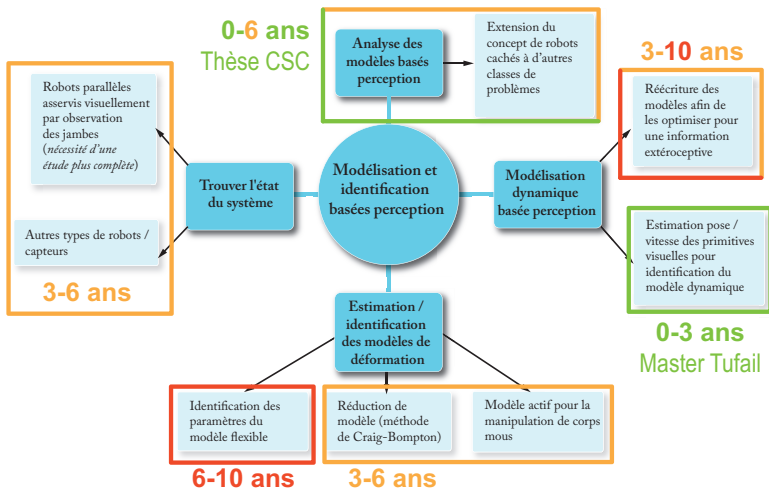
# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



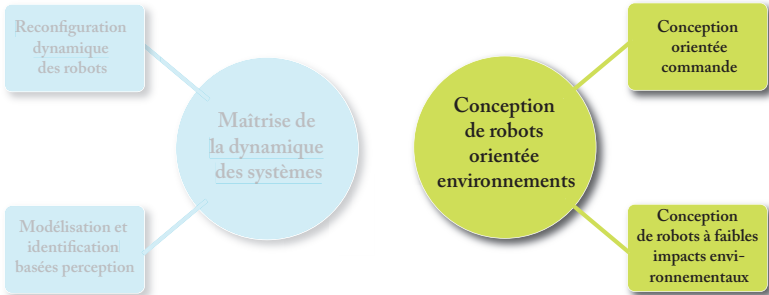
# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



# Perspectives en conception orientée commande



Modifier le processus de conception pour prendre en compte les performances de la commande

- Prend appui sur le concept du “robot caché”
- Optimiser le binôme {robot réel – robot caché} afin d’obtenir les meilleures performances possibles pour l’asservissement

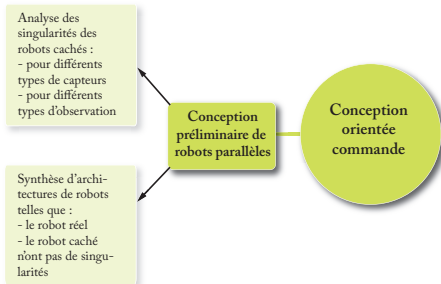


# Perspectives en conception orientée commande

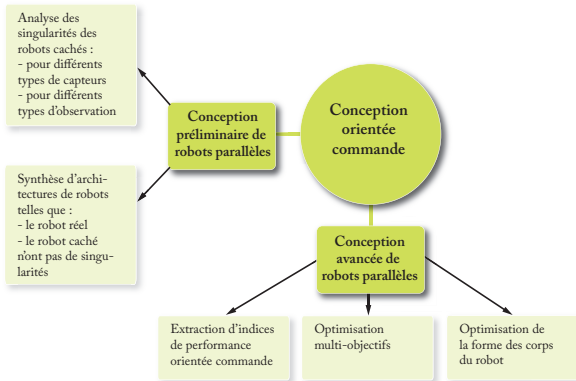


Conception  
orientée  
commande

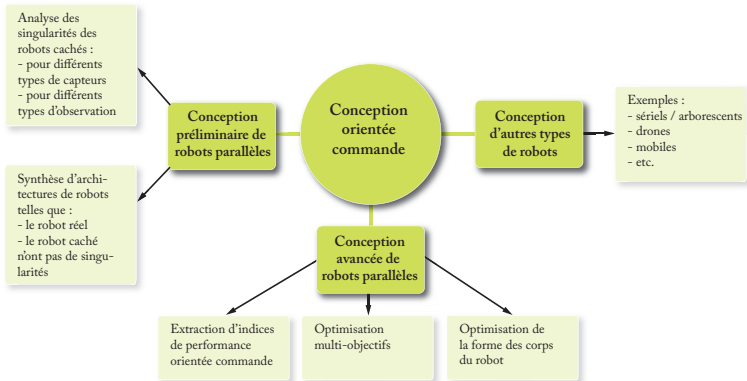
# Perspectives en conception orientée commande



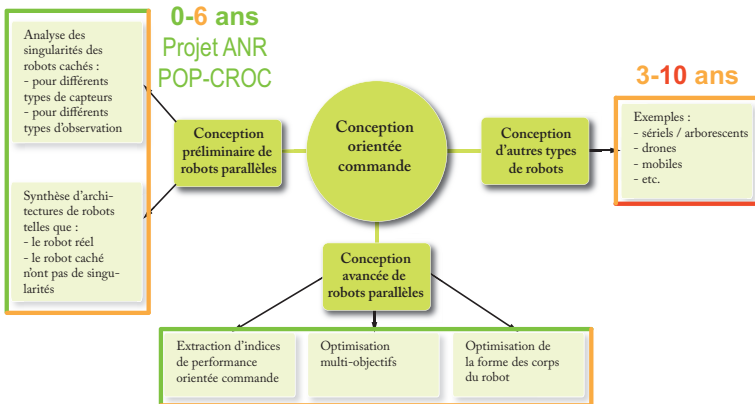
# Perspectives en conception orientée commande



# Perspectives en conception orientée commande



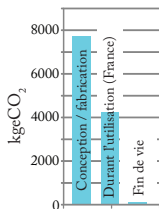
# Perspectives en conception orientée commande



# Conception de robots à faibles impacts env.

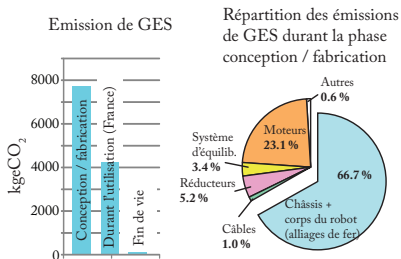


Emission de GES



Les émissions de CO<sub>2</sub> durant la phase d'utilisation dans d'autres pays sont beaucoup plus élevées puisque la plus grande partie de l'énergie produite est nucléaire (relâche moins de CO<sub>2</sub> que d'autres centrales)

# Conception de robots à faibles impacts env.

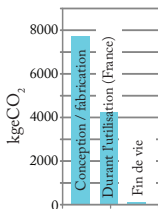


Les émissions de CO<sub>2</sub> durant la phase d'utilisation dans d'autres pays sont beaucoup plus élevées puisque la plus grande partie de l'énergie produite est nucléaire (relâche moins de CO<sub>2</sub> que d'autres centrales)

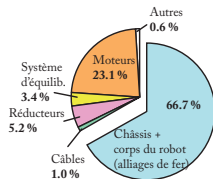
# Conception de robots à faibles impacts env.



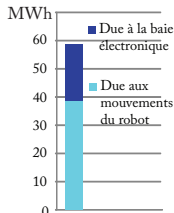
Emission de GES



Répartition des émissions de GES durant la phase conception / fabrication



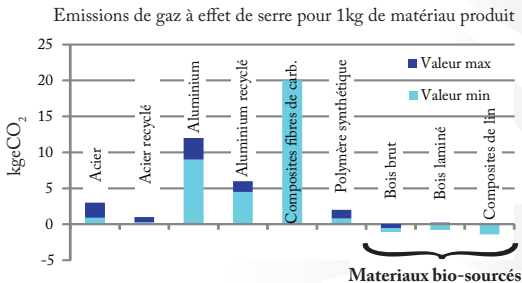
Energie consommée en utilisation



Les émissions de CO<sub>2</sub> durant la phase d'utilisation dans d'autres pays sont beaucoup plus élevées puisque la plus grande partie de l'énergie produite est nucléaire (relâche moins de CO<sub>2</sub> que d'autres centrales)



# Conception de robots à faibles impacts env.

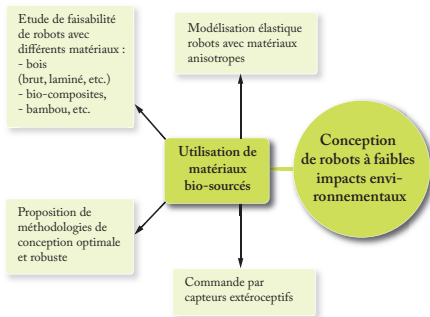


# Conception de robots à faibles impacts env.

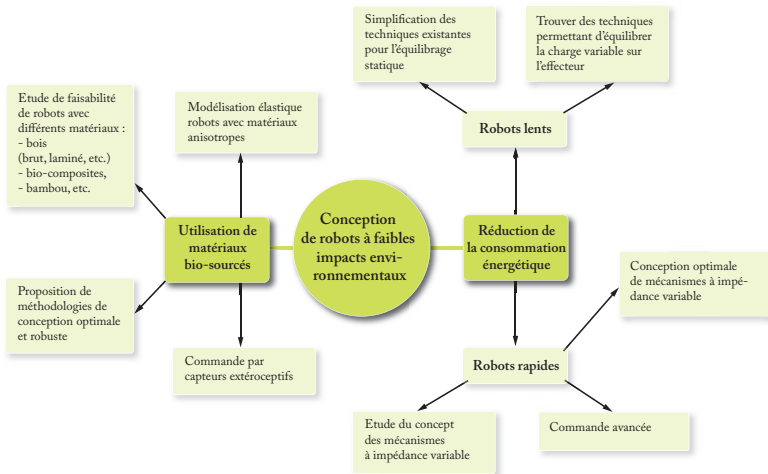


Conception  
de robots à faibles  
impacts envi-  
ronnementaux

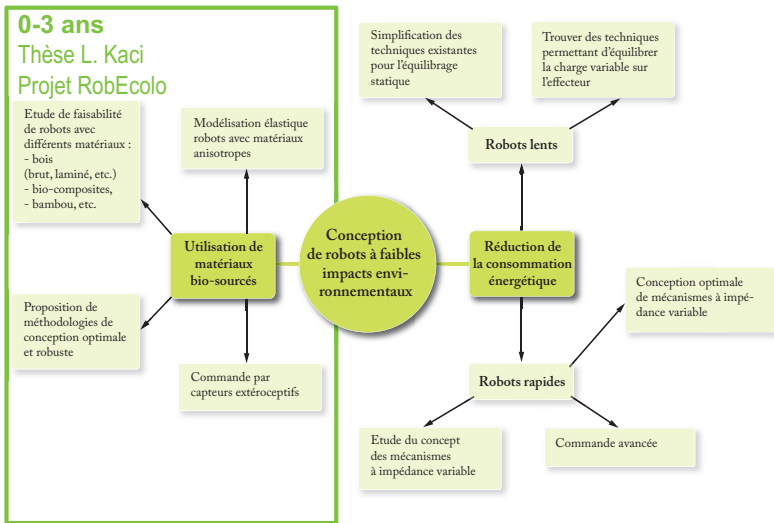
# Conception de robots à faibles impacts env.



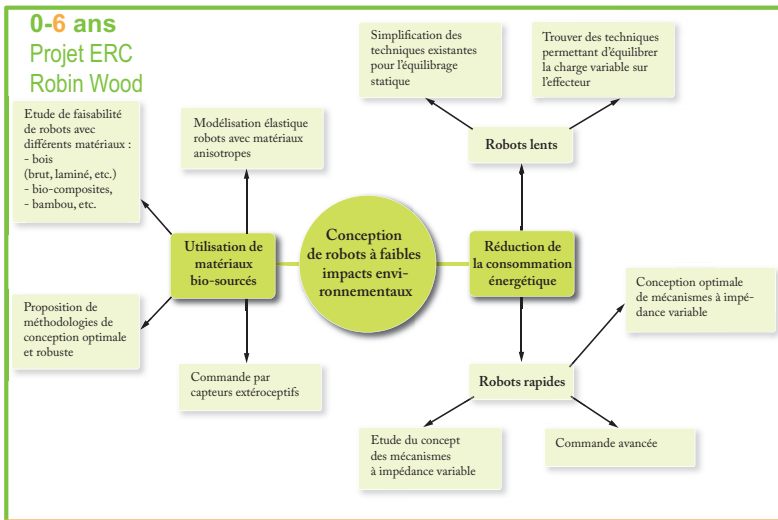
# Conception de robots à faibles impacts env.



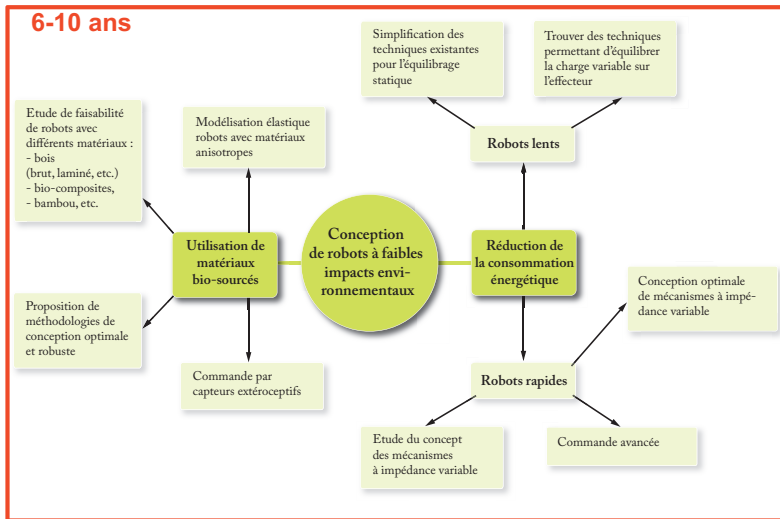
# Conception de robots à faibles impacts env.



# Conception de robots à faibles impacts env.



# Conception de robots à faibles impacts env.



## Projection des perspectives dans l'équipe ARMEN Autonomie des Robots et Maîtrise des interactions avec l'ENVironnement



## Projection des perspectives dans l'équipe ARMEN Autonomie des Robots et Maîtrise des interactions avec l'ENVironnement

Environnement :

- Milieu dans lequel le robot évolue
- Sens écologique du terme

## Projection des perspectives dans l'équipe ARMEN

### Autonomie des Robots et Maîtrise des interactions avec l'ENVironnement

#### Environnement :

- Milieu dans lequel le robot évolue
- Sens écologique du terme

#### Thèmes scientifiques

- Conception orientée environnements
- Interactions avec l'environnement
- Perception de l'environnement

## Projection des perspectives dans l'équipe ARMEN

### Autonomie des Robots et Maîtrise des interactions avec l'ENvironnement

#### Environnement :

- Milieu dans lequel le robot évolue
- Sens écologique du terme

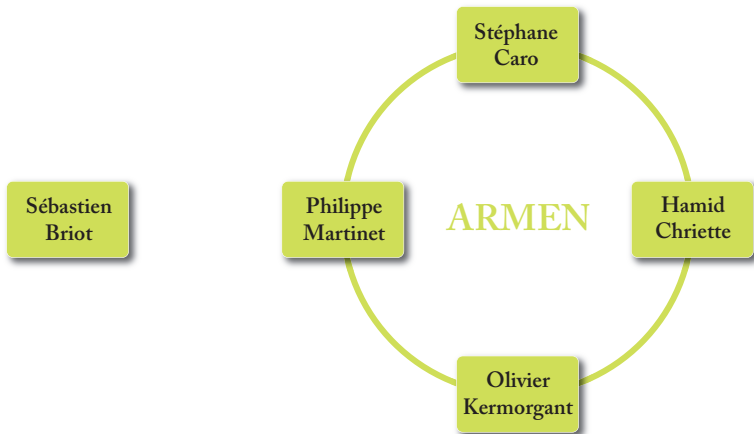
#### Projets fédérateurs

- Maîtrise des systèmes dynamiques,
- Robotique des grands espaces,
- Conception de robots à faibles impacts environnementaux,
- Maîtrise des systèmes déformables,
- Robots reconfigurables.

# Perspectives



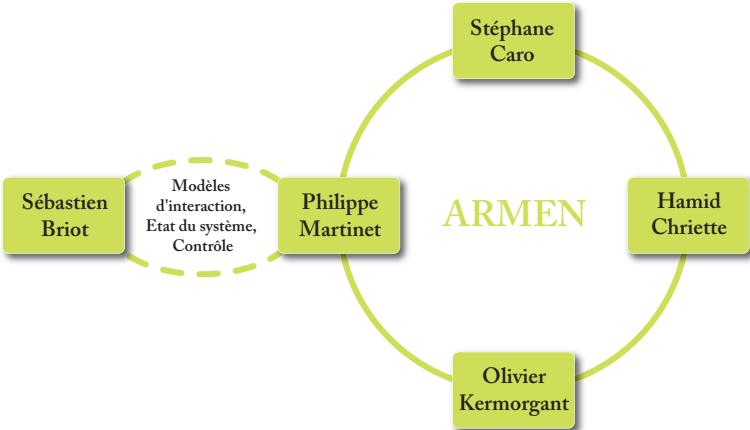
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



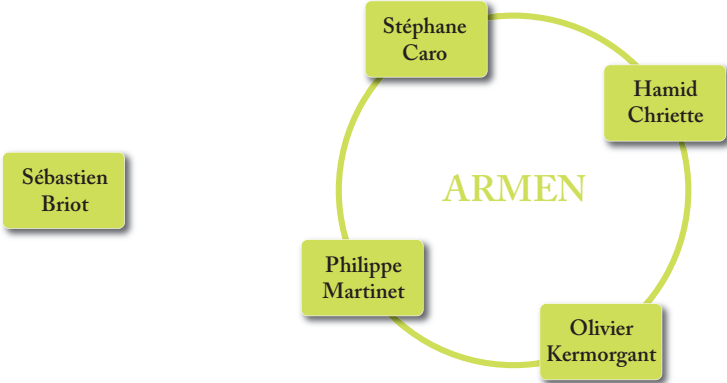
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



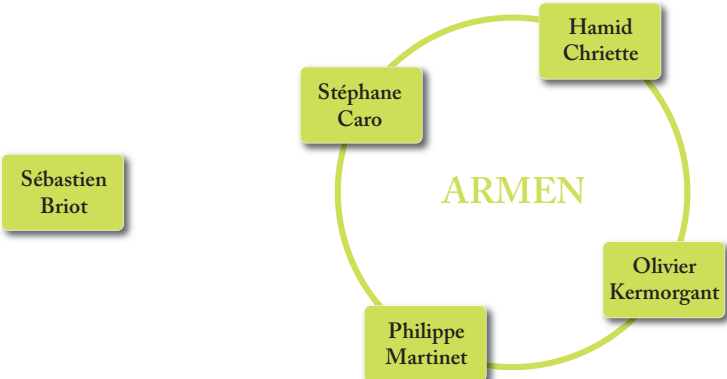
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



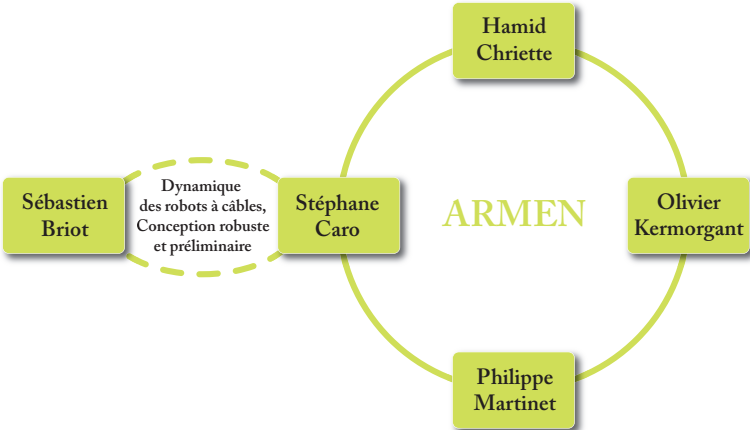
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



## Collaborations dans l'équipe ARMEN

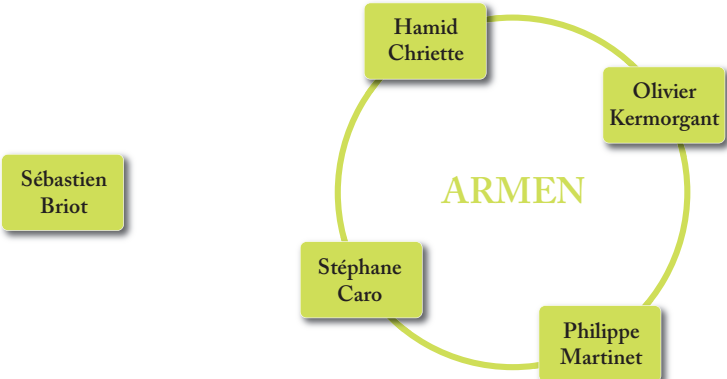




# Perspectives



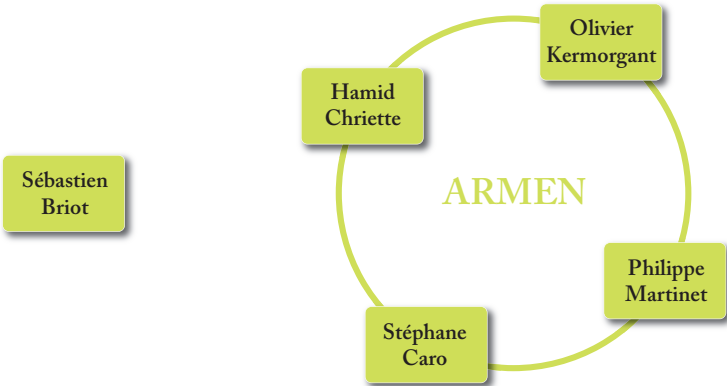
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



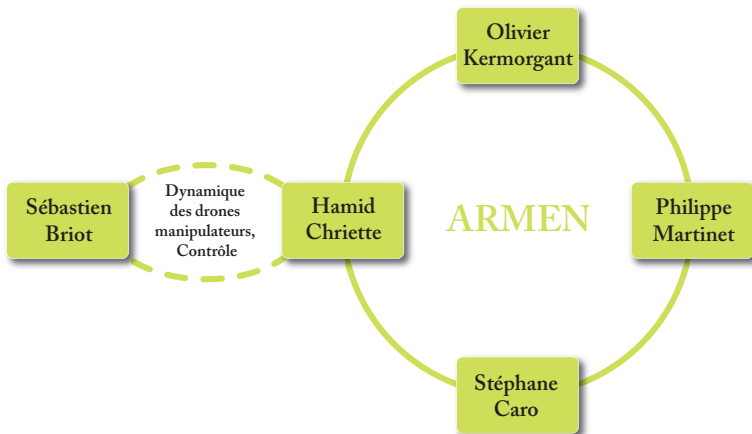
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



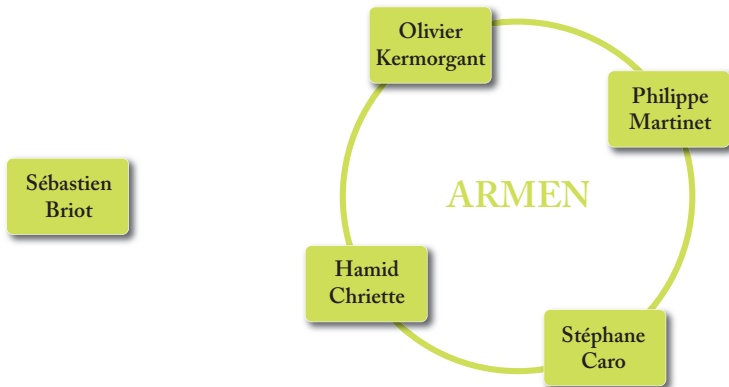
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



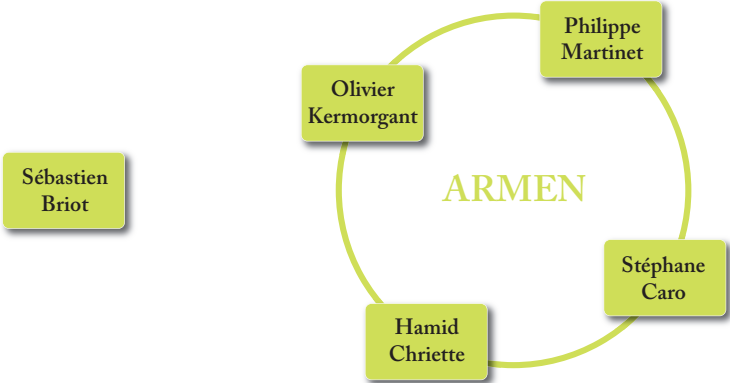
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



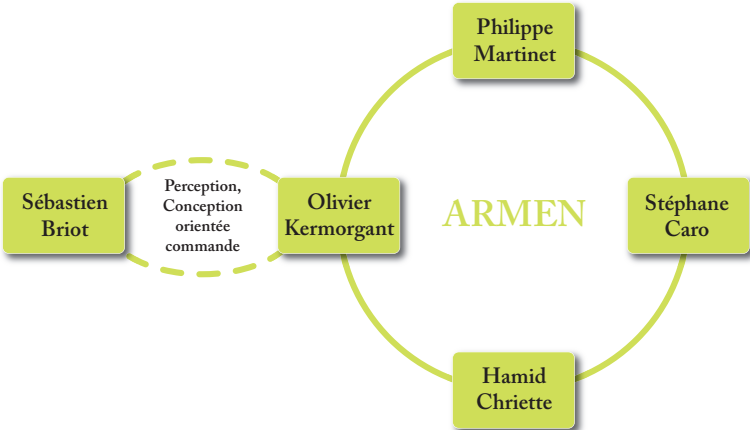
## Collaborations dans l'équipe ARMEN



# Perspectives



## Collaborations dans l'équipe ARMEN



## Projets déposés / en cours autour des perspectives

- ANR : POP-CROC (O. Kermorgant), DOS-COM (A. Chriette)
- Région PDL RobEcolo (S. Briot – en cours)
- H2020 : ERC CoG Robin Wood (S. Briot)

## Projets déposés depuis deux ans (mais refusés)

- Région : PDL ARMOR-ROB (S. Briot 2015), Auvergne CCIR2 (N. Bouton 2014)
- ANR : SENSOR (S. Briot 2014), SENSOR (S. Briot 2015)
- CNRS : DIDEN (S. Briot 2015)
- UE : ERC StG Robin Wood (S. Briot 2014), FET DOLMEN (S. Briot 2015), Echord++ RoboLayup (D. Sallé 2015)

## Projets déposés / en cours autour des perspectives

- ANR : POP-CROC (O. Kermorgant), DOS-COM (A. Chriette)
- Région PDL RobEcolo (S. Briot – en cours)
- H2020 : ERC CoG Robin Wood (S. Briot)

## Projets déposés depuis deux ans (mais refusés)

- Région : PDL ARMOR-ROB (S. Briot 2015), Auvergne CCIR2 (N. Bouton 2014)
- ANR : SENSOR (S. Briot 2014), SENSOR (S. Briot 2015)
- CNRS : DIDEN (S. Briot 2015)
- UE : ERC StG Robin Wood (S. Briot 2014), FET DOLMEN (S. Briot 2015), Echord++ RoboLayup (D. Sallé 2015)



## Collaborations dans le laboratoire

### Pôle Robotique, Procédé, Calcul

- REV : Économie d'énergie pour robots bio-inspirés / humanoïdes, conception de moteurs à impédance variable, etc.
- ROMAS : Équilibrage, Identification, Économie d'énergie pour robots d'usinage, etc.
- OGRE : Méthodologies pour garantir la traversée des singularités, Conception garantie, etc.

## Collaborations dans le laboratoire

Pôle Robotique, Procédé, Calcul

- REV : Économie d'énergie pour robots bio-inspirés / humanoïdes, conception de moteurs à impédance variable, etc.
- ROMAS : Équilibrage, Identification, Économie d'énergie pour robots d'usinage, etc.
- OGRE : Méthodologies pour garantir la traversée des singularités, Conception garantie, etc.

## Collaborations au niveau national / international

Extension de collaborations :

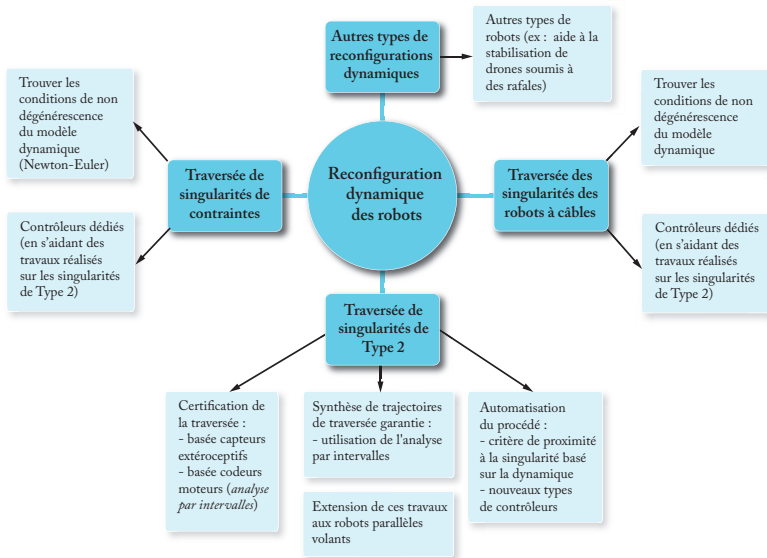
- nationales : IRISA, ENSTA Brest, GeM, LISV, INRIA Sophia
- internationales : J. Herder, C. Gosselin (collaboration à relancer), A. Müller

Merci de votre attention

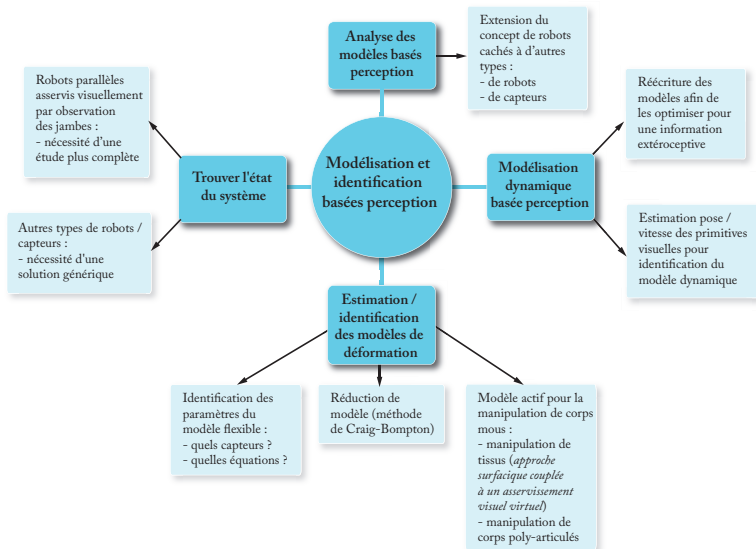


**Questions ?**

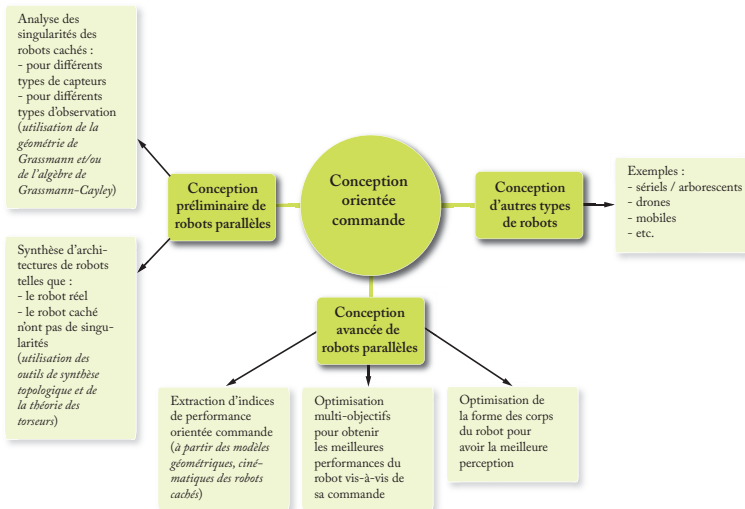
# Perspectives en reconfiguration dynamique



# Perspectives en modélisation / identif. basées perception



# Perspectives en conception orientée commande



# Conception de robots à faibles impacts env.

